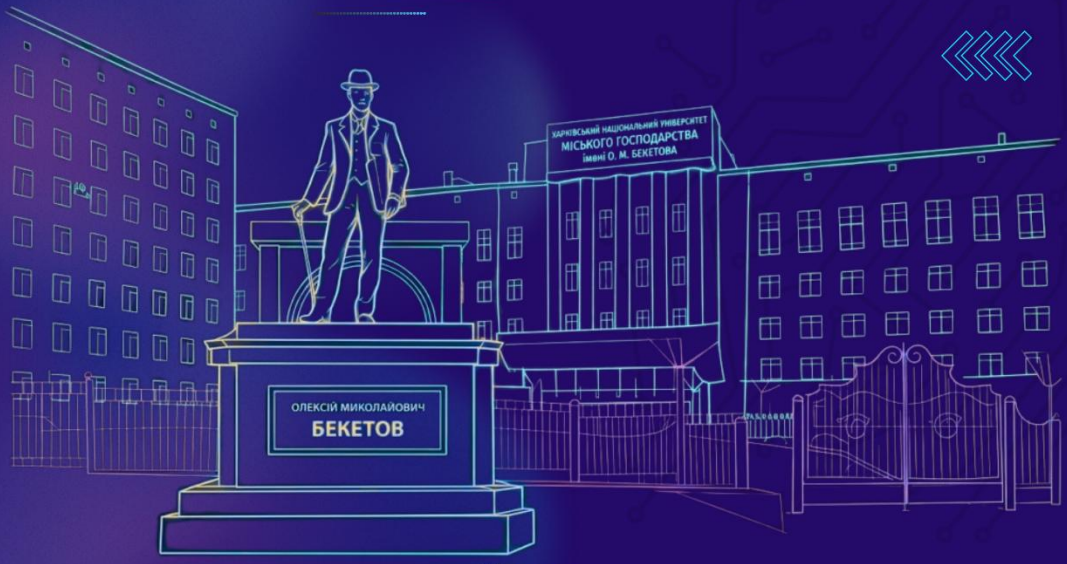
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова

Кафедра комп'ютерних наук
та інформаційних технологій

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА

МАТЕРІАЛИ III (IX) МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ
ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ І МОЛОДИХ УЧЕНИХ



Харків
2026

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова
Національний університет
«Запорізька політехніка»
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»
ГО «Системні дослідження»
ГО МДЦВЕ
Esslingen University of Applied Sciences
University of Koblenz
Cardiff University
Kırklareli University
Universidad Politécnica de Madrid

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА

Матеріали
III (IX) Міжнародної
науково-практичної конференції
здобувачів вищої освіти і молодих учених

25–27 березня 2026 р.
Харків – Запоріжжя – Дніпро
Україна

УДК 004:001.89
ISBN 978-617-627-210-6

Рекомендовано до видання Вченою радою
Харківського національного університету міського господарства
міського господарства імені О. М. Бекетова
(Протокол №8 від 24 квітня 2026 р.)

Редакційна колегія:
Новожилова М. В., д-р фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова,
Братерська Н. М., асистент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова
Черкасова В. В., асистент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Інформаційні технології: теорія і практика: Матеріали III (IX) Міжнародної інтернет-конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених (Харків-Запоріжжя-Дніпро, 25–27 березня 2026 р.) / М-во освіти і науки України, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова [Електронний ресурс] Електрон. дані. – Дніпро : Свідлер А.Л., 2026. 786 с.

ISBN 978-617-627-210-6

Тези доповідей подано в авторській редакції. Відповідальність за зміст несуть автори.

У збірнику подано матеріали III (IX) Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Інформаційні технології: теорія і практика»

© Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, 2026

ОРГКОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова:

Новожилова М.В., д.ф.-м.н, професор, ХНУМГ ім. О.М. Бекетова

Заступники голови:

Бакурова А.В., д.е.н., професор, НУ «Запорізька політехніка»
Желдак Т.А., к.т.н, доцент, НТУ «Дніпровська політехніка»

Програмний комітет:

Efehan Ulas, Assoc. Prof. Dr., Faculty of Medicine, Vise Dean and Head of Department of Biostatistics and Medical Informatics, Kırklareli University, Turkey
Thomas Götz, Prof., Dr., University of Koblenz, Germany
Michael Hinze, Prof., Dr., University of Koblenz, Germany
Clemens Klöck, Prof., Dr.-Ing., Esslingen University of Applied Sciences, Germany
Konovalov Olexandr, Dr., Lecturer, University of St Andrews, UK
Athanasios Hassoulas, Dr., SFHEA CPsychol, Director HIVE Innovation Hub, Cardiff University School of Medicine, Hybrid & Inter-active Virtual Environments, UK
Irene Anthi, Dr., Lecturer in Cyber Security, School of Computer Science & Informatics, Cardiff University, UK
Levashov Dmytro, Sr. Data & AI Scientist in Maxeda DIY Group, Netherlands
Бредіхін В.М., к.т.н., доцент, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
Булаєнко М.В., к.т.н., доцент, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
Карпенко М.Ю., к.т.н., доцент, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
Карпуков Л.М., д.т.н., професор, НУ «Запорізька політехніка»
Козіна Г.Л. к.ф.-м.н., доцент, НУ «Запорізька політехніка»
Коряшкіна Л.С., д.т.н., професор, НТУ «Дніпровська політехніка»
Костенко О.Б, к.ф.-м.н., доцент, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
Молоканова В.М, д.т.н., професор, НТУ «Дніпровська політехніка»
Неласа Г.В., к.т.н., доцент., НУ «Запорізька політехніка»
Сізова Н.Д., д.ф.-м.н., професор, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
Терещенко Е.В., к.ф.-м.н., доцент, НУ «Запорізька політехніка»
Ус С.А., к.ф.-м.н., професор, НТУ «Дніпровська політехніка»
Хабарлак К.С., PhD, доцент, НТУ «Дніпровська політехніка»
Широкорад Д.В., к.ф.-м.н., доцент, НУ «Запорізька політехніка»

Члени організаційного комітету:

Сергєєв О.С., аспірант, НТУ «Дніпровська політехніка»
Шевченко Ю.О., асистент, НТУ «Дніпровська політехніка»
Короткова Д.О., студентка гр 124-22-1 НТУ «Дніпровська політехніка»
Сіренко Р.В., аспірант, НУ «Запорізька політехніка»
Омельяненко І.О., аспірант, НУ «Запорізька політехніка»
Погодаєв Д.О., студент гр. КНТ-815м, НУ «Запорізька політехніка»
Рябенко А.Є., к.ф.-м.н., доцент НУ «Запорізька політехніка»
Братерська Н.М., асистент, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
Черкасова В.В., асистент, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова

Сторінка конференції:
https://knit.kname.edu.ua/home/science/internet-conference

Відеозаписи роботи конференції 25-27 квітня 2026 р. доступні за посиланням:
https://youtube.com/playlist?list=PLUtekcpqk27A4ZlbfEWKL46SiUzSUSbrm&si=Hkdo8_Br9ALgGTyi

ЗМІСТ

Вітальні слова учасникам конференції

Привітання від Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова 30

Привітання від НТУ «Дніпровська політехніка» 31

Привітання від НУ «Запорізька політехніка» 32

Привітання від EPAM Systems 33

Пленарні доповіді

1 Ликова В. І., Мікаутадзе Д. О., Бредіхін В. М. Модуль виявлення фейкових новин як компонент систем підтримки прийняття рішень (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 35

2 Білий В. В. Формалізація задачі прийняття рішення щодо відбудови пошкоджених об'єктів інфраструктури в умовах невизначеності (*Національний університет «Запорізька політехніка»*) 37

3 Симоненко М. А., Желдак Т. А. Адаптивна дорожня карта як інструмент професійного розвитку користувача (*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»*) 40

Секція 1. Моделювання, аналіз та оптимізація складних систем

1 Дегтярьов В. В., Боровик В. О. Алгоритм швидкої інтерпретації ансамблевих деревних моделей для систем реального часу (*Сумський державний університет*) 45

2 Коростій Д. М., Дружинін Є. А. Цифрові двійники як інструмент інтелектуального функціонування децентралізованих енергетичних мікромереж (*Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»*) 47

3 Protasov N. O., Litvinov A. L. Optimization of drinking water delivery routes (*O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv*) 49

4 Станіна О. Д., Коряшкіна Л. С., Похіл О. І. Сценарний підхід щодо оптимізації двоетапного розподілу матеріальних потоків в системах екстреної логістики (*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»*) 51

5 Цибульська О. В., Коряшкіна Л. С. Удосконалення SIRSS-моделі епідемічної динаміки з урахуванням залишкової заражуваності захищеної популяції (*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»*) 53

6	Шмалько Р. Є., Коряшкіна Л. С. Системний аналіз сучасних підходів та методів управління ризиками в аграрному секторі (*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»*)	55
7	Пивоваров А. І., Бредіхін В. М. Системи обліку продукції в умовах цифрової трансформації підприємства (*Харківський національний економічний університет імені С. Кузнеця*)	58
8	Линник Д. О., Главчев М. І. Модель балансування навантаження в гетерогенних обчислювальних системах за критерієм енергоефективності (*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»*)	60
9	Заярний О. В., Попов А. В. Інтелектуальний аналіз поведінки студентів у віртуальних навчальних сценаріях (*Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»*)	63
10	Стокіпний О. Л., Брановицька І. В. математичне моделювання завадостійкості каналів передачі даних у складних системах (*Державний університет «Київський авіаційний інститут»*)	66
11	Литвишко Л. О., Галушка Н. В., Волинець Я. Є. Застосування BI для оптимізації діяльності транспортних підприємств (*Національний транспортний університет*)	68
12	Кашкевич С. О., Литвиненко О. Є. імітаційне моделювання пропускної здатності каналів зв'язку в складних інформаційних системах (*Державний університет «Київський авіаційний інститут»*)	71
13	Сокирко Д. О., Кузніченко В. М. Програмна реалізація гібридної моделі прийняття рішень при виборі платформ відеозв'язку (*Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»*)	74
14	Мізинець В. Є., Данілейко С. І., Прохоров О. В. Моделювання мультимодальних вантажних перевезень у критичних умовах воєнного часу (*Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»*)	76
15	Щубелка П. І., Морохович В. С. Моделювання інформаційної системи управління особистим бюджетом (*Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет»*)	78
16	Грищенко І. О., Сізова Н. Д. Дослідження event-driven моделей проєктування високонавантажених serverless	81

архітектур (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*)
17 Семенюк Л. О., Бакурова А. В. Аналіз великих даних для прогнозування соціально-економічних процесів (*Національний університет «Запорізька політехніка»*) 85
18 Гетманова Л. С., Якунін А. В. Дельта-функція Дірака у цифрових технологіях (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 88
19 Artomov I. V., Chubukina O. V. trajectory modeling challenges of stratospheric gliders for multi-layered surveillance systems (*National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"*) 91
20 Оробей В. В., Якунін А. В. Функція Міттаг-Леффлера у будівельній інженерії (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 93
21 Сенюк Є. О., Мельничук В. Е. Трансформація фінансового планування (FP&A) за допомогою прогнозної аналітики на базі ШІ (*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*) 95
22 Bykov A. M., Bykova T. A. Optimization of VR visualization for interactive simulations in educational and training complexes (*National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"*) 98
23 Melnyk A. O., Rozora I. V. Statistical estimation and confidence bands for impulse response functions (*Taras Shevchenko National University of Kyiv*) 102
24 Khilchuk A. V. Simulation modeling of urban traffic flows: effectiveness of congestion reduction methods (*National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"*) 105
25 Кривокоритов А. В., Желдак Т. А. Перспективи застосування штучного інтелекту в енергетичному менеджменті (*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»*) 107
26 Єфанов О. В., Бакурова А. В. Гіперграфова модель кластеризації країн за індексом економічної складності з інтеграцією даних про товарну структуру експорту (*Національний університет «Запорізька політехніка»*) 110
27 Сізова А. М., Бакурова А. В. Розроблення інтегрованої методології прогнозування попиту на дошкільну освіту (*Національний університет «Запорізька політехніка»*) 113

28 Холодов М. М., Ус С. А. Математичне моделювання управління ризиками професійної небезпеки на основі багатокритеріального аналізу (*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»*) 118
29 Васюкович Р. В., Карпенко М. Ю. Вибір показників ефективності товарообігу методом експертних оцінок (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 121
30 Діденко С. І., Дідковський О. Ю. Моделювання асиметричних дій щодо створення військового паритету сил (*Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»*) 124
31 Малєєв Л. В., Сокирко А. П. Моделювання скорочення життєвого циклу створення високотехнологічних виробів (*Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»*) 126
32 Ничипорук М. С., Стебаєв Д. І., Моделювання впливу деградацій на функціонування високотехнологічних підприємств в умовах загроз (*Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»*) 128
33 Рибка А. В., Лавріненко Р. Ю. Дослідження логістики постачання в умовах загроз (*Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»*) 130
34 Соловйов В. С., Цициліано Д. О. Моделювання захисту об'єктів критичної інфраструктури від масованих атак противника (*Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»*) 132
35 Федорович В. А., Нємцев Д. В. Моделювання маршрутів польоту ударних дронів для планування військових місій (*Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»*) 134
36 Корепанов М. В., Сагайдак В. А. Математичне та імітаційне моделювання оптимізації ресурсів в інформаційних системах підприємств (*Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій*) 136
37 Власенко Д. В., Терещенко Е. В. Дослідження ринку ігрових предметів задопомогою агентно-орієнтованої моделі (*Національний університет «Запорізька політехніка»*) 138
38 Черкасова В. В., Новожилова М. В. Ієрархічна графова модель міської інформаційної інфраструктури як соціотехнічної системи (*Харківський національний* 142

університет міського господарства імені О. М. Бекетова)
39 Snihur A. O., Shevchenko Y. O. System analysis in the work of a public organization (*University of Jaén, Spain, Dnipro University of Technology, Ukraine*) 145
40 Kuchkin O. M., Sazonov A. Y. , Zghurskyi D. O. Residual optical flow for dense scene segmentation in robot navigation systems (*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*) 147
41 Джапаров Т. Р., Мушинський О. Ю. Моделювання логістичної системи управління вантажними перевезеннями з автоматизацією побудови маршрутів (*Університет економіки та права «КРОК»*) 151
42 Хомочкін А. П., Мигун А. О., Красношлик О. Дослідження впливу коливань магнітного поля, що виникають під час навчального процесу в момент перебування учнів школи в укритті (*Приватний заклад освіти «КМДШ»(у формі товариства з обмеженою відповідальністю)*) 155
43 Гаврилюк А. Р., Казначєєва А. В. Аналіз факторів формування навантаження у розподілених IoT системах (*Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій*) 157
44 Кострица С. В., Лівінська Г. В. Робастна онлайн-фільтрація потокових моніторингових даних систем критичної інфраструктури (*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*) 160
45 Бакало В. І., Попадюк О. Б. Алгоритмічна оптимізація розподілу ресурсів у системах кіберзахисту з використанням оцінювання ризиків ISO/IEC 27005 (*Львівський національний університет імені Івана Франка*) 162
46 Гетьманенко Л. О., Шпинковський О. А., Паршикова Ю. В. Застосування чисельних методів для аналізу економічних систем: від моделювання ринкового балансу до розрахунку рентабельності інвестицій (*Національний університет «Одеська політехніка»*) 166
47 Миронюк В. М., Кунуп Т. В. Комплексний аналіз інтерактивних комунікаційних технологій у веб-середовищах спільного дозвілля (*Національний університет «Одеська політехніка»*) 170
48 Єрмакова А. А., Косенко С. І. Аналіз методів та технологій комп'ютерної емуляції та моделювання 172

процесу роботи гібридних інверторів (*Національний університет «Одеська політехніка»*)
49 Єрмаков В. А., Косенко С. І. Огляд існуючих методів та моделей статистичного аналізу структурованих показників захворюваності (*Національний університет «Одеська політехніка»*) 175
50 Ропало Д. А. Мережеві ефекти в аптечному ритейлі: огляд моделей (*Національний університет «Запорізька політехніка»*) 178
51 Мирненко М. Д., Шевель В. В. Доказова інтегрована інформаційна платформа для управління трасованістю вимог у виробництві рами БПЛА методом адитивного виробництва (*Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»*) 182
52 Сідєльнікова А. С., Рудніченко М. Д. Усунення інформаційного шуму в політематичних онтологіях (*Національний університет «Одеська політехніка»*) 185
53 Дробишевський С. В., Шпинковська М. І. Дослідження балансової моделі «витрати–випуск» В. Леонтьєва та її застосування для аналізу міжгалузевих зв'язків (*Національний університет «Одеська політехніка»*) 187
54 Novikov M. A., Gritsunov O. V. Modeling the impact of adverse conditions on the reliability of 5G/6G telecommunication networks (*Kharkiv National University of Radio Electronics*) 190
55 Удовиця М. О., Колесник А. І. Моделювання енергоефективної системи керування освітленням з адаптивним алгоритмом регулювання у віртуальному середовищі Tinkercad (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 194
56 Підгорний С. С., Дмитрієва О. А. Моделювання динамічних процесів з використанням глибоких нейронних мереж (*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Дослідницький центр моделюючих технологій (SimTech) університету Штутгарта, Німеччина*) 197
57 Цукур В. Г., Молоканова В. М. Застосування штучного інтелекту в гібридному управлінні проектами (*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»*) 200
58 Молчанов М. Ю, Хом'як Т. В. . Системний аналіз та розробка сервісу генерації QR-кодів для веб- та API- 202

інтеграцій (*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»*)

Секція 2. Інтелектуальні комп'ютерні системи

1 Кравченко Д. О. Моделі взаємодії та координаційні механізми в мультиагентних системах (*Сумський державний університет*) 206

2 Loza K. P., Hladka L. I. An intelligent decision support system for reference image retrieval based on human body configuration analysis (*National Bohdan Khmelnytsky University of Cherkasy*) 209

3 Ликова В. І., Бредіхін В. М. Використання великих мовних моделей у інтелектуальних інформаційних системах (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 212

4 Ткач Н. С., Дружинін Є. А. Методи та моделі управління ризиками при розробці інтегрованих корпоративних програмних систем (*Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»*) 214

5 Цап Д. І., Царева О. С. Використання самоорганізовуваних карт Кохонена для кластеризації даних і розпізнавання образів в інтелектуальних системах (*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*) 216

6 Селютін Д. А., Яшина О. С., Інтелектуальний аналіз програмного коду з використанням графових і векторних репрезентацій (*Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»*) 219

7 Жувако В. Г., Черкасова В. В. Інтелектуальна система навігації в багаторівневих середовищах (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 222

8 Юдіна Л. Г., Апенько Н. В. Оцінювання узгодженості візуальних даних в інформаційних системах (*Державний університет «Київський авіаційний інститут»*) 224

9 Ластівка О. І., Марченко Н. Б. Інтелектуальна модель самоорганізації розподілених технічних систем в умовах невизначеності (*Державний університет «Київський авіаційний інститут»*) 226

10 Оленченков І. В., Булаєнко М. В. Практичні аспекти використання генеративних нейромереж у підготовці візуального контенту для цифрових торговельних систем (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 228

11	Алексєєв В. О., Демченко А. В., Прохоров О. В., Пахомов Ю. В. Мультиагентні моделі інтелектуального аналізу, моніторингу та управління в розподілених IoT-мережах (*Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*)	232
12	Кіндзерський Н. І., Палка О. В. Персоналізація туристичного досвіду через впровадження інтелектуальних інформаційних систем на основі штучного інтелекту (*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*)	234
13	Меняк А. В., Берест О. Б. Формування навчальних матриць для системи підтримки прийняття рішень оцінювання банківських транзакцій (*Сумський державний університет*)	238
14	Веремійчук І.А., Аушева Н.М., Інтеграція штучного інтелекту у протезуванні: сучасні підходи, перспективи розвитку (*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*)	241
15	Іванов О. О., Овсянник В. Н. Інтелектуальна система адаптивного розподілу даних у полігенних базах даних на основі глибокого навчання з підкріпленням (*Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»*)	244
16	Дідок В. О., Пан М. П. Мультиагентна ШІ-система для моніторингу ринково-значущих подій у потоках відкритих даних та формування індексу геополітичної напруженості (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*)	246
17	Берковський Д. С., Артьомова А. В., Застосування алгоритмів глибокого навчання для автоматичного розпізнавання об’єктів у системах військової розвідки (*Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»*)	250
18	Пастушенко М. О., Титаренко А. М., Zero-shot visual perception з використанням vision-language models як альтернатива спеціалізованим моделям детекції *Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*)	253
19	Сазонов І. А., Костенко О. Б. Інтелектуальний аналіз інформації у великих базах даних (*Харківський*	257

національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)
20 Патіка Д. Є. Покращені підходи до передобробки даних для нейромережевого прогнозування (*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара*) 259
21 Галавай О. М., Шкільняк С. С. Нечітке розширення автоепістемічної логіки для моделювання немонотонних міркувань (*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*) 261
22 Задворний С. О., Іванов О. В., Нічепорук А. О. Метод аналізу надійності IoT-інфраструктур на основі редукції бінарних діаграм рішень (*Хмельницький національний університет*) 264
23 Гурський В. Ю., Березька К. М., Нічепорук А. О. Архітектура віддаленої верифікації Kubernetes pod'ів для edge-пристроїв на базі Raspberry Pi (*Хмельницький національний університет*) 266
24 Дідик Д. С., Войчур Ю. О, Нічепорук А. О. Метод маршрутизації даних у безпровідних сенсорних мережах на основі мобільної базової станції (*Хмельницький національний університет*) 268
25 Єзерська О. А., Пилипенко А. І. Аналіз чутливості метрик оцінювання моделей до квантизації та похибок округлення *(Київський національний університет імені Тараса Шевченка)* 271
26 Гриценко О. М., П'ятаченко В. Ю. Гібридний підхід до екстракції багатомасштабних ознак із зображень на основі YOLO *(Сумський державний університет)* 275
27 Печена Ю. В., Федосєєва А. Особливості використання нейронних мереж в розробці програмного забезпечення з vision-рішень *(Харківський радіотехнічний фаховий коледж)* 278
28 Pyvovar M. V., Moroz D. V. Using Swarm Intelligence Algorithms in Decision Support Systems (DSS) *(National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute")* 280
29 Колісник О. М., Прилепа Д. В. Інформаційно-екстремальна інтелектуальна технологія комп'ютерного діагностування остеологічних захворювань та патологій людини *(Сумський державний університет)* 283
30 Фоменко В. О., Шовкопляс О. А. Методи підвищення точності розпізнавання облич в умовах низької освітленості та динамічного фону *(Сумський державний університет)* 285

31	Kirichenko D., Zemlianko H. Hybrid Grey-Box Neural Network Models for Adaptive Energy Control under Stochastic Environmental Changes *(National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute")*	287
32	Хороших К. Р., Нафєєв Р. К., Моделювання та прогнозування соціальних процесів на основі великих даних *(Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій)*	289
33	Афонін Ю. С., Савінов В. Ю. Перспективи застосування гетерогенних роїв безпілотних апаратів у галузі гуманітарного розмінування *(Чорноморський національний університет імені Петра Могили)*	291
34	Бойко О. О., Пилипенко А. І. Порівняльний аналіз стандартного та гібридного підходів до прогнозування персональних фінансових витрат *(Київський національний університет імені Тараса Шевченка)*	295
35	Краснокутський В. І., Нестеренко І. В. Інтелектуальний аналіз даних у системі обліку та оцінки власного капіталу підприємства *(Державний біотехнологічний університет)*	298
36	Крицький Д. М., Кайдан Е. С. Виявлення замаскованих об'єктів *(Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут")*	301
37	Жуков І. А., Федосєєва А. Штучний інтелект як сервіс в розробці програмного забезпечення *(Харківський радіотехнічний фаховий коледж)*	305
38	Ковтун В. В., Ковтун І. А. Методи машинного навчання у системах класифікації асортименту та управління запасами *(Національний університет «Одеська політехніка»)*	307
39	Руденко М. С., Мироненко М. І. Розпізнавання військової техніки на базі бортової системи безпілотного літального апарату *(Сумський державний університет)*	312
40	Третяк Є. М., Смиш О. Р. NLP: аналіз діалогів українських кінофільмів *(Національний університет "Києво-Могилянська академія")*	314
41	Бондаренко Д. А. Застосування алгоритмів машинного навчання для розпізнавання образів *(Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій)*	316
42	Паращенко В. А., Берест О. Б. Автоматизоване формування порад щодо підвищення якості програмного забезпечення засобами LLM *(Сумський державний університет)*	318

43	Козинець А. Ю., Демків Л. С. Дослідження двоетапної дистиляції знань та гібридної компресії згорткових нейронних мереж для зменшення їх обчислювальної складності *(Львівський національний університет імені Івана Франка)*	322
44	Пономаренко А. В., Зайко Т. А. Порівняльний аналіз нейромережевих підходів до діагностування нелінійних систем *(Національний університет «Запорізька політехніка»)*	326
45	Лимар Н. М., Ялова К. М., Бабенко М. В., Поляк М. Особливості побудови та використання нейроморфних процесорів *(Дніпровський державний технічний університет)*	329
46	Шиманська С. А., Мельников О. Ю. Розроблення інформаційної системи прогнозування освітнього вибору на основі нейромережевих моделей *(Донбаська державна машинобудівна академія)*	332
47	Дмитрієв М. Г., Кунуп Т. В. Порівняльний аналіз архітектур глибинного навчання для автоматизованого синтезу тривимірних асетів з одиничних зображень *(Національний університет «Одеська політехніка»)*	334
48	Шведов Д. В. Порівняльний аналіз сучасних підходів до гібридизації моделей глибинного навчання для оцінки фінансових ризиків *(Національний університет «Одеська політехніка»)*	337
49	Шумейко К. П. Аналіз шляхів підвищення якості керування гідроакустичними процесами на базі штучних нейронних мереж *(Національний університет «Одеська політехніка»)*	339
50	Зленський А. О. Аналіз проблематики створення адаптивної архітектури інтелектуальних агентів для завдань розпізнавання образів *(Національний університет «Одеська політехніка»)*	341
51	Рудніченко М. Д. Концепція архітектури адаптивних гібридних агентів для гідроакустичного розпізнавання об'єктів *(Національний університет «Одеська політехніка»)*	343
52	Тимошенко Д. О., Рудніченко М. Д. Аналіз методів комплексної оцінки ефективності малих мовних моделей *(Національний університет «Одеська політехніка»)*	346
53	Довбишев В. Д., Шибаєва Н. О. Особливості доменної адаптації моделей глибинного навчання для сегментації локальної міської забудови *(Національний університет «Одеська політехніка»)*	349

54	Довбишев В. Д., Гришин С. І. Автоматизація процесу формування навчальних вибірок для задач розпізнавання об'єктів на аерокосмічних знімках *(Національний університет «Одеська політехніка»)*	351
55	Білоусов Д. О., Потієнко О. С. Методи інтеграції та попередньої обробки різнорідних даних для інтелектуальних комп'ютерних систем *(Національний університет «Одеська політехніка»)*	353
56	Миронюк В. М., Вичужанін В. В. Методологічні засади побудови гетерогенних веб-систем для колективного споживання медіаконтенту в реальному часі *(Національний університет «Одеська політехніка»)*	356
57	Копилов Д. Ю., Шибаєва Н. О. Аналіз методів та засобів проєктування інформаційної системи для дослідження алгоритмів динамічної маршрутизації *(Національний університет «Одеська політехніка»)*	358
58	Голинський А. М., Жирова Т. О. Багатокритеріальний підхід до вибору наступного кроку в адаптивних освітніх системах *(Державний торговельно-економічний університет)*	360
59	Шевчук В. С., Нафєєв Р. К. Інтелектуальний аналіз даних у сучасних бізнес-системах *(Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій)*	363
60	Двойленко А. І., Смиш О. Р. Система автоматизованого підбору членів вченої ради на захисти докторів філософії в Україні *(Національний університет "Києво-Могилянська академія")*	366
61	Бахрушин О. В. Агент штучного інтелекту для збирання даних про системи освіти *(Національний університет «Запорізька політехніка»)*	369
62	Ревнюк О. В., Улічев О. С. Інтелектуальні стратегії енергозбереження периферійних вузлів у сенсорних мережах з високою інтенсивністю запитів *(Приватний вищий навчальний заклад "Європейський університет")*	373
63	Бондаренко О. С. Застосування методів машинного навчання в системах радіомоніторингу *(Київський національний університет імені Тараса Шевченка)*	376
64	Shevchenko Y. Geospatial Analysis with Google Earth Engine (*Dnipro University of Technology*)	378
65	Тхорук Є. В., Станіна О. Д. Автоматична торгівля криптовалютами за допомогою машинного навчання *(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»)*	381

66 Ігнатюк Є. О. Нейромережева розмітка елементів цифрових інтерфейсів як основа подальшого інтелектуального аналізу та обробки даних *(Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»)* 383
67 Мільшин М. С., Пивовар М. В. Інтелектуальний аналіз рентгенівських зображень для виявлення аномалій у харчовій продукції на основі YOLOv8 *(Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут")* 386
68 Ісмаілов В. В., Ялова К. М. Математичні методи інтелектуального аналізу багатовимірних даних *(Дніпровський державний технічний університет)* 390
69 Костюченко А. Д., Герасимов В. В. Застосування моделі глибокого навчання TimeGPT для прогнозування значень часових рядів *(Дніпровський національний університет ім. О. Гончара)* 393
70 Gorpinich I. O., Zayko T. A. Intelligent Methods for Ensuring Transaction Data Security and Fraud Detection *(National University "Zaporizhzhia Polytechnic")* 395
71 Kliuiev I. O. Visual-to-Audio Sensory Substitution: Review and Concept *(Zhytomyr Polytechnic State University)* 399
72 Папіж Л. М., Улічев О. С. Метрики та аналітичні моделі оцінювання ефективності тестування програмного забезпечення *(Приватний вищий навчальний заклад "Європейський університет")* 402
73 Шутеєв Д. С., Левіков Ю.В. Порушення авторських прав великими мовними моделями *(Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова)* 406
74 Анопреєва С. А., Дєвочкіна Н. М. Етичні та філософські аспекти використання штучного інтелекту в системах підтримки прийняття рішень (*Національний університет «Запорізька політехніка»*) 409
75 Власенко К. В., Бондаренко О. В. Філософія цифрової епохи: трансформація мислення та соціальної реальності (*Національний університет «Запорізька політехніка»*) 412
76 Іценко В. І., Бондаренко О. В. Штучний інтелект і майбутнє людства: збереження людяності у добу постлюдських інтелектів (*Національний університет «Запорізька політехніка»*) 415
77 Бондаренко О. А., Обухова К. О. Система дистанційного керування БПЛА через розподілені ресурси *(Чорноморський національний університет імені Петра Могили)* 418

78 Сіренко Р. В. Аналіз взаємозв'язків багатопараметричних даних на прикладі сортів сої (*Національний університет «Запорізька політехніка»*) 422
79 Бєлєнькова К. О., Новожилова М. В. Методи інтелектуального аналізу експлуатаційних даних для виявлення аномальних режимів у розподільчих електромережах (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 426
80 Пук Ю.Я., Кучмистенко О.В. Адаптивно-предиктивне керування та оптимізація режимів роботи нафтоперекачувальних систем (*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*) 430
81 Якимів М.О., Кучмистенко О.В. Інтелектуальні методи прогнозування аварійних ситуацій у автоматизованих насосних системах (*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*) 432

Секція 3. Комп'ютерні науки та програмна інженерія

1 Баширов Е. Т., Бредіхін В. М. Підсистема обробки та валідації даних у системі підтримки рішень з енергоменеджменту (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 435
2 Бєлова К. О, Бредіхін В. М. Роль підготовки та очищення даних для підвищення якості роботи моделей інтелектуального аналізу (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 437
3 Булгак С. О., Бредіхін В. М. Дорожня карта впровадження ШІ в системи підтримки прийняття рішень підприємства (*Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця*) 439
4 В'юнник С. Є., Бредіхін В. М. Парадигми програмування як відображення еволюції комп'ютерних наук (*Lodz University of Technology (Лодзь, Польща), Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 441
5 Іванов Д. В., Куршубадзе Т. Р. Адаптивна архітектура інтеграції SQL та NoSQL в аналітичних інформаційних системах (*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»*) 443
6 Ликова В. І., Булаєнко М. В. Вплив автоматизованих та інтелектуальних методів тестування на якість програмних продуктів *(Харківський національний* 446

університет міського господарства імені О. М. Бекетова)
7 Kosenko M. O., Litvinov A. L. Development of an Algorithm for Fake Detection in Social Media (*O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv*) 447
8 Шепелев А. В., Стяглик Н. І. Розробка кросплатформного інтегрованого середовища для вивчення мови програмування асемблер (*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна*) 449
9 Семенюк М. В., Станіна О. Д. Розробка індивідуального Pomodoro-додатку для контролю часу і продуктивності (*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»*) 452
10 Жувако В. Г., Булаєнко М. В. Прогресивні веб-додатки як напрям розвитку сучасних веб-технологій (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 454
11 Венжега О. Є., Черкасова В. В. Автоматизована платформа створення квестів: інтеграція Telegram-бота та аналітичної вебпанелі (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 457
12 Гетманова Л. С., Воєводіна М. Ю. Оптимізація продуктивності та архітектури веб-застосунків на базі React + Vite: порівняльний аналіз та впровадження мікрофронтенд-рішень (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 460
13 Фуркало Д. Ю., Петрівський В. Я. Кросплатформна розробка програмного забезпечення: технології, архітектура та практичне застосування (*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*) 461
14 Баширов Е. Т., Булаєнко М. В. Архітектурні підходи до підвищення відмовостійкості сучасних веб-сайтів (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 464
15 Воронько В. О., Білецький І. В. Інтелектуалізація процесу програмування операцій намотування на обладнанні з ЧПК (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 466
16 Борейко М. О., Булаєнко М. В. Методи навантажувального тестування веб-платформ статистичного аналізу баскетбольних ігор (*Харківський* 470

національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)
17 Бойчук А. В., Кантемир І. В. Типові помилки на початкових етапах розробки програмного забезпечення та їхній вплив на ефективність тестування (*Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»*) 473
18 Дудій В. В., Вовк Р. Б. Комп'ютерні науки та програмна інженерія: інтеграція, бази даних і штучний інтелект (*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*) 476
19 Сольона І. Р., Шибка О. С. Розробка універсального програмного засобу для оцінки впливу військових дій на ландшафтні та урбанізовані території з використанням хмарних технологій (*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»*) 481
20 Бєлова К. О., Черкасова В. В. Масштабованість вебдодатків на Laravel із використанням Docker (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 484
21 Гармата О. С., Булаєнко М. В. Забезпечення якості програмного продукту NutriSafe: від етапу проєктування до автоматизованої перевірки функціоналу *(Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)* 487
22 Зорівчак Н. В., Морохович В. С. Розробка вебзастосунку для надання психологічної допомоги (*Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет»*) 490
23 Бейрак Д. Я., Вакалюк Т. А. Огляд бібліотек керування станом для сучасних фронтенд-додатків (*Державний університет «Житомирська політехніка»*) 493
24 Мох Н. С., Коршенко В. С. Вплив архітектури пам'яті на продуктивність матричних обчислень: порівняльний аналіз чистих структур Python та масивів NumPy (*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна*) 496
25 Богдан Д. В., Костенко О. Б. Як обрати ОС: порівняльна характеристика для фахівців і початківців (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 499
26 Білоус А. В., Карпенко М. Ю. Технологія Django у системах електронної комерції (*Харківський* 503

національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)
27 Trofimchuk L. A., Dementiev S. Y., Yablochnikova V. O. Use of Online Services for Creating, Executing, and Debugging C/C++ Programs in Arduino Simulators (*Vinnytsia Institute of Trade and Economics of State University of Trade and Economics*) 506
28 Полоневич Д. В., Пількевич І. А. Модель виявлення аномальної поведінки API на основі аналізу шаблонів запитів *(Державний університет «Житомирська політехніка»)* 508
29 Мельник А. В., Дмитроца Л. П. Архітектурні підходи до впровадження унікальних ідентифікаторів UI-елементів для автоматизації тестування мобільних застосунків (*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*) 510
30 Kostin Ye. R., Gamayun I. P., Dashkivskyi R. B., Kopp A. M. Towards Optimization of Multi-Cloud Microservice Applications Deployment (*National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"*) 513
31 Козлик С. О., Фант М. О. Гібридна модель контролю доступу у вебсистемі керування процесами видавництва (*Державний університет «Житомирська політехніка»*) 517
32 Онищенко А. О., Новожилова М. В. Статистична обробка параметрів веб-ресурсів для побудови багатокритеріальних моделей прийняття рішень (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 519
33 Мікаутадзе Д. О., Булаєнко М. В. Тестування доступності (accessibility testing) веб-інтерфейсів на основі міжнародних англомовних стандартів (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 522
34 Гавриленко С. С., Іванченко М. Г. Розроблення модуля налаштування та призначення завдань у платформі для автоматизації дистанційного навчання (*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара*) 524
35 Kizilov O. S., Gamayun I. P., Kopp A. M. Syntactic Quality Assessment of Business Process Models Using Judgments by Large Language Models (*National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"*) 528
36 Мамчур Д. А., Бедратюк Л. П. AI-агенти в програмній інженерії: концепція та практичний досвід використання агента Droid (*Хмельницький національний університет*) 532

37 Boiko V. O. LLM Assisted Cognitive Code Review for Object-Oriented Projects: A Behavior-Oriented Approach (*Khmelnitskyi National University*) 536
38 Панюшкін А. Ю., Рудніченко М. Д. Аналіз ефективності гібридних алгоритмів ройового інтелекту в задачах нелінійної оптимізації (*Національний університет «Одеська політехніка»*) 540
39 Паламарчук М. С., Шпінарева І. М. Аналіз методів та архітектурних рішень для проєктування комунікаційних та облікових модулів в освітніх веб-системах (*Національний університет «Одеська політехніка»*) 543
40 Гребенник А. Д., Потієнко О. С. Проєктування кросплатформної системи прокторингу з інтеграцією моделей штучного інтелекту для онлайн-оцінювання (*Національний університет «Одеська політехніка»*) 546
41 Небога М. О., Гришин С. І. Аналіз технологій та архітектурних підходів до розробки кросплатформних мобільних застосунків для агрегації мультимедійного контенту (*Національний університет «Одеська політехніка»*) 548
42 Дмитрієв М. Г., Шибаєва Н. О. Проєктування програмної системи для інтеграції згенерованих тривимірних моделей у пайплайни розробки ігор (*Національний університет «Одеська політехніка»*) 550
43 Варварчук В. В., Кунуп Т. В. Аналіз підходів до розробки інформаційних систем обліку споживання та генерації «зеленої» енергії (*Національний університет «Одеська політехніка»*) 552
44 Іванчиков О. І., Кунуп Т. В. Аналіз засобів та технологій проєктування, розробки і тестування програмних додатків для WMS-систем управління складом (*Національний університет «Одеська політехніка»*) 555
45 Паламарчук М. С., Шпінарева І. М. Аналіз сучасних засобів та технологій розробки єдиної інформаційно-освітньої веб-системи (*Національний університет «Одеська політехніка»*) 557
46 Савранський Р. В., Кунуп Т. В. Аналіз засобів та технологій проєктування і управління розробкою інформаційних систем для спортивного менеджменту (*Національний університет «Одеська політехніка»*) 559
47 Баденко Д. В., Деведжіогуллари А. В. Гібридний підхід до розміщення хмарних сервісних функцій в мережах 5G/6G (*Національний технічний університет України* 561

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»)
48 Bahno O. O., Ivanchenko M. G. Selection Criteria for Architectural Patterns in Mobile Application Development (*Oles Honchar Dnipro National University*) 564
49 Зважій Д. В. Застосування суфіксних масивів для розробки індексів у PostgreSQL (*Національний університет «Києво-Могилянська академія»*) 567
50 Гордієнко С. О., Мироненко М. І. Інформаційна система підтримки вивчення німецької лексики (*Сумський державний університет*) 571
51 Сапожніков В. Ю., Рябенко А. Є. Розробка сервісу для інтерактивного замовлення медіаконтенту під час онлайн-трансляцій (*Національний університет «Запорізька політехніка»*) 575
52 Михайличенко Я. А., Міхайлуца О. М. Програмний комплекс для інтерактивного обміну виробничими даними операторів ЧПУ на базі архітектури NestJS (*Запорізький національний університет*) 577

Секція 4. Інформаційні технології в автоматиці, електроніці, вимірювальній техніці та економіці

1 Морохович Б. В., Повхан І. Ф. Методи штучного інтелекту в системі екологічного моніторингу (*Державний вищий навчальний заклад «Ужгородський національний університет»*) 581
2 Євлампієв А. С., Пелюх О. С. Аналіз концептуальних підходів до визначення спеціальних інформаційних операцій: критерії, цілі та національні особливості (*Національна академія Служби безпеки України*) 584
3 Персунов Д. О., Нечипорук О. П. Забезпечення достовірності даних у розподілених інформаційних середовищах (*Державний університет «Київський авіаційний інститут»*) 588
4 Шахрай М. В., Дмитрієва В. А. Динаміка добутку аквакультур в Україні: аналіз засобами Python в Google Colab (*Дніпровський державний аграрно-економічний університет*) 590
5 Воловецький О. О., Тронь В. В. Протокольна модель забезпечення відтворюваності досліджень автоматизованих систем керування технологічними процесами (*Криворізький національний університет*) 593
6 Муковоз А. С., Сізова Н. Д. Штучний інтелект у технології доповненої реальності для навчальних цілей 596

(Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

7 Лучанінова А. Ю., Сізова Н. Д. Інтелектуальні інформаційні системи проактивного управління дистанційним освітнім середовищем (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 600

8 Колісник С. В., Сізова Н. Д. Нові підходи до інтегрування інформаційних систем (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 604

9 Ремига А. Є., Кононович Т. О. Гейміфікація освітнього середовища як інструмент використання інформаційних технологій у навчальному процесі (*Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка*) 607

10 Половян Н. С. Перспективи та потенційний вплив ШІ на систему охорони здоров'я (*Донецький національний медичний університет*) 611

11 Горб К. С., Желдак Т. А. Розробка експертної системи для визначення доцільності призначення лікарями поліклініки додаткових обстежень (*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»*) 614

12 Скляренко М. Г., Перерва П. Г. Інформаційне забезпечення підприємств малого та середнього бізнесу (*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»*) 618

13 Keršys A., Pererva P. Digitalization of Transport Operations (*Kaunas University of Technology, Lithuania, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ukraine*) 621

14 Lebedovska V. V., Dementiev S. Y., Yablochnikova V. O. Application of Internet of Things Technologies Using Arduino Microcontroller and Google Nest Mini 2nd Generation (*Vinnytsia Institute of Trade and Economics of State University of Trade and Economics*) 626

15 Нестеров Д. О., Перерва П. Г. Оцінка інформаційних можливостей промислового підприємства (*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»*) 629

16 Moroz K., Pererva P. Digitalization of Financial Operations (*Enuda AB, Helsingborg, Sweden*, *National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ukraine*) 632

17 Bako T., Pererva P. Research on Information Literacy of the Population (*University of Miskolc, Hungary, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ukraine*) 636
18 Kniaz V., Pererva P., Information Technologies in the Leather Industry (*Hidemont, Florida, USA, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ukraine*) 640
19 Nagy S., Pererva P. Problems of Informatization of the Educational Process in Universities (*University of Miskolc, Hungary, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ukraine*) 644
20 Овчаров О. О., Князєва В. М. Інформаційні технології в системах технічної діагностики турбогенераторів атомних електростанцій (*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна*) 648
21 Гриневич П. С. Моделі глибокого навчання в логістичних задачах (*Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»*) 651
22 Сергєєв В. М., П'ятаченко В. Ю. Математичне моделювання сценаріїв GPS-spoofing для дослідження стійкості алгоритмів детекції (*Сумський державний університет*) 653
23 Шибаєва Н. О., Рудніченко М. Д. Автоматизація процесів управління транспортними потоками на основі технологій аналізу сенсорних даних (*Національний університет «Одеська політехніка»*) 656
24 Malanchuk V. V. Automation and Optimization of Management Processes Through Artificial Intelligence (*National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"*) 659
25 Аксьонова Є. Ю., Лівінська Г. В. Інформаційні технології в автоматиці, електроніці, вимірювальній техніці та економіці (*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*) 660
26 Шпинковський О. О., Болтьонков В. О. Корекція освітньої програми на основі матриць компетентностей та освітніх компонентів (*Національний університет «Одеська політехніка»*) 663
27 Волошина Є. А., Бахрушин В. Є.Алгоритми виявлення текстових збігів (*Національний університет «Запорізька політехніка»*) 667
28 Каменков К. І., Воєводіна М. Ю. Ключові основи майбутньої перспективної технології 6G (*Харківський* 670

національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)
29 Vasylenko O. V., Snizhnoi G. V., Savchenko A. O. Development of SCADA Systems in the Concept of Industry 4.0 (*Zaporizhzhia Polytechnic National University*) 672
30 Лозицький Р. С., Славінський Д. В. Аналіз надійності механічних з'єднань конвеєрних стрічок у гірничодобувній галузі (*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»*) 674
31 Коротіна А. В. Використання інтерактивного проєкту в середовищі Scratch для вивчення алгоритмів учнями 5–6 класів (*Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка*) 677
32 Цвєтков В. В., Тягунова М. Ю., Киричек Г. Г. Пристрій мовного інформування числових даних у системах вимірювального контролю (*Національний університет «Запорізька політехніка»*) 681
33 Братерська З. В., Братерська Н. М. ШІ як цифровий інструмент вчителя зарубіжної літератури в ЗЗСО (*Харківський національний педагогічний університет імені Г. С. Сковороди, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*) 683
34 Клімов В. О., Бахрушин В. Є. Алгоритми автоматичного реферування текстів (*Національний університет «Запорізька політехніка»*) 687

Секція 5. Кібербезпека і захист інформації

1 Школьников В. І., Халигов А. А., Лисов Б. С., Гуськова В. Г. Системи підтримки прийняття рішень для виявлення та оцінювання ризиків в об’єктах критичної інфраструктури (*Національна академія внутрішніх справ, Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*) 691
2 Мулява В. О., Бельорин-Ерера О. М., Главчев М. І. Поведінкове профілювання PCIe-пристроїв як метод виявлення DMA-атак (*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»*) 695
3 Чурілов В. І., Ахієзер О. Б., Главчев М. І. Застосування набору тестів NIST SP 800-22 для оцінки якості генераторів псевдовипадкових послідовностей у потокових шифрах (*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»*) 697

4	Mostovyi O. S. Digital Twin for ARM64 Symbolic State Modeling and Vulnerability Detection (*V. M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine*)	699
5	Артьомов А. І., Клименко Т. А. Комплексні підходи до забезпечення кібербезпеки комп'ютерних мереж в умовах зростання цифрових загроз (*Національний аерокосмічний університет « Харківський авіаційний інститут »*)	702
6	Romanenko S. O. Adaptive Multi-Layer Cybersecurity Architecture with Integrated Cryptographic Standards, Steganographic Communication, and Technical Information Protection (*Kruty Heroes Military Institute of Telecommunications and Information Technologies*)	706
7	Цвєткова Є. В., Тарлопов І. О. Статистична оцінка впливу воєнних ризиків на споживчу активність населення (*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара*)	708
8	Мірошніченко А. Л., П'ятаченко В. Ю. Інформаційна система агрегування та виявлення аномалій у мережевому трафіку (*Сумський державний університет*)	711
9	Братерський Я. В., Братерська Н. М. Захист інформації в цифрових сервісах залізничної логістики в умовах воєнних дій (*Український державний університет залізничного транспорту; Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*)	714
10	Takas T., Pahomov Y. Reducing False Positives in SIEM Smart City: Event Correlation and the Context of Urban Infrastructure Assets (*Technical University of Košice, Slovakia, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine*)	716
11	Pyvovar S. O., Havryk A. P. Information Security in Distributed Control Systems (*National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"*)	719
12	Новікова Д. Г., Братерська Н. М. Трансформація підходів до оцінювання ризиків інформаційної безпеки (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*)	722
13	Bakker A., Pakhomov Y. Multi-Criteria Optimization of Smart City Cybersecurity: Balancing Detection Quality and Operational Performance in SIEM/Edge Systems (*University of Applied Sciences, Tilburg, the Netherlands, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine*)	726

14	Билбас Р. І., Лаврик Т. В. Мультиагентний підхід на основі LLM для автоматизованого аудиту безпеки програмних продуктів (*Сумський державний університет*)	729
15	Цапковатий Р. В., Лаврик Т. В. Формальна модель процесу валідації результатів статичного аналізу безпеки на основі великих мовних моделей (*Сумський державний університет*)	732
16	Христенко М. Д., Пахомов Ю. В. Дослідження та аналіз методів і засобів кібербезпеки в сучасних інформаційних системах (*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*)	736
17	O. Pryshchepa, Y. Babenko, M. Babenko, O. Kosuhin A Method for PDF Document Authentication Based on Steganographic Embedding *(Taras Shevchenko National University of Kyiv, Dniprovsky State Technical University)*	738
18	Ботвінніков М. А., Мєшков В. І. OSINT як інструмент забезпечення кібербезпеки в умовах сучасних інформаційних загроз (*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»*)	740
	Секція 6. Учнівська секція: «Молоді дослідники майбутнього»	
1	Шевчук А. А., Юзько С. М. Технології, які змінили сучасний світ: створення освітнього вебсайту з використанням Google Sites та HTML/CSS (*Комунальний заклад "Харківський ліцей № 128 Харківської міської ради"*)	744
2	Костарєва К. Д., Сізова Н. Д. Порівняльний аналіз програмних середовищ для створення презентацій: Microsoft PowerPoint і Canva (*Приватний заклад загальної середньої освіти ліцей «ІТ СТЕП СКУЛ ЛЬВІВ», Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*)	747
3	Бродоцька С. М., Бондаренко І. С., Якунін А. В., Регресійне моделювання динаміки витрат домашніх господарств на індивідуальний людський капітал (*Комунальний заклад «Харківський ліцей № 89 Харківської міської ради», Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*)	750
4	Шило Є. В. Соколова С. О., Мистецтво крізь призму штучного інтелекту: генеративні нейронні мережі для створення живопису (*Комунальний заклад «Харківський ліцей № 108 Харківської міської ради»*)	753

5	Савченко Д. А., Чантурія Г. Н. Математичні моделі у штучному інтелекті: оптимізація алгоритмів аналізу великих даних в ІТ-системах (*Комунальний заклад «Харківський ліцей № 141 Харківської міської ради»*)	755
6	Яконов Д. О., Чернова Л. Л. Сучасні програмні засоби формування функціональної системи захисту інформації від несанкціонованого доступу в інформаційно-комунікаційних системах (*Комунальний заклад «Харківський ліцей № 58 Харківської міської ради»*)	760
7	Арзубов Л. М., Арзубов М. О., Курганський А. Р. Прогнозування та автоматизація торгових рішень на основі біржових даних (*Комунальний заклад «Харківський академічний ліцей № 45 Харківської міської ради»*)	762
8	Бабяк О. Р., Євсеєв С. П., Арзубов М. О. Частотний аналіз класичних методів шифрування (*Комунальний заклад «Харківський академічний ліцей № 45 Харківської міської ради», Національній технічний університет «Харківський політехнічний інститут»*)	766
9	Сосницька Н. В., Арзубов М. О., Кірошка К. В. Двоступенева діагностика катаракти з використанням машинного навчання (*Комунальний заклад «Харківський академічний ліцей № 45 Харківської міської ради»; Тель-Авівський університет*)	769
10	Дорошенко Л. А., Арзубов М. О., Курганський А. Р. Реалізація CAD-системи з підтримкою віртуальної реальності (*Комунальний заклад «Харківський академічний ліцей № 45 Харківської міської ради»*)	774
11	Фесенко М. А., Челак В. В., Юрко В. В. Методи виявлення сучасного шкідливого програмного забезпечення (*Комунальний заклад «Харківський академічний ліцей № 45 Харківської міської ради»*)	777
12	Демченко О. Ф., Літвінова О.В., Євсеєв С. П. Математичні моделі в штучному інтелекті: оптимізація алгоритмів для аналізу великих даних в ІТ-системах (*Комунальний заклад «Харківський ліцей № 124 Харківської міської ради», Національній технічний університет «Харківський політехнічний інститут»*)	780
13	Палєєв М. А., Палєєва К. М. Роль цифрових технологій у професійному виборі в технічній сфері (на прикладі нафтогазової галузі) (*Комунальний заклад «Харківська гімназія №77 Харківської міської ради», Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*)	783

ВІТАЛЬНІ СЛОВА УЧАСНИКАМ КОНФЕРЕНЦІЇ

Привітання від Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Шановні учасники конференції, шановні колеги!

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова та кафедра комп'ютерних наук і інформаційних технологій щиро вітають вас!

Ми, як організатори, надзвичайно раді, що, незважаючи на складні виклики сучасності, конференція зберігає високий рівень зацікавленості серед молоді, яка робить свої перші кроки в науці, молодих учених, а також їхніх наукових керівників.

Наша конференція є платформою для обміну думками, генерації нових ідей та поширення результатів наукових досліджень. Вже дев'ятий рік поспіль разом із колегами з Національного університету «Запорізька політехніка» та Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» ми проводимо цей науковий захід, який без перебільшення став помітною подією у науковому житті української та міжнародної ІТ-спільноти.

Участь у наукових дослідженнях відіграє надзвичайно важливу роль у формуванні сучасного фахівця. Вона сприяє розвитку критичного мислення, уміння аналізувати інформацію, знаходити нові рішення, здобувати практичний досвід, а також формує навички презентації результатів, ведення дискусії та командної роботи.

Особливо приємно відзначити динаміку розвитку конференції. Якщо у 2018 році було представлено 23 доповіді, то сьогодні ми маємо понад 260 поданих тез, з яких 257 пройшли рецензування та перевірку на наявність текстових запозичень.

Тематика конференції охоплює найактуальніші напрями ІТ-галузі – від фундаментальних теоретичних досліджень і проблем проєктування програмного забезпечення до прикладних задач. Розширюється і міжнародна складова: цьогоріч у конференції беруть участь представники провідних компаній та університетів з різних країн світу.

Значно зросло і представництво української наукової спільноти: учасники з 20 міст України та представники 52 закладів вищої і середньої освіти долучилися до роботи конференції. Ми щиро раді вітати кожного з вас!

Особливістю цьогорічної конференції стало впровадження нової учнівської секції «Молоді дослідники майбутнього», яка об'єднала представників закладів середньої та фахової передвищої освіти з різних міст України. Представлені роботи є цікавими, актуальними та демонструють високий потенціал майбутніх дослідників.

В організації пленарних та секційних засідань значну допомогу надали здобувачки третього (освітньо-наукового) рівня освіти Наталія Братерська та Валерія Черкасова, а також кандидат технічних наук, доцент Юрій Васильович Пахомов. Висловлюю їм щиру подяку за вагомий внесок у підготовку та проведення конференції.

Бажаю всім учасникам плідної роботи, нових наукових ідей, професійного зростання, розширення наукових горизонтів і, безумовно, миру в Україні!

Марина НОВОЖИЛОВА,
доктор фізико-математичних наук,
професор, завідувач кафедри
комп'ютерних наук
та інформаційних технологій
Харківського національного університету
міського господарства імені О. М. Бекетова

Привітання від Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

Шановні учасники конференції, шановні колеги, дорогі друзі!

Для мене, як завідувача кафедри системного аналізу та управління, є великою приємністю вітати вас на III (IX) Міжнародній науково-практичній конференції. Аналізуючи тематику поданих доповідей і ключові слова, можна відзначити, що значна увага приділяється системному підходу, моделюванню та аналізу, які сьогодні є основою розроблення сучасного програмного забезпечення та інформаційних технологій.

Цьогорічна конференція є вже третьою у статусі міжнародної, і ми впевнено спостерігаємо зростання кількості як українських, так і іноземних учасників. Водночас дев’ятирічна історія проведення конференції свідчить про її актуальність, затребуваність і сталий розвиток наукової спільноти.

Особливо приємно відзначити внесок організаторів конференції та подякувати всім, хто долучився до її підготовки та проведення. Завдяки спільним зусиллям цей захід став важливою платформою для обміну науковими ідеями та досвідом.

Важливим є і те, що конференція об’єднує різні покоління науковців. Сьогодні серед учасників є ті, хто вперше долучився до неї ще під час навчання на молодших курсах, а нині продовжує свій науковий шлях, демонструючи сталість і розвиток наукових інтересів.

Окремо слід підкреслити значущість проведення такого масштабного заходу в умовах сучасних викликів. Незважаючи на

складні обставини, конференція зібрала велику кількість учасників і доповідей, що свідчить про високий рівень зацікавленості молодих науковців і прагнення до розвитку.

Сьогодні конференція розпочинає свою роботу з рекордним представництвом, і ми переконані, що представлені доповіді будуть змістовними, актуальними та сприятимуть подальшому розвитку наукових досліджень.

Особливо цінним є зв'язок із випускниками, які реалізують себе у професійній діяльності, зокрема у провідних міжнародних ІТ-компаніях. Така взаємодія підтверджує практичну значущість наукових досліджень і їхній зв'язок із сучасними вимогами ринку.

Сучасна освіта та наука – це безперервний процес розвитку, що триває протягом усього професійного життя. Науково-практичні конференції відіграють важливу роль у цьому процесі, створюючи умови для обміну знаннями, ідеями та досвідом.

Щиро вітаю всіх учасників конференції, їхніх наукових керівників та організаторів і бажаю плідної роботи, нових наукових здобутків та професійного зростання!

Тімур ЖЕЛДАК,
кандидат технічних наук,
доцент,завідувач кафедри
системного аналізу та управління
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»

Привітання від Національного університету «Запорізька політехніка»

Шановні учасники конференції III (IX) Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених!

Щиро вітаємо вас із проведенням конференції, присвяченої актуальним проблемам і досягненням у сфері інформаційних технологій! Цей захід – чудова нагода для обміну ідеями, презентації власних наукових напрацювань та налагодження професійних контактів, які сприятимуть подальшому розвитку науки й освіти.

Не секрет, що сфера ІТ сьогодні є рушійною силою прогресу, і саме від молодих дослідників і фахівців нового покоління залежить, яким буде цифрове майбутнє України та світу.

Про цей непростий час все-таки хочу нагадати, коли прифронтові території щодня стикаються з викликами та частина нашої молоді розкидана по всьому світу, ваша наукова активність, прагнення до знань

і розвитку є особливо цінними. Ви демонструєте не лише професійну зацікавленість, але й силу духу, стійкість та віру в майбутнє.

Проведення цього наукового заходу в умовах прифронтових територій є свідченням високого рівня відповідальності, професійної зрілості та відданості науці. Ваша активна науково-дослідницька діяльність, прагнення до розвитку мають особливе значення для зміцнення наукового потенціалу нашої країни.

Сфера інформаційних технологій сьогодні є стратегічно важливою, оскільки забезпечує інструменти для прийняття ефективних рішень, розвитку цифрової інфраструктури та підтримки процесів відновлення і модернізації.

Інформаційні технології відіграють ключову роль у сучасному світі – від забезпечення безпеки до відновлення інфраструктури та розвитку економіки. Саме ваші ідеї, дослідження та інновації можуть стати фундаментом для відбудови та сталого розвитку.

Переконана, що результати вашої наукової роботи сприятимуть поглибленню фахових знань, налагодженню співпраці між університетами і навчальними закладами (особливість конференції 2026 – учнівська секція) та формуванню сучасного наукового середовища.

Бажаємо учасникам конференції плідної та змістовної роботи, конструктивних наукових дискусій, вагомих здобутків і подальших професійних успіхів. Нехай ця конференція стане платформою для реалізації сміливих ідей, обміну досвідом та формування наукової спільноти, здатної змінювати світ на краще.

Нехай ваша творчість та допитливість стануть основою для технологічних відкриттів і корисних рішень! Миру, сил і невичерпної енергії для досягнення всіх поставлених цілей!

Анна БАКУРОВА
доктор економічних наук, професор,
професор кафедри системного аналізу
та обчислювальної математики
Національного університету
«Запорізька політехніка»

Привітання від EPAM Systems

Шановні учасники конференції, шановні колеги!

Насамперед хочу привітати організаторів із початком конференції. Проведення такого заходу потребує значних зусиль, ретельної підготовки та великої відповідальності, тому щиро дякую всім, хто долучився до його організації.

Окремо хочу відзначити важливість співпраці між університетами та ІТ-індустрією. Сьогодні серед учасників представлені заклади освіти, з якими міжнародні ІТ-компанії активно взаємодіють і продовжуватимуть співпрацю в майбутньому.

Щиро дякую учасникам за те, що ви обираєте українські університети, долучаєтеся до наукових конференцій та підтримуєте розвиток українського наукового й освітнього середовища. Сподіваюся, що у своїй подальшій професійній діяльності ви також обиратимете українські ІТ-компанії та разом розвиватимете й відновлюватимете Україну.

З власного досвіду можу сказати, що участь у конференціях є надзвичайно цінною. Це не лише можливість представити результати досліджень, але й шанс розвивати професійні навички, розширювати світогляд, знайомитися з актуальними тенденціями ринку та формувати власну професійну траєкторію.

Важливо сприймати такі заходи не просто як формальність або етап підготовки наукової роботи, а як реальну можливість для розвитку, обміну ідеями та професійного зростання.

Сучасний ІТ-світ змінюється надзвичайно швидко: з'являються нові технології, інструменти, методології та підходи. У таких умовах безперервне навчання стає необхідністю, а конференції відіграють важливу роль у цьому процесі, допомагаючи залишатися в курсі змін і знаходити нові напрями для досліджень.

Тому закликаю вас активно використовувати цю можливість: навчатися, обмінюватися досвідом, будувати професійні зв'язки та постійно вдосконалювати свої знання.

Ще раз дякую за ваш вибір української освіти, науки та професійного середовища.

Бажаю всім плідної роботи, цікавих доповідей, нових ідей та успішного проведення конференції!

Єгор БОЖОК
Senior Talent Development Specialist
EPAM Systems

УДК 004.8:004.912:004.056

Ликова В.І.[1], Мікаутадзе Д.О.[2],
Бредіхін В.М.[3,]

МОДУЛЬ ВИЯВЛЕННЯ ФЕЙКОВИХ НОВИН ЯК КОМПОНЕНТ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Цифровізація інформаційного простору зумовила експоненційне зростання обсягів текстових даних, що циркулюють у соціальних мережах, новинних агрегаторах та корпоративних інформаційних середовищах. У цих умовах фейкові новини перетворюються на фактор ризику для управлінських, політичних та бізнес-рішень, формуючи викривлену інформаційну картину та знижуючи якість аналітики.

Тому, актуальним науково-прикладним завданням є розробка інтелектуальної експертної системи, здатної автоматизовано ідентифікувати фейкові новини та оцінювати рівень їх достовірності.

Упродовж останніх років підхід до виявлення фейкових новин еволюціонував від класичних методів машинного навчання до глибинних нейронних мереж та трансформерних архітектур [1]. Моделі типу BERT, RoBERTa та їхні доменно-спеціалізовані варіанти демонструють високу ефективність у задачах текстової класифікації завдяки контекстно-залежному представленню текстів. Подальший розвиток в цьому напрямку пов’язаний із використанням великих мовних моделей (LLM), які здатні не лише виконувати класифікацію, але й генерувати пояснення прийнятого рішення, що є важливим для підвищення довіри до результатів оцінювання. Водночас дослідження вказують на обмеження генеративних моделей, зокрема схильність до галюцинацій, чутливість до формулювання запиту та залежність від контекстного вікна [2].

Перспективним напрямом вважається інтеграція механізмів Retrieval-Augmented Generation (RAG), які поєднують генеративні можливості LLM із зовнішніми верифікованими джерелами знань. Такий підхід зменшує помилки та забезпечує фактологічну узгодженість кінцевих висновків. Також активно розвиваються методи Explainable AI (XAI), спрямовані на інтерпретованість результатів класифікації, що є важлиим для експертних систем обробки даних [3].

[1] студентка групи ІСтаТ 2022-1, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[2] студентка групи КН 2022-1, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[3] доцент кафедри КН та ІТ, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, к. т. н.

У межах дослідження було розроблено модуль для виявлення фейкових новин, який реалізує багаторівневу архітектуру обробки текстових даних. Попередня підготовка включала препроцесинг корпусу новин: очищення тексту, нормалізація, токенізація та видалення шумових елементів. Далі формувалось семантичне представлення тексту на основі трансформерних ембедінгів [4].

Класифікаційний модуль побудований за ансамблевим принципом і поєднує fine-tuned трансформерну модель із класичними алгоритмами машинного навчання для зменшення варіативності результатів. Окремий експертний модуль реалізує механізм RAG: твердження з новини зіставляються з релевантними джерелами у базі перевірених фактів, після чого LLM формує пояснювальний звіт із зазначенням ступеня впевненості.

Апробація була проведена на відкритих датасетах контенту новин та продемонструвала підвищення точності класифікації порівняно з базовими моделями, а також зниження частки хибнопозитивних результатів завдяки використанню зовнішньої верифікації.

Розроблений застосунок підтверджує доцільність гібридного підходу до виявлення фейкових новин у межах експертних систем обробки даних. Поєднання трансформерних моделей, механізмів зовнішньої верифікації та модулів пояснюваності забезпечує підвищення точності, стабільності та прозорості результатів.

Подальший розвиток доцільно спрямувати на: адаптацію моделей до багатомовного середовища та удосконалення механізмів оцінювання довіри та формування метрик невизначеності.

Отже, модуль для виявлення фейкових новин може покращити роботу систем підтримки прийняття рішень, орієнтованих на забезпечення інформаційної достовірності та підвищення якості управлінських рішень в умовах цифрової трансформації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Snehala, A., Durgha, S., Aswathi, R., & Gayathri, N. (2025). Fake news detection. *International Journal of Research Publication and Reviews, 6*(6), 2171–2174.

2. Nan, Q., Cao, J., Zhu, Y., Wang, Y., & Li, J. (2021). MDFEND: Multi-domain fake news detection. In *Proceedings of the 30th ACM International Conference on Information & Knowledge Management* (pp. 3343–3347).

3. Papageorgiou, E., Chronis, C., Varlamis, I., & Himeur, Y. (2024). A survey on the use of large language models (LLMs) in fake news. *Future Internet, 16*(298).

4. VikaLykova. (n.d.). *Fake-news-detection-LIAR-pytorch* [Computer software]. GitHub. https://github.com/VikaLykova/fake-news-detection-LIAR-pytorch

УДК 004.942

Білий В.В.[1]

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ЩОДО ВІДБУДОВИ ПОШКОДЖЕНИХ ОБ'ЄКТІВ ІНФРАСТРУКТУРИ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Вступ. Повномасштабна війна, розв'язана Російською Федерацією проти України, спричинила безпрецедентні руйнування цивільної інфраструктури. За даними Київської школи економіки, станом на кінець 2024 року прямі збитки від пошкодження та знищення інфраструктурних об'єктів перевищили 160 млрд доларів США [1]. Масштаб руйнувань висуває перед органами державного управління, місцевого самоврядування та міжнародними донорами складну задачу: яким саме чином відновлювати кожен конкретний об'єкт за обмежених фінансових ресурсів та в умовах високої невизначеності.

Наявні інформаційні системи фіксації руйнувань виконують переважно облікову функцію, не надаючи аналітичної підтримки для порівняння альтернатив відновлення. Водночас задача вибору способу відбудови є типовою задачею прийняття рішень у складних системах за умов невизначеності, що потребує формалізації та інформаційного забезпечення [2]. Невизначеність при цьому зумовлена неповнотою даних про фактичний стан об'єкта, мінливістю цін на будівельні матеріали, можливістю повторних пошкоджень та варіативністю обсягу необхідних робіт.

Метою даної роботи є формалізація задачі прийняття рішення щодо відбудови пошкоджених об'єктів інфраструктури як задачі вибору з множини альтернатив в умовах невизначеності, а також демонстрація інформаційно-аналітичного забезпечення цього процесу засобами розробленої системи підтримки прийняття рішень.

Основний матеріал. У рамках дослідження розроблено інформаційно-аналітичну систему (ІАС) підтримки прийняття рішень, яка інтегрує модулі фіксації пошкоджень [3], прогнозування вартості відновлення на основі машинного навчання та сценарного аналізу в межах цифрового двійника об'єкта [4]. Ключовим елементом системи є формалізований підхід до структурування задачі вибору альтернативи відновлення.

Задачу прийняття рішення щодо відбудови пошкодженого об'єкта формалізовано кортежем:

$$D = \langle A, K, H, A^*(h) \rangle, \tag{1}$$

де $A = \{a_1, ..., a_5\}$ – множина альтернатив відновлення: a_1 – капітальний ремонт, a_2 – поточний ремонт, a_3 – реставрація, a_4 –

[1] аспірант кафедри СА та ОМ, НУ «Запорізька політехніка»

знесення з подальшим новим будівництвом, a_5 – консервація (тимчасове збереження об'єкта у поточному стані);

K – вектор критеріїв оцінки альтернатив, що включає: прогнозовану вартість відновлення V, домінуючі фактори впливу на вартість (визначені за SHAP-аналізом [5]) та результати сценарного (what-if) перерахунку при зміні параметрів об'єкта;

H – множина рівнів культурної спадщини об'єкта: без статусу, місцевого, регіонального, національного або світового значення;

$A^*(h) \subseteq A$ – допустима підмножина альтернатив, що залежить від статусу спадщини конкретного об'єкта.

Введення елемента A*(h) є принциповим: не всі альтернативи є доступними для кожного об'єкта. Зокрема, для об'єктів національної культурної спадщини знесення може бути виключене з множини допустимих рішень, а пріоритетною стає реставрація. Таким чином, статус культурної спадщини виступає обмежуючим фактором, що звужує простір допустимих альтернатив.

Прогнозована вартість відновлення V формується ML-моделлю на основі XGBoost, навченою на реальних даних системи публічних закупівель Prozorro. Оціночна вартість S – вартість відновлення, визначена експертами та зафіксована у проєктно-кошторисній документації – виступає цільовою змінною при навчанні [6]. Для кодування категоріальних ознак використано комбінований підхід: one-hot кодування для номінальних змінних (тип будівлі, регіон) та фазифікацію з трикутними функціями належності для порядкових змінних (ступінь пошкодження, тип ремонту), що дозволяє зберегти інформацію про їх внутрішню градацію.

Інтерпретація прогнозів реалізована на основі TreeSHAP – алгоритму обчислення значень Шеплі для ансамблевих моделей на основі дерев рішень [7]. Для кожного об'єкта обчислюються SHAP-значення, що показують внесок кожної ознаки у відхилення прогнозу від середнього. Це забезпечує прозорість: особа, що приймає рішення (ОПР), бачить не лише числове значення вартості, а й розуміє, які саме параметри об'єкта найбільше впливають на формування прогнозу.

Невизначеність параметрів об'єкта враховується через механізм сценарного перерахунку (what-if аналіз). ОПР може змінити будь-яку характеристику об'єкта – ступінь пошкодження, тип ремонту, площу відновлення – та одразу отримати оновлений прогноз вартості разом із новою SHAP-інтерпретацією. Типові сценарії включають: зміну типу ремонту (наприклад, капітальний ремонт замість повної реконструкції), уточнення ступеня пошкодження, коригування обсягу робіт на ±10–20%.

Таким чином, для кожної допустимої альтернативи $a \in A^*(h)$ система формує аналітичну довідку, що містить: прогнозовану вартість V, перелік домінуючих факторів впливу та результати what-if

перерахунку. Фінальне рішення залишається за ОПР – система забезпечує структуровану інформаційну основу для порівняння альтернатив, але не нав'язує конкретний вибір.

Проілюструємо роботу системи на прикладі. Нехай зафіксовано пошкоджену будівлю загальноосвітньої школи. Система визначає, що об'єкт не має статусу культурної спадщини, отже $A^*(h) = A$ – доступні всі п'ять альтернатив. Для альтернативи «капітальний ремонт» прогноз вартості становить 40 млн грн, а для «знесення з новим будівництвом» – 65 млн грн. SHAP-аналіз показує, що найбільший вплив на вартість мають ступінь пошкодження та площа будівлі. Якщо ОПР за результатами додаткового обстеження змінює ступінь пошкодження з «тяжкого» на «середнє», вартість капітального ремонту знижується до 28 млн грн. Отже, ОПР отримує повну картину для обґрунтованого вибору оптимального варіанту.

Висновки. У роботі формалізовано задачу прийняття рішення щодо відбудови пошкодженого об'єкта інфраструктури як задачу вибору з множини альтернатив в умовах невизначеності. Запропоновано кортеж $D = \langle A, K, H, A^*(h) \rangle$, що описує множину альтернатив відновлення, критерії їх оцінки, рівні культурної спадщини та механізм звуження допустимих альтернатив залежно від статусу об'єкта.

Новизна підходу полягає у врахуванні належності об'єкта до культурної спадщини як обмежуючого фактора, що звужує множину допустимих рішень, у поєднанні з критеріями оцінки на основі ML-прогнозування, SHAP-інтерпретації та сценарного перерахунку. Розроблена ІАС реалізує запропонований підхід на основі гібридної архітектури, що поєднує монолітний веб-застосунок та ML-мікросервіс, забезпечуючи безперервний інформаційний цикл від фіксації пошкоджень до формування аналітичних довідок для ОПР.

Перспективи подальших досліджень включають впровадження механізму версійності сценаріїв для відстеження історії прийнятих рішень, а також розширення глобальної SHAP-інтерпретації для порівняльного аналізу факторів вартості у різних адміністративних розрізах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Kyiv School of Economics. (2024). *Russia will pay: Damage assessment*. https://kse.ua/russia-will-pay/

2. Бідюк, П.І., Тимощук, О.Л., Коваленко, А.Є., & Коршевнюк, Л.О. (2022). *Системи і методи підтримки прийняття рішень*: підручник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського.

3. Бакурова, А.В., & Білий, В.В. (2025). Розробка інформаційно-аналітичної системи для фіксації руйнувань внаслідок російської агресії. *Комунальне господарство міст*, 3(191), 2–10. https://doi.org/10.33042/2522-1809-2025-3-191-2-10

4. Serugga, J. (2025). Digital Twins and AI Decision Models: Advancing Cost Modelling in Off-Site Construction. *Eng*, 6(2), 22. https://doi.org/10.3390/eng6020022

5. Lundberg, S., & Lee, S.-I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30, 4768–4777. https://doi.org/10.48550/arXiv.1705.07874

6. Bakurova, A., & Bilyi, V. (2025). Development of an approach for predicting the cost of damaged infrastructure recovery with microservice implementation. *Technology Audit and Production Reserves*, 5(2(85)), 33–39. https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.339773

7. Lundberg, S., Erion, G., Chen, H., DeGrave, A., Prutkin, J., Nair, B., Katz, R., Himmelfarb, J., Bansal, N., & Lee, S.-I. (2020). From local explanations to global understanding with explainable AI for trees. *Nature Machine Intelligence*, 2(1), 56–67. https://doi.org/10.1038/s42256-019-0138-9

УДК 37.091.3:004.9

Симоненко М. А[1]., Желдак Т. А.[2]

АДАПТИВНА ДОРОЖНЯ КАРТА ЯК ІНСТРУМЕНТ ПРОФЕСІЙНОГО РОЗВИТКУ КОРИСТУВАЧА

У наш час професійні вимоги до фахівців змінюються з великою швидкістю. Роль безперервного навчання зростає все більше, але розплановане навчання, яке було сформовано раніше, може дуже швидко застаріти, а сама траєкторія навчання для людини не змінилася. У таких умовах особливого значення набувають цифрові рішення, які дозволяють будувати не універсальні, а індивідуалізовані маршрути професійного розвитку користувача. У цій статті пропонується рішення: адаптивна дорожня карта. Ця карта виступає інструментом поєднання кар'єрної мети користувача, його стартового профілю та послідовності кроків, необхідних для досягнення практичного результату.

Головна проблема традиційних моделей навчання полягає у тому, що побудована на заздалегідь визначеній послідовності тем та матеріалів — може дуже швидко застаріти, бо швидкість обробки інформації людини та більшості систем недостатня [1] [2]. До того ж, може бути проблема із запізненням отримання відновленої інформації. Додатковою проблемою є те, що універсальна траєкторія може не враховувати бажання та цілі користувача. На відміну від традиційних моделей, адаптивна дорожня карта формується, враховуючи цілі, попереднього досвіду, часових обмежень та **поточного** прогресу користувача, який підхід дозволяє перейти від формального

[1] Аспірант групи 124А-23-10, НТУ "Дніпровська Політехніка".

[2] Доцент та завідувач кафедри "системного аналізу та управління", НТУ "Дніпровська Політехніка".

проходження навчального контенту до побудови цілісного професійного маршруту, орієнтованого на конкретний прикладний результат: опанування нової професії, перехід до нової ролі, закриття прогалин у знаннях або розвиток уже наявних компетентностей.

Методологічною основою побудови адаптивної дорожньої карти є кілька взаємопов'язаних елементів:

1. Персоналізація на вході. На відміну від загальних професійних шаблонів, траєкторія формується за профілем користувача: мета, рівень підготовки, контекст країни/ринку, ніша, стартові компетентності. Це зменшує частку нерелевантних етапів і підвищує прикладну цінність кожного блоку розвитку.

2. Багатоетапна діагностика. Генерації маршруту передує структурована процедура уточнення даних, а не один вільний запит. Багатоетапність підвищує якість вхідних параметрів моделі та знижує ймовірність помилкового планування. Приклад продемонстрований на рис. 1 та рис. 2, де на рис. 2 ми можемо побачити, що питання адаптується під минулі відповіді та під запит.

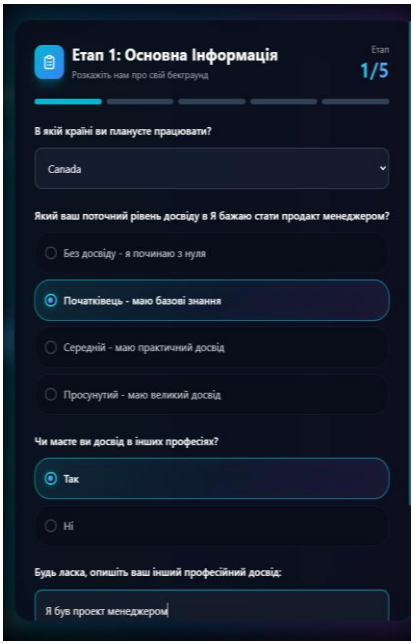


Рисунок 1 – Перший етап опитувальника



Рисунок 2 – Другий етап опитувальника

3. Динамічність після старту. Дорожня карта оновлюється після отримання нових даних про прогрес і результати активностей. Це забезпечує стійкість системи до змін у темпі навчання та реальному рівні засвоєння матеріалу.

4. Інтеграція з оцінюванням. Симуляції, екзамени та звіти виступають керуючими сигналами для наступних кроків розвитку. Отже, рішення про модифікацію маршруту приймаються на основі доказових метрик, а не декларативної самооцінки. Демонстрація симуляцій на рисунках 3 та 4.

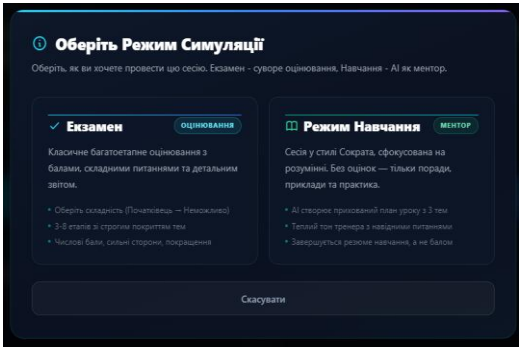


Рисунок 3 - Обрання симуляції навчання чи перевірки знань

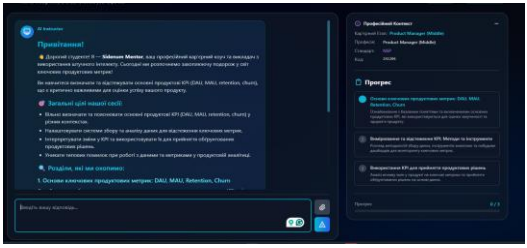


Рисунок 4 - процес навчання через симуляцію

5. Компетентнісна логіка. Одиницею управління є компетентність і рівень її сформованості, а не просто факт проходження контенту. Це дозволяє зіставляти результати розвитку з вимогами вакансій та корпоративними профілями ролей.

6. Двоконтурність застосування. Одна методологія підтримує як індивідуальний розвиток користувача, так і корпоративні L&D-сценарії. Така уніфікація забезпечує цілісність даних та узгодженість рішень на рівні користувача і організації.

7. Прозорість і керованість. Рольова модель доступу, аудит дій і аналітична звітність переводять дорожню карту з рівня “освітнього сервісу” на рівень “інструмента управління компетентностями”.

Порівняння з базовими принципами. Базова дорожня карта, як правило, лінійна, контент-центрична та слабо адаптована до змін у профілі користувача. Її сильна сторона — простота, але вона програє за точністю рекомендацій і вимірюваністю результату. Адаптивна модель, навпаки, складніша, проте забезпечує:

- вищу релевантність навчальних кроків;
- меншу кількість “зайвих” активностей;
- кращу узгодженість між навчанням і оцінюванням;
- вищу об’єктивність у фіксації професійного прогресу;
- кращу придатність до прийняття кадрових і управлінських рішень.

Висновки. Адаптивна дорожня карта є рішенням у питанні динамічної підтримки розвитку користувача. Ключова перевага — це поєднання персоналізованого планування, багатоетапної діагностики, інтегрованого оцінювання та механізму постійної корекції траєкторії.

Отже, адаптивна дорожня карта може розглядатися як ефективний інструмент професійного розвитку користувача, оскільки забезпечує персоналізований, послідовний і практично орієнтований маршрут досягнення професійної мети. Її застосування в межах цифрової платформи дозволяє поєднати діагностику, навчання, практичну перевірку, аналітику та підтримку подальшого кар’єрного просування в єдиній системі. Перспективи подальших досліджень пов’язані з розробкою формалізованих моделей оцінювання

ефективності адаптивних дорожніх карт, розширенням критеріїв аналітичної підтримки та вдосконаленням механізмів автоматичного коригування маршруту на основі накопичених даних про користувача.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Brusilovsky, P. (2001). Adaptive Hypermedia. *User Modeling and User-Adapted Interaction, 11*(1–2), 87–110. https://doi.org/10.1023/A:1011143116306

2. du Plooy, E., Casteleijn, D., & Franzsen, D. (2024). Personalized adaptive learning in higher education: A scoping review of key characteristics and impact on academic performance and engagement. *Heliyon, 10*(20), e39630. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39630

3. Papamitsiou, Z., & Economides, A. A. (2014). Learning Analytics and Educational Data Mining in Practice: A Systematic Literature Review of Empirical Evidence. *Educational Technology & Society, 17*(4), 49–64.

4. Baker, R. S., & Siemens, G. (2020). Learning Analytics and Educational Data Mining. In *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* Cambridge University Press.

СЕКЦІЯ 1 МОДЕЛЮВАННЯ, АНАЛІЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

УДК 004.89

Дегтярьов В.В.[1], Боровик В.О.[2]

АЛГОРИТМ ШВИДКОЇ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ АНСАМБЛЕВИХ ДЕРЕВНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

Широке застосування ансамблевих методів машинного навчання, таких як Random Forest, Gradient Boosting (XGBoost, LightGBM), у критично важливих сферах (фінансові технології, медицина, кібербезпека) вимагає не лише високої точності прогнозування, а й прозорості прийняття рішень (Explainable AI, XAI). Існуючі методи локальної інтерпретації мають суттєві обмеження: LIME (Local Interpretable Model-agnostic Explanations) [1] базується на локальній лінійній апроксимації, що не гарантує точність відображення логіки моделі (fidelity < 100%) та є обчислювально складним через необхідність генерації пертурбацій. Метод SHAP (SHapley Additive exPlanations) [2], зокрема алгоритм TreeSHAP, забезпечує точність, але має високу обчислювальну складність та надає пояснення у вигляді ваг ознак, що є менш зрозумілим для кінцевого користувача порівняно з логічними правилами.

Алгоритм включає три ключові етапи оптимізації продуктивності:

1. Попередня індексація шляхів (Precomputed Paths). Для уникнення витратної процедури обходу дерева під час кожного запиту, на етапі ініціалізації будується хеш-мапа "ідентифікатор листа -> набір умов". Це дозволяє звести задачу отримання логічного шляху для конкретного прикладу до операції пошуку $O(1)$ після отримання індексів листів (що виконується нативно бібліотеками, наприклад, через `apply` в scikit-learn).
2. Агрегація за частотою (Frequency-based Aggregation). Умови (пара "ознака-оператор" та поріг) з усіх дерев голосуючих за клас-переможець збираються та ранжуються за частотою появи. Це дозволяє відфільтрувати шум, властивий окремим слабким класифікаторам, та виділити стійкі патерни.
3. Жадібний конструктивний відбір (Forward Selection). Замість повного перебору або відсікання (pruning) великої кількості умов, застосовується стратегія "знизу-вгору". Алгоритм ітеративно додає найбільш часті умови до правила, перевіряючи точність (precision) на фоновій вибірці. Процес зупиняється при досягненні заданого порогу точності (наприклад, 95%) або максимальної

[1] аспірант кафедри Комп'ютерних наук СумДУ
[2] доцент кафедри кафедри Комп'ютерних наук СумДУ

складності, що гарантує компактність пояснення.

Експериментальне дослідження проведено на наборах даних "Credit Risk" та "Credit Fraud" з використанням моделі Random Forest (50 дерев). Результати порівняння з LIME та TreeSHAP наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз методів пояснення (платформа Apple M1 Pro)

Метод	Час виконання (ms)	Точність (Precision)	Складність (К-сть умов)
GPE-Ensemble	42.5	0.985	2.6
LIME (Tabular)	54.9	0.824	5.0
TreeSHAP	816.7	1.0	11.0

Як свідчать результати, запропонований метод перевершує LIME за швидкодією (на 22%) та точністю, забезпечуючи при цьому значно вищий рівень інтерпретованості завдяки формуванню компактних правил (в середньому 2.6 умови проти фіксованих 5 у LIME). У порівнянні з TreeSHAP, метод є швидшим на порядок (у ~19 разів), що дозволяє використовувати його в високочастотних системах прийняття рішень.

Результати роботи реалізовано у вигляді відкритої бібліотеки `gpe-framework` [3], доступної в репозиторії PyPI.

Висновки Запропонований алгоритм Fast Consensus у рамках фреймворку GPE дозволяє ефективно вирішувати задачу локальної інтерпретації ансамблевих моделей. Метод забезпечує баланс між точністю (fidelity), швидкістю та компактністю пояснення, що робить його перспективним для впровадження в системах реального часу, де критичною є затримка (latency) менше 100 мс.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ribeiro, M. T., Singh, S., & Guestrin, C. (2016). "Why should I trust you?": Explaining the predictions of any classifier. In *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 1135–1144). ACM. https://doi.org/10.1145/2939672.2939778

2. Lundberg, S. M., & Lee, S.-I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30, 4765–4774.

3. Dehtiarov, V. (2026). *GPE-Framework: Python library for Greedy-Prune-Explain* (Version 1.1.0) [Computer software]. PyPI. https://pypi.org/project/gpe-framework/

УДК 004.942 Коростій Д.М.[1], Дружинін Є.А.[2]

ЦИФРОВІ ДВІЙНИКИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МІКРОМЕРЕЖ

Сучасний стан енергетичної системи України характеризується підвищеним рівнем ризиків, зумовлених воєнними діями, цілеспрямованими атаками на об'єкти енергетичної та критичної інфраструктури, а також необхідністю післявоєнного відновлення та подальшої інтеграції з європейською енергосистемою. За цих умов децентралізація генерації електроенергії розглядається як один із ключових напрямів підвищення стійкості, надійності та енергоефективності національної енергосистеми.

Децентралізована енергетика передбачає формування великої кількості локальних об'єктів малої генерації та когенерації, активну участь споживачів у виробництві електроенергії, а також створення інтелектуальних енергетичних мікромереж [1]. Такі мікромережі можуть функціонувати як у складі об'єднаної енергосистеми, так і в ізольованому (острівному) режимі, забезпечуючи електропостачання об'єктів критичної інфраструктури, житлових, громадських та промислових споживачів.

Водночас процеси генерації, розподілу та споживання електроенергії в децентралізованих мікромережах характеризуються високою динамічністю, стохастичністю та залежністю від зовнішніх факторів, що ускладнює їх моделювання та керування. Це зумовлює необхідність застосування сучасних інтелектуальних методів та інформаційних технологій, здатних забезпечити адаптивне функціонування мікромереж у режимі реального часу.

Одним із перспективних підходів до вирішення зазначених проблем є використання концепції цифрових двійників [2]. Цифровий двійник мікромережі розглядається як віртуальна модель фізичної енергетичної інфраструктури та енергетичних процесів, що постійно оновлюється на основі даних, отриманих від пристроїв промислового Інтернету речей, інтелектуальних лічильників і систем моніторингу. Такий підхід дозволяє поєднати імітаційне моделювання, аналіз великих даних та методи машинного навчання в єдиній інформаційній технології.

У роботі пропонується підхід до побудови інтелектуальної децентралізованої енергетичної мікромережі, що базується на інтеграції

[1] аспірант, Національний аерокосмічний університет «ХАІ»
[2] професор кафедри інформаційних технологій проєктування, Національний аерокосмічний університет «ХАІ», д. т. н., проф.

технологій промислового Інтернету речей, енергоефективних бездротових мереж LPWAN, мультиагентного імітаційного моделювання та цифрових двійників. Дані про стан елементів мікромережі (ліній, трансформаторів, навантажень, накопичувачів енергії, джерел генерації) збираються в режимі реального часу та використовуються для адаптації моделей цифрового двійника.

Запропоновано використання мультиагентного підходу для імітаційного моделювання взаємодії розподілених енергетичних ресурсів, споживачів та систем зберігання енергії. Кожен агент характеризується власними параметрами, цілями та обмеженнями, що дозволяє адекватно відобразити децентралізований характер мікромережі. Такий підхід забезпечує можливість реалізації алгоритмів балансування навантажень, координації генерації та оптимізації режимів роботи мікромережі.

Особливу увагу приділено методам предиктивної аналітики енергоспоживання, які враховують історичні дані, поточні вимірювання, а також вплив ризиків і надзвичайних ситуацій. Використання методів машинного навчання в поєднанні з цифровими двійниками дозволяє здійснювати прогнозування навантажень і вироблення електроенергії, а також формувати випереджувальні управлінські рішення.

Висновки. Розроблена інформаційна технологія функціонування інтелектуальних децентралізованих мікромереж забезпечує інтеграцію процесів моніторингу, моделювання, прогнозування та інтелектуального аналізу даних. Застосування цифрових двійників дозволяє безпечно досліджувати різні сценарії роботи мікромереж, оцінювати наслідки змін конфігурації та режимів функціонування, а також своєчасно виявляти ранні ознаки критичних подій в енергетичній системі.

Отримані результати створюють наукове підґрунтя для підвищення стійкості та енергоефективності децентралізованих енергетичних систем, а також можуть бути використані при проєктуванні та експлуатації інтелектуальних мікромереж у процесі післявоєнного відновлення енергосистеми України.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Aghazadeh Ardebili, A., Zappatore, M., Ramadan, A. I. H. A., Longo, F., & Padovano, A. (2024). Digital twins of smart energy systems: A systematic literature review on enablers, design, management and computational challenges. Energy Informatics, 7, article no. 94. https://doi.org/10.1186/s42162-024-00385-5

2. Bassey, K. E., Opoku-Boateng, J., Antwi, B. O., Olatunji, O. O., & Akinlabi, E. T. (2024). Digital twin technology for renewable energy microgrids. Engineering Science & Technology Journal, 5(7), 2248–2272. https://doi.org/10.51594/estj.v5i7.1319.

UDC 656.025 Protasov N.O.[1], Litvinov A.L.[2]

OPTIMIZATION OF DRINKING WATER DELIVERY ROUTES

Introduction. Within the modern city, delivery services have become an integral part of everyday life. A special place among them is occupied by the delivery of drinking water, which has a number of specific features: significant cargo weight, limited transport capacity, the need to adhere to time intervals and high sensitivity of customers to delays. Unlike the delivery of small goods, in this case the logistics component directly affects not only the economic efficiency of the service, but also the quality of service to the end consumer.

The organization of drinking water delivery within the city is complicated by the increasing number of orders, the density of urban development, uneven traffic load and the need to work within specified time windows. In such conditions, intuitive or static route planning quickly loses its effectiveness, which leads to an increase in delivery time, overspending of resources and a decrease in the level of service. This makes the task of optimizing delivery routes taking into account time constraints relevant.

This research paper considers the problem of optimizing the route for delivering drinking water within the city of Kharkiv with an orientation towards minimizing the total delivery time. The main focus is on a basic practical scenario using one courier, which allows us to focus on the correct formulation of the problem, the construction of a mathematical model and the choice of an algorithmic approach.

Main material. The service of delivery of drinking water within the city is a complex logistic system that combines physical movement of goods, time constraints of customer service and the need for prompt decision-making regarding route construction. Unlike the classical tasks of delivery of long-term storage goods, delivery of drinking water has increased requirements for regularity, timeliness and stability of order fulfilment, since it is directly related to the basic needs of the population.

The logistics infrastructure of the service assumes the presence of a stationary warehouse from which the drinking water is shipped. The warehouse is considered as the only starting point of the courier's route, and in some scenarios - also as the end point after the delivery is completed. This assumption allows us to formalize the routing problem and reduce the number of variables at the initial stage of the study, without losing the generality of the approach.

Within the basic delivery scenario, one courier is used, who sequentially serves a set of orders during the work shift. Each order is

[1] student of the M KN 2024-1 group, O.M. Beketov NUUE
[2] professor of CSIT department, O.M. Beketov NUUE, D.E.Sc

characterized by a delivery address, a volume of water and a time window within which the delivery is considered correct. Failure to comply with the time constraints leads to a decrease in the quality of service and actually makes the route unacceptable from a practical point of view. The main scenario considered and implemented within the qualification work is the delivery of drinking water using one courier. The courier delivers orders sequentially, starting the route from a stationary warehouse and servicing all orders within one work shift.

Each order is characterized by a delivery address, cargo volume, and a time window within which delivery is considered acceptable. The main optimization criterion is to minimize the total route time while taking into account the need to adhere to time constraints.

It is advisable to represent the urban transport network as a directed weighted graph G = (V, E), where the set of vertices V corresponds to key spatial points, and the set of edges E – possible ways of moving between them. The set of vertices includes: the initial vertex corresponding to the stationary warehouse; vertices corresponding to the addresses of order delivery; auxiliary vertices reflecting elements of the urban road network (intersections, junctions). Each edge (i, j) ∈ E is assigned a weight t_ij, which is interpreted as the time of movement between vertices i and j. Unlike classical problems of finding the shortest path, in this work it is the time weights that are decisive, since the correctness of the route depends on the possibility of fulfilling orders within the given time windows. The time of arrival of the courier to the vertex v_k is denoted as τ_k. For the correct execution of the order, the condition of completing the service within the permissible time window must be met:

$$\tau\_k + s\_k \le b\_k. \quad (1)$$

The total volume of delivered water is used as the courier's resource constraint:

$$\sum q\_k \le Q. \quad (2)$$

As the objective function of the optimization, we will use the sum of the time costs for moving between consecutive vertices:

$$T(R) = \Sigma\, t\_ij. \quad (3)$$

For delivery problems with time constraints, heuristic and approximate methods are widely used in practice [1]. Such approaches include greedy route construction algorithms, local search, and various options for sequentially adding orders to the route with admissibility checks over time windows. The essence of the heuristic approach is to build a route by gradually selecting the next delivery point based on local criteria, such as the minimum additional travel time or the closest completion of the time window. Although such algorithms do not guarantee global optimality, they allow obtaining practically suitable solutions with low computational costs.

Within the framework of this work, a combined approach to building a delivery route is chosen. To estimate the travel time between individual points, the shortest path search on the urban transport network graph with elements of the A* algorithm is used. At the highest level of route construction, a heuristic approach to ordering orders taking into account time windows is used [2]. This choice is due to the desire for a balance between the accuracy of the solution and the practical applicability of the algorithm. The proposed approach allows for effective work in a real urban environment, provides sufficient flexibility for integration with the courier's mobile application, and creates a basis for further scaling of the system.

Conclusions. The problem of optimizing the route for delivering drinking water within the city of Kharkiv is considered with a focus on minimizing the total delivery time in the presence of time windows. The urban environment is formalized in the form of a weighted graph and a mathematical model is built that takes into account the time constraints of orders and the resource constraints of the courier (capacity, service time). A combined algorithmic approach is justified: the use of cartographic services to estimate the travel time between points and heuristics to construct an acceptable order of visiting addresses while observing time windows.

REFERENCES

1. Cormen, TH, Leiserson, CE, Rivest RL (2009) Introduction to Algorithms. 3rd ed. MIT Press

2. Michael L. Pinedo (2022). Scheduling. Theory, Algorithms, and Systems. Springer.

УДК 519.8

Станіна О. Д.[1], Коряшкіна Л. С.[2],
Похіл О.І.[3]

СЦЕНАРНИЙ ПІДХІД ЩОДО ОПТИМІЗАЦІЇ ДВОЕТАПНОГО РОЗПОДІЛУ МАТЕРІАЛЬНИХ ПОТОКІВ В СИСТЕМАХ ЕКСТРЕНОЇ ЛОГІСТИКИ

Вступ. Екстрена логістика сьогодні формуються як один із ключових міждисциплінарних напрямів досліджень у галузі безпеки життєдіяльності, оскільки саме від ефективності логістичних рішень значною мірою залежить мінімізація людських і матеріальних втрат у разі надзвичайних ситуацій природного, техногенного чи воєнного

[1] Канд. техн. наук, доцент кафедри системного аналізу та управління Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

[2] Доктор техн. наук, професор кафедри системного аналізу та управління Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

[3] Аспірант Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

характеру [1]. Зростання частоти аварій і кризових подій, ускладнення умов функціонування інфраструктури вимагають переходу від інтуїтивних або нормативно-фіксованих схем реагування до науково обґрунтованих моделей планування евакуаційних і матеріальних потоків з урахуванням часових, просторових та ресурсних обмежень. Екстрена логістика розглядається як система наукових підходів і практичних інструментів управління потоками в умовах високої невизначеності, дефіциту часу та обмеженості ресурсів. Її ключовими завданнями є координація дій між пунктами збору населення, розподільчими та безпечними центрами, транспортними засобами й службами реагування, а також забезпечення безперервності та керованості евакуаційних процесів. Особливе значення при цьому має раціональний вибір місць розташування проміжних логістичних об'єктів і формування зон їх обслуговування, що безпосередньо впливає на швидкість і безпечність переміщення населення [2].

Основний матеріал. У роботі екстрена логістика аналізується на макрорівні. Розглядається задача оптимального просторового розміщення та двоетапного розподілу людських або матеріальних потоків у межах регіону. Дослідження зосереджене на сценарному підході, який дозволяє врахувати умови перебігу різних можливих надзвичайних ситуацій та пов'язану з ними невизначеність. Такий підхід є принципово важливим, оскільки параметри реальних кризових подій заздалегідь невідомі, а прийняті рішення мають бути достатньо гнучкими та стійкими до змін умов.

Запропонована модель евакуації населення, що здійснюється у два етапи: самостійне переміщення мешканців постраждалої території до пунктів первинного збору та подальше організоване їх транспортування до тимчасових пунктів розміщення. У цьому контексті ключовим є визначення оптимального розміщення первинних пунктів збору, формування закріплених за ними зон евакуації, а також розподіл евакуаційних потоків між доступними кінцевими пунктами для кожного зі сценаріїв надзвичайної ситуації. Критерієм оптимальності обрано мінімізацію середніх за всіма сценаріями сукупних витрат, які відображають як зусилля населення на першому етапі евакуації, так і витрати на транспортне обслуговування та можливе розширення місткості безпечних центрів.

Метод розв'язання задачі ґрунтується на використанні апарату теорії неперервних лінійних задач оптимального розбиття множин і теорії двоїстості. Урахування імовірностей реалізації різних сценаріїв надзвичайних ситуацій забезпечує отримання узагальненого оптимального рішення, орієнтованого не на окремий випадок, а на систему можливих загроз. Водночас частина параметрів моделі визначається як розв'язок допоміжної оптимізаційної задачі з негладкою

цільовою функцією, що зумовлює необхідність застосування спеціалізованих чисельних методів.

Висновок. Розроблена модель оптимізації екстреної логістики з двоетапним розподілом потоків поєднує просторовий аналіз, сценарний підхід і сучасні методи оптимізації, що відкриває перспективи її подальшого розвитку в напрямі деталізації транспортних обмежень, урахування динаміки потоків у часі та інтеграції з геоінформаційними системами для підтримки оперативних управлінських рішень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Koriashkina L., Us S., Odnovol M., Stanina O., Dziuba S. (2024). Two-stage problems of optimal location and distribution of the humanitarian logistics system's structural subdivisions. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 1, 130–139. https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-1/130

2. Коряшкіна Л. С., Лубенець Д. Є. (2024). Системний аналіз та математичне моделювання частково-двоетапних процесів розподілу матеріальних потоків. System technologies, 1(150), 86–99. https://doi.org/10.34185/1562-9945-1-150-2024-08

УДК 004.942

Цибульська О.В., [1] Коряшкіна Л. С.[2]

УДОСКОНАЛЕННЯ SIRSS-МОДЕЛІ ЕПІДЕМІЧНОЇ ДИНАМІКИ З УРАХУВАННЯМ ЗАЛИШКОВОЇ ЗАРАЖУВАНОСТІ ЗАХИЩЕНОЇ ПОПУЛЯЦІЇ

Вступ. Сучасні математичні моделі, що розробляються і використовуються для опису поширення епідемій, мають враховувати багатоваріантність розвитку подій, зміни поведінки населення, обмеження, пов'язані з неповнотою та неточністю емпіричних даних. Особливої актуальності це набуває для моделей пандемічних процесів, де взаємодія біологічних і соціальних механізмів істотно визначає динаміку захворюваності.

Основний матеріал. У роботі розглянуто модифікацію епідеміологічної моделі SIRSS, запропонованої в [1], яка поєднує класичний підхід SIR з урахуванням динаміки соціального стресу. Базовою ідеєю моделі є те, що поведінка людей істотно впливає на перебіг епідемії: на початкових етапах спалаху зростає дисципліна, дотримання карантинних обмежень знижує рівень зараження, однак з часом накопичення втоми й виснаження призводить до послаблення

[1] Здобувач вищої освіти наукового ступеня «магістр» Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

[2] Доктор техн. наук, професор кафедри системного аналізу та управління Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

захисної поведінки та формування наступних хвиль захворюваності. У моделі SIRSS ці процеси формалізовано через поділ сприйнятливого населення на групи, що відповідають різним стадіям соціального стресу, описаним у теорії загального адаптаційного синдрому Ганса Сельє. Разом з тим, у вихідній версії моделі зроблено припущення про практичну несприйнятливість раціонально резистентної групи населення до інфекції, що не узгоджується з фактичним перебігом пандемії COVID-19. Навіть за суворого дотримання карантинних заходів та використання засобів індивідуального захисту ризик зараження не зникає повністю, а соціальний стрес, на відміну від біологічних параметрів, значною мірою визначається культурними особливостями та інтенсивністю соціальних контактів. Метою даного дослідження є підвищення точності математичного опису першої хвилі епідемії шляхом модифікації моделі SIRSS з урахуванням залишкового ризику зараження серед раціонально резистентної частини населення, тобто тих осіб, які дотримуються карантину і користуються засобами індивідуального захисту.

Запропоноване удосконалення полягає у введенні механізму інфікування осіб із відповідної групи через додатковий нелінійний член, пропорційний квадрату кількості інфікованих. Такий підхід відображає ефект колективного вірусного навантаження, за якого при невеликій кількості хворих ризик зараження для захищених осіб є низьким, але різко зростає під час пікових фаз пандемії. Це дозволяє змоделювати перенасичення середовища вірусом у громадських місцях або ефект множинних контактів, коли ефективність індивідуального захисту зменшується зі зростанням кількості носіїв інфекції. Параметр нововведеного механізму оцінювався шляхом мінімізації середньоквадратичного відхилення між модельною кривою та історичними кумулятивними даними про захворюваність. Для параметричної ідентифікації використано відкриті статистичні дані про перебіг пандемії COVID-19 для 169 країн світу, зібрані проєктом Our World in Data за період з січня 2020 року по травень 2021 року. Результати моделювання засвідчили, що удосконалена модель демонструє стабільно вищу якість апроксимації порівняно з базовою версією, що підтверджується значеннями коефіцієнта детермінації, які перевищують 0,95 для всіх досліджуваних країн, а у більшості випадків – від 0,97 до 0,99. Суттєве покращення якості моделювання виявлено для країн з високою щільністю соціальних контактів, колективістською культурою, значною мобільністю населення. Це узгоджується з інтерпретацією параметра заражуваності захищених осіб, значення якого істотно варіюється між відповідними країнами. Водночас базовий параметр зараження зберігає відносну стабільність, що свідчить про структурну стійкість моделі.

Висновок. Запропонована модифікація моделі SIRSS дозволяє врахувати залишковий ризик зараження захищеної частини населення та підвищує адекватність опису епідемічної динаміки. Отримані результати підтверджують доцільність використання удосконаленої моделі для порівняльного аналізу перебігу пандемій у різних країнах, для підтримки управлінських рішень у сфері епідеміологічного контролю з урахуванням соціальних і культурних чинників.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Kastalskiy, I., Zinovyev, A.Y., Mirkes, E.M., Kazantsev, V.B., & Gorban, A.N. (2023). Exploring the impact of social stress on the adaptive dynamics of COVID-19: Typing the behavior of naïve populations faced with epidemics. *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.,* **132**, 107906.

УДК 330.131.7:339.172

Шмалько Р. Є[1]., Коряшкіна Л. С.[2]

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ТА МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ В АГРАРНОМУ СЕКТОРІ

Вступ. На сьогоднішній день аграрний сектор є однією з найбільших галузей економіки України. З моменту здобуття незалежності українська сільськогосподарська продукція, в більшій масі, орієнтована на експорт. За короткий період вона стала гідним конкурентом усім світовим виробникам. Однак, вітчизняним виробникам бракує досвіду в аналізі цінових та кількісних трендів на ринку сільськогосподарської продукції, а також дієвих методів диверсифікації ризиків.

Актуальним напрямом наукових досліджень є системний аналіз тенденцій та закономірностей появи ризиків у аграрному секторі, зокрема, у трейдингу сільськогосподарської продукції, виявлення деструктивних факторів, що впливають на функціонування суб'єктів господарювання. Як зазначено в [1], безпосереднє дослідження критичної ситуації, визначення категорії ризику і специфіки рішень, що приймаються, сприяє визначенню шляхів його перетворення в активний важіль управління економічним розвитком підприємства, підвищенню рівня конкурентоспроможності.

Основний матеріал. Сутнісно-змістовну характеристику ризику з позицій інтегрованого підходу розкрито у роботі [2]. Згідно останнього, під ризиком розуміють об'єктивно-суб'єктивну категорію, що характеризує невизначеність у сучасному економічному просторі

[1] Аспірант Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
[2] Доктор техн. наук, професор кафедри системного аналізу та управління Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

внаслідок дії факторів бізнес-середовища, які мають як прямий, так і непрямий вплив на діяльність підприємства.

Джерела виникнення ринкових ризиків аграрних підприємств досліджено [3]. Тут також визначені типові організаційні структури, що забезпечують управління ринковими ризиками.

Основними критеріями визначення економічних факторів ризику підприємств аграрного сектору є джерело походження (зовнішні та внутрішні фактори) і ступінь впливу (прямі та непрямі фактори). До зовнішніх факторів прямого впливу відносяться: законодавча політика держави щодо регулювання господарської діяльності та непередбачені дії органів державної влади та місцевого самоврядування; податкова система; відносини з партнерами; конкуренція.

Найбільш поширеними методами аналізу ризиків є: 1) статистичний метод, який вивчає статистику збитків та прибутку, які мали місце на даному чи подібному підприємстві, з метою визначення ймовірності події, для визначення величини ризику; 2) метод експертних думок, який передбачає збір та вивчення оцінок, зроблених різними фахівцями щодо ймовірності різного рівня втрат; 3) аналітичний метод, що базується на елементах теорії ігор. Основні його кроки: вибір ключового показника, за яким оцінюється чутливість (внутрішня норма прибутку, чистий поточний прибуток тощо); вибір факторів (рівень інфляції, стан економіки тощо); розрахунок значень ключового показника на різних етапах реалізації проекту (закупівля сировини, виробництво, впровадження, транспортування, капітальне будівництво тощо).

Управління ризиками передбачає пошук і реалізацію рішень, спрямованих на зменшення можливих втрат підприємства. Першочерговим етапом є ідентифікація ризиків – оцінювання параметрів бізнес-ланцюга створення вартості, які реагують на конкретні ринкові ризики (коливання іноземної валюти, зміна відсоткової ставки тощо). На цьому етапі завчасно виявляються потенційні загрози та розробляти відповідні заходи для їх мінімізації. У роботі [4], приміром, проведено класифікацію загроз за допомогою SWOT-аналізу. Наступним робочим етапом типового життєвого циклу управління ринковими ризиками є агрегація або консолідація ризиків, на якому визначається загальна вартість ризикової операції. Далі виконується операція хеджування, яка передбачає визначення фінансового інструменту для компенсації впливу ризику на роботу аграрної компанії. Основними стратегіями управління ризиками є його уникнення, пом’якшення, прийняття або передача. Кожна з них має свої переваги та є доцільною в різних ситуаціях. Вибір їх залежить від характеру негативних чинників, фінансових можливостей підприємства, його стратегічних цілей. Серед основних методів управління ризиками на підприємствах аграрного комплексу виділяють

страхування, використання новітніх технологій, впровадження інновацій, диверсифікацію ризиків, впровадження і розбудова системи ризик-менеджменту. Важливою заключною складовою життєвого циклу управління ризиками є зменшення ризику і оцінка продуктивності, яка визначає ступінь успішності впровадження стратегії управління ризиками.

В [5] акцентується увага на ролі біржових інструментів як механізмів зниження ризиків, наводяться міжнародні рекомендації щодо застосування інструментів цінового ризик-менеджменту, аналізуються і небіржові інструменти, які є складовими системи біржового ризик-менеджменту. Проте, для ефективного застосування таких інструментів управління ціновими ризиками вітчизняними суб'єктами господарювання потрібно розробляти детальні механізми їх обігу, зокрема, ф'ючерсів та форвардів.

Висновок. В епоху цифровізації економіки та суспільства з'явилися нові гравці на ринку агропродукції – хедж-фонди, які використовують свої дані та аналітичні платформи для підвищення ефективності торгівлі та ризик-менеджменту. Досвід цих учасників поширюється і на сферу управління ризиками на фондових, валютних ринках. Одним із шляхів пристосування товарно-торгових компаній до нових конкурентних обставин є включення у життєвий цикл управління ризиками нових компонент, таких як збір, аналіз та поширення інформації про ризики. Ця інформація включає "тверді" дані про позиції в фізичних товарах та деривативах. Проблеми управління ризиками в трейдингу сільськогосподарською продукцією потребують подальшого дослідження.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Співак С.М. (2020). Оцінка та управління ризиками як інструмент підвищення конкурентоспроможності підприємства. *Вісник Хмельницького національного університету*, 4(3). 159-162. DOI: 10.31891/2307-5740-2020-284-4(3)-25

2. Токмакова І. В., Зуб М. В. (2024). Формування системи управління ризиками підприємств України в сучасних умовах. *Економіка підприємства,* 85. https://doi.org/10.18664/btie.85.306452

3. Ус Г.О., Суліменко О.С. (2023). Особливості управління ринковими ризиками аграрних підприємств. Агросвіт, 22. 35–41. DOI: 10.32702/2306-6792.2023.22.35

4. Карпінський Р.М. (2024). Ідентифікація ризиків господарської діяльності аграрних підприємств: можливості та загрози у процесі управління. Економіка та суспільство, 70. 7 с. https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-70-189

5. Сидоренко О. В. (2015). Інструменти управління ризиками у біржовій торгівлі сільгосппродукцією. *Наукові записки Національного університету «Острозька академія».* Серія «Економіка» : збірник наукових

праць / ред. кол. : І. Д. Пасічник, О. І. Дем'янчук. – Острог : Видавництво Національного університету «Острозька академія». 28. 43–47

УДК 004.9:657

Півоваров А.І.[1], Бредіхін В.М.[2]

СИСТЕМИ ОБЛІКУ ПРОДУКЦІЇ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВА

Сучасні інформаційні системи обліку продукції стають ключовим компонентом корпоративної IT-інфраструктури, забезпечуючи прозорість операцій, оптимізацію логістичних процесів і підтримку прийняття управлінських рішень на всіх рівнях управління. У контексті швидких змін ринкових умов, зростання обсягів даних та вимог до оперативності обробки, традиційні підходи до обліку - засновані на ручних або частково автоматизованих процедурах - виявили критичні обмеження. Як наслідок, сучасні дослідження сфокусовані на побудові комплексних, розподілених і масштабованих інформаційних систем обліку продукції, що поєднують класичні транзакційні модулі з інтелектуальними компонентами обробки даних та DSS.

Основна проблема, яку вирішують сучасні інформаційні системи обліку продукції, полягає в інтеграції великої кількості гетерогенних даних: виробничі логи, дані сенсорів автоматизованого обладнання, записи ERP, SCM та CRM систем, а також зовнішні джерела (постачальники, партнери). Ці дані характеризуються великими обсягами, відсутністю єдиної структури та наявністю шуму, що ускладнює їх обробку та аналіз. У відповідь на ці виклики з'явилися архітектури, що базуються на концепціях Data Lake / Lakehouse, які дозволяють зберігати сирі дані разом із структурованими наборами та організовувати над ними аналітичні потоки, що стало предметом активних наукових досліджень.

Сучасні моделі інформаційних систем обліку продукції включають кілька критичних компонентів:

- транзакційний шар, що забезпечує моментальну фіксацію операцій;
- шар зберігання даних, побудований на масштабованих розподілених сховищах;
- інтелектуальний аналітичний шар, який використовує методи машинного навчання для виявлення тенденцій у виробничих потоках, прогнозування попиту та аналізу вузьких місць;

[1] студент групи 6.04.122.010.23.1, Харківський національний економічний університет імені С. Кузнеця

[2] доцент кафедри ІС, Харківський національний економічний університет імені С. Кузнеця, к. т. н.

- модулі підтримки прийняття рішень, що інтегрують прогнози, оцінки ризиків та рекомендації у форматі, готовому для дій менеджменту.

Основним нововведенням є поєднання транзакційних і аналітичних компонентів у єдину систему, що дозволяє уникати затримок в оновленні даних та зменшує розрив між операційною та стратегічною інформацією.

Ряд досліджень підкреслює важливість використання гібридних моделей для оптимізації облікових процесів. Так, моделі прогнозування попиту на основі рекурентних нейронних мереж або трансформерів дозволяють точніше передбачити майбутній обсяг реалізації продукції з урахуванням часових, сезонних і зовнішніх факторів. Інтеграція цих прогнозів із модулями обліку забезпечує адаптивне планування закупівель, виробництва і розподілу ресурсів. Інший напрямок пов'язаний із застосуванням графових моделей для представлення і аналізу асоціацій між товарами, що сприяє виявленню прихованих залежностей у ланцюгах постачання та в оптимізації резервів.

Крім того, сучасні дослідження приділяють значну увагу інтероперабельності систем обліку з ERP/SCM/CRM платформами, а також інтеграції з IoT-пристроями для реального часу отримання стану складських запасів, процесів виробництва та транспортування. Це дозволяє створити замкнений цикл обліку, в якому дані надходять безпосередньо з виробничих ліній та сенсорів, обробляються й узагальнюються в централізованій системі, яка забезпечує цілісне бачення ситуації.

Особливе місце серед сучасних підходів займає підтримка прийняття рішень на основі чистих, консистентних і актуальних даних обліку. DSS-компоненти використовують дані обліку продукції для побудови симуляційних моделей, аналізу сценаріїв, оцінки ефективності альтернативних стратегій. Наприклад, при розгляді сценаріїв зміни ціни або обмежень на ресурси система може моделювати вплив таких змін на ключові показники ефективності (KPI). У такому контексті інформаційна система обліку продукції стає не просто реєстратором фактів, а активним учасником процесу управління.

Таким чином, сучасні інформаційні системи обліку продукції — це комплексні мультишарові рішення, що поєднують традиційні транзакційні можливості з моделями машинного навчання, аналітикою великих даних та інструментами DSS. Ці системи стають платформою для побудови гнучких, адаптивних і прозорих бізнес-процесів, що дозволяє організаціям ефективно управляти ресурсами, прогнозувати тенденції попиту і приймати обґрунтовані рішення в умовах динамічних ринків.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Gupta, A., Singh, R. (2023). Integrating machine learning with enterprise resource planning for product lifecycle management. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 19(7), 5123–5135.

2. Petrova, N., Shelest, O. (2024). Інформаційні системи обліку продукції: сучасні підходи та виклики. Вісник НТУ України «КПІ», 32, 75–89.

3. Singh, M., Kumar, P. (2020). Demand forecasting using hybrid deep learning models for inventory management. Journal of Big Data Analytics, 7(2), 123–137.

4. Zhang, Q., Tsai, W. (2023). Data governance in distributed accounting information systems. Journal of Data and Information Quality, 15(3), 1–19

УДК 004.451:004.272

Линник Д.О.[1], Главчев М.І. [2]

МОДЕЛЬ БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ В ГЕТЕРОГЕННИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ЗА КРИТЕРІЄМ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Сучасний розвиток мікропроцесорних архітектур характеризується переходом від гомогенних багатоядерних систем до гетерогенних (гібридних). Прикладами таких рішень є архітектура ARM big.LITTLE та Intel Hybrid Technology (Alder Lake і новіші), де на одному кристалі поєднуються потужні ядра (Performance cores, P-cores) для обчислювально складних задач та енергоефективні ядра (Efficiency cores, E-cores) для фонових процесів.

Головною проблемою при використанні таких систем є те, що стандартні планувальники операційних систем (наприклад, CFS у Linux) не завжди оптимально враховують енергетичні характеристики задач. Вони часто орієнтуються на максимізацію продуктивності (throughput) або мінімізацію затримок (latency), ігноруючи потенціал енергозбереження. Це призводить до ситуацій, коли низькопріоритетні задачі виконуються на «ненажерливих» P-ядрах, марнуючи енергію, або ж критичні задачі мігрують на E-ядра, сповільнюючи роботу системи.

Метою роботи є розробка моделі та програмного засобу для інтелектуального балансування навантаження, який, працюючи у просторі користувача, здатен оптимізувати енергоспоживання системи шляхом адаптивної міграції потоків на основі даних телеметрії.

У ході дослідження було визначено коефіцієнти питомої

[1] Студент групи КН-Н924б, Національний технічний університет «ХПІ»

[2] Професор кафедри КІП, Національний технічний університет «ХПІ», к. е. н., доцент

потужності для різних типів ядер. Формалізована модель розглядає процесор як набір ядер C = P ∪ E, де P – множина продуктивних ядер, E – множина енергоефективних ядер.

Для кожного типу ядер введено вагові коефіцієнти енергоспоживання при 100% утилізації:

- K_p = 25.0$ (Вт) – для P-cores;
- K_e = 4.0$ (Вт) – для E-cores.

Загальна оцінка енергоспоживання системи W_{total} в момент часу t розраховується як сума споживання активних задач, зважена на поточну частоту та утилізацію відповідних ядер. Споживання кожного ядра зважується на його поточну робочу частоту та відсоток утилізації:

$$W_{total} = \sum_{c \in C} k_c \cdot U_c(t) \cdot f_c(t)$$

де C – загальна множина ядер процесора C = P ∪ E, k_c – коефіцієнт питомої потужності ядра c (базова константа, що відрізняється для продуктивних та енергоефективних ядер), $U_c(t)$ — поточна утилізація (завантаження) ядра c активними задачами, $U_c(t)$ in [0, 1], $f_c(t)$ - поточна тактова частота ядра c.

Розроблений програмний комплекс функціонує як домен у просторі користувача (userspace governor) і складається з трьох основних модулів:

1. Модуль моніторингу (Monitor): Відповідає за збір метрик продуктивності та енергоспоживання. Для отримання точних даних про витрати енергії використовується інтерфейс RAPL (Running Average Power Limit), доступ до якого здійснюється через системні виклики perf_event_open. Це дозволяє отримувати значення енергії в мікроджоулях з високою дискретністю.
2. Модуль прийняття рішень (Analyzer): Аналізує зібрані дані та порівнює їх із заданими пороговими значеннями. У конфігурації системи визначено параметр threshold_pct: 5, який слугує гістерезисом для запобігання частій «міграції заради міграції» (ping-pong effect), що може негативно вплинути на продуктивність через постійне оновлення кешу.
3. Модуль виконання (Executor): Реалізує механізм міграції потоків. Для прив'язки конкретного процесу або потоку до визначеного ядра використовується системний виклик sched_setaffinity (для Linux-систем). Це дозволяє жорстко закріпити задачу за групою P- або E-ядер.

Алгоритм працює циклічно з налаштованим інтервалом (параметр batch_interval_ms: 10). На кожному кроці виконується:

1. Зчитування списку активних процесів та їх поточного споживання CPU.
2. Класифікація процесів на «важкі» (compute-bound) та «легкі» (I/O-bound або background).
3. Перевірка умов для міграції. Якщо «легка» задача виконується

на P-ядрі і її перенесення на E-ядро не порушить SLA (Service Level Agreement), генерується команда на зміну affinity mask.

4. Застосування змін через cgroups або прямий виклик sched_setaffinity.

Тестування розробленої системи проводилося на гетерогенній платформі з конфігурацією: 6 P-cores (ID 0-5) та 8 E-cores (ID 6-13).

Умовна ємність (capacity) ядер була визначена як:

- p_core_capacity: 1024
- e_core_capacity: 650

Під час експериментів із синтетичним навантаженням (sysbench) було встановлено, що перенесення фонових сервісів (індексація файлів, оновлення баз даних антивірусу) на E-ядра дозволило знизити миттєве енергоспоживання процесора (Package Power) на 15-20% порівняно зі стандартним планувальником, який намагався розподілити навантаження рівномірно по всіх доступних ядрах, включаючи енергоємні P-ядра.

У ході розробки було вирішено низку технічних проблем:

1. Проблема: Permission denied при читанні RAPL.

• Рішення: Налаштування прав доступу через групу rapl або використання capability CAP_SYS_NICE.

2. Проблема: Високий overhead (накладні витрати) на моніторинг (>3% CPU).

• Рішення: Збільшення інтервалу опитування monitor.interval_ms до 200-500 мс, що знизило навантаження від самого балансувальника до 0.5%.

3. Проблема: perf_event_open() failed.

• Рішення: Зміна параноїдального рівня ядра через sysctl -w kernel.perf_event_paranoid=-1.

Висновки. У роботі запропоновано підхід до керування навантаженням у гетерогенних системах, який базується на пріоритеті енергоефективності. Розроблена програмна модель довела свою працездатність та ефективність.

1. Використання метрик RAPL дозволяє отримувати об'єктивну картину енерговитрат у реальному часі.

2. Стратегія примусової міграції фонових процесів на E-ядра є виправданою для систем з обмеженим бюджетом потужності (ноутбуки, вбудовані системи).

3. Запропоноване рішення може бути інтегроване як надбудова над стандартним планувальником ОС Linux або використане для оркестрації контейнерів у хмарних середовищах.

Подальший розвиток роботи передбачає впровадження методів машинного навчання (ML) для прогнозування патернів навантаження та попереджувальної міграції процесів до моменту пікового споживання енергії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Intel Corporation. (2023). *Intel 64 and IA-32 architectures software developer's manual. Volume 3B: System programming guide, part 2*.
2. Weaver, V. M., et al. (2014). *A Linux kernel interface for the Running Average Power Limit (RAPL) energy sensors*. University of Maine.
3. Glavchev, M., Hlavchev, D., & Panchenko, V. (2025). Evaluating the effectiveness of open-source solutions for monitoring and load balancing in microservice applications. *Автоматизовані системи управління та прилади автоматики, 187*, 182–199.

УДК 004.67:37

Заярний О.В.[1], Попов А.В.[2]

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПОВЕДІНКИ СТУДЕНТІВ У ВІРТУАЛЬНИХ НАВЧАЛЬНИХ СЦЕНАРІЯХ

Віртуальна (VR) та доповнена реальність (AR) протягом останніх років усе більш активно використовуються у різних сферах життя людини, у тому числі й в освіті. У зв'язку з цим, для забезпечення ефективності їх інтеграції необхідним є визначення особливостей поведінки студентів у віртуальних навчальних сценаріях шляхом інтелектуального аналізу, що дозволить теоретично обґрунтувати підхід до збору та відповідного аналізу даних про поведінку студентів у AR/VR-навчальних сценаріях з метою адаптації та персоналізації навчального процесу.

Віртуальна реальність є технологією людинно-машинної взаємодії, завдяки якій забезпечується занурення користувача у тривимірне інтерактивне інформаційне середовище [2]. Доповнена реальність, у свою чергу, реалізується шляхом проєктування цифрової інформації, наприклад, зображення, відео, тексту або графіки, поза екраном пристроїв, у результаті чого відбувається доповнення світу штучними елементами та новою інформацією [3]. У даному контексті віртуальні навчальні сценарії доцільно розглядати як навчальні ситуації, які виникають у VR чи AR середовищі, зокрема – шляхом симуляції, використання тренажерів, моделювання процесів. Крім того, вони дозволяють сформувати практичні уміння студентів у таких сферах, як інженерія, медицина, виробництво, освіта та ін.

Враховуючи специфіку віртуальних навчальних сценаріїв, для забезпечення адаптації та персоналізації навчального процесу інтелектуальний аналіз даних у першу чергу передбачає збір даних таких типів:

- поведінкові дані. Зокрема, це тривалість виконання окремих етапів сценарію, кількість допущених помилок, послідовність дій,

[1] аспірант групи 122-302-2, НАУ «ХАІ»
[2] доцент кафедри КНІТ, НАУ «ХАІ», канд. техн. наук, доцент

частота звернення до підказок, повторюваність операцій та вибір альтернативних рішень. Завдяки цьому можливо оцінити рівень сформованості практичних умінь та труднощі, що виникають у процесі навчання;

- просторово-фізичні дані. Ця група даних включає у себе параметри рухової активності студента у віртуальному середовищі. Наприклад, це напрям погляду, переміщення у просторі, траєкторія руху тіла та рук тощо. Аналіз таких показників має на меті встановити ступінь залученості студента до навчання, особливості його моторної діяльності та ефективності рухових дій у віртуальних навчальних сценаріях;

- психолого-когнітивні показники. Це такі показники, як рівень концентрації уваги, темп засвоєння навчального матеріалу, індивідуальні особливості сприйняття навчальної інформації. У сукупності з даними інших двох типів це дозволить створити інформаційну основу для подальшого інтелектуального аналізу.

Збір даних відбувається безпосередньо у процесі взаємодії студента з віртуальним середовищем та ґрунтується на фіксації його дій під час виконання навчальних завдань. Окрім цього, для збору даних передбачається використання вбудованих інструментів моніторингу навчальної активності, які забезпечують автоматичну реєстрацію ключових параметрів поведінки користувача у режимі реального часу. Завдяки цьому вдасться накопичити структуровану інформацію про перебіг навчання, при цьому втручання викладача у процес навчання не є обов'язковим. Крім того, отримані дані далі систематизуються та зберігаються у вигляді набору показників, які надалі використовуються безпосередньо у процесі інтелектуального аналізу.

Для інтелектуального аналізу поведінки студентів з метою корегування чи адаптації навчання також слід використовувати відповідні методи, серед яких окреслимо такі [1; 4]:

- методи машинного навчання. Ця група методів передбачає виявлення шаблонів поведінки студентів у різних сценаріях під час їх взаємодії з віртуальним середовищем. Окрім цього, передбачається також оцінка повторюваних моделей поведінки студентів;

- кластеризація. Метод інтелектуального аналізу, який передбачає розбиття конкретної вибірки об'єктів на підмножини – кластери, які групуються за різними характеристиками. З цією метою передбачається групування студентів за рівнем підготовки та певними індивідуальними характеристиками;

- прогнозування результатів навчальної діяльності. Наприклад, це методи регресії, дерева рішень, нейронні мережі тощо. Їх використання спрямоване на те, що передбачити можливі труднощі у засвоєнні практичних навичок та своєчасно коригувати навчальні сценарії;

- аналіз помилок і складних моментів у сценарії. Завдяки цьому можливо виявити найбільш проблемні компоненти навчального контенту, які перешкоджають ефективній діяльності студентів і які потребують коригування;

- автоматичне визначення рівня підготовки користувача. З цією метою можливим є використання штучного інтелекту, а також інших підходів. На основі цього вдасться сформувати індивідуальні траєкторії навчання, змінюючи для цього складність завдань, темп подання матеріалу тощо.

Окреслені методи дозволять краще систематизувати зібрані дані та забезпечити їх подальший аналіз для досягнення поставленої мети. Окрім цього, ці методи також є логічним доповненням для тих підходів до збору даних, які вже були визначені до цього.

Висновки. Результати інтелектуального аналізу даних за окресленими вище підходами можливо використати для корекції змісту та структури віртуальних навчальних сценаріїв відповідно до індивідуальних особливостей студентів. Це дозволяє змінювати рівень складності завдань, темп подання навчального матеріалу, а також обсяг допоміжної інформації з урахуванням рівня підготовки користувача та характеру допущених помилок. Таким чином вдасться створити передумови для формування адаптивного персоналізованого AR/VR-контенту, спрямованого на ефективне набуття практичних умінь і професійних компетентностей.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бідюк, І. І., Савченко, С. М., Савченко, А. С. (2018). Методи інтелектуального аналізу даних в прогнозуванні конкурентоспроможності підприємств. *Підприємництво та інновації*, 5, 7-16.

2. Ветчанін, Є. & Горбатовський, Д. (2020). Використання віртуальної реальності в освітньому процесі та профорієнтаційній роботі на прикладі програмного продукту VRANALYTICS. *Освітологічний дискурс,* 1(28), 1-14.

3. Волинець, В. О. (2021). Віртуальна, доповнена і змішана реальність: сутність поняття та специфіка відповідних комп'ютерних систем. *Культурно-мистецькі та освітні практики,* 37, 231-243.

4. Гороховатський, В. О. & Творошенко, І. С. (2021). Методи інтелектуального аналізу та оброблення даних: навч. Посібник, Харків: ХНУРЕ, 92 с.

УДК 004.7:004.056 Стокіпний О.Л.[1], Брановицька І.В. [2]

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ У СКЛАДНИХ СИСТЕМАХ

У сучасних телекомунікаційних системах канал передачі даних є складним динамічним об'єктом, функціонування якого визначається впливом багатьох дестабілізуючих чинників: багатопроменевого поширення, завмирання сигналу, частотних зсувів та шумових перешкод.

Умови середовища змінюються у часі, що зумовлює стохастичний характер процесів передачі інформації та потребує використання математичного й імітаційного моделювання для оцінювання ефективності системи.

У роботі канал зв'язку розглядається як частотно-селективна система зі змінними параметрами, для якої визначальним показником якості є ймовірність бітової помилки (BER).

Математична модель враховує втрати на трасі поширення, вплив адитивного білого шуму, рейліївські та райсівські завмирання, а також доплерівське зміщення частоти. Формалізація процесу дозволяє описати залежність BER від співвідношення сигнал/шум і параметрів модуляції, що створює основу для порівняльного аналізу різних схем передавання даних.

$$L(d)\left[\partial Б\right] = 10\gamma \log(d) + (20 - 10\gamma)\log(d_0) + 20\log(f) + 32,45.$$

Імітаційне моделювання виконано у програмному середовищі з реалізацією класичних методів модуляції (BPSK, QPSK) та багатотональної технології OFDM.

$$L(d)\left[\partial Б\right] = L(d_0)\left[\partial Б\right] + 10\gamma \log_{10}(d / d_0) + X_\sigma,$$

У межах експерименту досліджено вплив частотного зсуву та довжини циклічного префікса на показники завадостійкості. Отримані залежності підтверджують, що в умовах багатопроменевих викривлень OFDM демонструє вищу стійкість порівняно з одночастотними схемами, однак чутлива до порушення ортогональності піднесучих (рис 1).

[1] доцент кафедри ІКС «Державний університет «Київський авіаційний інститут»
[2] асистент кафедри ІКС «Державний університет «Київський авіаційний інститут»

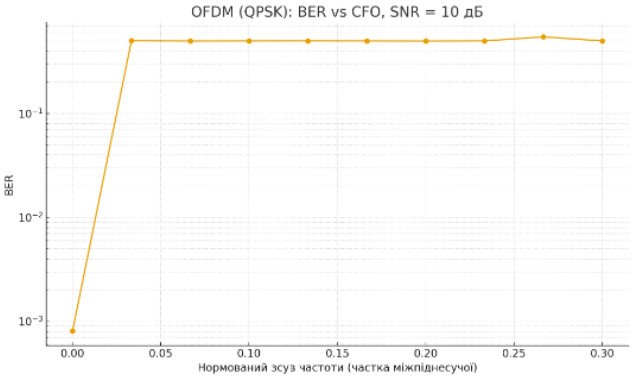


Рисунок 1 – Вплив нормованого частотного зсуву (CFO) на BER у системі OFDM.

Висновки. Аналіз результатів моделювання дозволив встановити критичні області параметрів, за яких спостерігається різке зростання BER, а також обґрунтувати доцільність адаптивної зміни параметрів модуляції залежно від стану каналу. Таким чином, запропонований підхід до математичного та імітаційного аналізу каналів передачі даних створює передумови для оптимізації режимів функціонування складних телекомунікаційних систем і підвищення їх надійності в умовах дії завад.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Yeromina, N., Kurban, V., Mykus, S. et al. (2021), «The Creation of the Database for Mobile Robots Navigation under the Conditions of Flexible Change of Flight Assignment», International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Vol. 11, Issue 05, pp. 37–41, doi: 10.46338/ijetae0521_05.

2. Osman, A.M.S. (2019), «A novel big data analytics framework for smart cities», *Future Generation Computer Systems*, Vol. 91, pp. 620–633, doi: 10.1016/j.future.2018.06.046

3. Kashkevich, S. (Ed.) (2025). Decision support systems: mathematical support. Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC. https://doi.org/10.15587/978-617-8360-13-9 .

УДК 656:658.8:005.6

Литвишко Л.О[1]., Галушка Н.В[2]., Волинець Я.Є.[3]

ЗАСТОСУВАННЯ BI ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Розвиток транспортної галузі в умовах цифрової економіки супроводжується постійним зростанням обсягів інформації, що генерується в процесі перевезень. Дані про рух транспорту, завантаженість маршрутів, витрати ресурсів, технічний стан транспортних засобів й поведінку споживачів послуг формують інформаційну основу для управління підприємством. Однак наявність великого масиву даних сама по собі не гарантує підвищення ефективності діяльності - вирішальним фактором є здатність підприємства перетворювати ці дані на практичні управлінські рішення.

У сучасних умовах війни України з РФ бізнес-аналітика набуває особливої значущості, оскільки сприяє ефективному управлінню ризиками у зовнішньоекономічній діяльності транспортних компаній. Вона дає змогу не лише виявляти потенційні загрози, а й ухвалювати обґрунтовані рішення для їх мінімізаці [1].

Аналітика в транспортній галузі передбачає збір, обробку й інтерпретацію інформації про пасажирські й вантажні потоки, технічний стан рухомого складу, витрати пального, маршрути, безпеку перевезень і попит на транспортні послуги. Для цього використовуються сучасні інформаційно-комунікаційні технології, інструменти моделювання, прогнозування та оцінки ризиків.

В «Стратегії відновлення, сталого розвитку та цифрової трансформації малого і середнього підприємництва на період до 2027» [2], однією з складових є використання сучасних інструментів бізнес-аналітики, що забезпечують прийняття рішень на основі даних та ефективне управління ресурсами.

Цифрова трансформація підприємств передбачає впровадження систем автоматизації управлінських процесів, таких як ERP, CRM та BI-платформи. Ці технології дозволяють збирати, інтегрувати та аналізувати інформацію про фінансові, операційні й маркетингові процеси. У результаті мале та середнє підприємництва отримують можливість оцінювати ефективність діяльності, прогнозувати фінансові результати та приймати стратегічні рішення на основі об’єктивних даних.

[1] Доцент кафедри менеджменту, НТУ, к.е.н., доцент
[2] Студентка групи МН(МО)-4-1, НТУ
[3] Студентка групи МП-3-2, НТУ

Зокрема, у транспортному секторі аналітика застосовується для оптимізації маршрутної мережі; планування графіків руху; управління автопарком або рухомим складом; зниження експлуатаційних витрат; підвищення рівня безпеки перевезень; прогнозування попиту на транспортні послуги; розвитку логістичних центрів та міської мобільності. Бізнес-аналітика - як ключовий інструмент стратегічного планування на ринку легкових автомобілів України, з використання сучасних аналітичних підходів дозволяє підприємствам автомобільного сектору своєчасно реагувати на зміни попиту, оцінювати конкурентне середовище й формувати довгострокові управлінські рішення на основі даних, а не інтуїтивних припущень [3].

Поняття аналітики в управлінні підприємствами транспорту поєднує два взаємопов'язані напрями: бізнес-аналіз і Business Intelligence.

Бізнес-аналіз (Business Analysis) - діяльність, спрямована на визначення потреб транспортної компанії та пошук рішень для підвищення її ефективності. Йдеться не лише про впровадження інформаційних систем, а й про вдосконалення процесів перевезень, зміну організаційної структури, розробку нових послуг (наприклад, мультимодальних перевезень) або стратегічне планування розвитку підприємства.

Business Intelligence (BI) у транспорті - це сукупність інструментів і технологій, які дозволяють перетворювати великі обсяги транспортних даних (GPS-трекінг, електронні квитки, дані про завантаженість маршрутів, фінансові показники) у структуровану інформацію для підтримки управлінських рішень [4].

Сучасну BI-аналітику доцільно розглядати як поєднання трьох взаємопов'язаних напрямів: інформаційно-аналітичних систем (Business Intelligence/Information Systems), статистичних методів (Statistics) та підходів до моделювання й оптимізації (Modeling and Optimization). Незважаючи на те, що кожен із цих напрямів використовується вже десятиліттями, їхня унікальність проявляється саме у точці їхнього перетину.

Застосування BI-системи в транспортному підприємстві дозволяє: формувати аналітичні звіти щодо рентабельності маршрутів; контролювати витрати пального; аналізувати показники простоїв транспорту; оцінювати якість обслуговування пасажирів; прогнозувати навантаження на транспортну мережу.

В табл. 1 представлений взаємозв'язок **бізнес-аналітики, Business Intelligence** та управління транспортним підприємством в умовах цифрової економіки та воєнного часу.

Таблиця 1 – Взаємозв'язок **бізнес-аналітики, Business Intelligence** та управління транспортним підприємством в умовах цифрової економіки та воєнного часу

Напрям аналітики	Основні завдання	Інструменти / технології	Очікуваний ефект для транспортного підприємства
Бізнес-аналіз (Business Analysis)	Визначення потреб підприємства, оцінка ефективності процесів, розробка нових послуг, стратегічне планування	SWOT-аналіз, PEST-аналіз, моделювання сценаріїв, фінансове прогнозування	Підвищення ефективності управління, адаптація бізнес-моделі, стратегічне планування розвитку
Business Intelligence (BI)	Перетворення великих обсягів даних у структуровану інформацію для ухвалення рішень	ERP, CRM, BI-платформи, GPS-трекінг, електронні квитки, дашборди	Оптимізація маршрутів, контроль витрат, прогнозування попиту, підвищення безпеки перевезень, моніторинг ресурсів
Управління ризиками ЗЕД та транспортними операціями	Ідентифікація потенційних загроз, розробка заходів для мінімізації ризиків	Аналіз даних, сценарне моделювання, системи раннього попередження	Зниження фінансових та операційних ризиків, забезпечення стабільності роботи підприємства під час воєнних та кризових умов
Прийняття стратегічних рішень	Обгрунтування інвестицій, розробка довгострокових планів розвитку, підвищення конкурентоспроможності	Комплексна аналітика BI + бізнес-аналіз, KPI, фінансове моделювання	Дані стають основою для стратегічного планування, зростання ефективності та конкурентоспроможності на ринку

Джерело: *розроблено на підставі [1; 4]*

Таблиця ілюструє, як бізнес-аналітика та BI-системи взаємодіють для ефективного управління транспортним підприємством. Вони дозволяють аналізувати дані, мінімізувати ризики, оптимізувати процеси та підтримувати стратегічне прийняття рішень.

Висновки. Бізнес-аналітика виступає стратегічним інструментом підвищення ефективності транспортних підприємств, забезпечуючи комплексний підхід до управління даними, мінімізації ризиків та адаптації діяльності до умов цифрової економіки та сучасних викликів, зокрема воєнного часу. Її впровадження дозволяє підприємствам не лише виживати в кризових умовах, але й формувати конкурентні переваги та довгострокові стратегії розвитку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Компанець, К. А., Литвишко, Л. О., & Ільченко, В. Ю. (2025). Маркетингові інноваційні технології та бізнес-аналітика ЗЕД в управлінні ризиками транспортних підприємств. *Актуальні питання економічних наук*, (7). Міжнародний класичний університет ім. П. Орлика. https://doi.org/10.5281/zenodo.14760573

2. Стратегія відновлення, сталого розвитку та цифрової трансформації малого і середнього підприємництва на період до 2027 року та операційний план заходів на 2024-2027 роки: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.08.2024 N 821-р, редакція від 30.08.2024 N 821-2024-р // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/821-2024-%D1%80#Text (дата звернення: 27.02.2026).

3. Порфіренко, В. І., Компанець, К. А., & Митрохін, Л. Д. (2025). Управлінські рішення в адміністративному та комунікативному менеджменті бізнес-процесів при плануванні підприємницької діяльності. *Актуальні питання економічних наук*, (11). Міжнародний класичний університет ім. П. Орлика. https://doi.org/10.5281/zenodo.15564838

4. Гончарук, О., Ландяк, Т., & Мельник, Л. (2025). Використання систем бізнес-аналітики в стратегічному управлінні підприємством. *REVIEW OF TRANSPORT ECONOMICS AND MANAGEMENT*, (13(29), 86–97. https://doi.org/10.15802/rtem2025/339100

УДК 004.056.5

Кашкевич С.О.[1], Литвиненко О.Є. [2]

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ В СКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

В складних інформаційно-телекомунікаційних системах пропускна здатність каналу зв'язку є динамічним параметром, що визначає ефективність передачі даних, стійкість керування та узгодженість інформаційних процесів. В умовах нерівномірного навантаження, змін інтенсивності потоків, впливу завад та варіативності параметрів середовища пропускна здатність змінюється у часі та набуває характеру стохастичного процесу. Це зумовлює необхідність використання математичного та імітаційного моделювання для аналізу поведінки каналу як елемента складної

[1] старший викладач кафедри ІКС «Державний університет «Київський авіаційний інститут»

[2] професор кафедри ІКС «Державний університет «Київський авіаційний інститут», д.т.н., професор

системи. У роботі пропускна здатність розглядається як часовий ряд, сформований на основі параметрів пакетного обміну: кількості переданих пакетів, інтервалів між ними, рівня втрат та варіацій затримок.

$$X(t)\left[C(t)\frac{dC(t)}{dt}, L(t), J(t), R(t) \right].$$

Формалізація процесу дозволяє подати канал зв'язку у вигляді динамічної моделі, що враховує інерційність змін, локальну швидкість деградації та ймовірність втрати інформації.

$$C(t+1) = F(C(t), C(t-1), ..., C(t-n), X(t)).$$

Запропонований підхід передбачає нормалізацію вхідних даних, згладжування часових рядів та визначення похідної пропускної здатності як індикатора критичних змін у стані системи.

$$C(t+1) = F\left(C(t), \frac{dC(t)}{dt}, J(t), L(t), R(t) \right).$$

Для дослідження властивостей моделі застосовано імітаційне моделювання у контрольованому програмному середовищі, що дозволяє відтворювати різні сценарії навантаження та вплив зовнішніх факторів (рис 1). Було змодельовано зміни частоти передавання даних, зростання інтенсивності інформаційних потоків, штучне введення втрат пакетів та коливання параметрів каналу. Отримані результати підтвердили, що зменшення похідної пропускної здатності передує різкому зростанню втрат, що дає можливість прогнозувати наближення критичного стану системи.

Аналіз відповідності прогнозних значень фактичним даним показав адекватність запропонованої математичної моделі як інструмента аналізу динамічних процесів у каналах зв'язку. Використання такого підходу створює передумови для оптимізації режимів функціонування інформаційних систем шляхом адаптації параметрів передачі даних до поточного стану каналу.

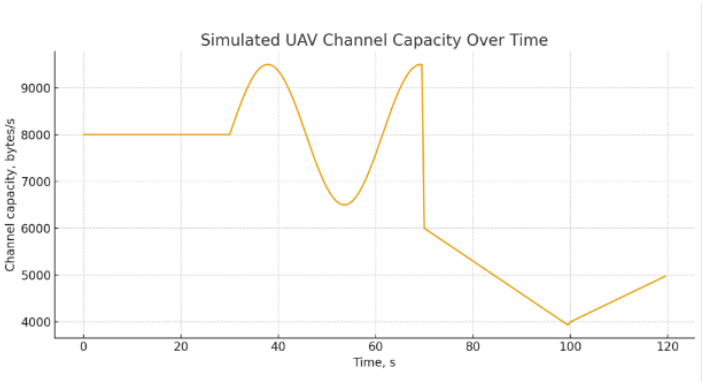


Рисунок 1 – Графік результатів моделювання пропускної здатності каналу.

Висновки. Таким чином, поєднання математичного опису часової динаміки пропускної здатності з імітаційним моделюванням дозволяє формалізувати процеси функціонування каналів зв'язку в складних системах, здійснювати їх аналіз та забезпечувати оптимізацію інформаційного обміну в умовах змінного навантаження.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Kashkevich, S. (Ed.) (2025). Decision support systems: mathematical support. Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC. https://doi.org/10.15587/978-617-8360-13-9 .

2. Литвиненко О. Є. Декомпозиційний метод обчислення вагових коефіцієнтів бінарної нейронної мережі / О. Є. Литвиненко, Д. П. Кучеров, М. М. Глибовець. – Кібернетика та системний аналіз, 2022. – Т. 58, № 6. С. 45–53.

3. Kashkevich, S., Litvinenko, O., Shyshatskyi, A., Salnyk, S., Velychko, V. The method of self-organization of information networksin the conditions of the complex influence of destabilizing factors. Сучасні інформаційні системи. 2024. Т. 8, № 3. С. 59–79. https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.3.07 .

УДК 004.021:519.816 Сокирко Д.О.[1], Кузніченко В.М.[2]

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ОЦІНЮВАННІ СЕРВІСІВ ВІДЕОЗВ'ЯЗКУ

Вступ. Швидкий розвиток технологій дистанційної роботи зумовлює потребу в розробці ефективних систем підтримки прийняття рішень (СППР). Вибір оптимальної платформи для відеоконференцій ускладнюється суперечливістю критеріїв, таких як вартість, технічна стабільність та функціональна наповненість. У даній роботі запропоновано та програмно реалізовано мовою Python триетапну модель оцінювання, яка поєднує методи відсікання неефективних варіантів, математичного визначення пріоритетів та фінального ранжування **[1]**.

Методологія дослідження. Для аналізу було обрано 6 популярних платформ: Zoom, Google Meet, Microsoft Teams, Cisco Webex, Jitsi Meet та BigBlueButton. Оцінювання проводилося за 5 критеріями з різними напрямками оптимізації (MAX/MIN): кількість учасників, вартість, функціональність, безпека та затримка сигналу. Програмна реалізація базується на використанні бібліотеки NumPy для забезпечення точності матричних операцій [6].

Етап 1. Парето-фільтрація альтернатив. На першому етапі було застосовано метод Парето для аналізу домінування. Програмний аналіз виявив, що платформи Google Meet та Jitsi Meet є домінованими. Зокрема, Microsoft Teams домінує над Google Meet, а BigBlueButton — над Google Meet та Jitsi Meet одночасно. Використання фронту Парето дозволяє сконцентрувати обчислювальні ресурси лише на конкурентоспроможних варіантах [3]. Таким чином, парето-оптимальний фронт було звужено до 4-х альтернатив (Zoom, MS Teams, Cisco Webex, BigBlueButton) для подальшого аналізу.

Етап 2. Обчислення об'єктивних ваг (Ентропія Шеннона). Для уникнення суб'єктивізму експертних оцінок використано метод Ентропії Шеннона, який визначає вагу критерію на основі міри розсіювання даних у матриці рішень [4]. Програма виконує нормалізацію пропорцій, розрахунок ентропії Ej та коефіцієнтів дивергенції $Dj=1-Ej$.

За результатами розрахунків встановлено наступні вагові коефіцієнти:

[1] студент, Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут"

[2] к.ф.-м.н., Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут"

- Вартість ($/міс) – W=0.6424 (найвищий пріоритет);
- Затримка (мс) – W=0.3212;
- Учасники – W=0.0360;
- Функціональність та Безпека – по W=0.0002.

Такий розподіл пояснюється значною варіативністю цінових пропозицій та технічних затримок у вибраній групі альтернатив, що робить ці критерії найбільш інформативними для вибору згідно з принципами математичної теорії зв'язку [4].

Етап 3. Ранжування за методом TOPSIS. На заключному етапі використано метод TOPSIS для визначення близькості кожної платформи до ідеального рішення [2]. У коді реалізовано розрахунок евклідових відстаней від позитивного ($d+$) та негативного ($d-$) ідеалів. Метод дозволяє врахувати як переваги, так і критичні недоліки кожної альтернативи одночасно [5].

Результати та аналіз. Фінальний рейтинг Парето-оптимальних платформ за коефіцієнтом C_i^* виглядає наступним чином:

1.*BigBlueButton* $C_i^* = 1.0000$) – абсолютний лідер. Платформа демонструє найкращі показники завдяки відсутності ліцензійної плати при високій місткості (250 осіб) та відмінній функціональності (9.7).

2.*Zoom (*$C_i^* = 0.2611$) – посідає друге місце завдяки мінімальній затримці (0 мс) та високому балу за функціонал.

3.*Cisco Webex (*$C_i^* = 0.0081$) – знаходиться на низькій позиції через високу ціну ($13.50).

4.*Microsoft Teams (*$C_i^* = 0.0000$) – отримала найнижчий показник, оскільки програє лідеру за сукупністю ціни та місткості.

Висновки. Комп'ютерна реалізація гібридної моделі на Python доводить переваги автоматизованого аналізу. Поєднання Парето-фільтрації з ентропійним зважуванням дозволяє отримати математично обґрунтований результат без залучення суб'єктивних експертних оцінок. Такий підхід забезпечує швидку адаптацію СППР до зміни ринкових умов та підвищує точність стратегічного планування в IT-секторі [5].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Hwang, C. L., & Yoon, K. (1981). *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag.

2. Jahanshahloo, G. R., Lotfi, F. H., & Izadikhah, M. (2006). Extension of the TOPSIS method for decision-making problems with fuzzy data. *Applied Mathematics and Computation*, 181(2), 1544–1551.

3. Lotov, A. V., & Miettinen, K. (2008). Visualizing the Pareto Frontier. *Multiobjective Optimization*, 5252, 213–243.

4. Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423.

5. Harris, C. R., Millman, K. J., van der Walt, S. J., et al. (2020). Array programming with NumPy. *Nature*, 585, 357–362.

УДК 004.9

Мізинець В.Є., [1]Данілейко С.І.[2], Прохоров О.В[3].

МОДЕЛЮВАННЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У КРИТИЧНИХ УМОВАХ ВОЄННОГО ЧАСУ

Повномасштабна війна в Україні призвела до радикальних змін у функціонуванні транспортно-логістичної системи держави. Руйнування інфраструктури, блокування морських портів, загрози безпеці транспортних коридорів, дефіцит рухомого складу та постійна зміна маршрутів поставок в умовах загроз та безпеки суттєво ускладнили забезпечення економіки, гуманітарних потреб і оборонного сектору. В цих умовах зростає актуальність застосування інструментів імітаційного моделювання для аналізу, прогнозування та підтримки управлінських рішень у сфері мультимодальних вантажних перевезень.

Мультимодальна логістика в умовах воєнного часу характеризується високим рівнем невизначеності, динамічністю та наявністю критичних обмежень [1]. Традиційні методи планування, що ґрунтуються на статичних моделях або оптимізації за фіксованих умов, виявляються недостатніми для відображення реальних процесів. Натомість агентне імітаційне моделювання дозволяє враховувати децентралізовану поведінку учасників логістичного ланцюга, взаємодію різних видів транспорту, обмеження пропускної спроможності, черги, затримки та порушення маршрутів.

У межах дослідження розглядається підхід до моделювання мультимодальних вантажних перевезень, який поєднує автомобільний, залізничний та портовий транспорт із урахуванням специфіки воєнного часу. Основна увага приділяється таким типам вантажопотоків: військова логістика, гуманітарні вантажі, експорт сільськогосподарської продукції, імпорт палива та критичних матеріалів, а також внутрішні перевезення для забезпечення регіонів. Кожен із цих потоків має різний рівень пріоритету, часові обмеження та вимоги до безпеки.

Агентна модель включає такі ключові сутності: вантаж (замовлення), транспортні засоби (вантажівки та поїзди), логістичні

[1] аспірант, Національний аерокосмічний університет «ХАІ»
[2] аспірант, Національний аерокосмічний університет «ХАІ»
[3] професор кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет «ХАІ», д. т. н., проф.

хаби, пункти перевалки, прикордонні переходи та кінцевих споживачів. Кожен агент має власні параметри та правила поведінки, що дозволяє відтворити складну динаміку логістичних процесів. Наприклад, вантаж може змінювати маршрут залежно від доступності інфраструктури або рівня ризику, а логістичні хаби – адаптувати свою роботу до перевантаження чи дефіциту ресурсів. Особливістю запропонованого підходу є використання геопросторових даних для моделювання реальної транспортної мережі, що дозволяє аналізувати наслідки руйнування окремих ділянок, перевантаження альтернативних маршрутів і зростання часу доставки. Це дає змогу оцінювати стійкість транспортної системи та ефективність різних сценаріїв її адаптації в умовах загроз та правил безпеки. Ці можливості з'являються завдяки використанню вбудованої в систему імітаційного моделювання AnyLogic геоінформаційної системи OpenStreetMap з реальною транспортною інфраструктурою та подальшою можливістю її актуалізації та врахування ризиків і загроз. Кількість та місцерозташування вузлів транспортної мережі, ризики та загрози для транспортної інфраструктури задаються в базі даних, що дозволяє моделювати мережу будь якого вигляду без необхідності внесення змін в модель.

Імітаційні експерименти дозволяють дослідити вплив ключових факторів воєнного часу на ефективність логістики: зменшення пропускної спроможності вузлів, збільшення часу перевалки, нестачу транспорту, зростання транзитних відстаней, а також введення пріоритетного обслуговування критичних вантажів. Результати моделювання демонструють, що навіть незначні зміни в роботі окремих вузлів можуть призводити до системних затримок у всьому логістичному ланцюгу, тоді як своєчасне перерозподілення потоків і ресурсів суттєво підвищує загальну стійкість системи.

Практична цінність запропонованого підходу полягає у можливості його використання як інструменту підтримки рішень для органів державного управління, військових адміністрацій та логістичних операторів. Модель може бути застосована для планування постачання в кризових умовах, оцінки ризиків, підготовки сценаріїв реагування на пошкодження інфраструктури та розробки стратегій відновлення транспортної системи. У перспективі такий підхід може слугувати основою для створення цифрових двійників логістичної інфраструктури України, що є важливим елементом післявоєнної відбудови та підвищення національної безпеки.

Висновки. Таким чином, імітаційне агентне моделювання мультимодальних вантажних перевезень є ефективним інструментом аналізу та підтримки управлінських рішень в умовах воєнного часу.

Запропонований підхід дозволяє враховувати високу невизначеність, динамічні обмеження інфраструктури та пріоритетність критичних вантажів. Отримані результати можуть бути використані як на етапі оперативного планування, так і для формування довгострокових рішень у процесі відновлення та розвитку транспортно-логістичної інфраструктури України.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Fedorovich, O., Lukhanin, M., Prokhorov, O., Pronchakov, Y., Leshchenko, O., & Fedorovich, V. (2023). Modeling of logistics of war reserve stockpiling for successful combat operations. *Radioelectronic and Computer Systems,* 0(1), 183-196. doi:https://doi.org/10.32620/reks.2023.1.15

УДК 004.9

Щубелка П.І.[1], Морохович В.С.[2]

МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОСОБИСТИМ БЮДЖЕТОМ

Сучасний етап розвитку глобальної економіки характеризується високим рівнем волатильності фінансових ринків та зростанням ролі індивідуальної фінансової грамотності як фундаменту економічної стабільності держави в цілому. В умовах цифровізації суспільства традиційні методи обліку доходів і витрат, такі як паперові записи або прості електронні таблиці, втрачають свою ефективність через неспроможність забезпечити оперативний аналіз та прогнозування в режимі реального часу. Саме тому актуальність проєктування та моделювання спеціалізованих інформаційних систем управління особистим бюджетом обумовлена необхідністю створення інструментарію, який не лише фіксує фінансові операції, але й надає інтелектуальну підтримку у прийнятті рішень щодо оптимізації витрат та формування заощаджень [1].

Наукова проблема розробки таких систем полягає у необхідності поєднання високої функціональності з ергономічністю інтерфейсу, що забезпечило б систематичне використання системи користувачем. Процес моделювання починається з системного аналізу предметної області, де особистий бюджет розглядається як динамічна система з

[1] студент 4-го курсу спеціальності «Інформаційні системи і технології», ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

[2] доцент кафедри інформатики та фізико-математичних дисциплін, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», к. ф.-м. н.

вхідними потоками у вигляді доходів з різних джерел та вихідними потоками, що формуються під впливом споживчих потреб, податкових зобов'язань та інвестиційних планів [2]. Важливо враховувати, що особисті фінанси мають специфічну структуру, яка суттєво відрізняється від корпоративних фінансів через наявність ірраціональних психологічних факторів споживання, що вимагає впровадження гнучких алгоритмів класифікації витрат.

Методологічною основою моделювання інформаційної системи є об'єктно-орієнтований підхід, який дозволяє представити фінансову активність користувача через сукупність взаємопов'язаних об'єктів та їх станів. На етапі концептуального проєктування визначаються ключові сутності системи, серед яких центральне місце посідають рахунки, транзакції, категорії бюджету та фінансові цілі (рис. 1). Рахунок виступає як абстракція будь-якого місця зберігання коштів, включаючи готівку, банківські картки, депозитні рахунки та електронні гаманці. Кожна транзакція в системі має бути жорстко типізована та прив'язана до часової шкали, що дозволяє в подальшому застосовувати методи статистичного аналізу та вияв ляти закономірності у поведінці користувача.

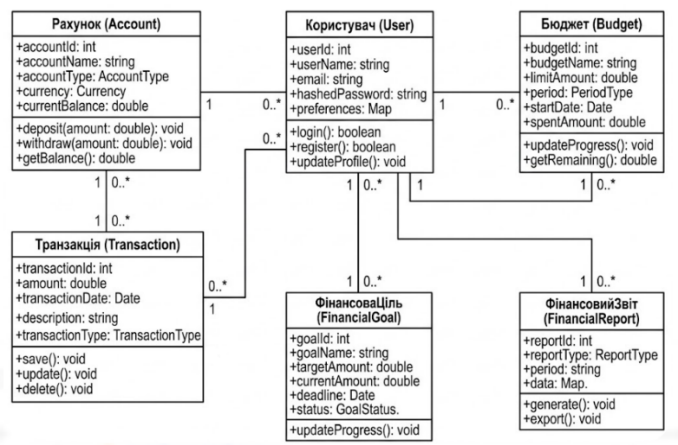


Рисунок 1 – Діаграма класів

Важливим етапом моделювання є створення функціональної моделі системи, яка описує процеси обробки даних. Основним процесом є моніторинг фінансових потоків, що включає збір первинних даних, їх валідацію та категоризацію. Сучасні вимоги до таких систем передбачають можливість автоматизації збору даних через інтеграцію з банківськими API, що значно знижує поріг входу для користувача та

підвищує точність обліку. Проте, архітектура системи повинна передбачати і механізми ручного введення для операцій, які не проходять через банківські канали, забезпечуючи цілісність фінансової картини.

Особлива увага при моделюванні приділяється підсистемі аналізу та планування. Бюджетування в системі не повинно обмежуватися лише встановленням лімітів на певні категорії витрат. Ефективна модель передбачає впровадження алгоритмів прогнозування на основі ретроспективних даних. Використання методів ковзного середнього або лінійної регресії дозволяє системі передбачати залишки на рахунках до кінця поточного місяця, враховуючи регулярні платежі та середньостатистичні щоденні витрати. Це дає змогу користувачеві заздалегідь ідентифікувати потенційні касові розриви та коригувати свою споживчу поведінку.

Математичне забезпечення досліджуваної системи базується на алгоритмах оптимізації, призначених для раціонального розподілу профіциту грошових коштів між визначеними фінансовими цілями. В основу розробленої моделі покладено концепцію ієрархічної пріоритетності потреб, що передбачає автоматичне формування пропозицій щодо резервування активів або їх спрямування у довгострокові інвестиційні інструменти після дедукції обов'язкових витрат. Особлива увага приділяється когнітивній візуалізації даних: застосування діаграм Парето та аналізу часових рядів дає змогу ідентифікувати неефективні статті видатків, які дестабілізують загальний баланс без створення доданої корисної вартості.

Інформаційна безпека та захист персональних даних є критичними компонентами при моделюванні системи управління особистим бюджетом. Оскільки система оперує конфіденційною інформацією про майновий стан особи, архітектурні рішення повинні включати методи наскрізного шифрування, багатофакторну автентифікацію та локальне зберігання ключових даних за вибором користувача. Модель даних повинна бути спроєктована таким чином, щоб забезпечити цілісність при збоях та можливість створення резервних копій у зашифрованому вигляді, що гарантує збереження фінансової історії протягом багатьох років.

Технологічний аспект реалізації моделі передбачає використання багаторівневої архітектури, де рівень представлення даних відділений від бізнес-логіки та рівня доступу до даних. Це дозволяє забезпечити кросплатформеність системи, надаючи доступ до фінансового профілю як через мобільні додатки, так і через веб-інтерфейс. Використання реляційних баз даних на етапі фізичного моделювання забезпечує високу швидкість виконання складних запитів, необхідних для генерації

аналітичних звітів за довільні періоди часу.

Висновки. Моделювання інформаційної системи управління особистим бюджетом є комплексним завданням, що лежить на перетині фінансового менеджменту, математичної статистики та програмної інженерії. Створена модель дозволяє трансформувати пасивний процес спостереження за витратами у активну стратегію управління добробутом. Перспективи подальших досліджень у цьому напрямі пов'язані з інтеграцією в систему елементів штучного інтелекту та машинного навчання для персоналізації фінансових порад, а також розробкою модулів для автоматичного аналізу податкових пільг та оптимізації кредитних зобов'язань користувача. Впровадження таких систем у широку практику сприятиме підвищенню загального рівня фінансової стійкості населення та розвитку цифрової економіки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Grados-Espinoza, J., & Velasquez-Jimenez, L. (2025). Design and implementation of personal finance software for controlling financial efficiency. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 73(2), 107-118. https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V73I2P109.

2. Makalew, B. A. (2022). Android based personal finance management application: Design and development. Engineering. *Mathematics and Computer Science Journal (EMACS)*, 4(1), 5-9. https://doi.org/10.21512/emacsjournal.v4i1.8085.

УДК 004.9

Грищенко І.О.[1]. Сізова Н.Д.[2]

ДОСЛІДЖЕННЯ EVENT-DRIVEN МОДЕЛЕЙ ПРОЄКТУВАННЯ ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИХ SERVERLESS АРХІТЕКТУР

Вступ. У сучасних умовах цифрової трансформації зростає потреба в розробці масштабованих, відмовостійких та економічно ефективних інформаційних систем. Традиційні монолітні та навіть мікросервісні архітектури часто стикаються з проблемами горизонтального масштабування, складністю управління інфраструктурою та забезпеченням високої доступності.

Одним із перспективних підходів є використання **event-driven (подієво-орієнтованих) моделей** у поєднанні з **serverless архітектурою**, що дозволяє делегувати управління інфраструктурою

[1] студент Харківський національний університет міського господарства
[2] проф. каф. КНтаІТ, ХНУМГ, докт. фіз.-мат наук, проф.

хмарному провайдеру та автоматично масштабувати обчислювальні ресурси відповідно до навантаження.

Провідні хмарні платформи, зокрема Amazon Web Services, Microsoft Azure та Google Cloud, активно розвивають сервіси функцій як сервіс (FaaS), що підтверджує стратегічну важливість цього напряму.

Основна частина.Комунікації між сервісами і системами раніше використовували синхронні механізми request/response, які і зараз досить поширені. Однак, з появою розподілених систем та мікросервісної архітектури, у них почала застосовуватися event-driven architecture.

Event-driven архітектура (EDA) − модель побудови програмних систем, у якій компоненти взаємодіють шляхом обміну подіями. Подія (event) − це повідомлення про зміну стану системи або факт, що відбувся [1].

Проєктування програмного забезпечення зосереджується на створенні, виявленні, споживанні та реагуванні на події. Це дозволяє системам працювати незалежно та реагувати в режимі реального часу на значні зміни або події всередині системи. У EDA події виходять на перший план і можуть походити з різних джерел, тоді як інші компоненти реагують відповідним чином на ці події.

Event-driven serverless модель забезпечує:

- **Автоматичне горизонтальне масштабування** − кожна подія може ініціювати окремий екземпляр функції.
- **Розподіл навантаження через черги повідомлень**.
- **Ізоляцію помилок** − відмова одного обробника не впливає на інші.

Модель підтримує слабке зв’язування компонентів (loose coupling), асинхронність та високу масштабованість [2].

При проєктуванні високонавантажених serverless архітектур необхідно

1. Проаналізувати концепцію event-driven архітектури (EDA).
2. Дослідити принципи функціонування serverless обчислень.
3. Визначити переваги та обмеження event-driven моделей у високонавантажених середовищах.
4. Дослідити механізми масштабування та балансування навантаження.
5. Оцінити проблеми затримок (cold start), консистентності даних та керування станом.

Serverless − це модель хмарних обчислень, у якій розробник не керує серверами безпосередньо. Основним механізмом є **Function-as-a-Service (FaaS)**.

Найпоширеніші сервіси:

- AWS Lambda
- Azure Functions
- Google Cloud Functions

Високонавантажені системи характеризуються [3]:

- великою кількістю одночасних запитів;
- піковими навантаженнями;
- вимогами до мінімальної затримки;
- необхідністю високої відмовостійкості

У високонавантажених системах:

- застосовується ідемпотентність функцій;
- використовується механізми retry та dead-letter queues;
- забезпечується моніторинг та трасування (distributed tracing).

Основними архітектурними патернами **проєктування event-driven serverless систем є**:

- **Publish/Subscribe** − масштабоване розповсюдження подій.
- **Event Sourcing** − збереження стану через послідовність подій.
- **CQRS (Command Query Responsibility Segregation)** − розділення операцій читання та запису.
- **Saga Pattern** − координація розподілених транзакцій.

Основні компоненти EDA (рис.1)

- **Producer (генератор подій)** − ініціює подію;
- **Event broker (брокер повідомлень)** − забезпечує маршрутизацію;
- **Consumer (споживач подій)** − обробляє подію.

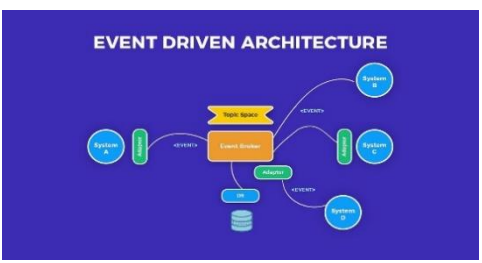


Рисунок 1 − Event-driven архітектура (EDA)

Event-driven serverless архітектури використовуються у:

- фінансових сервісах;
- e-commerce системах;
- IoT-платформах;
- системах обробки потокових даних;
- мультимедійних платформах.

Ефективним є застосування у сценаріях із непередбачуваним навантаженням, де традиційні підходи вимагають резервування надлишкових ресурсів.

Подієво-орієнтований підхід має великий перелік переваг.Слабка пов'язаність та масштабованість. EDA сприяє слабкій зв'язаності між компонентами систем, відокремлюючи їх за допомогою подій. В event-driven-архітектурі компоненти взаємодіють за допомогою асинхронних повідомлень про події, що дозволяє розробляти, розгортати та масштабувати їх незалежно один від одного.

Обробка подій у реальному часі. EDA забезпечує обробку та реагування на події у реальному часі, у міру їх виникнення. Event-driven-архітектура особливо добре підходить там, де обробка даних у реальному часі та оперативність реагування критично важливі, наприклад, у фінансових системах, IoT-додатках чи моніторингу.

Підвищується надійність та відмовостійкість систем за рахунок використання подієво-орієнтованої комунікації. Події можуть реєструватися та зберігатися у довгостроковому сховищі, що дозволяє обробляти помилки, відновлювати та відтворювати події.

Безшовна інтеграція з різнорідними системами. EDA забезпечує безшовну інтеграцію, забезпечує обмін даними та взаємодію між системами, оскільки події можуть споживатися та створюватися різними системами незалежно від їх базових технологій та мов програмування

Висновки. Event-driven моделі проєктування є ефективною основою для створення високонавантажених serverless архітектур.

Event-driven моделі мають такі особливості як:

- автоматичне масштабування;
- оплата за фактичне виконання;
- відсутність управління інфраструктурою;
- інтеграція з подієвими тригерами (HTTP-запити, черги, зміни у БД).

Поєднання асинхронної обробки подій та автоматичного масштабування забезпечує високу гнучкість і продуктивність систем. Для забезпечення стабільності необхідно враховувати питання узгодженості даних, моніторингу та проєктування безстанних сервісів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Levinson, A. (2021). Event-driven microservices architecture and patterns. International Journal of Science and Research Archive, 4(1), 229 - 249. https://ijsra.net/sites/default/files/IJSRA-2021-0166.pdf

2. Pautasso, C., & Zimmermann, O. (2017). Microservices in practice, part 1: Reality check and service design. IEEE Software. https://doi.org/10.1109/MS.2017.24
3. Fowler, M. (2017). Event-driven architecture. https://martinfowler.com/articles/201701-event-driven.html

УДК 004.9

Семенюк Л. О. [1], Бакурова А. В. [2]

АНАЛІЗ ВЕЛИКИХ ДАНИХ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

В умовах високої економічної невизначеності особливої актуальності набуває використання методів аналізу великих даних та алгоритмів машинного навчання для прогнозування соціально-економічних процесів. Застосування методів машинного навчання, статистичних моделей та алгоритмів обробки даних дозволяє виявляти приховані закономірності та формувати точні прогнози щодо макроекономічного розвитку, демографічних змін, ринку праці та споживчої поведінки. У роботі розглядалися основні методологічні підходи до аналізу великих даних, їх застосування для оцінки соціально-економічних явищ, а також можливі виклики та перспективи розвитку цього напряму.

Швидке зростання обсягів інформації вимагає розробки нових підходів до її аналізу. Традиційні економетричні методи прогнозування часто не враховують взаємозв'язки між різними соціально-економічними показниками. Використання великих даних дозволяє розширити можливості аналізу за рахунок інтеграції різних джерел інформації та застосування сучасних методів аналізу.

Основною метою дослідження було розроблення підходів до прогнозування соціально-економічних процесів на основі великих даних, включаючи макроекономічні показники, демографічні дані, дані про ринок праці, активність у соціальних мережах та споживчу поведінку населення. Аналіз активності користувачів у соціальних мережах дозволяє оцінити суспільні настрої, що може бути використано для прогнозування споживчих витрат [1].

У роботі використано комплексний підхід, що включає аналіз макроекономічних даних: дослідження ВВП, рівня інфляції та базового індексу споживчих цін. Для обробки великих даних застосовуються

[1] студентка групи КНТз-814м, «Запорізька політехніка»
[2] професор кафедри САОМ, «Запорізька політехніка», д.е.н.

методи машинного навчання, алгоритми кластеризації, лінійної та нелінійної регресії, а також сучасні технології, такі як Python (Pandas, Scikit-learn, Matplotlib). Методи машинного навчання, зокрема нейронні мережі, використовуються для прогнозування основних макроекономічних показників, таких як ВВП, інфляція та рівень зайнятості [2].

Базовий індекс споживчих цін (БІСЦ) є одним із ключових макроекономічних індикаторів, що характеризує динаміку фундаментального інфляційного тиску в економіці. На відміну від загального індексу споживчих цін, БІСЦ очищений від впливу сезонних та адміністративно регульованих компонентів, завдяки чому є більш стабільним і придатним для аналітичного прогнозування.

У межах магістерського дослідження у жовтні 2025 року (ex-ante) було сформовано короткостроковий прогноз базового індексу споживчих цін (БІСЦ) у вимірі «до грудня попереднього року» на IV квартал 2025 року на основі моделі машинного навчання Random Forest, яка за результатами попереднього тестування продемонструвала найнижчі значення MAE, RMSE та MAPE та найкраще відтворювала історичну динаміку інфляційного показника. Прогнозні значення становили: жовтень – 107,85%, листопад – 108,96%, грудень – 109,98%.

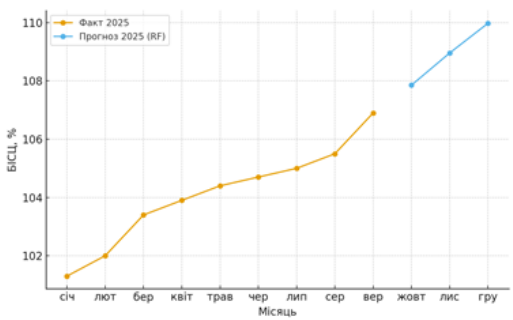


Рисунок 1 – Фактичні та прогнозні значення базового індексу споживчих цін України у 2025 році

Після оприлюднення офіційних статистичних даних було здійснено ex-post верифікацію прогнозної моделі. Фактичні значення БІСЦ склали: жовтень – 107,5%, листопад – 107,9%, грудень – 108,0% [3].

Для оцінки точності прогнозу було розраховано абсолютні похибки за формулою:

$$e_t = y_t - \hat{y}_t,$$

де yt – фактичне значення показника у період t,

$\hat{y}_t$ – прогнозне значення.

Розрахунки показали, що похибка становила:
– жовтень: – 0,35 в.п.;
– листопад: – 1,06 в.п.;
– грудень: – 1,98 в.п.

Від'ємне значення похибки в усіх трьох періодах свідчить про систематичну переоцінку інфляційного імпульсу моделлю наприкінці прогнозного горизонту.

Середня абсолютна похибка (MAE), визначена за формулою:

$$\mathrm{MAE} = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}|y_t - \hat{y}_t|,$$

(0,35 + 1,06 + 1,98) /3 = 1,13 в.п., що для короткострокового макроекономічного прогнозування в умовах нестабільного середовища характеризує модель як таку, що має прийнятний рівень точності.

Фактичне річне зростання БІСЦ у грудні 2025 року склало 8,0%, тоді як прогнозне значення відповідало очікуваному рівню близько 8,5%. Незважаючи на певну переоцінку інфляційної інерції, модель коректно відобразила загальний напрям динаміки та тенденцію до уповільнення зростання наприкінці року, що підтверджує її аналітичну адекватність.

Висновки. Можна зробити висновок, що проведена ex-post оцінка продемонструвала наявність помірної систематичної похибки прогнозу у вигляді переоцінки темпів інфляції. Значення MAE на рівні 1,13 в.п. свідчить про достатню прогностичну спроможність моделі. Отримані результати підтверджують коректність обраного методичного підходу та можливість його використання для короткострокового макроекономічного прогнозування.

Узагальнення результатів прогнозування ВВП та базового індексу споживчих цін дозволило сформувати цілісну оцінку очікуваної макроекономічної динаміки у 2025 році. Отримані результати відповідають сценарію помірного економічного відновлення за умов поступової стабілізації інфляційних процесів.

Попередні результати дослідження свідчать про потенціал використання великих даних у підвищенні якості короткострокового

макроекономічного прогнозування. Аналіз інформації із соціальних мереж дозволив ідентифікувати зв'язок між рівнем суспільної онлайн-активності та змінами у споживчих настроях, що може розглядатися як ранній індикатор економічних очікувань. Дослідження ринку праці показало, що застосування алгоритмів машинного навчання забезпечує достатній рівень точності прогнозування динаміки безробіття за умов врахування макроекономічних факторів.

Таким чином, результати роботи підтверджують доцільність використання методів машинного навчання як інструменту підтримки прийняття рішень у сфері економічної політики та подальшого розвитку систем макроекономічного прогнозування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мельник, Т. М., & Савчук, Н. Г. (2021). *Макроекономіка: навчальний посібник*. КНЕУ.

2. Романенко, О. О. (2020). *Економічне прогнозування: теорія, методологія, практика*. КНЕУ.

3. Державна служба статистики України. (n.d.). *Статистичний експлорер.* https://stat.gov.ua/uk/explorer?md5=f439f7bd51f3ffd52daeee58db074914

УДК 517.982.4:004.9

Гетманова Л.С.[1], Якунін А.В.[2]

ДЕЛЬТА-ФУНКЦІЯ ДІРАКА У ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

У сучасній цифровій індустрії дельта-функція Дірака (δ-функція) постає фундаментом досліджень з розробки і реалізації алгоритмів, що забезпечують реалістичне освітлення в іграх, опрацювання аудіо- та відеосигналів, стабільність навчання глибоких нейронних мереж тощо.

У комп'ютерній сфері одинична імпульсна δ-функція Дірака визначається як узагальнена функція [1, 2], що діє у просторі основних тест-функцій – числових нескінченно диференційованих фінітних функцій. Характеристики δ-функції математично строго обґрунтовані, а зручність її застосування в тому, що сама будучи «гранично розривною», вона допомагає наладнати вивчення розривних функцій.

Особливо важливу роль відіграє її фільтруюча властивість: $\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\,\delta(t-t_0)\,dt = f(t_0),$ яку можна розглядати як ідеальну функцію

[1] Студентка групи КН 2025-1, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова

[2] Доцент кафедри ВМіММ, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, к. т. н., доцент

вибірки (sampling function), що миттєво зчитує стан системи $f(t)$ у конкретний момент t_0 часу t.

Нехай $\varphi(t)$ – довільна інтегрована на всій осі функція, для якої виконується умова $\int_{-\infty}^{+\infty}\varphi(t)\,dt=1,$ тоді дельта-функцію можна розглядати як слабку границю: $\delta(t)=\lim\limits_{n\to\infty} n\,\varphi(nt).$ В якості $\varphi(t)$ можна взяти функцію Лоренца $\varphi_1(t)=\frac{1}{\pi}\cdot\frac{1}{t^2+1}$, яка використовується для опису спектральних ліній, чи нормований кардинальний синус $\varphi_2(t)=\mathrm{sinc}(t)=\frac{\sin(\pi t)}{\pi t}$, що виникає при вивченні перетворення Фур'є.

За допомогою δ-функції Дірака можна подати ідеалізоване зосереджене джерело маси, заряду, тепла тощо. Така ідеалізація не володіє фізично виправданими властивостями неперервності та диференційованості в точці дії зосередженого джерела, проте дозволяє досліджувати відповідні процеси в околі цієї точки.

Будь-яка взаємодія комп'ютера з аналоговим світом (запис звуку, робота сенсорів) базується на моделі «гребінця Дірака» (Dirac comb) – послідовності дельта-функцій [3, 4]. Процес дискретизації аналогового сигналу $x(t)$ описується як: $x[n]=x(nT_s)=\int_{-\infty}^{+\infty}x(t)\,\delta(t-nT_s)\,dt,$ де $x[n]$ – дискретний сигнал; n – номер відліку; T_s – період дискретизації.

Ця операція дозволяє застосовувати швидке перетворення Фур'є для аналізу частот. Множення аналогового сигналу на «гребінець Дірака» – послідовність δ-функцій з кроком, який дорівнює періоду дискретизації – дає можливість виділити його миттєві значення, що слугує підґрунтям теореми Котельникова – Шеннона, яка визначає мінімальну частоту дискретизації для збереження даних без втрат. Дельта-функція дозволяє обґрунтувати можливість точного відновлення сигналу, якщо частота дискретизації вдвічі перевищує максимальну частоту спектра сигналу. Будь-який сигнал можна розвинути на суму зсунених і масштабованих дельта-функцій, що дозволяє подати вихід системи як згортку вхідного сигналу з її імпульсною характеристикою.

У сучасних графічних рушіях (Unreal Engine 5, Unity) δ-функція є критичною для двох аспектів: трасування променів (Ray Tracing), що імітує фізичну поведінку світла, та імпульсна фізика зіткнень (Impulse-based Physics) як метод симуляції взаємодії твердих тіл. При рендерингу

поверхонь використовується [3, 4] функція розподілу двоспрямованої відбивної здатності (BRDF). При цьому для ідеально дзеркальних поверхонь відбиття описується через дельта-функцію, оскільки енергія променю не розсіюється, а спрямовується строго в одному напрямку: $f_r(\omega_i, \omega_0) = \rho\,\delta(\omega_i - reflect(\omega_0))/\cos\theta_i$, де $f_r(\omega_i, \omega_0)$ – функція розподілу двоспрямованої відбивної здатності; ω_i – напрямок падаючого променю світла; ω_0 – напрямок променю, що відбивається до спостерігача; ρ – коефіцієнт відбиття поверхні; $reflect(\omega_0)$ – ідеальний дзеркальний напрямок, обчислений за законом відбиття; θ_i – кут між напрямком падіння світла та нормаллю до поверхні.

Це дозволяє алгоритму миттєво визначати напрямок відбитого променю, значно економлячи обчислювальні ресурси GPU. Точкові джерела світла також моделюються як δ-імпульси інтенсивності, що спрощує розрахунок прямого освітлення.

У фізичних рушіях зіткнення твердих тіл моделюються як короткочасні імпульси. Замість тривалого інтегрування малих сил, рушій застосовує зміну імпульсу, описану через δ-функцію. Це дозволяє миттєво перерахувати вектори швидкостей об’єктів після удару, забезпечуючи стабільну роботу рушія при 60+ кадрах на секунду.

Однією з головних проблем глибоких нейронних мереж є зникнення або вибух градієнтів [3, 4]. Для її вирішення в архітектурі згорткових нейронних мереж використовується метод ініціалізації Дірака (Dirac Initialization). Суть методу полягає у наступному: елементи $W[i, j]$ вагової матриці згорткового фільтра задаються так, щоб максимально нагадувати δ-функцію: $W[i, j] = \delta[i, j]$, де $\delta[i, j]$ – символ Кронекера як дискретний аналог дельта-функції. Це перетворює кожен шар мережі на початковому етапі навчання на тотожне відображення (identity mapping). У результаті інформація без перешкод проходить через сотні шарів мережі, покращується збіжність алгоритмів навчання, а також зберігаються просторові ознаки зображення на початкових ітераціях.

У квантових обчисленнях [5] δ-функція є базовою для опису станів кубітів та операцій над ними. Вона дозволяє локалізувати частинку (або кубіт) у континуумі станів, що необхідно для процедур квантового пошуку та моделювання. Дельта-функція Дірака виступає початковою умовою для знаходження пропагатора (функції Гріна), який показує поширення по всій квантовій системі з бігом часу початкового одиничного збурення в одному кубіті. У квантових симуляціях за допомогою δ-функції моделюють надкороткі за часом імпульси або

точкові дефекти (потенціальні бар'єри та ями), через які частинки можуть тунелювати.

Висновки. Дельта-функція Дірака пройшла шлях від абстракції в рівняннях квантової механіки до практичного коду в ядрах графічних рушіїв та алгоритмах ініціалізації нейромереж. Вона дозволяє IT-фахівцям ефективно дискретизувати та обробляти аналогові сигнали та неперервні зображення, оптимізувати складні розрахунки в реальному часі, забезпечувати стабільність навчання надглибоких моделей штучного інтелекту та проводити квантові обчислення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Kanwal, R.P. (2004). *Generalized Functions: Theory and Applications*. Birkhauser.

2. Bilyi, O.G., Bilyi, V.O., & Marchuk, V.V. (2022). Dirac delta function. Main properties and applications. *Mathematics in Modern Technical University*, *2022*(1), 5-18. https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/d91cf358-81a0-405a-8225-ea78d0a497ef/content

3. Pharr, M., Jakob, W., & Humphreys, G. (2016). *Physically Based Rendering: From Theory to Implementation*. Morgan Kaufmann.

4. Дворжак, В.В., Талах, М.В. (2022). *Глибинне навчання для комп'ютерного зору*. Технодрук.

5. Мороз, Г.Б., & Мороз, О.Г. (2025). Успіхи та виклики квантової програмної інженерії. *Information Technologies and Systems. 4*(4), 45-73. https://doi.org/10.15407/intchsys.2025.04.045

UDC 004.4

Artomov I.V.[1], Chubukina O.V.[2]

TRAJECTORY MODELING CHALLENGES OF STRATOSPHERIC GLIDERS FOR MULTI-LAYERED SURVEILLANCE SYSTEMS

Ensuring effective territorial surveillance at both global and regional levels has traditionally relied on satellite systems. However, limitations in spatial and temporal resolution, the complexity of scaling orbital constellations, regulatory constraints, and high infrastructure costs necessitate the exploration of alternative or complementary monitoring platforms.

[1] PhD St. Dept. of Design Information Technologies, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institut"

[2] Assoc. Prof. Dept. of Foreign Languages, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", PhD

To address these challenges, the stratosphere represents a promising operational environment that combines advantages of both space-based and atmospheric systems. Lower energy requirements to reach and maintain altitude, relative airflow stability compared to lower atmospheric layers, and the ability to service platforms create favorable conditions for prolonged operation of unmanned aerial vehicles. Deploying observation assets in the stratosphere provides high spatial resolution, reduced data transmission latency, and flexible network configuration [1].

Long-endurance gliders that exploit dynamic soaring and solar energy represent a key component of the stratospheric layer within a multi-layered surveillance system. Integration of orbital, stratospheric, and near-surface layers into cooperative swarms of unmanned platforms establishes an adaptive surveillance architecture that supports efficient resource allocation and ensures stable coverage of the monitored area [2].

The effectiveness of the system depends on rational spatiotemporal positioning of stratospheric platforms, necessitating mathematical motion models and trajectory approaches that incorporate atmospheric conditions, energy limitations, coverage requirements, and cooperative interactions. Robust trajectory modeling provides the foundation for the design of control algorithms and platform coordination.

Effective utilization of wind and solar energy requires not only suitable structural designs but also control algorithms capable of dynamically adapting flight trajectories to changing atmospheric conditions. Given the spatiotemporal variability of wind patterns, updraft intensity, and solar insolation, the trajectory of a stratospheric glider must be planned with consideration of predictive environmental models.

Trajectory modeling plays an energy-centric role, determining flight regimes that balance energy consumption with energy replenishment. Optimization must account for vertical wind gradients, transitions between static and dynamic soaring, and surface orientation to solar radiation. Energy autonomy depends on the accuracy of atmospheric models and predictive algorithms.

For long-endurance flights, stratospheric gliders can harness the energy of atmospheric layers with vertical wind gradients. This principle is analogous to the dynamic soaring of the albatross, which extracts energy by transitioning between air layers with different wind velocities.

Mathematical modeling of glider motion in a nonuniform wind field is expressed as a system of nonlinear equations. Low air density at stratospheric altitudes leads to low Reynolds numbers and high Mach numbers, making airflow compressible and nonlinear, which complicates aerodynamic prediction and trajectory optimization [3].

Optimal trajectories are determined by solving an optimal control problem that considers both energy balance and nonlinear aerodynamic effects. Numerical simulations demonstrate the feasibility of energy-positive maneuvers, enabling the glider to sustain or even increase its mechanical energy without the use of an engine.

An orbital flight mode, using a specific combination of trajectory radius and bank angle, allows the glider to accumulate kinetic energy over a flight cycle. The stored energy can subsequently be used to gain altitude or reach a designated area, thereby enabling precise spatiotemporal positioning.

Conclusions: Trajectory modeling of stratospheric gliders, which accounts for atmospheric conditions, energy constraints, and nonlinear aerodynamics effects, facilitates the development of practical models, numerical simulations, and real-world trajectory testing. This approach provides a robust foundation for the effective coordination of unmanned platforms within a multi-layered surveillance system, thereby enhancing reliability, efficiency, and adaptability in territorial monitoring operations.

REFERENCE

1. D'Oliveira, F., Melo, F., & Devezas, T. (2016). High-Altitude Platforms – Present Situation and Technology Trends. *Journal of Aerospace Technology and Management, 8*(3), 249-262.

2. Sachs, G., & Grüter, B. (2020). Trajectory Optimization and Analytic Solutions for High-Speed Dynamic Soaring. *Aerospace, 7*(4), 47.

3. Artomov, I., Krytskyi, D., & Artomova, A. (2025). Issues and Methods of Trajectory Modeling for Stratospheric Gliders in Area Surveillance Applications. *Science and Technology of the Air Force of Ukraine*, *2*(59), 116-124.

УДК 517.58:[624+691]

Оробей В.В.[1], Якунін А.В.[2]

ФУНКЦІЯ МІТТАГ-ЛЕФФЛЕРА У БУДІВЕЛЬНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ

У сучасній будівельній галузі та споріднених сферах все частіше виникає потреба моделювання складних систем, що мають властивість розподіленої «пам’яті» чи нелокальності. Для таких об’єктів класичний інструментарій диференціальних рівнянь цілого порядку не завжди здатен адекватно описати їх функціонування. На стику математичного аналізу, комп’ютерних наук та будівництва яскраво демонструє свої практичні можливості вирішення проблем апарат дробового числення

[1] Студент групи ВІМ 2025-1, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова

[2] Доцент кафедри ВМіММ, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, к. т. н., доцент

[1], де в аналітичних поданнях центральне місце посідає спеціальна функція Міттаг-Леффлера (MLE) та її узагальнення.

Класична однопараметрична функція Міттаг-Леффлера $E_\alpha(z)$ введена ще у 1903 р. як узагальнення експоненціальної функції [1]: $E_\alpha(z)=\sum_{k=0}^{\infty}\frac{z^k}{\Gamma(\alpha k+1)}$, де k – цілий індекс; z і α – комплексні числа, причому $\mathrm{Re}\,\alpha>0$; $\Gamma(\cdot)$ – гамма-функція. При $\alpha=1$ ця функція перетворюється на звичайну експоненту e^z, що підкреслює її фундаментальний характер.

Сучасні дослідження спрямовані на створення нових узагальнень функції Міттаг-Леффлера як більш гнучких моделей реальних процесів. У роботах [2, 3] розглядаються функції Міттаг-Леффлера від двох змінних як кроки до відображення систем у багатовимірному просторі, що дозволяє описувати ситуації з декількома процесами релаксації.

Комп'ютерна реалізація цих функцій є критично важливою для інженерних застосувань. У системі Wolfram Mathematica впроваджено, як вбудовану, функцію MittagLefflerE, що дозволяє не лише проводити прецизійні обчислення, але й візуалізувати складну поведінку об'єктів у комплексній площині за допомогою функцій Plot3D та ComplexPlot. Це дає можливість аналізувати стійкість конструкцій та матеріалів у реальному часі.

Для фахівців і дослідників, пов'язаних з будівельною галуззю, особливий інтерес становлять прикладні аспекти прояву функції Міттаг-Леффлера, серед яких:

– Реологія будівельних матеріалів (3D-друк бетону). Дослідження [4] показують, що функція Міттаг-Леффлера найкраще описує деформацію в'язкопружних бетонних сумішей, що є ключовим для технологій адитивного виробництва. Це критично важливо для розрахунку довговічності висотних будівель та мостів.

– Обробка даних (Digital Twins). Аналіз дифузійно-зваженої магнітно-резонансної томографії будматеріалів або моніторинг стану тримальних конструкцій [5] дозволяє виявляти приховані мікродефекти на ранніх стадіях завдяки вищій точності апроксимації сигналів, які відображають повільну деформацію бетону, композитів (склопластику, полімербетону) та деревних матеріалів під постійним навантаженням.

– Інтелектуальні системи захисту. Моделювання поведінки демпферів у висотних будівлях при сейсмічних навантаженнях за допомогою дробових похідних дозволяє значно точніше прогнозувати поглинання енергії коливань під час землетрусів. Це допомагає краще аналізувати віброзахист та демпфування для проєктування ефективних

засобів гасіння вібрацій складних конструкційних систем.

Висновки. Функція Міттаг-Леффлера є потужним інструментом сучасного інженера-дослідника, що поєднує матеріалознавство, механіку, фундаментальну математику з комп'ютерними технологіями. Її використання дозволяє уникнути перевитрат матеріалів та інших ресурсів: знаючи точніше тривалу динаміку конструкцій, не потрібно задля надійності закладати наосліп наперед надлишкові коефіцієнти запасу міцності. Незважаючи на значні напрацювання, залишається багато питань розробки практичних шляхів застосування функції Міттаг-Леффлера для вирішення проблем подання вимушених коливань і динамічної стійкості систем, опису повзучості/релаксації та зв'язку напруження-деформація, що потребують витратних ітераційних обчислень MLE на кожному кроці дискретизації. Тому необхідні більш ефективні числові методи та програмні реалізації MLE.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Gorenflo, R., Kilbas, A.A., Mainardi, F., & Rogosin, S.V. (2014). *Mittag-Leffler Functions, Related Topics and Applications*. Springer.

2. Maged, G. B.-S., Hasanov, A., & Ruzhansky, M. (2022). Some properties relating to the Mittag–Leffler function of two variables. *Integral Transforms and Special Functions. 33*(5). 400-418.

3. Hasanov, A., & Karimov, E.T. (2025). On generalized Mittag-Leffler-type functions of two variables. *arXiv preprint arXiv:2501.03918*. https://arxiv.org/abs/2501.03918

4. Luo, Y., & Zhang, Y. (2024). Fractional calculus in rheological modeling of 3D printable concrete : A review. *Construction and Building Materials*. *411*. 134290. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134290

5. Ibrahim, R.W., & Pottier, M. (2017). Generalized Mittag-Leffler functions and their applications in viscoelasticity. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*. *40*(5), 1845-1864.

УДК 004.8

Сенюк Є.О.[1], Мельничук В. Е. [2]

ТРАНСФОРМАЦІЯ ФІНАНСОВОГО ПЛАНУВАННЯ (FP&A) ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГНОЗНОЇ НАЛІТИКИ НА БАЗІ ШІ

Вступ. Фінансове планування та аналіз (FP&A) за останні роки вступило в епоху цифрової трансформації. Традиційні підходи до

1 Студент групи ІО-51мн, НТУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

2 Доцент кафедри економічної кібернетики, НТУ«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», доктор філософії з економіки

бюджетування та прогнозування, що базуються на історичних трендах і ручних процесах, виявляють обмежену гнучкість у сучасних умовах високої волатильності ринку. Прогнозна аналітика на базі ШІ дозволяє створити адаптивні моделі прогнозування, які враховують великі обсяги даних, сезонні коливання, макроекономічні індикатори та нетрадиційні джерела інформації (наприклад, дані поведінки клієнтів або постачальників).

Технологічний стек та архітектури моделей. Сучасний стек для FP&A включає комплекс інструментів для ефективної роботи з фінансовою інформацією, що охоплює збори й підготовку даних, ETL-процеси, сховища даних, платформи для обробки потоків, а також сервісні шари для тренування та розгортання моделей. Ця інфраструктура дозволяє автоматизувати збір даних з різних джерел, забезпечуючи високу якість та актуальність інформації для подальшого аналізу. Використання сучасних сховищ даних та потокової обробки дає змогу працювати з великими обсягами інформації в режимі реального часу, що є критичним для швидкого прийняття управлінських рішень.

Для прогнозування часто використовуються такі класи алгоритмів: традиційні статистичні методи, методи на основі градієнтного бустингу, а також рекурентні та трансформерні нейронні мережі для обробки послідовностей [1]. Традиційні методи, як-от ARIMA та ETS, добре підходять для простих часових рядів, тоді як градієнтний бустинг ефективно працює з великою кількістю ознак та нелінійними залежностями. Нейронні мережі демонструють високу точність при роботі з комплексними даними, де необхідно враховувати довгострокові залежності.

Комбінація кількох підходів зазвичай дає кращі результати у задачах FP&A, оскільки ансамблеві моделі дозволяють нівелювати недоліки окремих алгоритмів та максимізувати точність прогнозів. Такий підхід забезпечує більшу стабільність моделі до змін у даних та підвищує надійність фінансових планів. Використання ансамблів є стандартом у сфері аналітики для досягнення найвищої якості прогнозування.

Джерела даних та їх інтеграція. Ефективність прогнозів сильно залежить від якості та різноманітності вхідних даних. Окрім внутрішніх фінансових реєстрів, важливо інтегрувати зовнішні джерела: економічні індикатори, ціни на сировину, дані конкурентів, погодні дані та сигналізатори соціальних мереж [2]. Процес нормалізації, очистки даних та управління пропущеними значеннями є критично важливим етапом.

Корінь середньоквадратичної помилки підносить відхилення до квадрата перед усередненням, що робить цей показник надзвичайно

чутливим до великих помилок або викидів у даних, що означає, що модель з високим показником RMSE матиме рідкісні, але дуже значні відхилення, що важливо для управління ризиками.

Підбір конкретної метрики повинен відповідати бізнес-цілям та потенційним наслідкам помилки прогнозування для фінансового стану компанії. Наприклад, для прогнозування грошових потоків пріоритетом є мінімізація великих відхилень, тому пріоритетною є RMSE, щоб уникнути критичних касових розривів. Для планування закупівель важливіша відносна точність, тому використовують MAPE, щоб коректно управляти рівнем запасів незалежно від обсягів продажів.

Інтерпретованість та пояснюваність моделей. Однією з перешкод для впровадження ШІ в FP&A є необхідність пояснюваності прогнозів. Техніки SHAP, LIME та інші методи інтерпретації дозволяють показати вплив окремих факторів на прогноз. Впровадження пояснюваності сприяє довірі фінансових аналітиків та менеджменту до автоматизованих прогнозів [3].

Практичні кейси застосування. Прогнозування грошових потоків є одним із найкритичніших елементів фінансового планування, де використання ансамблевих моделей і сценарного аналізу дозволяє генерувати кілька варіантів розвитку подій з оцінкою ймовірності настання кожного з них. Це дає можливість керівництву бачити не просто одну лінію прогнозу, а спектр фінансових наслідків, включаючи оптимістичні, песимістичні та найбільш ймовірні сценарії. Такий підхід допомагає завчасно підготуватися до дефіциту ліквідності або ефективно інвестувати тимчасові надлишки коштів.

Організаційні та етичні аспекти. Впровадження прогнозної аналітики вимагає докорінної зміни організаційних процесів, що охоплює створення спеціалізованих команд Data & FP&A, навчання співробітників новим навичкам, оновлення політик безпеки даних та управління доступом. Не лише технічний перехід, а й культурна трансформація, яка потребує активної підтримки керівництва та розуміння важливості даних як стратегічного активу. Створення крос-функціональних команд дозволяє поєднати фінансову експертизу з технічними можливостями аналізу даних, що значно підвищує ефективність впровадження нових інструментів.

Компанії повинні інвестувати у безперервне навчання персоналу, щоб співробітники могли ефективно використовувати нові аналітичні інструменти та розуміти принципи їхньої роботи. Оновлення політик безпеки даних є критичним для захисту конфіденційної фінансової інформації від несанкціонованого доступу чи витоку, що потребує впровадження сучасних протоколів шифрування та контролю доступу. Лише комплексний підхід, що включає технічні, організаційні та етичні

заходи, гарантує успішне впровадження прогнозної аналітики та отримання реальної цінності для бізнесу [4].

Рекомендації щодо впровадження. Починати з пілотних проєктів, що мають чіткі KPI. 1) Забезпечити якість даних та механізми версійності моделей. 2) Впровадити процеси валідації та моніторингу моделей у продуктивному середовищі. 3) Планувати інтеграцію з існуючими ERP/BI-системами.

Висновки. Прогнозна аналітика на базі ШІ суттєво змінює практику FP&A, надаючи інструменти для точнішого і більш адаптивного планування. Ключовими умовами успішної трансформації є якість даних, інтеграція моделей у бізнес-процеси, забезпечення інтерпретованості прогнозів і управління етичними ризиками. Поступова імплементація через пілотні проєкти та послідовне масштабування дозволять організаціям отримати вимірюваний ефект від інвестицій у ШІ.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). *Forecasting: Principles and practice* (2nd ed.).

2. Makridakis, S., Spiliotis, E., & Assimakopoulos, V. (2018). The M4 competition: Results, findings, conclusion and way forward. *International Journal of Forecasting, 34*(4), 802–808.

3. McKinsey & Company. (2025, November 3). *How finance teams are putting AI to work today*. McKinsey on Finance.

4. Deloitte. (2023). *Advancing the finance function with artificial intelligence (Workday intelligent finance tour summary)*. Deloitte Insights.

UDC 004.9

Bykov A.M.[1], Bykova T.A.[2]

OPTIMIZATION OF VR VISUALIZATION FOR INTERACTIVE SIMULATIONS IN EDUCATIONAL AND TRAINING COMPLEXES

Today, educational and training complexes (ETCs) go beyond conventional screens. They are characterized by the transition from 2D interfaces to immersive virtual reality (VR) technologies. The implementation of VR allows you to create a safe and controlled environment for training specialists in critical areas: energy, mechanical engineering, aviation and the defense sector. However, the main technological barrier to full immersion in the digital space remains the high computational

[1] Senior Lecturer, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"
[2] Assistant, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"

complexity of real-time rendering.

Optimization of the visualization process in this context is considered not just as a graphical improvement, but as an optimization of the technological process of data preparation and its display in a virtual reality headset. It is necessary to ensure a stable frame rate (not less than 90 FPS) with minimal latency (latency < 20 ms). Failure to comply with these parameters increases the risk of motion sickness and reduces the effectiveness of immersion in the process of developing skills [1]. The purpose of the work is to analyze and systematize methods for optimizing the graphics pipeline to increase the performance of interactive VR simulations [2].

A generalized correspondence between typical limiting factors of the VR visualization pipeline and methods for their elimination is given in Table 1.

Table 1 – Mapping of limiting factors in VR visualization to optimization methods

Limiting factor	Primary methods	Expected effect	Quality risk
GPU-bound (pixel shading bottleneck, high fragment cost)	Foveated rendering; Variable Rate Shading (VRS)	Reduces shading workload and improves FPS	Peripheral artifacts; Possible quality instability during fast gaze/head motion
CPU-bound (draw submission overhead, too many draw calls)	LOD/HLOD; Batching; Culling	Reduces draw-call overhead and stabilizes frame time	Loss of detail on distant objects; LOD “popping” if thresholds are poor
VRAM (memory pressure, high texture traffic)	Texture atlasing; Texture compression	Lowers memory footprint and bandwidth demand, reducing stalls	Compression artifacts if parameters are aggressive
Frame drops (unstable FPS, missed frame deadlines)	ATW and ASW reprojection	Improves perceived smoothness and reduces perceived latency during drops	Reprojection artifacts (ghosting/smearing), especially with fast motion

The VR rendering process can be represented as a complex technological sequence of actions, including geometry processing, lighting calculation, texturing and final post-processing for two displays simultaneously. Optimizing this sequence requires a comprehensive approach at several levels. To formalize optimization as a technological process, Fig. 1 presents the decomposition of the VR visualization pipeline into stages and corresponding methods for reducing computational costs and delays.

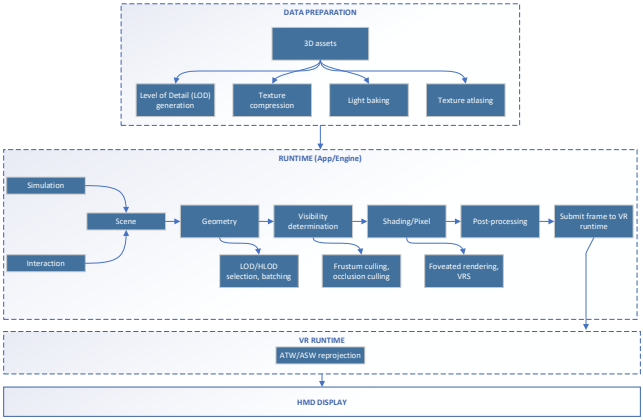


Figure 1 – Structure of the VR visualization pipeline and methods for reducing computational costs and delays

Let's consider the key methods and technological techniques that allow achieving the necessary level of productivity and immersion in modern training complexes:

1. Geometry management: LOD and HLOD

The environment of training complexes can contain thousands of small details. Processing each polygon is impractical. If we consider Discrete LOD and Hierarchical LOD as separate processes, the first allows the system to dynamically select a simplified version of the model depending on its distance from the virtual camera [3]. The second solves the problem of a critical number of draw calls. This is possible by combining dozens of static objects into single meshes at long distances [4]. As a result, thousands of small operations are transformed into a few massive ones, which unloads the central processing unit (CPU).

2. Intelligent object clipping

When it comes to the efficiency of the rendering process, it directly depends on the system's ability to ignore what the user cannot see. This is where Frustum Culling comes in, providing instant removal of objects outside the visibility pyramid. Occlusion Culling is a more complex solution. It is important for closed simulations where the user is inside the training space and the system does not need to calculate objects outside of it. Modern object-culling techniques for massive real-time scenes confirm the practical impact of visibility determination on performance [5].

3. Foveal rendering

This is probably the most “human-centric” optimization method, as rendering the entire display area with the same quality is redundant. Using eye-tracking, we adapt the resolution in real time. Studies show that foveated

rendering can substantially reduce shading workload while balancing perceptual quality, latency and power constraints [6]. Recent variants include mapping-based approaches and scene-aware models that further improve perceptual fidelity under gaze motion [7,8].

4. Adaptive shading

Variable Rate Shading allows the developer of the training complex to mark which areas are priority areas for the video card. This approach allows the system's power consumption to be redistributed in favor of informationally important areas that are critical for long training sessions [9].

5. Asynchronous timewarp

One of the biggest problems for virtual reality is latency. If the system cannot prepare a frame in approximately 11.11 ms (for 90 Hz), there is a gap in perception. But it is ATW technology that performs the final frame correction immediately before output to the VR headset, taking into account the user's latest movement. And this is what minimizes the risk of sickness, ensuring a smooth immersion in the learning process even during temporary peak loads on the system.

The use of photorealistic textures with a resolution of 4K and above is standard for simulations of critical equipment nodes. However, this creates a problem of video memory (VRAM) bandwidth shortage and delays in data transfer over the PCIe bus.

Classic block compression algorithms (BC7, ASTC) provide a fixed compression ratio. However, they often result in the loss of fine details, which is unacceptable when reading virtual instrument readings. The latest development is Neural Texture Compression (NTC). The essence of the method is to use ultra-lightweight neural networks as texture information decoders directly in the shader. Unlike standard methods, neural network models allow you to maintain high texture clarity while reducing their physical volume several times over. This reduces the load on the memory bus of standalone VR headsets. It also ensures dynamic loading of detailed areas of the scene without visible simulation issues [10].

Conclusions: The analysis of VR visualization optimization methods within training complexes suggests that we are currently experiencing a paradigm shift: from extensive expansion of computing power to intensive, intelligent use of resources. A promising direction for further research is the integration of generative models for the automatic creation of LOD levels and the implementation of AI-based predictive rendering algorithms. This will make it possible to predict user movements, completely eliminating visual delays.

REFERENCES:

1. Simón-Vicente, L., Rodríguez-Cano, S., Delgado-Benito, V., Ausín-

Villaverde, V., & Delgado, E. C. (2024). Cybersickness. A systematic literature review of adverse effects related to virtual reality. Neurología (English Edition), 39(8), 701-709.

2. Dixit, A., & Sarangi, S. R. (2024). PredATW: Predicting the asynchronous time warp latency for VR systems. ACM Transactions on Embedded Computing Systems, 23(5), 1-37.

3. Liang, Y., Song, Q., Wang, R., Huo, Y., & Bao, H. (2022). Automatic mesh and shader level of detail. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 29(10), 4284-4295.

4. Benthin, C., & Peters, C. (2023, December). Real-Time Ray Tracing of Micro-Poly Geometry with Hierarchical Level of Detail. In Computer Graphics Forum (Vol. 42, No. 8, p. e14868).

5. Lee, E. S., & Shin, B. S. (2023). Vertex chunk-based object culling method for real-time rendering in metaverse. Electronics, 12(12), 2601.

6. Singh, R., Huzaifa, M., Liu, J., Patney, A., Sharif, H., Zhao, Y., & Adve, S. (2023, March). Power, performance, and image quality tradeoffs in foveated rendering. In 2023 IEEE Conference Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR) (pp. 205-214). IEEE.

7. Ye, J., Xie, A., Jabbireddy, S., Li, Y., Yang, X., & Meng, X. (2022, March). Rectangular mapping-based foveated rendering. In 2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR) (pp. 756-764). IEEE.

8. Fan, R., Shi, X., Wang, K., Ma, Q., & Wang, L. (2024). Scene-aware foveated rendering. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 30(11), 7097-7106.

9. Petrescu, D., Warren, P. A., Montazeri, Z., Strain, G., & Pettifer, S. (2024, March). Thinking on Your Feet: Enhancing Foveated Rendering in Virtual Reality During User Activity. In In Proceedings of the 19th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications-GRAPP (p. 140).

10. Weinreich, C., De Oliveira, L., Houdard, A., & Nader, G. (2024, May). Real-Time Neural Materials using Block-Compressed Features. In Computer Graphics Forum (Vol. 43, No. 2, p. e15013).

UDC 519.216

Melnyk A.O.[1], Rozora I.V.[2]

STATISTICAL ESTIMATION AND CONFIDENCE BANDS FOR IMPULSE RESPONSE FUNCTIONS

The problem of estimation of a stochastic linear system has been a matter of active research in recent years [1]. Estimating the impulse response

[1] PhD Student, Taras Shevchenko National University of Kyiv
[2] Assoc. Prof., Taras Shevchenko National University of Kyiv

function (IRF) is analogous to solving inverse and deconvolution problems, which are commonly applied in signal detection and the restoration of signals or images [2]. In this paper, a time-invariant continuous single-input single-output (SISO) linear system is considered with a real-valued impulse response function which is defined on a bounded domain $H \in L_2([0,\Lambda])$.

The relationship between the input signal $X(t)$ and the output signal $Y(t)$ at any time $t \in \mathbb{R}$ is described by the convolution integral:

$$Y(t) = \int_0^{\Lambda} H(\tau)X(t-\tau)d\tau$$

The primary objective is to estimate the unknown function $H(\tau)$ based on observations of the system's input and output signals. As an input to the linear system, we consider a real-valued, stationary, zero-mean Gaussian stochastic process $X_N(u)$ [3]. This process is constructed as a finite series expansion over an orthonormal basis in the space $L_2([0,\Lambda])$.

To estimate the IRF, we employ the integral cross-correlogram approach, which is a standard method in system identification. The estimator for $H(\tau)$, denoted as $\widehat{H}_{N,T,\Lambda}(\tau)$, is defined as the time average of the product of the output and a time-shifted version of the input:

$$\widehat{H}_{N,T,\Lambda}(\tau) = \frac{1}{T}\int_0^{T} Y_N(t)X_N(t-\tau)dt$$

Here, $T > 0$ is the length of the averaging interval, which is a key parameter influencing the estimator's variance. The estimator $\widehat{H}(\tau)$ is generally biased, as its expectation is a truncated version of the true function's Fourier series, but as $N \to \infty$ the bias term converges to zero, making it asymptotically unbiased. The variance of the estimator is inversely related to the averaging time T, and as $T \to \infty$, the variance tends to zero.

The statistical analysis of the cross-correlogram estimator relies heavily on the theory of a specific class of stochastic processes known as square-Gaussian processes [1]. The centered estimation error process, defined as the difference between the estimator and its expected value $\hat{Z}_{N,T,\Lambda}(\tau) = \widehat{H}_{N,T,\Lambda}(\tau) - \mathrm{E}\widehat{H}_{N,T,\Lambda}(\tau)$, is a square-Gaussian process. This crucial observation allows us to apply the powerful theoretical tools associated with SG processes. Specifically, a large deviation inequality for the L_p-norm of the estimation error and the space of continuous functions can be obtained to construct explicit non-asymptotic bounds [2].

The primary application of our main inequality is to develop a goodness-of-fit test to determine whether the observed data is consistent with a predefined theoretical model for the IRF. Let $H_0(\tau)$ be a specific, hypothesized IRF. We use the test statistic Δ_C, defined as the uniform norm of the difference:

$$\Delta_C = \sup_{\tau \in [0,\Lambda]} \left| H_0(\tau) - \hat{H}_{N,T,\Lambda}(\tau) \right|$$

A simulation study was conducted to determine the practical requirements for the experiment duration, specifically the averaging time T, needed to ensure the estimation quality. The true IRF is assumed to be a damped sine wave $H(\tau) = e^{-\tau} \sin\left(\frac{\pi\tau}{\Lambda}\right)$.

Table 1 – The minimal values of T for fixed $N = 100$

Accuracy, ε	T when $\delta = 0.3$	T when $\delta = 0.2$	T when $\delta = 0.1$
0.010	695	810	1002
0.025	363	423	523
0.050	236	275	340
0.075	186	217	268
0.100	158	184	228

Conclusions: In this work, we developed and analyzed a comprehensive framework for the statistical estimation of and inference on the Impulse Response Function (IRF) for a time-invariant continuous linear system. By combining the classical cross-correlogram estimation method with the powerful theory of square-Gaussian stochastic processes, we established a rigorous and practical methodology for hypothesis testing and uncertainty quantification. The numerical results highlighted the non-linear trade-off between experimental duration and estimation precision, offering valuable guidance for researchers planning data collection.

REFERENCES:

1. Kozachenko, Yu., & Rozora, I. (2023). On statistical properties of the estimator of impulse response function. In Springer International Publishing (pp. 563-585).

2. Rozora, I., & Melnyk, A. (2025). Statistical estimation and hypothesis testing on impulse response function. Austrian Journal of Statistics, 54(1), 200-213.

3. Rozora, I., Ianevych, T., Pashko, A., & Zatula, D. (2023). Simulation of stochastic processes with given reliability and accuracy. In Nova Science Publishers (pp. 415-452)

Khilchuk A.V.[1]

SIMULATION MODELING OF URBAN TRAFFIC FLOWS: EFFECTIVENESS OF CONGESTION REDUCTION METHODS

Introduction: Urban mobility constitutes an integral component of economic and social stability: it regulates the efficiency of labor market interactions, determines the accessibility of essential services, shapes patterns of spatial development. And as complex as it is important, it also represents an extremely complex multi-layered system, whose intricate interactions among infrastructure, users, and regulatory mechanisms are reflected in recurring congestion, capacity bottlenecks, and plethora of other systemic inefficiencies. These issues become especially magnified under wartime conditions, where rolling blackouts disable critical traffic control systems and render traditional regulatory mechanisms virtually ineffective. Given the high stakes, testing new traffic management strategies in real-world conditions is highly impractical, if not completely impossible. Thus, the need for alternative methods of evaluation and optimization of traffic management strategies arises. One of such methods is simulation modeling – a methodological framework that enables isolated reproduction of traffic dynamics and the evaluation of management strategies under diverse operational scenarios. This research aims to review contemporary simulation-based approaches to traffic congestion modeling, with the goal of assessing their effectiveness in evaluating traffic management strategies and optimizing transport system performance.

Main material: This study is based on a review of existing literature in urban planning and informational technologies with the analytical process comprised of the following steps: setting the scope of search, defining search query, conducting the search for relevant papers, selecting of articles that contain useful information related to the research topic and analyzing obtained data.

The literature search was performed using Google Scholar as the primary academic search engine for querying existing studies throughout multitude of research databases. The search term was defined as follows: ("traffic congestion" OR "urban traffic" OR "urban mobility" OR "traffic flow") AND ("simulation modeling" OR "traffic simulation" OR "computational modeling" OR "transport modeling") AND ("traffic management" OR "traffic control strategies" OR "traffic optimization" OR "network performance evaluation") As for filtering criteria, only studies published after the year 2020 were included.

[1] Master's student, Dept. of Computer Engineering, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

The literature search was conducted in March of 2026, yielding around 17300 initial results. Of this set of publications, 255 papers underwent thorough examination as potential candidates, resulting in 5 papers being deemed as relevant to this study.

Although the modernization of urban mobility poses significant logistical challenges, microscopic simulation has proven itself as an efficient and risk-free source of data on the most effective optimization strategies. Current scientific literature outlines two primary simulation-based approaches that offer significant resilience under compromised conditions: temporal optimization through Adaptive Traffic Signal Control and spatial reallocation via Dedicated Transit Lanes.

Replacing fixed-time signaling with ATSC allows for dynamic flow optimization, a capability that becomes particularly valuable when conventional regulatory mechanisms lose effectiveness due to infrastructure-related disruptions. Simulation studies involving traffic modeling software demonstrate that optimizing signal controllers to react to real-time vehicle demand can reduce mean travel times by 20% across congested networks [1]. Furthermore, the integration of Deep Reinforcement Learning within the open-source simulation environments like Eclipse SUMO enable traffic networks to proactively manage flows on a global scale. Advanced models, such as Hierarchical Deep Q-Networks, have been shown through simulation to increase intersection throughput by astounding 100.5% while reducing total vehicle waiting time by 49.64% compared to baseline methods [2]. By optimizing urban network throughput, these adaptive systems drastically minimize destructive "stop-and-go" shockwaves, which also translates to environmental dividends, in particular a 40% reduction in carbon dioxide emissions [3].

Spatial optimization through Dedicated Transit Lanes fundamentally alters urban mobility dynamics by isolating high-occupancy vehicles from general traffic friction. Simulation-based evaluations confirm that physical separation yields immediate kinematic benefits, acting as a buffer against complete flow breakdown. For example, isolating Bus Rapid Transit vehicles from mixed traffic increases their average travel speed by 7.25%, and when this is combined with Transit Signal Priority, it reduces passenger delay at intersections by up to 20% [4]. Additionally, theoretical network simulations establish that the simple provision of a dedicated bus lane decreases total bus travel time by 18% and allows for a service frequency increase of approximately 20% [5].

Conclusions: Urban mobility constitutes an integral component of economic and social stability in modern cities. This study demonstrates that microscopic simulation modeling serves as an effective and risk-free method for evaluating traffic management strategies and reducing congestion. The

reviewed literature identifies two particularly effective approaches validated through simulation: Adaptive Traffic Signal Control integrated with Deep Reinforcement Learning and Dedicated Transit Lanes. Simulation results show that ATSC can reduce mean travel times by 20%, increase intersection throughput by 100.5%, decrease vehicle waiting time by 49.64%, and lower carbon dioxide emissions by 40%. Dedicated bus lanes increase average bus speeds by 7.25%, reduce passenger delay by up to 20%, and enable an approximately 20% increase in service frequency. The findings confirm the high potential of simulation modeling for optimizing urban traffic flows. These strategies offer valuable practical insights for improving the efficiency and performance of transport systems in contemporary cities.

REFERENCES:

1. Gunarathne, D., Amarasingha, N., & Wickramasighe, V. (2023). *Traffic Signal Controller Optimization Through VISSIM to Minimize Traffic Congestion, CO and NOx Emissions, and Fuel Consumption.* Science, Engineering and Technology, 3(1), 9–21.
2. Michailidis, P., Michailidis, I., Lazaridis, C., & Kosmatopoulos, E. (2025). *Traffic signal control via reinforcement learning: A review on applications and innovations.* Infrastructures, 10(5), 114.
3. Santos, O., Ribeiro, F., Metrolho, J. C. M. M., & Dionisio, R. (2024). *Using smart traffic lights to reduce CO2 emissions and improve traffic flow at intersections.* MDPI.
4. Desta, R., & Dubale, T. (2021). *Transit performance evaluation at signalized intersections of bus rapid transit corridors.* Proceedings of the 7th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems (VEHITS 2021) (pp. 618–625). SCITEPRESS.
5. Russo, A., Adler, M. W., & van Ommeren, J. N. (2022). *Dedicated bus lanes, bus speed and traffic congestion in Rome.* Transportation Research Part A: Policy and Practice, 160(5), 298–310.

УДК 004.046

Кривокоритов А.В.[1], Желдак Т.А. [2]

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ МЕНЕДЖМЕНТІ

Сучасна енергетика переживає фундаментальні трансформації. Зростання попиту на енергію, глобальні кліматичні зміни та необхідність скорочення викидів парникових газів вимагають пошуку

[1] Аспірант групи САа-25-10, НТУ «Дніпровська політехніка»
[2] Завідувач кафедри САтаУ, НТУ «Дніпровська політехніка», к. т. н., доцент

нових інструментів управління енергетичними системами. Традиційні методи енергетичного менеджменту не завжди забезпечують достатній рівень ефективності, особливо в умовах інтеграції відновлюваних джерел енергії, що відзначаються високою змінністю та непередбачуваністю. У цьому контексті особливе значення набувають цифрові технології, серед яких провідне місце займає штучний інтелект (ШІ). Його використання дозволяє аналізувати великі масиви даних, здійснювати прогнозування, автоматизувати управлінські рішення та підвищувати гнучкість енергетичних систем [1].

ШІ являє собою сукупність методів та алгоритмів, здатних до обробки великих даних, самонавчання й оптимізації рішень. Найбільш поширені технології включають:

- машинне навчання (ML) – створення моделей, що вчяться на основі історичних даних;
- глибинне навчання (DL) – багатошарові нейронні мережі для розпізнавання складних закономірностей;
- експертні системи – програмні рішення з базами знань і правилами логічного висновку;
- алгоритми оптимізації – інтелектуальні підходи до пошуку найкращих рішень у складних багатофакторних системах.

У сфері енергетики ці методи інтегруються в концепції Smart Grid, Smart City, цифрових двійників та Industry 4.0, утворюючи інтелектуальні системи управління, здатні працювати в режимі реального часу.

Алгоритми ШІ можуть враховувати багатофакторні залежності (погодні умови, сезонність, поведінку споживачів) для точного прогнозу навантажень і виробітку з відновлюваних джерел енергії. Інтелектуальні системи управління будівлями та підприємствами дозволяють оптимізувати споживання енергії, автоматично регулювати роботу освітлення, вентиляції, опалення та обладнання, знижуючи енерговитрати на 10-30%. Предиктивна аналітика дозволяє здійснювати технічне обслуговування на основі фактичного стану обладнання, знижуючи аварійність і витрати на ремонт [2]. ШІ також здатний виявляти аномалії у роботі систем і блокувати потенційні атаки в режимі реального часу.

Переваги впровадження ШІ в енергетиці очевидні - це підвищення енергоефективності та зменшення втрат; підвищення надійності та безперебійності енергопостачання; автоматизація прийняття рішень у режимі реального часу; інтеграція відновлюваних джерел у єдину мережу.

Проте існують і певні ризики та обмеження. По-перше, ефективність алгоритмів залежить від повноти та якості інформації. По-

друге, зростає ризик атак на цифрові системи управління. Це породжує необхідність формування нормативної бази й контролю за автономними рішеннями.

Перспективним рішенням у сфері енергетичного менеджменту стає використання мікромереж (microgrids) – локальних енергетичних систем, які об'єднують генерацію з відновлюваних джерел (сонячні панелі, вітрові турбіни, біогазові установки), накопичувачі енергії та споживачів. На відміну від традиційної централізованої моделі, мікромережі можуть працювати як у складі національної енергосистеми, так і в автономному режимі [3-4].

Штучний інтелект у таких системах виконує функцію координатора обміну енергією:

– оптимізує розподіл електроенергії між учасниками мікромережі;

– управляє зарядом та розрядом акумуляторів для балансування;

– забезпечує автоматичну торгівлю надлишками енергії між сусідніми домогосподарствами чи підприємствами;

– виявляє аварійні ситуації та захищає систему від перевантажень.

Прикладом може слугувати мікромережа в житловому кварталі, де кілька будинків обладнані сонячними панелями та акумуляторами. У сонячний день ШІ розподіляє надлишки енергії: частину спрямовує на заряд електромобілів, частину – в акумулятори, а надлишок продає сусіднім будівлям чи в основну мережу за допомогою блокчейн-платформи. Увечері, коли виробіток падає, система автоматично використовує накопичену енергію, мінімізуючи витрати мешканців на централізовану електроенергію. Проект **Brooklyn Microgrid (США, Нью-Йорк)** став символом локальних енергетичних ринків [5]. Жителі кварталу з сонячними панелями здійснюють обмін надлишковою електроенергією з сусідами за допомогою блокчейн-платформи. Алгоритми ШІ прогнозують попит та пропозицію, оптимізують баланс енергії й формують ціни в режимі реального часу, створюючи стійку локальну енергетичну екосистему. Таким чином, ШІ стає «мозком» децентралізованої енергетики, забезпечуючи ефективний, гнучкий та прозорий енергетичний обмін [5].

Таким чином, ШІ є одним із ключових чинників модернізації енергетичного менеджменту. Його застосування дозволяє підвищити ефективність, надійність і безпеку енергосистем, одночасно сприяючи екологічній стійкості. Разом із тим існують виклики, що пов'язані з якістю даних, кібербезпекою та фінансовими бар'єрами.

Перспективним напрямом досліджень є інтеграція ШІ з іншими цифровими технологіями та реалізація міждисциплінарних проєктів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. International Energy Agency. (2022). *Digitalization and energy*. IEA.

2. Yepifanova, I. M., & Trofymchuk, O. V. (2024). Formation of a modern technical and technological base of a machine-building enterprise. *Investytsiyi: praktyka ta dosvid, 16*, 178–183. https://doi.org/10.32702/2306-6814.2024.16.178

3. Zhang, Y., Wang, J., & Zhao, D. (2021). Application of artificial intelligence in smart grids. *Applied Energy, 300*.

4. Siano, P. (2019). Demand response and smart grids—A survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 30*.

5. IEEE Transactions on Smart Grid. (2021–2023). Recent issues.

УДК 004.9

Єфанов О. В..[1], Бакурова А.В. [2]

ГІПЕРГРАФОВА МОДЕЛЬ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ КРАЇН ЗА ІНДЕКСОМ ЕКОНОМІЧНОЇ СКЛАДНОСТІ З ІНТЕГРАЦІЄЮ ДАНИХ ПРО ТОВАРНУ СТРУКТУРУ ЕКСПОРТУ

Сучасний етап розвитку світової економіки характеризується переходом від сировинно-орієнтованих моделей до економік, заснованих на знаннях та високотехнологічному виробництві. Одним із найбільш визнаних інструментів вимірювання рівня економічної складності є індекс економічної складності (Economic Complexity Index, ECI), запропонований С. Хідальго та Р. Хаусманном у 2009 році та розвинений у подальших роботах Гарвардського та MIT центру економічного розвитку. Індекс ECI враховує не лише обсяги експорту, а й різноманітність та унікальність виробленої продукції, що дозволяє об’єктивно оцінювати потенціал довгострокового економічного зростання країн.

Проте більшість наявних досліджень (Hidalgo, Hausmann, 2009; Hausmann et al., 2014; O’Clery et al., 2021) використовують традиційні методи кластеризації (k-means, ієрархічна кластеризація, спектральна кластеризація) [1], які мають суттєві обмеження: вони не враховують складну мережеву природу економічних взаємозв’язків, чутливі до ініціалізації та не дозволяють адекватно моделювати ситуації, коли одна

[1] Студент групи 813_2, НУ «Запорізька політехніка»

[2] Професор кафедри САОМ, НУ «Запорізька політехніка», д. е. н., професор

країна може одночасно належати до кількох економічних груп у різні періоди часу. У 2024-2025 рр. з'явилися перші роботи (Kumar et al., 2024; Benati et al., 2025), що пропонують використовувати гіперграфи та функцію модулярності для виявлення спільнот у складних мережах вищого порядку [2], [3]. Гіперграфовий підхід є природним для задач економічної складності, оскільки дозволяє одному гіперребру містити довільну кількість країн, які мають подібні значення ECI в один і той же рік.

Метою дослідження була розробка гіперграфічної моделі кластеризації країн за ECI з інтеграцією додаткових даних про товарну структуру експорту (RCA, PCI) для підвищення модулярності та економічної інтерпретованості результатів. RCA – Revealed Comparative Advantage (виявлена порівняльна перевага) – коефіцієнт, що показує, наскільки країна спеціалізується на певному товарі порівняно зі світовим середнім (формула RCA > 1 означає перевагу). PCI – Product Complexity Index (індекс складності товару) – метрика, що оцінює технологічну складність товару на основі диверсифікації та унікальності країн-експортерів (вищі значення – високотехнологічні товари).

Запропоновано інструмент, який дозволяє користувачам легко працювати з базами даних OEC завдяки візуалізації кластерів, автоматичному обчисленню RCA для вагування гіперребер і відображенню результатів у зрозумілому вигляді. OEC – The Observatory of Economic Complexity – відкрита база даних, розроблена MIT та Гарвардським університетом, що містить експортно-імпортні дані по країнах, товарах та роках, а також розрахункові показники ECI, RCA та PCI [4]. Об'єктом дослідження виступили реляційні бази даних OEC з даними про ECI та експорт/імпорт товарів. Предметом дослідження – методи удосконалення гіперграфічної кластеризації з використанням RCA та PCI.

Розробка виконувалася мовою Python із використанням бібліотек:

- pandas, numpy – для обробки даних та обчислення RCA/PCI;
- hypernetx – для побудови та візуалізації гіперграфів;
- plotly – для інтерактивних карт та анімацій.

Ключовим результатом дослідження є розроблена модель, яка:

- автоматично аналізує структуру бази даних OEC і визначає можливі зв'язки між таблицями (ECI, експорт, RCA);
- відображає структуру кластерів на графічному інтерфейсі у вигляді карт та графів;

- дозволяє обчислювати PCI по кластерах та виводити результати у текстовому або табличному вигляді.

Обчислення RCA проводилося за формулою:

$$RCA_{c,p,y} = \frac{(export_{c,p,y}/total\_export_{c,y})}{(total\_export_{p,y}/total\_world\_export_{y})},$$

де $export_{c,p,y}$ — експорт країни с товару р у році у.

Після інтеграції RCA як множника до ваги гіперребер модулярність Q підвищилася з 0.01120 (базова модель) до 0.10474 (майже в 10 разів) після 50 ітерацій локального пошуку, що свідчить про суттєве покращення якості кластеризації.

Для інтерпретації кластерів використано PCI, що дозволяє класифікувати блоки за рівнем технологічної складності. Кількісні характеристики кластерів представлені в табл.1.

Торгівельні потоки між кластерами підтверджують сильну взаємодію між технологічним і перехідним блоками (до 20 трлн $ експорту).

Таблиця 1 – Середній PCI по кластерах

Кластер	Середній PCI	Стандартне відхилення	Кількість країн
5	0.010130	0.000312	19
4	0.010120	0.000290	22
0	0.010093	0.000215	40
1	0.010059	0.000000	22
3	0.010059	0.000000	17
2	0.009981	0.000348	20

Усі обчислення та експерименти проведено на відкритих даних бази The Observatory of Economic Complexity (OEC) [4].

Висновки. Розроблене програмне рішення може бути використане для освітніх цілей, роботи з реальними базами даних OEC у бізнесі або для автоматизації рутинних операцій у економічних дослідженнях. Подальшими перспективами досліджень можуть бути удосконалення інтерфейсу програми, розширення її функціоналу для підтримки складніших аналізів (торгівельні мережі, прогноз ECI), інтеграція з іншими базами даних, окрім OEC.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Hidalgo, C. A., & Hausmann, R. (2009). The building blocks of economic complexity. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(26), 10570–10575.
2. Benati, S., Schubert, D., & Todri, V. (2025). Hypergraph modularity maximization for community detection. Omega, 123, 102345. DOI: 10.1016/j.omega.2025.102345
3. Kumar, T., Otter, N., & Sharma, Y. (2024). Hypergraph clustering by iteratively reweighted modularity maximization. Applied Network Science, 9(1), 1–25.
4. The Observatory of Economic Complexity. (2025). OEC Database: ECI, export, import, PCI, RCA, distance (1995–2023). https://oec.world

УДК 373.2

Сізова А.М.[1], Бакурова А.В.[2]

РОЗРОБЛЕННЯ ІНТЕГРОВАНОЇ МЕТОДОЛОГІЇ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ НА ДОШКІЛЬНУ ОСВІТУ

Масштабні внутрішні міграційні процеси, спричинені сучасними соціально-економічними умовами, призводять до нерівномірного розподілу дітей дошкільного віку на території України. Така ситуація створює додаткові труднощі для функціонування системи дошкільної освіти та планування роботи відповідних закладів. У зв’язку з цим виникає потреба у точному прогнозуванні майбутнього попиту на освітні послуги та впровадженні ефективних підходів до організації мережі дошкільних закладів.

Метою дослідження є формування комплексної методології прогнозування потреби у дошкільній освіті. Запропонований підхід ґрунтується на поєднанні аналізу демографічних часових рядів із урахуванням якісних чинників, що впливають на освітній попит. Крім того, передбачається створення вебінструменту системи підтримки прийняття управлінських рішень (ВІСППР), який дозволить оптимізувати структуру та розміщення мережі закладів дошкільної освіти (ЗДО) в умовах демографічних змін.

Одним із найбільш надійних статистичних показників, що регулярно публікується в офіційних джерелах, є чисельність дітей вікової групи від 0 до 14 років [1, 2]. За даними демографічних досліджень [1] та аналітичних матеріалів Міністерства освіти і науки

[1] студентка групи КНТ-814м, НУ «Запорізька політехніка»
[2] професор кафедри системного аналізу і обчислювальної математики, НУ «Запорізька політехніка», доктор економічних наук

України (2021 рік), частка дітей віком 0–6 років у складі цієї вікової категорії в середньому становить приблизно 42–46%. Такий показник відповідає співвідношенню шести років дошкільного віку до чотирнадцяти років загальної вікової групи. На основі цього співвідношення було обчислено чисельність дітей, які потенційно формують попит на дошкільну освіту $N_{0–6}(t)$, використовуючи відповідну формулу:

$$N_{0-6}(t) = N_{0-14}(t) \cdot \frac{6}{14} \quad , \qquad (1)$$

де $N_{0-14}(t)$ – офіційна статистика чисельності дітей 0–14 років у році t, $\frac{6}{14}$ – коефіцієнт вікової пропорції.

За допомогою програми Excel будуємо графік часового ряду (рис. 1) та його лінійного тренд.

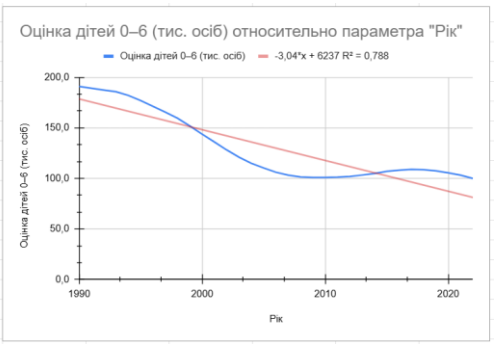


Рисунок 1 – Оцінена динаміка чисельності дітей віком 0–6 років у Запорізькій області (1990–2022)

Аналіз досліджуваного часового ряду свідчить про наявність чітко вираженої тенденції до зменшення значень показника, що відображає загальні демографічні зміни, які відбуваються в Україні.

Застосування моделі ARMA(3,0) для прогнозування продемонструвало поступове скорочення чисельності дітей віком 0–6 років у період з 2023 по 2029 роки. Згідно з отриманими результатами, очікувана кількість дітей знижується з приблизно 96,4 тис. у 2023 році до 82,5 тис. у 2029 році. Водночас спостерігається розширення меж 95% довірчого інтервалу: від 2,6 тис. на початку прогнозного періоду до 46,3 тис. наприкінці. Це свідчить про зростання рівня невизначеності прогнозу зі збільшенням горизонту прогнозування.

Для аналізу довгострокових тенденцій додатково було застосовано бібліотеку Facebook Prophet, розроблену компанією Meta (колишня Facebook) для роботи з часовими рядами, які

характеризуються наявністю тренду, сезонних коливань та можливих структурних змін. На основі цієї моделі побудовано графічне відображення динаміки показника children за історичний період, а також прогноз його значень на наступні роки (рис. 2–3).

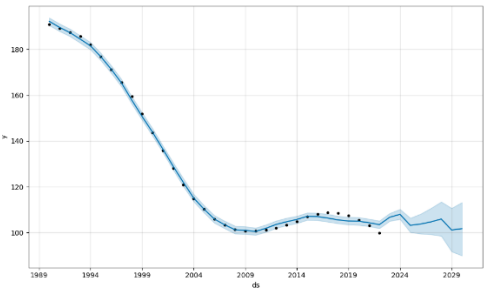


Рисунок 2 – Прогноз динаміки показника children за моделлю Prophet

```
print("Прогноз на майбутні роки:")
print(future_forecast[['ds', 'yhat', 'yhat_lower', 'yhat_upper']].he
```

```
Прогноз на майбутні роки:
| ds                  | yhat    | yhat_lower   | yhat_upper   |
|:--------------------|:--------|:-------------|:-------------|
| 2023-12-31 00:00:00 | 107.947 | 105.819      | 110.192      |
| 2024-12-31 00:00:00 | 103.145 | 100.101      | 106.339      |
| 2025-12-31 00:00:00 | 103.729 | 99.4492      | 108.135      |
| 2026-12-31 00:00:00 | 104.653 | 99.1682      | 110.626      |
| 2027-12-31 00:00:00 | 105.912 | 98.4892      | 113.42       |
| 2028-12-31 00:00:00 | 101.111 | 91.6929      | 110.652      |
| 2029-12-31 00:00:00 | 101.694 | 89.9043      | 113.153      |
```

Рисунок 3 – Загальна таблиця з результатами прогнозу за моделлю Prophet для дітей віком 0–6 років у Запорізькій області

Оцінювання ефективності прогнозних моделей здійснювалося за допомогою стандартних метрик точності: MAE, RMSE та MAPE. Розрахунок цих показників проводився на основі статистичних даних за 1990–2022 роки. Для цього кожна з моделей формувала власні внутрішні (in-sample) оцінки значень показника чисельності дітей вікової групи 0–6 років. Такий підхід дозволяє порівняти результати моделювання з реальними статистичними даними та визначити рівень точності кожного з методів на історичному інтервалі.

Аналіз структури вихідного часового ряду показав відсутність вираженої сезонної складової, водночас у ньому спостерігається чітко виражений довгостроковий спадний тренд. У зв’язку з цим різні моделі прогнозування демонструють неоднакову здатність відтворювати динаміку показника. Результати порівняльного аналізу засвідчили, що

модель ARIMA забезпечує найвищий рівень точності при прогнозуванні чисельності дітей віком 0–6 років. Модель Prophet показує близькі результати, проте поступається ARIMA за точністю оцінок. Натомість лінійна регресія значно менш ефективно описує динаміку досліджуваного показника, тому може використовуватися лише як спрощена базова модель для порівняння.

Водночас попит на дошкільну освіту формується не лише під впливом демографічних процесів, а й залежить від ряду соціально-економічних і організаційних факторів. З огляду на це у дослідженні розроблено нечітку модель підтримки прийняття управлінських рішень, реалізовану на основі алгоритму Мамдані. До переліку вхідних змінних моделі включено такі фактори: рівень народжуваності, міграційні процеси, зайнятість жінок, доступність закладів дошкільної освіти, стан матеріально-технічної бази, забезпеченість кадрами, репутацію закладу, а також прогнозні значення, отримані за моделлю ARIMA.

Результатом функціонування моделі є інтегральний показник, що відображає загальний рівень впливу якісних факторів на попит на послуги дошкільної освіти. Його інтерпретація здійснюється за трьома нечіткими лінгвістичними категоріями: низький вплив (система перебуває у відносно стабільному стані, зміни попиту незначні), середній вплив (фактори проявляються помірно та можуть викликати локальні коливання попиту) та високий вплив (суттєва зміна умов, що здатна спричинити значне зростання або скорочення попиту на послуги ЗДО). Для кращого відображення взаємозв'язків між параметрами моделі було сформовано тривимірну графічну візуалізацію, яка демонструє характер впливу вхідних змінних на результат (рис. 4).

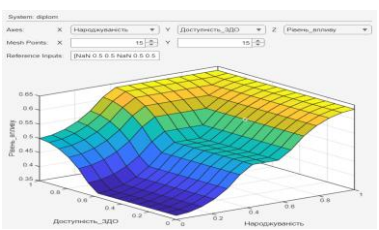


Рисунок 4 – Графік тривимірної візуалізації результатів

Результатом практичної реалізації дослідження стало створення веборієнтованої системи підтримки прийняття рішень (ВІСППР), розробленої із застосуванням мов та технологій Python і React/Next.js (рис. 5). Запропонований інструмент дає змогу в інтерактивному режимі відображати результати прогнозування, проводити моделювання

можливих сценаріїв розвитку ситуації та генерувати рекомендації для органів місцевого самоврядування щодо ефективного управління мережею закладів дошкільної освіти.

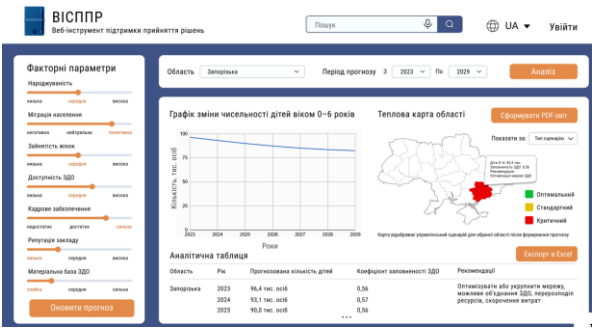


Рисунок 5 – Макет головної сторінки веб-інструменту ВІСППР

Висновки. Проведений аналіз показав наявність довготривалої тенденції до зменшення чисельності дітей дошкільного віку в регіоні. Виявлена динаміка свідчить про необхідність перегляду підходів до управління системою дошкільної освіти та переходу від ситуативних рішень до стратегічного планування, що спирається на аналітичні дані, моделі прогнозування та інструменти підтримки прийняття рішень.

Отримані в роботі результати можуть бути використані органами місцевого самоврядування, а також структурними підрозділами у сфері освіти для обґрунтованого планування розвитку мережі закладів дошкільної освіти та більш ефективного використання наявних ресурсів. Крім того, запропоновані методичні підходи можуть бути корисними для територіальних громад під час формування та коригування освітньої політики на основі аналізу статистичних даних і прогнозних оцінок.

Запропонована методологія має універсальний характер і може бути адаптована для розроблення подібних систем прогнозування та підтримки управлінських рішень у різних соціально-демографічних сферах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Головне управління статистики у Запорізькій області. (n.d.). *Офіційний сайт*. https://zp.ukrstat.gov.ua

2. Державна служба статистики України. (n.d.). *Офіційний сайт*. https://www.ukrstat.gov.ua

УДК 518.5 Холодов М.М.[1], Ус С.А.[2]

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ПРОФЕСІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ НА ОСНОВІ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

У сучасних умовах традиційні підходи до управління безпекою, що ґрунтуються переважно на реакції після настання подій, є недостатньо ефективними та не забезпечують своєчасного виявлення критичних факторів ризику. Зростання складності техногенних, соціально-економічних та природних систем, функціонування яких супроводжується підвищеним рівнем невизначеності та потенційних загроз, зумовлює актуальність розробки математичних моделей для оцінювання ризиків і визначення системи запобіжних заходів для їх усунення [1, 2].

Припустимо, що на етапі ідентифікації ризиків визначено множину небезпечних подій, що можуть виникнути на підприємстві: $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ і множину небезпечних чинників, які впливають на ймовірність та тяжкість настання небезпечних подій: $B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$. На основі цих даних визначено два відношення: $P = \left[\mu_{ij}\right]_{n\times m}$ – ймовірність настання небезпечної події від небезпечного чинника ($P \subseteq B \times A$, $\mu_{ij} \in [0;1]$) та $Q = \left[\phi_{ij}\right]_{n\times m}$ – тяжкість настання небезпечної події від небезпечного чинника ($Q \subseteq B \times A$, $\phi_{ij} \in \mathbb{R}^+ \cup \{0\}$). В даній моделі приймається, що $\exists j: \phi_{ij} = const \neq 0, \forall i$, тобто тяжкість настання деяких небезпечних подій однакова і не залежить від небезпечних чинників. Якщо $\phi_{ij} = 0$ для деяких i, j, то це означає, що тяжкість настання j-ої небезпечної події не залежить від i-го небезпечного чинника. Додатково визначено множину запобіжних заходів $D = \{d_1, d_2, \dots, d_l\}$ і відношення $S = [\lambda_{ki}]_{l\times n}$ – ефективність впливу заходів на небезпечний чинник ($S \subseteq D \times B$, $\lambda_{ki} \in [0;1]$). Також для кожного k-го заходу визначено його тривалість $t_k > 0$ і вартість $c_k > 0$ впровадження. Головним завданням є мінімізація ризиків настання небезпечної події при мінімальній вартості впровадження запобіжних заходів. Зауважимо, що кожний захід можливо впровадити неповністю, і змінні $v_k \in [0;1]$ описують інтенсивність впровадження k-го заходу, а саме: якщо захід не впроваджується взагалі, то $v_k = 0$, якщо захід впроваджується частково, то $v_k \in (0;1)$, і, якщо захід впроваджується повністю, то $v_k = 1$. Ризик R_{ij} настання j-ої

[1] Студент групи 124м-24-1, НТУ «Дніпровська політехніка»
[2] Професор кафедри САіУ, «Дніпровська політехніка», к. ф.-м. н., доцент

небезпечної події від i-го небезпечного чинника пропонується визначати наступним шляхом:

$$R_{ij} = \mu_{ij}\phi_{ij}\prod_{k=1}^{l}(1-\lambda_{ki}v_k) \quad (1)$$

Можна сформулювати наступну оптимізаційну задачу:

$$\begin{cases} f_1(v) = R = \sum_{j=1}^{m} R_j \to min \\ f_2(v) = \sum_{k=1}^{l} c_k v_k \to min \\ \sum_{k=1}^{l} t_k v_k \le T^{max} \\ R_j \le R_j^{max} \\ v_k \in [0;1] \end{cases} \quad (2)$$

Сформульована задача є задачею багатокритеріальної оптимізації, яку пропонується досліджувати методом головного критерію [3], що дозволить приділити увагу саме тим аспектам, які є більш важливими для конкретного підприємства (див. табл. 1).

Таблиця 1 – Моделі, отримані методом головного критерія

Задача	Опис
-1-	-2-
$\begin{cases} f_1(v) = R = \sum_{j=1}^{m} R_j \to min \\ f_2(v) = \sum_{k=1}^{l} c_k v_k \le C^{max} \\ \sum_{k=1}^{l} t_k v_k \le T^{max} \\ R_j \le R_j^{max} \\ v_k \in [0;1] \end{cases}$	Тут $C^{max} > 0$ – максимальна вартість впровадження заходів. Дана задача мінімізує загальний ризик за умови того, що вартість впровадження усіх заходів не перевищує максимально допустимої, тривалість впровадження усіх заходів не перевищує мзаданої, ризик настання j-ої небезпечної події не перевищує заданого допустимого рівня.

$\begin{cases} f_2(v) = \sum_{k=1}^{l} c_k v_k \to \min \\ f_1(v) = R = \sum_{j=1}^{m} R_j \le R^{max} \\ \sum_{k=1}^{l} t_k v_k \le T^{max} \\ R_j \le R_j^{max} \\ v_k \in [0;1] \end{cases}$	Тут $R^{max} > 0$ – максимальний загальний допустимий ризик. Дана модель мінімізує вартість впровадження заходів за умови того, що загальний ризик не перевищує максимально допустимого, тривалість впровадження усіх заходів не перевищує заданої, ризик настання кожної небезпечної події не перевищує її допустимого рівня.

Висновки. У роботі побудована власна система оцінки професійних (виробничих) ризиків на підприємстві у формі математичної моделі, яка враховує ймовірності настання небезпечних подій від небезпечних чинників з урахуванням запобіжних і захисних заходів. Отримана модель є задачею нелінійного багатокритеріального програмування, яка враховує конфліктуючи вимоги мінімізації загального ризику і вартості впровадження заходів, а також обмеження допустимих ризиків кожної події і загальної тривалості впровадження заходів. Методи пошуку оптимального рішення в контексті даної моделі можуть бути основою для подальших досліджень даної теми.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Коряшкіна, Л., Малієнко, А., Станіна, О., Шевченко, Ю., Кодола, Я.(2025). Системний аналіз та оптимальний вибір комплексу заходів для підвищення безпеки на підприємстві. Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security, 72–80

2. Цопа, Віталій & Чеберячко, Сергій & Володченкова, Наталія & Рекова, Наталія. (2025). Концепція vision zero у сфері безпеки і здоров'я працівників Науковий Журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки. 344-357.

3. Моделі й методи прийняття рішень: навч. посіб. / С.А. Ус, Л.С. Коряшкіна; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – 2-ге вид. випр. – Дніпро : НТУ «ДП», 2018. – 300 с.

УДК 004.94:62 Васюкович Р. В.[1], Карпенко М. Ю.[2]

ВИБІР ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ТОВАРООБІГУ МЕТОДОМ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК

Одним із ключових завдань під час розроблення системи оцінки ефективності товарообігу торговельного підприємства є визначення складу показників, що характеризують результати його діяльності, а також їх подальша формалізація у вигляді відповідних критеріїв. Формування такої системи критеріїв дозволяє забезпечити об'єктивну оцінку ефективності товарообігу та створює основу для проведення подальшого аналізу діяльності підприємства.

Наступним важливим завданням є ранжування отриманих критеріїв з позиції адекватності відображення параметрів товарообігу та ступеня впливу на загальну результативність роботи підприємства. Складність полягає в тому, що задача визначення пріоритетності показників важко піддається формалізації, її розв'язання значною мірою ґрунтується на практичному досвіді та прогностичних здібностях фахівців у сфері економічного аналізу. З огляду на це, для визначення відносної значущості показників було використано метод експертних оцінок (Дельфі), який дозволяє сформувати обґрунтовану систему пріоритетів серед критеріїв оцінювання ефективності товарообігу. Для організації опитування було використано інструмент Google Forms з подальшою обробкою засобами Office 365. В цілому було розглянуто 5 критеріїв, в опитуванні брали участь 18 експертів. Результат першого етапу опитування експертної група наведено на рисунку 1.

Після статистичної обробки результатів опитування було визначено коефіцієнт узгодженості (Кендалла): $W = \frac{12\,S}{m^2(n^3-n)}$, $S = \sum_{j=1}^{n}\left(\sum_{i=1}^{m} R_{ij} - \frac{m(n+1)}{2}\right)^2$, де n – кількість аналізованих об'єктів, m – кількість експертів, R_{ij} – ранг j-го об'єкту, який привласнений i-м експертом.

[1] Студент групи КН 2025-1, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[2] Доцент кафедри КНтаІТ, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова; доцент кафедри ІС, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця

Ітерація 1

Параметр	X-01	X-02	X-03	X-04	X-05	X-06	X-07	X-08	X-09	X-10	X-11	X-12	X-13	X-14	X-15	X-16	X-17	X-18
Рентабельність, %	7	10	15	15	20	10	20	10	25	10	15	10	25	30	15	25	20	10
Чутливість ВСД	30	40	15	15	20	30	30	30	25	40	15	20	25	20	15	10	20	40
ВСД, %	30	10	20	10	20	20	10	10	10	10	20	30	25	50	15	10	10	10
Термін окупності	30	10	10	20	20	20	10	10	15	10	10	20	25	0	40	20	35	10
Коефіцієнт ліквідності	3	20	20	20	10	10	10	10	15	20	20	10	0	0	15	35	15	20
Коефіцієнт покриття витрат	0	10	20	20	10	10	20	30	10	10	20	10	0	0	0	0	0	10
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Рисунок 1 – Оцінювання рейтингів показників ефективності ТО

Результат розрахунку коефіцієнта *W* після першого етапу опитування наведено на рисунку 2.

Розрахунок коефіцієнту конкордації

Параметр	Матриця рангів																		
Рентабельність, %	3	2,5	2,5	2,5	4,5	2	4,5	2,5	5,5	2,5	2,5	2	4,5	5	3,5	5	4,5	2,5	2,25
Чутливість ВСД	5	6	2,5	2,5	4,5	6	6	5,5	5,5	6	2,5	4,5	4,5	4	3,5	2,5	4,5	6	342
ВСД, %	5	2,5	5	1	4,5	4,5	2	2,5	1,5	2,5	5	6	4,5	6	3,5	2,5	2	2,5	0
Термін окупності	5	2,5	1	5	4,5	4,5	2	2,5	3,5	2,5	1	4,5	4,5	2	6	4	6	2,5	0,25
Коефіцієнт ліквідності	2	5	5	5	1,5	2	2	2,5	3,5	5	5	2	1,5	2	3,5	6	3	5	2,25
Коефіцієнт покриття витрат	1	2,5	5	5	1,5	2	4,5	5,5	1,5	2,5	5	2	1,5	2	1	1	1	2,5	256
Кількість об'єктів	6 (n)														Коефіцієнт конкордації:				0,11

Рисунок 2 – Розрахунок коефіцієнта узгодженості

Значення W=0,11 свідчить про низький ступінь узгодженості, тому було проведено низку додаткових опитувань. В результати проведення 5 етапів було отримано результати, що наведені на рисунку 3. На останньому етапі значення коефіцієнта Кендалла досягло 0.96, що свідчить про високий рівень узгодженості експертів (рис. 3).

Визначення коефіцієнту конкордації

Параметр	Матриця рангів																		
Рентабельність, %	3,5	4	3,5	4	3,5	3,5	3,5	3	3,5	3,5	3	3	4	4	4	4	4	4	6,25
Чутливість ВСД	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	2025
ВСД, %	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	676
Термін окупності	3,5	3	3,5	3	3,5	3,5	3,5	4	3,5	3,5	5	4	3	3	3	3	3	3	2,25
Коефіцієнт ліквідності	1,5	1	1	1	1	1,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1936
Коефіцієнт покриття витрат	1,5	2	2	2	2	1,5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	784
Кількість об'єктів	6 (n)														Коефіцієнт конкордації:				0,96

Рисунок 3 – Значення коефіцієнта Кендалла за підсумками п'ятого етапу опитування

За даними дослідження можна визначити, що найбільш значущими показниками оцінки ефективності товарообігу підприємства є: «Чутливість реагування ВСД» та «Внутрішня ставка доходу, %» (рис. 4). Для визначення ВСД можна спиратись на формулу для чистого приведеного прибутку:

$$NPV = -\sum_{i=1}^{k} C_i(1+r)^{-i} + \sum_{j=1}^{n} P_j(1+r)^{-j},$$

де C_i значення витрати в періаоді i, $i=1,\dots k$, P_j – надходження у періоді j, $j=1,\dots n$, r – дисконтна ставка. Відповідно значення ВСД можна визначити, розв'язавши рівняння $NPV=0$ відносно r.

Параметр	Сер. значення	Середньозв вішена	Дисперсія	Коеф. варіації	Дов. Інтервал						Ретинг впливу
					Мін оцінка	Макс. оцінка	Квартиль	Нижня межа	Верхня межа	Розбіг	
Рентабельність, %	13,7	13,6	0,6	0,1	13,0	15,0	0,5	13,5	14,5	1,00	**3**
Чутливість ВСД	39,7	39,9	0,4	0,0	39,0	41,0	0,5	39,5	40,5	1,00	**1**
ВСД, %	15,7	15,9	1,3	0,1	14,0	17,0	0,8	14,8	16,3	1,50	**2**
Термін окупності	13,4	13,2	1,0	0,1	12,0	15,0	0,8	12,8	14,3	1,50	**4**
Коефіцієнт ліквідності	7,8	8,4	1,7	0,2	7,0	11,0	1,0	8,0	10,0	2,00	**6**
Коефіцієнт покриття витрат	9,8	9,9	0,7	0,1	9,0	11,0	0,5	9,5	10,5	1,00	**5**

Рисунок 4 – Рейтинг впливу показників ефективності

Для оцінки чутливості ВСД до зміни зовнішніх факторів (коливання цін, обсягів реалізації, тощо) можна використати співвідношення: $\varepsilon = \frac{\Delta ВСД/ВСД}{\Delta x/x}$, де $\Delta ВСД$ – характеризує відсоткову зміну зміна показника ВСД, x – фактор впливу на показник ВСД, Δx – відсоткова зміна фактора x (*на* 1%). Застосування наведених показників дає можливість провести більш обґрунтовану оцінку ефективності товарообігу підприємства та визначити ступінь впливу окремих факторів на результати його діяльності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кіндрацька, Г. І., Загородній, А. Г., & Кулиняк, Ю. І. (2019). *Аналіз господарської діяльності*. Видавництво Львівської політехніки. https://shron1.chtyvo.org.ua/Zahorodnii_Anatolii/Analiz_hospodarskoi_diialnosti.pdf

2. Ярова, В. В., & Велієва, В. О. (2021). *Теорія економічного аналізу: Навчальний посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальностей 071 «Облік і оподаткування», 072 «Фінанси, банківська справа та страхування»*.

3. https://repo.btu.kharkiv.ua/server/api/core/bitstreams/543a7f61-69fa-40a5-8393-27fadf615d5a/content

4. Парасій-Вергуненко, І. М., Назарова, К. О., Гордополов, В. Ю., Безверхий, К. В., Гоцуляк, В. Д., Нежива, М. О., & Негоденко, В. С. (2024). *Управлінський аналіз бізнесу (за видами економічної діяльності)*. Центр учбової літератури.

УДК 65.012 Діденко С. І.[1], Дідковський О. Ю.[2],

МОДЕЛЮВАННЯ АСИМЕТРИЧНИХ ДІЙ ЩОДО СТВОРЕННЯ ВІЙСЬКОВОГО ПАРИТЕТУ СИЛ

Вступ. Сучасні технології змінили характер проведення бойових дій [1]. Використання нових комплексів БПЛА дозволяє, за рахунок інноваційності технологій, створити військовий паритет сил на полі бою [2]. Але, обмеженість ресурсів не дозволяє сформувати військовий паритет за всією лінією фронту.

Тому, **актуальна** тема доповіді, в якій представлені результати дослідження встановлення військового паритету сил на окремих, найбільш важливих (критичних) зонах бойових дій (ЗБД).

Метою дослідження є моделювання створення військового паритету сил за рахунок інноваційних технологій, які використовуються при створенні сучасних комплексів БПЛА, і які дозволяють сформувати асиметрію при проведенні бойових дій на полі бою.

Аналізується множина ЗБД (М), в якій проводиться активні бойові дії. Проводиться аналіз, за допомогою військових експертів, потрібного оборонного потенціалу (W') для відсічи повітряних атак противника.

Оцінюються можливі протидії противника щодо створення ударного потенціалу (W"). Необхідно щоб у кожній j-й ЗДБ виконувались вимоги ($W_j' \geq W_j''$). Але, обмеженість військових ресурсів не дозволяє виконати ті вимоги, для всіх (j=1, 2,…, М) ЗБД.

Тому, виникає актуальне завдання, яке вирішується у роботі, щодо пошуку актуальної е-ї підмножини (M_e), з урахуванням тих ЗБД, для яких ($W_{ej}' \geq W_{ej}''$).

Проведено комбінаторний аналіз та розрахунки для формування всіх підмножин (M_e). Для пошуку підмножини (M_e*), яка має у своєму складі актуальні ЗБД, та для якої виконуються вимоги, щодо обмеженості ресурсів, використано метод цілочисельного (булевого) програмування.

В якості основного показника використано оборонний потенціал (W'), а в якості обмежень виділена кількість дронів, які є у наявності.

Проведено аналіз можливих місць запуску дронів (МЗД) противника, які використовуються для атакуючих дій за цілями в ЗБД.

Для вибору найбільш загрозливих МЗД та оцінки їх можливостей, щодо ураження об'єктів ЗБД, сформована множина

[1] аспірант групи F3-302-1 кафедри 302, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»
[2] аспірант групи G6-305-1 кафедри 305, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

варіантів, для якої використано метод пошуку раціонального, з використанням лексикографічного впорядковування варіантів.

Створена імітаційна модель для формування можливих шляхів польоту ударних дронів противника. З використанням значень (W') та (W'') оцінюється можливий рівень ураження об'єктів у актуальних ЗБД, з різних напрямків атак противника.

Розроблена агентна модель, яка дозволяє проводити інтерактивне моделювання польоту ударних дронів противника за різними сценаріями та формувати потрібні оборонні протидії, з використанням множини різних дронів (перехоплювачі, зенітні, тощо).

Використання різних сценаріїв атакуючих дій противника та оборонних протидій, дає можливість оцінити ризики ураження та потрібні значення оборонного потенціалу для захисту об'єктів.

Використані **математичні методи та моделі**: системний аналіз щодо формування послідовності дій зі створення військового паритету сил, за рахунок формування асиметрії, з використанням комплексів БПЛА; комбінаторний аналіз для формування можливих підмножин актуальних ЗБД, в яких може створюватись потрібний оборонний потенціал; цілочисельне (булеве) програмування, для пошуку раціональних значень оборонного потенціалу, з використанням вимог щодо ударного потенціалу противника; багатокритеріальна оптимізація для формування асиметрії у військовому паритеті сил; імітаційне моделювання щодо формування можливих шляхів польоту ударних дронів противника; агентне моделювання для аналізу можливих сценаріїв атак противника та відповідних оборонних дій.

Висновки. Запропонований підхід дозволяє аналізувати можливості сучасних інноваційних видів озброєння (БПЛА) для створення асиметрії у військовому паритеті сил, за рахунок новітніх технологій. Це дає можливість планувати оборону для найбільш актуальних військових зон, в яких проводяться бойові дії, враховуючи при цьому обмеженість ресурсів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Fedorovich, O., Chepkov, I., Lukhanin, M., Pronchakov, Y., Rybka, K., & Leshchenko, Y. (2022). Modeling of supply logistics and training of military personnel for the successful use of weapons in a combat area. *Radioelectronic and Computer Systems, 3*, 33–46. https://doi.org/10.32620/reks.2022.3

2. Федорович, О. Є., Уруський, О. С., Прончаков, Ю. Л., Рибка, А. В., & Лещенко, Ю. О. (2022). Моделювання логістики становлення військового паритету сил у зоні бойових дій. *Авіаційно-космічна техніка і технологія, 4*, 57–67.

УДК 65.012 Малєєв Л. В.[1], Сокирко А. П.[2],

МОДЕЛЮВАННЯ СКОРОЧЕННЯ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ СТВОРЕННЯ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВИРОБІВ

Вступ. В умовах особливого стану країни, виникли труднощі щодо серійного виробництва військової техніки та озброєння [1]. Потреба військових щодо достатньої кількості техніки та озброєння, для виконання успішних бойових дій, призвела до необхідності швидкого створення та серійного виробництва високотехнологічних виробів (наприклад, БПЛА) [2]. Але, для цього необхідно проаналізувати можливості скорочення для всіх етапів життєвого циклу (ЖЦ) створення військової техніки (проєктування, тестування, підготовка виробництва, серійне виробництво).

Тому, **актуальна** тема доповіді, в якій розглядаються результати дослідження по створенню умов щодо швидкої розробки військової техніки та озброєння для потреб фронту.

Метою дослідження є створення комплексу математичних та імітаційної моделей, які дозволять дослідити процес прискорення створення високотехнологічних виробів, в умовах обмежених можливостей особливого стану країни.

На етапі проєктування, велику увагу приділено формуванню необхідних інноваційних технологій для покращення тактико-технічних характеристик військової техніки. Створена оптимізаційна модель для формування складу потрібних технологій проєктування, з урахуванням існуючих, модернізованих (адаптованих) та інноваційних. Збільшення інноваційних технологій може призвести до зростання ризиків та строків проєктування. Тому, за допомогою багатокритеріальної оптимізації, проводиться пошук компромісу серед значень показників часу, ризиків та витрат проєкту.

Для формування архітектури сучасного виробу, використано компонентний підхід, який дозволяє, за допомогою різних компонент, створити потрібний склад, для їх комплектування у новому виробі.

Для формування масштабованого серійного виробництва високотехнологічних виробів, аналізується та моделюється розподілена мережа підприємств різної потужності.

Розроблена оптимізаційна модель, яка дозволяє обґрунтувати розподілену мережу підприємств для виробництва потрібної кількості військової техніки та озброєння. Моделюється процес релокації

[1] аспірант групи 122-302-3 кафедри 302, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»
[2] аспірант групи 175-305-3 кафедри 305, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

підприємств з прифронтової зони до тилу, для створення стійкого виробництва, в умовах військових загроз.

Аналізується необхідна множина військової техніки для формування потрібного оборонного потенціалу, щодо створення асиметрії у військовому паритеті сил, з використанням цілочисельного (булевого) програмування.

Створена агентна імітаційна модель для дослідження скорочення життєвого циклу створення високотехнологічних виробів, в умовах особливого стану країни.

Використані **математичні методи та моделі**: системний аналіз, для формування послідовності дій щодо скорочення життєвого циклу створення високотехнологічних виробів; компонентне проєктування, для формування архітектури сучасного виробу; комбінаторний аналіз множини можливих варіантів створення високотехнологічного виробу; цілочисельна (булева) оптимізація для пошуку раціональних варіантів формування нового виробу; багатокритеріальна оптимізація для пошуку раціональних проєктних дій для кожного етапу життєвого циклу, з використанням значень показників часу, ризиків та витрат; імітаційне агентне моделювання для дослідження послідовності дій щодо швидкого масштабованого створення сучасної військової техніки та озброєння.

Висновки. Запропонований підхід, спрямований на аналіз можливих проєктних дій щодо скорочення життєвого циклу створення сучасної військової техніки та озброєння, формування розподіленої мережі підприємств різної потужності, для масштабування серійного виробництва, з потрібною кількістю виробів для їх ефективного використання на полі бою. Створений комплекс моделей дозволяє аналізувати та планувати послідовність проєктних дій на кожному етапі життєвого циклу створення високотехнологічних виробів, з використанням показників ризику та часу виконання проєкту.

Таким чином, використовуючи створений комплекс моделей та запропоновану інформаційну технологію, можливо обґрунтувати життєвий цикл швидкого створення військової техніки, в умовах обмежених можливостей воєнного стану країни.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Rusinski, E., Czmochowski, J., Moczko, P., & Pietrusiak, D. (2016). Challenges and strategies of long-life operation and maintenance of technical objects. *FME Transactions, 44*(3), 219–228. https://doi.org/10.5937/fmet1603219R

2. Fedorovich, O., Lutai, L., Uruskiy, O., Gubka, S., & Leshchenko, Y. (2024). Моделі та інформаційна технологія управління старінням техногенних систем в умовах сучасних ризиків. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи, 3*, 175–189.

УДК 65.012
Ничипорук М. С[1]., Стебаєв Д. І.[2]

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ДЕГРАДАЦІЙ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ ВИСОКОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ, В УМОВАХ ЗАГРОЗ

Вступ. Сучасна мережа високотехнологічних підприємств потребує оновлення, що пов'язано з необхідністю поширення випуску актуальної продукції (військова техніка та озброєння), в умовах особливого стану [1]. Існує множина факторів, яка сприяє деградації виробництва (фізичне та моральне старіння, вплив деструктивних факторів зовнішнього середовища, військові загрози, тощо) [2]. Тому, **актуальна** тема доповіді, в якій розглядаються результати дослідження впливу деградації на основні показники функціонування високотехнологічного підприємства. **Метою** дослідження є створення моделей, за допомогою яких можливо аналізувати вплив деградації та планувати превентивні заходи щодо оновлення виробництва, в умовах особливого стану.

Проведено системний аналіз факторів деградації та їх вплив на роботу підприємства. Фактори деградації призводять до появи вразливостей виробництва. Виявлено вразливості виробництва у вигляді застарілих технологічних об'єктів, системи організаційного управління, управління технологічними об'єктами, старими інформаційними платформами, які не забезпечують сучасну автоматизацію підприємства. До застарілих об'єктів, також, можна віднести забезпечуючу інфраструктуру (енергетика, постачання та складування, водопостачання, тощо). Застаріли об'єкти потребують модернізацію або заміну. Але, обмеженість ресурсів, щодо оновлення підприємства, призвели до необхідності виділення найбільш критичних вразливих об'єктів, які необхідно, в першу чергу, оновити. Створена оптимізаційна модель щодо формування підмножини актуальних критичних вразливостей з множини існуючих, в умовах обмеженості ресурсів. В якості показників для вибору підмножини вразливостей, використано час (на оновлення, модернізацію), витрати, які потрібні для оновлення критичних об'єктів та ризики проєкту, щодо проведення превентивних заходів для зменшення впливу деградації на функціонування високотехнологічного виробництва. Сформована та вирішена багатокритеріальна задача по пошуку компромісного рішення для множини показників, з урахуванням їх важливості. Значну увагу приділено впливу військових загроз, які призводять до пошкодження

[1] аспірант групи G6-305-1 кафедри 305, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»
[2] аспірант групи G6-305-1 кафедри 305, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

об’єктів виробництва та прискоренню деградації. Під час війни, існуючі вразливості підприємства стали основною ціллю противника для ураження виробництва. Тому, щоб мінімізувати можливе пошкодження та ураження, треба створити захист найбільш вразливих критичних об’єктів високотехнологічного підприємства. Для цього необхідно заздалегідь планувати захисні дії. В якості таких дій можна використовувати, як пасивні засоби захисту (бетонні споруди, укриття, тощо) так і активні, з використанням, наприклад, дронів (перехоплювачі, зенітні, тощо). Створена оптимізаційна модель щодо формування складу комбінованої системи захисту критичних об’єктів підприємства, в умовах обмеженості ресурсів. Проведена оцінка бойового потенціалу оборони для забезпечення захисту критичних об’єктів високотехнологічного підприємства, з використанням множини різних дронів. Для імітації дій щодо захисту вразливостей та можливих уражень і пошкоджень, від масованих повітряних атак противника, створена імітаційна модель. Використана платформа Any Logic для моделювання (у часі) атак противника та протидій щодо захисту від військових загроз. Також, моделюється можливе пошкодження критичних промислових об’єктів. Це дозволяє сформувати, у подальшому, планові превентивні дії щодо захисту критичних промислових об’єктів від масованих атак противника. Створена агентна модель для аналізу послідовності дій щодо проведення превентивних заходів по захисту від впливу військових загроз на функціонування високотехнологічного підприємства.

Висновки. Запропонований підхід, з використанням розробленого комплексу моделей, дозволяє аналізувати та моделювати вплив загроз на існуючі вразливості підприємства, які пов’язані з деградацією критичних об’єктів та формувати заходи превентивного характеру для оновлення виробництва актуальної продукції, в умовах особливого стану.

Використані **математичні** методи та моделі: системний аналіз, оптимізаційні моделі, лексикографічне впорядковування варіантів, імітаційне моделювання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Fedorovych, O. Y., Uruskyi, O. S., Chepkov, I. B., Lukhanin, M. I., Pronchakov, Y. L., Rybka, K. O., & Leshchenko, Y. O. (2022). Моделювання транспортної логістики військових вантажів з урахуванням збитків, які виникають у зоні бойових дій через запізнення у постачанні. *Радіоелектронні і комп’ютерні системи, 2*, 63–74. https://doi.org/10.32620/reks.2022.2.05

2. Fedorovich, O., Lukhanin, M., Prokhorov, O., Pronchakov, Y., Leshchenko, O., & Fedorovich, V. (2023). Modeling of logistics of war

reserve stockpiling for successful combat operation. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи, 1*, 183–196. https://doi.org/10.32620/reks.2023.1.15

УДК 65.012

Рибка А. В.[1], Лавріненко Р. Ю.[2]

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОГІСТИКИ ПОСТАЧАННЯ В УМОВАХ ЗАГРОЗ

Вступ. Сучасні умови виробництва високотехнологічної продукції, у тому числі військового призначення, погіршились, з-за особливого стану країни [1]. Поширення виробництва військової техніки та озброєння є запорукою успіху у бойових діях [2]. Але, створення розподіленої мережі підприємств та масштабування виробництва, потребує поширення множини постачальників комплектуючих та створення нових шляхів постачання. Так як постачальники можуть знаходитись на великій відстані від виробництва (зарубіжжя), то виникають довгі ланцюги постачання, які впливають на час, витрати та ризики постачання.

Тому, **актуальна** тема доповіді, в якій розглядаються результати дослідження по впливу загроз на ланцюги постачання комплектуючих для виробництва високотехнологічної продукції, в умовах особливого стану.

Метою дослідження є створення комплексу математичних та імітаційної моделей, які дозволять дослідити вплив загроз на ланцюги постачання для підприємств, які виробляють актуальну продукцію, у першу чергу, військового призначення.

Проведено аналіз загроз, які є суттєвими, в умовах сучасного стану країни. Крім існуючих (політико-економічні, кліматичні, терористичні, тощо) велику увагу приділено впливу військових загроз (прильоти ракет, дронів, бомбардування, тощо), які впливають на вразливості транспортних систем та їх критичних компонент. Поява вразливостей пов'язана з деградацією транспортних систем, у часі (старіння, вплив негативних факторів зовнішнього середовища, тощо). Це призводить до множини критичних вразливостей в логістиці, які, у першу чергу, є актуальними цілями для агресивних дій противника.

Створена оптимізаційна модель для виявлення та формування актуальної підмножини логістичних вразливостей, які необхідно, у першу чергу, мінімізувати або нейтралізувати.

[1] аспірант групи 122-302-3 кафедри 302, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

[2] аспірант групи G7-303-1 кафедри 303, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

Необхідно створити захист від впливу військових загроз існуючих вразливостей (критичних об'єктів транспортної інфраструктури). При оптимізації враховується обмеженість ресурсів щодо створення захисту критичних логістичних об'єктів. Розглянуто та проаналізовано способи формування можливого захисту критичних логістичних об'єктів (пасивні, активні, комбіновані). До пасивних видів захисту відносяться оборонні споруди, укриття, спеціальні інженерні конструкції, тощо. До активних відносяться засоби протиповітряної оборони (зенітна артилерія, дрони-перехоплювачі, РЕБ, тощо).

Для вибору способу формування засобів захисту критичних логістичних об'єктів, в умовах обмеженості ресурсів, створена оптимізаційна модель, в якій в якості показників використано час, витрати та можливі ризики створення оборони критичних логістичних об'єктів. Розроблена багатокритеріальна оптимізаційна модель для пошуку компромісного варіанту. Для аналізу впливу загроз на рух транспортних засобів, які використовуються для постачання комплектуючих, розроблена імітаційна модель, за допомогою якої можна дослідити довгі ланцюги постачання, з можливими вразливостями. Вони призводять до порушень серійного виробництва високотехнологічних виробів. Вибір раціональних шляхів постачання, в умовах загроз, залежить від ризиків, часу та витрат. Створено алгоритм пошуку раціонального маршруту постачання комплектуючих в розподіленій різнорідній транспортній мережі (залізничний транспорт, автомобільний, морський, тощо). Створена агентна модель для аналізу послідовності дій, які пов'язані з формуванням захисту критичних логістичних об'єктів та мінімізацією вразливостей, в умовах впливу військових загроз. Для цього використана платформа агентного моделювання Any Logic.

Використані **математичні методи та моделі**: системний аналіз впливу загроз на логістику постачання; модель формування та вибору множини критичних логістичних об'єктів; модель оптимізації ресурсів для мінімізації вразливостей та захисту критичних логістичних об'єктів; модель впливу ризиків на логістику постачання; імітаційна модель для дослідження ланцюгів постачання, в умовах загроз.

Висновки. Запропонований підхід дозволяє проводити дослідження впливу загроз на логістику постачання для планування превентивних заходів щодо захисту критичних логістичних об'єктів, в умовах особливого стану країни.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Fedorovich, O., Pronchakov, Y., Leshchenko, Y., & Yelizieva, A. (2021). Modeling the impact of threats and vulnerabilities in transport logistics of a developing enterprise. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи, 3*, 29–36. https://doi.org/10.32620/reks.2021.3.03

2. Fedorovich, O., Lutai, L., Uruskiy, O., Gubka, S., & Leshchenko, Y. (2024). Models and information technology of aging management of man-made systems in the conditions of modern risks. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи, 3*, 175–189. https://doi.org/10.32620/reks.2024.3

УДК 65.012

Соловйов В. С.[1], Цициліано Д. О.[2]

МОДЕЛЮВАННЯ ЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ВІД МАСОВАНИХ АТАК ПРОТИВНИКА

Вступ. Гібридна війна призвела до появи нової інноваційної техніки та зміни характеру проведення оперативно-тактичних дій на полі бою [1]. Створення рою дронів та його використання, для бойових цілей в повітрі (розвідка, цілевказівка, бомбери, перехоплювачі, тощо), призвело до можливого ураження об'єктів критичної інфраструктури (енергопостачання, логістика транспортування, тощо) з-за атак противника [2].

Тому, **актуальна** тема доповіді, в якій представлено результати дослідження щодо формування захисту об'єктів критичної інфраструктури від масованих повітряних атак противника.

Метою дослідження є створення комплексу математичних та імітаційної моделей, які дозволять аналізувати протидії від повітряних атак противника, з використанням множини сучасних дронів (перехоплювачі, зенітні, тощо).

Проведено аналіз впливу атак противника на особливо важливі об'єкти критичної інфраструктури. Для цього аналізується множина можливих цілей, які розглядає противник для атаки, та місця запуску рою атакуючих дронів.

Проводиться оцінка ударного потенціалу противника (P_1), а також можливості створення повітряного оборонного потенціалу (P_2). Для відображення атак противника, необхідно щоб $P_{1j} \le P_{2j}$ для всієї множини об'єктів критичної інфраструктури ($j = \overline{1, M}$). Але, обмеженість ресурсів не дозволяє створити потрібний оборонний потенціал, для всієї множини критичних об'єктів (M).

Тому, виникає актуальне завдання щодо пошуку підмножини актуальних критичних об'єктів для створення їх захисту, з використанням методу комбінаторики та моделей оптимізації. Кількість можливих підмножин критичних об'єктів, які необхідно проаналізувати, є $k=2^M-1$. Для формування усіх можливих варіантів

[1] аспірант групи 122-302-4 кафедри 302, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

[2] аспірант групи 175-305-2 кафедри 305, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

підмножин критичних об’єктів використано значення двійкового лічильника.

Для аналізу та порівняння альтернативних варіантів об’єктів критичної інфраструктури, які потребують захисту, використані показники: кількість дронів, потрібних для захисту критичного об’єкту; оборонний потенціал дронів; вартість створення захисту; ризики ураження критичних об’єктів.

Проведена оптимізація для пошуку раціональних рішень щодо створення захисту об’єктів критичної інфраструктури. При цьому використані такі способи рішення оптимізаційної задачі:

- повний перебір, для випадку відносно не багатої кількості критичних об’єктів, які необхідно захищати;
- метод цілочисельного (булевого) програмування для великої кількості можливих варіантів створення захисту критичних об’єктів;
- метод випадкового пошуку. Він не гарантує пошук екстремуму показника, але може поліпшити його значення (наприклад, у відсотках).

Проведена багатокритеріальна оптимізація для пошуку раціональних варіантів захисту об’єктів критичної інфраструктури, з використанням важливості окремих показників.

Створена імітаційна модель, яка дозволяє аналізувати маршрути польоту ударних дронів противника до об’єктів критичної інфраструктури, для їх пошкодження (ураження). Це дозволяє аналізувати можливі сценарії атак противника, їх масованість та рівень пошкодження об’єктів критичної інфраструктури.

Створена агентна імітаційна модель для аналізу послідовності дій щодо захисту об’єктів критичної інфраструктури від масованих атак противника.

Використані **математичні методи та моделі**: системний аналіз повітряних атак противника; метод комбінаторики для оцінки та формування множини варіантів захисту критичних об’єктів; оптимізаційна модель для пошуку раціональних варіантів захисту критичних об’єктів; імітаційна модель для аналізу маршрутів та результатів атак противника по критичним об’єктам.

Висновки. Запропонований підхід дозволяє аналізувати можливі оборонні дії об’єктів критичної інфраструктури у вигляді повітряного щиту, з використанням множини дронів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Lv, H., Liu, F., & Yuan, N. (2021). Drone presence detection by the drone’s RF communication. *Journal of Physics: Conference Series, 1738*, 012044. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1738/1/012044

2. Fedorovich, O., Krytskyi, D., Leshchenko, O., Yashina, O., & Malieieva, Y. (2024). Моделювання хвиль рою ударних дронів для проведення масованої атаки по цілях противника. *Радіоелектронні і комп’ютерні системи, 2*, 203–212.

УДК 65.012
Федорович В. А.[1], Нємцев Д. В.[2]

МОДЕЛЮВАННЯ МАРШРУТІВ ПОЛЬОТУ УДАРНИХ ДРОНІВ ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ ВІЙСЬКОВИХ МІСІЙ

Вступ. Сучасна гібридна війна призвела до появи нових видів військової техніки та озброєння, які дозволяють, за рахунок інноваційності, змінити існуючі підходи та оперативно-тактичні дії на полі бою [1]. Велику увагу приділено новому виду зброї для проведення бойових дій, у вигляді комплексів БПЛА (ударних дронів, дронів-комікадзе, бомберів, тощо) [2]. Для проведення повітряних атак формується рій (група), яка складається з різних видів дронів (розвідувальні, цілевказівки, ударні, тощо). Але, противник формує відповідь у вигляді активних протидій на шляху польоту рою дронів, за допомогою сучасних протидронових засобів (дрони перехоплювачі, зенітні дрони, тощо). Тому, **актуальна** тема доповіді, в якій представлені результати дослідження по моделюванню та пошуку відносно безпечних маршрутів польоту рою дронів для проведення масованих атак за цілями противника.

Метою дослідження є моделювання раціональних маршрутів польоту рою дронів до цілей противника, в умовах впливу активних протидій.

Для формування маршрутів польоту рою (групи) дронів розглядаються різні стратегії та сценарії формування, запуску та польоту дронів. В стратегіях враховуються можливі ризики від протидій противника. Тому, для пошуку, відносно безпечних, шляхів польоту рою (групи) дронів сформовано комплекс моделей. Створена мапа польотів у вигляді опорних (контрольних) навігаційних точок, множина яких використовується для формування маршрутів польоту. В цих точках проводиться контроль запланованого польоту та можливі зміни маршруту, в залежності від ситуації, яка пов’язана з протидіями противника. Також, в цих точках можливий розподіл рою на групи дронів, для ураження окремих цілей противника в різних зонах бойових дій на полі бою. При підльоті до цілей противника, моделюються можливі заплутані маршрути (остання миля). При цьому використовуються такі траєкторії руху дронів: петля, коло, стрічка, випадкова зміна, тощо. Створено алгоритм моделювання, в якому імітується зміна повітряних обставин та дій, які виникають з-за пошуку нових маршрутів. За допомогою оцінки ризику, який виникає від

[1] аспірант групи 122-302-02 кафедри 302, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»
[2] аспірант групи G6-305-1кафедри 305, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

військових загроз з-за дій противника біля контрольних точок, формується маршрут їх обходу через збільшення значення ризику.

З використанням імітаційного моделювання, проводиться аналіз можливих маршрутів польоту рою дронів та пошук раціональних з мінімізацією ризиків від протидій противника. В розробленому алгоритмі моделювання імітуються паралельний рух дронів. Кожен дрон (заявка в імітаційному моделюванні) може формувати віртуальну копію (клон), який помічає контрольну точку при її проходженні, що вказує на його перевагу в русі. Це дозволяє відсікати неконкурентоспроможні маршрути, з більшим часом руху дронів. Таким чином, формується найбільш короткий маршрут до цілей противника. Значення ризиків, які виникають з-за протидій противника, призводять до пошуку відносно безпечних маршрутів для планування польоту дронів. Створена агентна імітаційна модель, яка дозволяє, в інтерактивному режимі, проводити аналіз можливих маршрутів польоту рою дронів та формувати раціональні, за часом та ризиками польоту.

Використані різні сценарії та стратегії формування, запуску та польоту дронів. Це дозволяє сформувати раціональні маршрути, в умовах зміни обставин на полі бою та протидронових дій противника.

Використані **математичні методи та моделі**: системний аналіз можливих сценаріїв та стратегій формування, запуску та польоту рою дронів; оптимізаційна модель для пошуку раціонального маршруту польоту ударних дронів до цілей противника; метод маршрутизації польоту ударних дронів, в умовах загроз; імітаційне моделювання польоту рою дронів.

Висновки. Запропонований підхід дозволяє, за рахунок використанням імітаційного моделювання, проводити дослідження по аналізу та пошуку раціональних маршрутів польоту рою (групи) ударних дронів до цілей противника, що дає можливість сформувати план проведення польоту, з використанням різних стратегій та сценаріїв військових місій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Fedorovich, O., & Pronchakov, Y. (2021). Risk-oriented simulation of the long logistics supply chains in developing enterprises. *Авіаційно-космічна техніка і технологія, 3*, 84–90.

2. Fedorovych, O. Y., Uruskyi, O. S., Chepkov, I. B., Lukhanin, M. I., Pronchakov, Y. L., Rybka, K. O., & Leshchenko, Y. O. (2022). Моделювання транспортної логістики військових вантажів з урахуванням збитків, які виникають у зоні бойових дій через запізнення у постачанні. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи, 2*, 63–74. https://doi.org/10.32620/reks.2022.2.05

УДК 004.94:519.85
Корепанов М.В.[1], Сагайдак В.А.[2]

МАТЕМАТИЧНЕ ТА ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕСУРСІВ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ПІДПРИЄМСТВ

Ефективність корпоративних інформаційних систем (ІС) визначає швидкість та якість управлінських рішень, стабільність бізнес-процесів при помірних витратах на обслуговуючу ІТ-інфраструктуру. У сучасних підприємствах ІС все частіше працюють як сервісні платформи, що обробляють нерівномірні потоки запитів і мають виконувати одночасно комбінацію вимог SLA (час відповіді, доступність, пропускна здатність). Типові проблеми експлуатації проявляються у вигляді черг та пікових перевантажень, нераціонального масштабування, надмірного резервування ресурсів або, навпаки, недостатніх обчислювальних потужностей. У таких умовах важливо мати інструмент, який дозволяє оцінювати поведінку системи при різних конфігураціях та шукати раціональні рішення у складному просторі її параметрів, тобто виникає питання, який алгоритм оптимізації застосувати.

Метаевристичні алгоритми оптимізації, зокрема генетичний (GA), рою частинок (PSO), диференціальна еволюція (DE), імітації відпалу (SA), бджолиний (BA), є перспективними для задач, в яких стандартні, класичні градієнтні методи важко застосувати через нелінійність, дискретність або невизначеність середовища. Разом із тим, для обґрунтованого вибору параметрів ІС потрібні моделі, які відтворюють взаємодію компонентів та дозволяють розрахувати ефективність. Саме тому доцільним є поєднання математичної постановки з імітаційним моделюванням та подальшим оптимізаційним пошуком.

У даній роботі запропоновано підхід до оптимізації ресурсів ІС підприємства на основі двох взаємопов’язаних компонентів:

- математична постановка задачі вибору конфігурації;
- імітаційна модель, що оцінює якість цієї конфігурації за заданими критеріями.

Об’єктом моделювання є сервісна ІС, що обробляє потік запитів (можливо, декількох класів із різними пріоритетами), використовуючи обмежені ресурси (CPU/RAM, кількість екземплярів сервісів, черги, тощо). Конфігурація системи описується параметрами, що включають: рівні масштабування, ліміти ресурсів, політики маршрутизації та

---

[1] Аспірант групи АІСТ-21 Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій.

[2] Доцент кафедри Інформаційних систем та технологій Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій, доктор філософії.

пріоритизації, параметри кешування, а також допустимі межі для кожного параметра.

Щоб оцінити ефективність конфігурації використовуються показники, що є найбільш типовими для експлуатації ІС: середній час відповіді, завантаження вузлів, пропускна здатність, частка порушень SLA, а також агрегована вартість інфраструктури. З практичної точки зору мета оптимізації полягає у знаходженні балансу між швидкодією та вартістю при гарантованому рівні якості сервісу. Щоб зменшити кількість формул, цільову функцію доцільно трактувати як зважену оцінку (scoring), де ваги визначають пріоритети підприємства (наприклад, критичність SLA порівняно з економією ресурсів).

Імітаційне моделювання реалізується як фрагментарна, переривчата симуляція. Подіями виступають спочатку надходження запиту, потім початок та завершення обслуговування та перенаправлення між чергами, а також відмова/повторна спроба. Цей підхід дозволяє відтворити вплив нерівномірного навантаження та взаємної конкуренції потоків за ресурси, а також отримати стабільні оцінки метрик на різних профілях трафіку.

Пошук кращих конфігурацій відбувається за допомогою метаевристичних алгоритмів. На основі попереднього порівняльного аналізу для задач ресурсного налаштування ІС доцільно розглядати PSO або DE як більш швидкі методи глобального пошуку, тоді як SA або BA – як алгоритми для посилення локального пошуку та підвищення стійкості до локальних екстремумів. GA, зі своєї сторони, може бути використаний як універсальний підхід у випадках змішаних параметрів, однак він потребує ретельного налаштування операторів.

Таблиця 1 – Стислий порівняльний огляд алгоритмів (H – high, M – medium, L – low)

Критерій/Алгоритм	GA	PSO	DE	SA	BA
Якість пошуку	H*	H	H	M	H
Локальні мінімуми	M	M	M	H	H
Збіжність	M	H	H	L	M
Чутливість	H	M	M	H	H
Реалізація	M	L	L	L	H
Адаптивність	M	H	M	L	H

* залежить від налаштувань популяції та операторів схрещення/мутації.

З практичної точки зору запропонований підхід формує схему оптимізації в ІС: збір вимірювань та профілю навантаження, надалі симуляція для кандидата конфігурації, потім оновлення рішень за допомогою алгоритмів оптимізації та в підсумку вибір найкращого

варіанта і рекомендації щодо масштабування, лімітів, балансування. Схема може виконуватись періодично для врахування змін навантаження.

Висновки. Запропоновано теоретично обґрунтований підхід для підвищення ефективності інформаційних систем підприємств шляхом поєднання математичної постановки задачі ресурсного налаштування з імітаційним моделюванням та метаевристичним пошуком. Показано, що в даному випадку симуляція дозволяє коректно оцінювати вплив конфігурацій на ключові показники (такі як прихованість значень, пропускна здатність системи, завантаження ресурсів, порушення SLA) і тим самим забезпечує підґрунтя для подальших рішень по оптимізації.

Перспективи подальших досліджень:

- експериментальне підтвердження моделей на типових сценаріях (масштабування сервісів, керування чергами, балансування навантаження);
- розробка гібридних алгоритмів (наприклад, PSO+SA або DE+BA) для поєднання швидкої збіжності та стійкості до локальних екстремумів;
- створення адаптивних механізмів налаштування параметрів у реальному часі на основі телеметрії ІС.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. *Proceedings of ICNN'95, 4*, 1942–1948.
2. Storn, R., & Price, K. (1997). Differential evolution—A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of Global Optimization, 11*(4), 341–359.
3. Cui, Z., & Yang, N. (2024). Optimization algorithm for enterprise decision making based on big data fusion. *CAD and Applications, 21*(S21), 208–225. https://cad-journal.net/files/vol_21/CAD_21(S21)_2024_208-225.pdf

УДК 004.9

Власенко Д.В. [1], Терещенко Е.В. [2]

ДОСЛІДЖЕННЯ РИНКУ ІГРОВИХ ПРЕДМЕТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ АГЕНТНО-ОРІЄНТОВАНОЇ МОДЕЛІ

Steam – одна з найбільших ігрових платформ у світі, розроблена компанією Valve. До 2021 року платформа мала понад 34 тисячі ігор зі 132 мільйонами активних щомісячних гравців. Сьогодні щоденний піковий онлайн становить майже 38 мільйонів одночасних гравців. Сама платформа є повноцінною екосистемою для гравців різних жанрів.

[1] студент групи КНТ-812, «Запорізька політехніка»
[2] завідувачка кафедри САОМ, «Запорізька політехніка», к.ф.-м..н.

Сервіс надає інструменти для розробників ігор і модів, ігровий стрімінг, спільноти з обговоренням чи створенням навчальних посібників і гайдів. Другий найважливіший інструмент на платформі, після самого магазину з іграми – ринок спільноти або Steam Community Market.

Steam Community Market дозволяє гравцям купувати й продавати внутрішньоігрові предмети за кошти гаманця акаунту Steam. Найбільшою економікою в Steam – є косметичні предмети CS2, це шутер розроблений компанією Valve та їх найпопулярніша франшиза.

Основною метою дослідження було розроблення обчислювальної моделі реального ринку з продажу цифрових предметів із можливістю налаштування ключових параметрів моделі, валідацією даних, тестами та відтворюваністю, для оцінки впливу різних чинників (значення комісії, розподіл різних типів агентів, період блокування предметів) на ринок в цілому, на середню ціну предметів, обсяги торгів та активність агентів.

Через неповну публічність інформації, відсутність задокументованих змін значення комісії платформи, комплексність і закритість самої системи, а також гетерогенність її учасників, традиційні аналітичні методи не підходять для її дослідження. Тому для досягнення мети було обрано поєднання методу агентно-орієнтованого моделювання та Монте-Карло.

Агентно-орієнтована модель – обчислювальна модель для симуляції подій та взаємодії автономних агентів з метою розуміння поведінки системи в цілому, що саме призводить до отриманих результатів.

На основі результатів багатофакторних симуляцій проаналізовано вплив ключових параметрів на досліджувану систему:

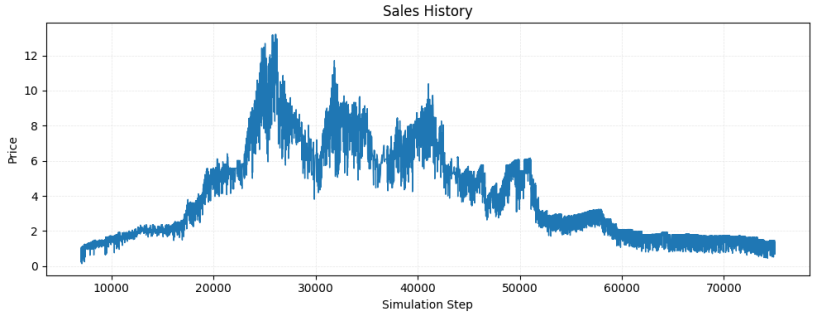


Рисунок 1 – Графік продажів для однієї з симуляцій

	fee	avg_sales	std_sales	avg_price	std_price	avg_total_fee	std_total_fee
0	0.1	17980.52	1270.188990	4.121904	0.922052	75919.6400	15641.972508
1	0.2	17683.51	1248.015657	3.765853	0.877156	137093.7420	27577.546361
2	0.3	17247.49	1679.219741	3.335840	1.010314	185187.7373	51919.977462
3	0.4	16886.27	1719.930765	3.080700	1.028723	224203.0162	72309.083235
4	0.5	16409.03	1676.764118	2.724730	0.896517	247802.4479	79047.848449
5	0.6	15719.97	1759.164922	2.225042	0.890554	240327.0277	93905.481059
6	0.7	15246.71	1577.435198	1.870139	0.811098	236588.3567	99796.515382
7	0.8	15364.60	1541.131147	1.972114	0.712518	277081.7256	95818.344856
8	0.9	15084.88	1433.459158	1.806213	0.739445	283336.4047	112299.821567

Рисунок 2 – Результати виклику багатьох симуляцій

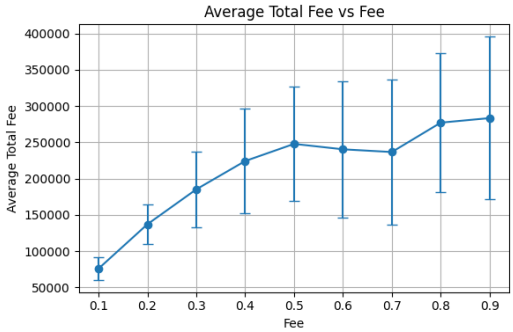


Рисунок 3 – Залежність суми заробітку з комісійних від ставки комісії, для одного з експериментів

Висновки. Варто зазначити, що отримані результати є умовними межами котрих слід дотримуватися в залежності від мети. Стягування відсотка з кожного продажу є гарним інструментом контролю інфляції в умовах ігрової економіки, де нові предмети генеруються щосекунди. В результаті дефіцит грошей змушує користувачів цілеспрямовано поповняти рахунки акаунтів, що стимулює прибуток компанії. Надто висока комісія призводить до міграції користувачів до інших платформ. Такі типи користувачів, як трейдер чи інвестор, купуватимуть предмети дешевше на інших платформах з метою мінімізації витрат.

Система блокування предметів (Trade-lock), яка створювалась для протидії шахрайству, додатково є регулятором пропозиції та створення короткострокового дефіциту. Вона не дозволяє швидко реалізовувати предмети, тим самим миттєво знецінювати їх, в результаті різниці у курсах валют або інших чинників. Довший період блокування – довше зберігає вищі ціни предметів. Водночас, надмірний період має негативний вплив, предмети стають менш ліквідними. Поточний період – сім діб, на платформі Steam, є гарним компромісом, що забезпечує баланс: безпеки, стабільності ринку, розвитку та здорової циркуляції предметів.

Враховуючи ті чи інші чинники, рекомендовано обирати помірне значення комісії (від 10 до 30 відсотків), а період блокування предметів від 4 до 10 днів. На початковому етапі зародження ігрової економіки, з метою залучення більшої кількості користувачів і генерації прибутку, для розвитку платформи є виправданим вибір нижчого значення досліджуваних показників. Після досягнення стабільного росту ринку та кількості користувачів, можна підвищити комісію в межах помірного рівня. Отримання більшого прибутку дозволить легше покривати витрати. З подальшим ростом активності, платформа витрачатиме більше коштів на підтримання злаженої роботи сервісу: підтримка серверів, покращення безпеки й захисту даних, залучення експертів. Також частою практикою є використання динамічного значення комісії, для тих груп користувачів, котрі мають високу ринкову активність.

Так само слід враховувати структуру учасників ринку. Надмірна частка трейдерів може негативно впливати на екосистему, адже їм притаманне використання скриптів, ботів, які негативно впливають на стабільність сервісу своїми частими запитами. Для протидії цьому слід обмежувати пропускну здатність сервісу, лімітувати кількість дозволених запитів. Мета, зробити так, щоб масштабування для них було невигідним і водночас не погіршувало досвід звичайного користувача. Тип фермер у досліджуваному середовищі є маргінальним учасником, котрий генерує велику кількість ігрових предметів шляхом вразливості гри та великої кількості аккаунтів-ботів. Він масово реалізує ці предмети на ринку, впливаючи на ціну. Залежно від стратегічних цілей створюваної системи ігрової економіки, діяльність таких учасників потребує регулювання шляхом впровадження обмежень чи блокувань аккаунтів. Натомість інвестор, сприяє постійному попиту на предмети, стабілізації цін при різкому падінні та позитивно впливає на розвиток ринку.

Отримані результати мають високу практичну цінність для формування комісійної політики платформи. Новизна результатів полягає у гнучкій і легко масштабованій моделі, яка може стати інструментом симуляцій з реальними параметрами або основою для подальших досліджень і навчання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Todd, A., Beling, P., Scherer, W., & Yang, S. Y. (2016). *Agent-based financial markets: A review of the methodology and domain*. https://www.researchgate.net/publication/313802608_Agent-based_financial_markets_A_review_of_the_methodology_and_domain

2. Axtell, R. L., & Farmer, J. D. (2018). *Agent-based modeling in economics and finance: Past, present, and future*. https://www.researchgate.net/publication/313802608_Agent-based_financial_markets_A_review_of_the_methodology_and_domain

3. Wikipedia contributors. (n.d.). *Heterogeneity in economics*. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Heterogeneity_in_economics

4. Wikipedia contributors. (n.d.). *Boltzmann distribution*. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Boltzmann_distribution

5. Wikipedia contributors. (n.d.). *Agent-based model*. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Agent-based_model

УДК 004.94

Черкасова В. В.[1], Новожилова М. В..[2]

ІЄРАРХІЧНА ГРАФОВА МОДЕЛЬ МІСЬКОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ЯК СОЦІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Міська інформаційна інфраструктура (МІІ) стала одним із ключових чинників функціонування сучасних міст. За даними ООН [1], понад 56% населення світу проживає в містах, а до 2050 року цей показник може зрости до 68%, що супроводжується активною цифровізацією міського середовища. Впровадження інтелектуальних транспортних систем, хмарних сервісів, платформ електронного урядування та IoT-рішень формує складні багаторівневі мережі обробки та передачі даних [2].

Водночас міжнародні звіти з кібербезпеки [3, 4] фіксують зростання кількості інцидентів у державному секторі та критичній інформаційній інфраструктурі. Значна частина порушень пов'язана з людським фактором і складною взаємодією компонентів системи, що вказує на роль організаційних і поведінкових чинників у виникненні відмов. Тому питання оптимізації міської інфраструктури в цілому та міської інформаційної інфраструктури зокрема знаходиться в центрі уваги науковців [5, 6].

В контексті даного дослідження міську інформаційну інфраструктуру пропонується розглядати як мультирівневу соціотехнічну систему, структура якої може бути представлена у вигляді ієрархічного графа:

$$G = (V, E),$$

де множина вершин

$$V = V_P \cup V_L \cup V_S$$

складається з підмножин, що відповідають окремим рівням системи:

- *фізичного* V_P – охоплює телеметричну, телекомунікаційну та обчислювальну інфраструктуру;
- *логічного* V_L – програмні платформи та потоки даних;

[1] аспірант гр. Аспір Комп 2023-1, ХНУМГ імені О. М. Бекетова

[2] завідувачка кафедри КНтаІТ, ХНУМГ імені О. М. Бекетова, д. ф.-м. н., професор

- *соціального* V_S – внутрішні та зовнішні стейкхолдери системи;

А множина ребер визначається як

$$E = E_{intra} \cup E_{cross},$$

де E_{intra} – внутрішньорівневі зв'язки, E_{cross} – міжрівневі залежності між компонентами різних рівнів системи.

До множини E входять разом з іншими *інституційні зв'язки,* що визначають нормативно-правові обмеження функціонування, а також *математичне забезпечення*, зокрема методи та моделі прийняття рішень.

Таке представлення обґрунтовується тим, що сучасні міські інфраструктури функціонують як багатошарові системи, у межах яких порушення на одному рівні можуть впливати на інші рівні, формуючи каскадні ефекти. Саме врахування цих залежностей дозволяє здійснити опис інтеграції технічних, організаційних та регуляторних механізмів функціонування МІІ.

МІІ є цілеспрямованою системою, однією з основних властивостей якої є стійкість щодо викликів зовнішнього та внутрішнього середовища. Поряд з поняттям стійкості також розвивається поняття функціональної стійкості, що є більш широким та визначає життєздатність складних систем.

У національному науковому дискурсі стійкість інформаційної інфраструктури розглядається переважно в контексті забезпечення її живучості, резервування та відмовостійкості в умовах воєнних загроз. Зокрема, у [7] запропоновано модель оцінювання стійкості, орієнтовану на реконфігурацію та відновлення функціонування системи в кризових умовах. Робота [8] акцентує увагу на ризик-орієнтованому підході до захисту об'єктів критичної інфраструктури. Водночас зазначені підходи здебільшого зосереджені на нормативно-організаційних та безпекових аспектах і не забезпечують повної формалізації міжрівневих залежностей.

Міжнародні дослідження пропонують ширший спектр методичних інструментів. Систематичний огляд [6] виокремлює три ключові складові стійкості: robustness (здатність протистояти впливам), recovery (швидкість відновлення) та adaptability (здатність до перебудови). Аналогічний підхід розвивається в роботі [9], де стійкість розглядається як багатовимірна характеристика з урахуванням опору системи до порушень та її відновлювального потенціалу.

Індексні підходи до оцінювання міської інфраструктури, зокрема Urban Resilience Index [10], дозволяють інтегрувати різнорідні показники в єдиний агрегований індикатор. Проте такі моделі мають високий рівень узагальнення і не завжди враховують структурні особливості інформаційних мереж.

Дослідження стійкості критичної інфраструктури також підтверджують, що її відновлювальна здатність та здатність до

структурної перебудови визначаються не лише технічною та програмною конфігурацією системи, але й взаємодією технічних і соціальних її компонентів. У зв'язку з цим виникає необхідність аналізу існуючих підходів до оцінювання стійкості з позиції їх здатності враховувати багаторівневу соціотехнічну природу МІІ.

Порівняльний аналіз засвідчує, що:

- національні підходи акцентують увагу на безпекових та організаційних механізмах;
- міжнародні фреймворки орієнтовані на інтегральні індекси та кількісні метрики;
- ризик-орієнтовані моделі недостатньо враховують динамічні міжрівневі залежності;
- індексні моделі не забезпечують деталізованого графового опису структури.

Подальші наукові дослідження передбачається вкдючатимуть розробку моделі, яка б інтегрувала визначені виміри міської інформаційної інфраструктури в єдиній системі оцінювання її стійкості. У зв'язку з цим необхідне формування інтегрованого методичного підходу, здатного відобразити багаторівневу природу МІІ та забезпечити кількісну оцінку її функціональної стійкості

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. United Nations, Department of Economic and Social Affairs. (2022). *World urbanization prospects 2022*. https://population.un.org/wup/

2. OECD. (2023). *Digital government index 2023: Results and key findings*. https://www.oecd.org/gov/digital-government/

3. European Union Agency for Cybersecurity. (2023). *ENISA threat landscape 2023*. https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-threat-landscape-2023

4. Verizon. (2024). *2024 data breach investigations report*. https://www.verizon.com/business/resources/reports/dbir/

5. Monstadt, J., Rutherford, J., & Coutard, O. (2022). Infrastructures as urban solutions? Reworking the socio-technical nexus. *Urban Studies*. https://doi.org/10.1177/00420980251339430

6. Mottahedi, A., et al. (2021). The resilience of critical infrastructure systems: A systematic literature review. *Energies, 14*(6), Article 1571. https://doi.org/10.3390/en14061571

7. Модель оцінювання стійкості інформаційної інфраструктури в умовах відсічі збройної агресії. (2025). *Збірник наукових праць, 1*(84), 69–78. https://doi.org/10.33099/2304-2745/2025-1-84/69-78

8. Забезпечення стійкості критичної інфраструктури в Україні в умовах сучасних викликів. (2024). *Економічний простір, 195*, 47–54. https://doi.org/10.30838/EP.195.47-54

9. Rehak, D., Hromada, M., et al. (2023). The importance of resistance

in the context of critical infrastructure resilience. *Systems, 11*. https://doi.org/10.3390/systems11100506

10. Urban resilience index for critical infrastructure. (2023). *Sustainability, 15*. https://www.mdpi.com

UDC 378.046

Snihur A.O.[1], Shevchenko Y.O.[2]

SYSTEM ANALYSIS IN THE WORK OF A PUBLIC ORGANIZATION

Today's non-governmental organizations function in an environment where changes occur frequently, resources are scarce, and society places high expectations on the organization. For the non-governmental organization to be stable and successful, it is crucial to realize that the organization is not a set of separate activities, but rather a whole system in which all components are interrelated. For that reason, system analysis is important for the non-governmental organization.

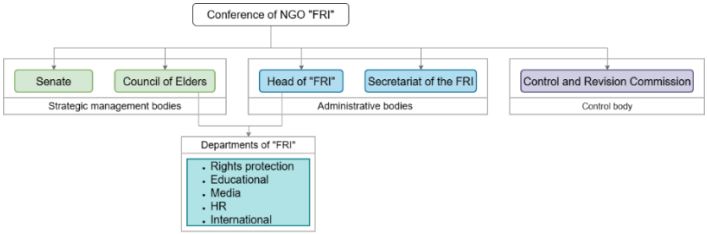


Figure 1 – Organizational Structure of FRI

The operations of a non-governmental organization (NGO) could be viewed as an open social system characterized by interactions between the organization and its external environment, which include members of society, partners, and other institutions.

The operations of an NGO such as the Foundation of Regional Initiatives, as presented by the example, include various components such as members, leadership of the organization, projects, resources, communications within the organization, and values. Changes in a single component have a direct influence on the entire operations of the organization.

An evident manifestation of systemic analysis within the operations of a public organization is noted in the planning of projects and programs.

[1] Student gr. 124-22 of University of Jaén, Spain and Dnipro University of Technology, Ukraine

[2] Assistant Professor of the SA&C Department, Dnipro University of Technology, Ukraine

For example, educational camps, trainings, and local initiatives do not solely focus on their implementation, they also focus on the overall organizational goals and objectives, such as the development of active youth and civic responsibility.

Human resource management is a fundamental element of the systems approach. For FRI, a large proportion of the activities is carried out by volunteers; hence, a systemic analysis helps to assess the level of engagement of the members, the reasons for the lack of engagement, and the possible burnout of the members. This helps the organization to change the formats of the work in a timely manner and to support the members of local branches.



Figure 2 – Participants of the Conference of NGO “FRI” (22–23 November 2025)

In the assessment of the outcomes of the performance, systemic analysis is utilized. In the context of FRI, the significance goes beyond the mere identification of the occurrence of the event to include the social implications, such as the development of the participants, the development of new initiatives, and the reinforcement of the local branches. Through the assessment of the feedback, the level of participation, and the activity of the participants, the organization is able to modify the focus of the activities.

Conclusions: The study reveals that a non-governmental organization should be perceived as an integrated open system rather than individual activities.

The example of the effectiveness of the Foundation of Regional Initiatives lies in the interaction of its internal elements, such as members, management, projects, resources, and communication, and their interaction with the external environment.

The use of system analysis helps to acquire a comprehensive understanding of the processes in organizations and promotes decision-making and sustainable development. Therefore, it is necessary to use the systemic method to ensure the effectiveness and sustainability of public organizations.

REFERENCES:

1. Nebatov, K., & Shevchenko, Y. O. (2023). *Study of control processes through system analysis*. url: http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/164325

2. Lytvynenko, V., Shevchenko, Y. O., & Kostrytska, S. I. (2024). *Impact of Data Analytics on Labor Market and Business*. url: http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/166899

3. Nebatov, Kyrylo, & Shevchenko, Y. (2023). *System analysis as a direction in the study of control processes*. url: http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/164332

4. Koriashkina, L., Maliienko, A., Stanina, O., Shevchenko, Yu., Kodola, Ya. (2025). *System Analysis and Optimal Selection of a Set of Measures to Improve Workplace Safety at an Enterprise*. Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security,72–80, doi: https://doi.org/10.32782/IT/2025-2-7

UDC 004.932

Kuchkin O.M.[1], Sazonov A.Y.[2], Zghurskyi D.O.[3]

RESIDUAL OPTICAL FLOW FOR DENSE SCENE SEGMENTATION IN ROBOT NAVIGATION SYSTEMS

Reliable detection of independently moving objects is a prerequisite for safe autonomous navigation in dynamic industrial environments. When a mobile robot moves through a scene populated by forklifts, automated guided vehicles, or human operators, it must continuously separate the static background from entities that have their own velocity. Classical occupancy-grid approaches assign a single occupancy probability to each cell and cannot distinguish a static wall from a temporarily stationary person who may resume motion at any moment [1]. Volumetric probabilistic maps such as OctoMap [2] improve spatial uncertainty representation but lack an explicit

[1] PhD student, Dept. of Automation Hardware and Software, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: 0009-0004-3287-0948

[2] Assoc. Prof., Dept. of Automation Hardware and Software, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine;
ORCID: 0000-0001-7124-5863

[3] PhD student, Dept. of Automation Hardware and Software, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
ORCID: 0009-0008-6387-748X

mechanism for encoding temporal dynamics. The result is a planning system that reacts to obstacles only after they have already displaced into the robot's trajectory, rather than anticipating their motion proactively.

The present work investigates the use of residual optical flow as a lightweight, camera-only cue for dynamic object detection and its integration into a probabilistic volumetric map. Optical flow estimation yields a dense per-pixel velocity field that encodes the apparent motion of all scene points projected onto the image plane. Because a rigidly moving camera imposes a predictable ego-motion component onto every pixel, independently moving objects produce a measurable deviation (the residual flow) once the camera's own contribution is subtracted. This residual signal is the central detection mechanism examined here and is embedded within the S3PM navigation framework [1].

The ego-motion prediction step relies on the visual-inertial odometry (VIO) pipeline similar to presented in S3PM. Given the current camera pose change ΔT and per-pixel depth $z(u)$, the expected static-background flow is derived analytically from the pinhole projection model using the linear and angular velocity estimates v and ω. The residual $\mathbf{r}(u) = \mathbf{f}(u) - \hat{\mathbf{f}}(u)$ is then computed for every pixel u at which a reliable depth measurement exists. Large residuals indicate pixels that cannot be explained by ego-motion alone and therefore belong to independently moving objects. To suppress false positives in texture-poor regions where optical flow estimation is inherently unreliable, a visibility weight w_{vis} proportional to the local image gradient magnitude $|\nabla I|$ is applied: when $|\nabla I|$ falls below a texture threshold δ_{texture}, the weight approaches zero, and the pixel does not contribute dynamic evidence to the map.

The residual magnitude $\mathbf{r}(u)$ is mapped to a dynamic likelihood value $\ell_{\text{dyn}}(u) = w_{\text{vis}}\,\sigma\left(\frac{\|\mathbf{r}(u)\|-\tau}{\sigma_r}\right)$ through a robust sigmoid centred at a photometric noise threshold τ. This formulation provides a smooth, bounded score in [0, 1] without hard thresholding and is therefore robust to varying illumination conditions. The likelihood is temporally smoothed with exponential decay to suppress flickering caused by frame-to-frame optical flow jitter and by transient localization errors that produce correlated global spikes in the residual field. Consistency checks on residual flow directions within local pixel neighbourhoods provide an additional filter against such drift-induced artefacts.

Once per-pixel dynamic likelihoods are available, they are back-projected into the volumetric map using a ray-based evidence propagation scheme. For every valid pixel the ray is cast into 3D space: all voxels along the ray up to the first confident surface receive free-space evidence; at the surface voxel the evidence is divided between static occupancy and dynamic occupancy; voxels in the immediate neighbourhood of any voxel identified as dynamic receive an additional unknown-state increment inversely proportional to their distance, inflating local entropy and forcing the planner to treat that vicinity as a hazard zone. The four per-voxel state counts (free, static, dynamic,

unknown) are maintained as Dirichlet parameters updated with a forgetting factor $\lambda \in (0, 1]$ that allows the map to adapt to layout changes. The resulting per-voxel probability distribution is used to compute the risk-weighted entropy $H_\rho(v)$, which serves as the primary uncertainty signal for path planning.

Experiments were conducted in a photorealistic NVIDIA Isaac Sim warehouse scene (20 × 20 m) with static infrastructure and dynamic agents (forklifts, pedestrians) moving at 0.5–2.0 m/s. Per-pixel segmentation quality was assessed using mean Intersection-over-Union (**mIoU**) across static and dynamic classes, compared against ground-truth instance masks exported from the simulator. Two baselines were evaluated: (i) pure probabilistic occupancy without motion cues; (ii) frame-differencing with a fixed threshold. Table 1 reports **mIoU**, false-positive rate on stationary objects (**FPR_static**), and latency per frame. The residual flow pipeline achieves **mIoU** 0.87 on dynamic pixels while reducing **FPR_static** to 4.2%, outperforming both baselines.

Table 1 – Per-pixel static/dynamic segmentation performance

Method	mIoU (dynamic)	FPR_static [%]	Latency [ms]
Frame differencing	0.71	13.8	4
Prob. occupancy (no flow)	0.64	6.1	18
Residual flow + S3PM (ours)	0.87	4.2	32

Frame-differencing produces comparable recall on fast-moving agents but yields 3× higher false positives on slowly drifting or vibrating static structures.

The five-stage pipeline:

- optical flow
- ego-motion subtraction
- likelihood scoring
- temporal smoothing
- volumetric back-projection

processes a 640 × 480 frame in 28–34 ms on a Raspberry Pi 5. Offloading stages (i)–(ii) to the Hailo-8 NPU reduces total latency to 9–12 ms, enabling integration at the full 25–30 Hz map update rate of S3PM with peak system power below 12 W.

Should be noted that detection quality degrades in texture-poor regions (smooth floors, plain walls) and under strong illumination transients. The texture visibility weight w_{vis} and the global residual consistency check mitigate both effects; however, objects that remain stationary longer than the Dirichlet forgetting horizon are progressively reclassified as static, which is the intended behaviour for static vehicles but may delay re-activation detection (Figure 1).

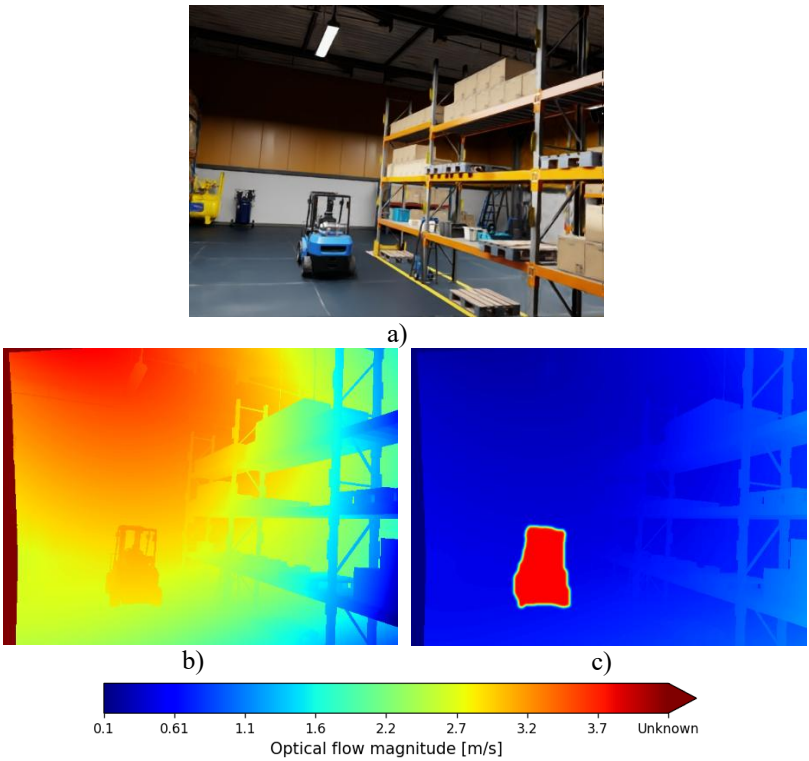


Figure 1 – Residual optical flow pipeline for a single frame in the simulated warehouse: (a) rectified RGB input; (b) estimated dense optical flow; (c) residual flow after ego-motion subtraction.

Conclusions: The proposed residual optical flow pipeline provides accurate per-pixel separation of static and dynamic scene elements (mIoU 0.87, FPR_static 4.2%) using mono camera, without dedicated range sensors or heavyweight object detectors. Integration with the S3PM probabilistic volumetric map via Dirichlet-multinomial updates and risk-weighted entropy propagation enables real-time dynamic scene segmentation at 25–30 Hz on a Raspberry Pi 5 with Hailo-8 NPU acceleration. The texture visibility weighting and residual consistency checks maintain robustness under low-texture surfaces and illumination transients. Future work will focus on learning-based optical flow backbones optimised for NPU deployment and extension to multi-camera configurations for full 360° scene coverage.

REFERENCES:

1. Sazonov, A., Kuchkin, O., Cherepanska, I., & Lipnickas, A. (2026). S3PM: Entropy-Regularized Path Planning for Autonomous Mobile Robots in Dense 3D Point Clouds of Unstructured Environments. *Sensors*, 26(2),

731. https://doi.org/10.3390/s26020731
2. Hornung, A., Wurm, K.M., Bennewitz, M., Stachniss, C., & Burgard, W. (2013). OctoMap: An Efficient Probabilistic 3D Mapping Framework Based on Octrees. *Autonomous Robots*, 34, 189–206. https://doi.org/10.1007/s10514-012-9321-0
3. Sánchez-Ibáñez, J.R., Pérez-del-Pulgar, C.J., & García-Cerezo, A. (2021). Path Planning for Autonomous Mobile Robots: A Review. *Sensors*, 21, 7898. https://doi.org/10.3390/s21237898

УДК 004.94:658.7

Джапаров Т.Р.[1], Мушинський О.Ю [2]

МОДЕЛЮВАННЯ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВАНТАЖНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ З АВТОМАТИЗАЦІЄЮ ПОБУДОВИ МАРШРУТІВ

Сучасні логістичні компанії стикаються з проблемами неефективного призначення водіїв та відсутності врахування габаритних обмежень вантажного транспорту при побудові маршрутів. Дані про клієнта та адресу доставки часто передаються за допомогою звичайних месенджерів, що ставить під питання як безпеку даних клієнта, так і безпеку даних логістичної компанії. За даними Асоціації міжнародних автомобільних перевізників України, близько 15-20% рейсів мають затримки через неврахування обмежень при плануванні маршруту, що призводить до фінансових втрат (штрафи до 340 тис. грн, перевитрата палива на 10-25%) та погіршення якості сервісу [1].

На основі наведеного можна сформулювати проблемну ситуацію, що полягає в необхідності вдосконалення управління процесами маршрутизації вантажних автоперевезень, а саме забезпечення комплексного управління маршрутами та оперативною взаємодією в контурі «диспетчер–водій» для вантажного автотранспорту в умовах нестабільного та динамічного транспортного середовища.

Для розв’язання окресленої проблемної ситуації пропонується створення інформаційної системи управління вантажними перевезеннями, призначеної для підтримки процесів планування, маршрутизації, диспетчеризації, контролю виконання рейсів та безпечної комунікації між учасниками логістичного процесу. Така система має забезпечувати автоматизований добір маршруту з урахуванням параметрів транспортного засобу, характеристик вантажу, дорожніх обмежень, пріоритетності замовлень і поточної транспортної ситуації.

[1] студент групи КН-22, Університет економіки та права «КРОК»
[2] викладач кафедри ІММС, Університет економіки та права «КРОК»

Для комплексного аналізу предметної області та проєктування такої інформаційної системи доцільно застосувати підхід предметно-орієнтованого проєктування (Domain-Driven Design). У межах цього підходу відокремлено ключові сутності, що відображають основні об'єкти логістичної системи, зокрема, маршрут, завдання, водій, диспетчер, клієнт та локація. Кожна із зазначених сутностей має власну ідентичність, набір атрибутів і поведінкові характеристики, які представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Сутності логістичної системи управління вантажними перевезеннями

Сутність	Опис	Основні властивості	Поведінка
Маршрут	Визначає шлях доставки між точкою відправлення та призначенням.	id, origin, destination, distance, driverId, date, status	Створити маршрут, оптимізувати шлях, оновити статус, зберегти в БД.
Завдання	Конкретне завдання для водія, що належить до певного маршруту.	id, routeId, driverId, description, status, createdAt	Призначити водію, змінити статус (виконано / у процесі), прив'язати до маршруту.
Водій	Користувач, який виконує доставку та передає координати.	id, name, phone, vehicle, location	Оновити місцезнаходження, підтвердити виконання завдання, змінити статус зайнятості.
Локація	Географічне положення водія в реальному часі.	id, driverId, latitude, longitude, timestamp	Зберегти координати, оновити позицію на карті, повернути останнє місцезнаходження.

Для відображення функцій які потребують автоматизації було розроблено концептуальну модель логістичної системи з використанням методології IDEF0. На рисунку 1 представлено модель системи управління вантажними перевезеннями. Діаграма відображає систему як єдиний процес з визначенням потоків даних: входів (замовлення на доставку), виходів (виконані доставки, звітність), управління (нормативні документи, SLA) та механізмів виконання (персонал, транспорт, програмне забезпечення).



Рисунок 1 – Концептуальна модель системи управління вантажними перевезеннями (IDEF0)

Модель відображає систему як єдиний процес трансформації вхідних даних (замовлення клієнтів) у результат (виконані доставки зі звітністю). Ключовою особливістю є чітке розділення потоків управління та потоків даних: управлінські параметри (політика компанії, законодавчі обмеження, SLA) визначають умови виконання процесу, але не трансформуються функцією, на відміну від входів, які перетворюються у виходи. Механізми виконання поділяються на три категорії:

- Людські ресурси (диспетчери, водії), приймають рішення та виконують фізичні операції;
- Технічні засоби (вантажний транспорт), забезпечують переміщення;
- Програмні компоненти (система «Delivra», HERE Maps API), автоматизують планування та навігацію.

Незважаючи на те, що на контекстній діаграмі система представлена як єдиний блок, внутрішньо процес складається з п'яти послідовних етапів:

1. Прийняття та обробка замовлень. Трансформація запиту клієнта у структуроване завдання з визначеними параметрами (адреси, габарити вантажу, дедлайн). На цьому етапі виникає потреба у призначенні водія.

2. Призначення водіїв до завдань. Критичний етап, що визначає ефективність виконання. Традиційний підхід (ручний вибір диспетчером найближчого вільного водія) не враховує завантаженість та

досвід. Запропонований алгоритм на основі методу зваженої суми критеріїв (WSM) формалізує процес прийняття рішення:

$$Score = w_1 \cdot d + w_2 \cdot l + w_3 \cdot e \ (1)$$

де d - нормалізована відстань (0-1, менше - краще), l - нормалізована завантаженість (0-1, менше - краще), e - нормалізований досвід (0-1, більше - краще), w_1, w_2, w_3 - вагові коефіцієнти, що визначають пріоритети. Налаштування коефіцієнтів дозволяє адаптувати алгоритм до стратегії компанії: для термінових доставок w_1=0.6 (пріоритет відстані), для складних вантажів w_3=0.5 (пріоритет досвіду).

3. Побудова маршрутів. Після призначення водія система автоматично генерує маршрут з урахуванням габаритів транспортного засобу (висота, ширина, вага). Інтеграція з HERE Maps Truck Routing API забезпечує уникнення маршрутів з низькими мостами, вузькими дорогами та обмеженнями для вантажівок, що знижує ризики штрафів (до 340 тис. грн) та застрягання.

4. Навігація та виконання доставки. Водій отримує маршрут безпосередньо в мобільному додатку з навігаційними підказками. Система відстежує GPS координати в реальному часі та детектує відхилення від маршруту (понад 50 м), автоматично пропонуючи перерозрахунок.

5. Контроль та звітність. Після завершення доставки система генерує звіти по KPI (своєчасність, витрати палива, завантаженість водіїв), що дозволяє аналізувати ефективність та оптимізувати процеси.

Висновки. Визначено, що ключовими недоліками існуючих підходів є ручне призначення водіїв, неврахування габаритних обмежень під час побудови маршрутів та використання ненадійних каналів обміну даними. Для розв'язання цієї проблеми запропоновано інформаційну систему «Delivra», яка забезпечує автоматизацію диспетчеризації, маршрутизації, моніторингу доставки та звітності. На основі підходу Domain-Driven Design виокремлено основні сутності предметної області, а з використанням методології IDEF0 побудовано функціональну модель системи та визначено процеси, що потребують автоматизації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Асоціація міжнародних автомобільних перевізників України. (2024) Дослідження ефективності логістичних процесів у вантажних перевезеннях.

УДК 004.04
Хомочкін А.П. [1], Мигун А.О. [2], Красношлик О. [3]

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОЛИВАНЬ МАГНІТНОГО ПОЛЯ, ЩО ВИНИКАЮТЬ ПІД ЧАС НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ В МОМЕНТ ПЕРЕБУВАННЯ УЧНІВ ШКОЛИ В УКРИТТІ

Ідея проведення аналізу впливу коливань магнітного поля, що виникає в укритті під час повітряної тривоги продовж навчального процесу, пов'язана з великою концентрацією цифрових пристроїв (ноутбуків, планшетів та телефонів) в обмеженому просторі. Більшість цих пристроїв створює суттєве навантаження на біоритми живих організмів, зокрема нервову, серцево-судинну, ендокринну систему. Загалом кожна людина постійно піддається дії магнітного поля, що зазвичай коливається в межах межах норми. Проте перебування протягом тривалого часу в середовищі дії магнітного поля, що перевищує допустимі показники, все ж можна відчути. Саме під час повітряних тривог коли необхідно надати вільний доступ учням до мобільного телефону та проводити навчання не завжди просторих кабінетах, виникають симптоми, імовірно впливу магнітного поля, що створюють різноманітні пристрої.

Магнітні датчики слугують фундаментальними компонентами в широкому спектрі застосувань, від промислових та автомобільних систем до побутової електроніки та медичних пристроїв.[1]

Збільшення значення магнітної індукції зафіксовано саме під час перебування дітей в укритті, відбувається неконтрольована зміна магнітного поля, яка фіксували датчиками Холла. Для отримання точних показників магнітної індукції було використано декілька модулів датчика Холла, аналогові та цифрові. Аналоговий перетворює індукцію магнітного поля в напругу, знак і величина якої будуть залежати від полярності і сили поля і для оцифрування сигналу використовували пристрій мультиметр OWON 33+ в інтеграції з ноутбуком. Опрацювання сигналу здійснювалось програмовим забезпеченням OWON(iMeter). Цифровий датчик використовувався для визначення наявність чи відсутності магнітного поля.

Наявність шуму суттєво впливає на точність вимірювань. Імпульсні джерела живлення та системи електромереж генерують численні сигнали перешкод. Ці сигнали можуть спричиняти суттєві відхилення у тестованих даних у певних частотних точках. Впровадження відповідних заходів фільтрації, ізоляції та вимірювань з живленням від батарейок сприяє зменшенню системного шуму та мінімізації похибок вимірювань.[2]

[1] Вчитель хімії, природничих наук ПЗО «КМДШ»
[2] Вчитель фізики, природничих наук ПЗО «КМДШ»
[3] Вчитель інформатики, ПЗО «КМДШ»

Згідно наказу МОЗ №81 Про затвердження мінімальних вимог до охорони здоров'я та безпеки працівників, які піддаються впливу електромагнітних полів, слід зазначити, що протягом хоч і не тривалих, але системних підвищень значень індукції магнітного поля спостерігались зміни в поведінці, як учнів так і вчителів. Хоча норми магнітного поля залежать від частоти та тривалості впливу не слід зневажливо ставитись до безпеки свого здоров'я, особливо коли вплив непомітний.

В стресовий момент фактично неможливо контролювати чи зменшити вплив цифрових пристроїв, проте варто замислюватись, якими діями можна обмежити чи хоча б «розсіяти» дію магнітних полів.

Сучасні телефони здебільшого оснащені датчиками Холла і з їх допомогою та необхідного програмного забезпечення можна в деяких ситуаціях спостерігати і здійснювати контроль за зміною значень імпульсів магнітного поля.

Висновок. Аналізуючи розрахункові дані отримані в ході проведених дослідження було зроблено висновки, що хаотичність використання великої кількості ґаджетів у вузькому просторі шкільного сховища одночасно може негативно впливати на самопочуття всіх оточуючих.

Непомітне для ока електромагнітне випромінювання при значному і тривалому впливі хоч і може мати негативні симптоми та їх прояви, його можна відслідковувати тим же пристроєм, що його створює.

Є підстави вважати, що магнітне поле, яке виникає в результаті роботи пристроїв РЕБ та ін. також діють на зміну ІМП. Виходячи з цього можна стверджувати, що ці пристрої, які працюють неподалік укриттів значної мірою впливають на розумову та фізичну діяльність учнів, що в свою чергу потребує детального дослідження.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Díaz-Michelena, M. (2009). Small magnetic sensors for space applications. *Sensors*, *9*(4), 2271-2288.

2. Roy, A., Sampathkumar, P., & Kumar, P. A. (2020). Development of a very sensitivity magnetic field sensor based on planar Hall effect. *Measurement*, *156*, 107590.

УДК 004.4
Гаврилюк А.Р.[1], Казначєєва А. В.[2]

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ФОРМУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ У РОЗПОДІЛЕНИХ IoT СИСТЕМАХ

Вступ. Активний розвиток цифрових технологій сприяв значному поширенню систем Інтернету речей (Internet of Things, IoT), які об'єднують велику кількість сенсорних пристроїв, комунікаційних мереж та обчислювальних платформ у єдину інформаційну інфраструктуру. Такі системи забезпечують безперервний збір, передачу та обробку даних, що надходять від великої кількості розподілених пристроїв. Сфера застосування IoT охоплює промислову автоматизацію, транспортні системи, енергетику, медицину, інфраструктуру розумних міст та інші галузі, де важливим є оперативне отримання і аналіз інформації з фізичного середовища [5].

Зростання кількості підключених пристроїв призводить до формування значних обсягів даних і складних інформаційних потоків у мережі. У результаті виникає проблема ефективного управління навантаженням на обчислювальні ресурси та комунікаційну інфраструктуру. Нерівномірний розподіл обчислювальних задач, обмеженість ресурсів периферійних пристроїв та затримки передачі даних можуть суттєво впливати на продуктивність IoT-систем [4].

У таких умовах важливим завданням є дослідження факторів, що формують навантаження у розподілених IoT системах. Аналіз цих факторів дозволяє оптимізувати процеси передачі та обробки даних, підвищити ефективність використання ресурсів і забезпечити стабільну роботу системи. Вивчення сучасних підходів до управління навантаженням також сприяє розробці нових методів балансування ресурсів у розподілених обчислювальних середовищах.

Основний матеріал. Функціонування систем Інтернету речей базується на взаємодії великої кількості сенсорних пристроїв, мережевих вузлів та обчислювальних платформ. Кожен з елементів системи генерує або обробляє інформацію, що створює складну структуру інформаційних потоків. У таких умовах навантаження на систему формується під впливом ряду факторів, серед яких ключову роль відіграють кількість підключених пристроїв, частота генерації даних, інтенсивність мережевого трафіку та обчислювальні потреби прикладних сервісів [5].

Одним із основних джерел навантаження у розподілених IoT системах є процес генерації даних сенсорними пристроями. У сучасних

[1] студент групи ІСДМ-51, Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій

[2] викладач кафедри Інформаційних систем та технологій Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій

мережах IoT тисячі або навіть мільйони датчиків можуть одночасно передавати інформацію про стан навколишнього середовища, технічні параметри обладнання або поведінку користувачів. Такі потоки даних створюють значне навантаження на мережеву інфраструктуру та системи обробки інформації, особливо у випадках, коли необхідно забезпечити обробку даних у режимі реального часу [4].

Важливим фактором формування навантаження є також архітектура обчислювальної інфраструктури. Традиційні централізовані моделі передбачають передачу даних до хмарних сервісів, де виконуються основні обчислювальні операції. Однак зі зростанням обсягів даних та кількості пристроїв такий підхід може призводити до перевантаження каналів передачі даних і збільшення затримок. У зв'язку з цим у сучасних IoT системах широко застосовуються розподілені архітектури, що поєднують можливості хмарних та периферійних обчислень [1].

Використання периферійних обчислювальних вузлів дозволяє виконувати частину обробки даних безпосередньо поблизу джерел їх генерації. Це сприяє зменшенню обсягу переданих даних, зниженню навантаження на мережеві канали та підвищенню швидкості реакції системи на події. У таких архітектурах обчислювальні задачі розподіляються між різними рівнями інфраструктури, що дозволяє більш ефективно використовувати доступні ресурси [2].

Ще одним важливим фактором є нерівномірність розподілу задач між вузлами системи. У реальних IoT мережах різні пристрої можуть мати суттєво відмінні характеристики продуктивності, обчислювальних ресурсів та енергоспоживання. У результаті деякі вузли можуть бути перевантажені обчислювальними задачами, тоді як інші залишаються недостатньо використаними. Для вирішення цієї проблеми застосовуються методи балансування навантаження, що дозволяють розподіляти обчислювальні задачі між доступними вузлами мережі з урахуванням їх ресурсних можливостей [1].

Суттєвий вплив на формування навантаження має також характер прикладних сервісів, що працюють у середовищі IoT. Наприклад, системи моніторингу промислового обладнання або інтелектуальні транспортні системи можуть генерувати значні обсяги даних, що потребують складної аналітичної обробки. У таких випадках важливим є застосування алгоритмів оптимізації розподілу задач, які дозволяють зменшити затримки виконання та підвищити ефективність використання ресурсів [3].

Додатковим фактором, що впливає на навантаження системи, є мережеві умови передачі даних. Обмежена пропускна здатність каналів зв'язку, затримки передачі інформації та нестабільність мережевого з'єднання можуть призводити до накопичення черг задач та збільшення часу обробки інформації. Тому сучасні підходи до проєктування IoT

систем передбачають використання адаптивних механізмів управління потоками даних і динамічного розподілу ресурсів [4].

Таким чином, навантаження у розподілених IoT системах формується під впливом сукупності факторів, пов'язаних з характеристиками пристроїв, обсягами генерованих даних, архітектурою обчислювальної інфраструктури та особливостями мережевої взаємодії між компонентами системи.

Висновки. Аналіз факторів формування навантаження у розподілених IoT системах показує, що ефективність функціонування таких систем значною мірою залежить від особливостей організації обробки та передачі даних. Основними факторами, що визначають рівень навантаження, є кількість підключених пристроїв, інтенсивність генерації даних, архітектура обчислювальної інфраструктури, характеристики мережевих каналів та складність прикладних задач.

Застосування розподілених обчислювальних архітектур, що поєднують хмарні та периферійні ресурси, дозволяє зменшити навантаження на мережу, підвищити швидкість обробки даних і забезпечити більш ефективне використання обчислювальних ресурсів. Важливу роль також відіграють методи балансування навантаження та алгоритми оптимізації розподілу задач між вузлами системи.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробкою інтелектуальних методів управління навантаженням у розподілених IoT системах, а також із застосуванням алгоритмів машинного навчання для прогнозування обсягів трафіку та оптимізації використання обчислювальних ресурсів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Abdullah, M., Khan, H. Z., Fakhar, U., Akhtar, A. N., & Ansari, S. (2024). Satellite synergy: Navigating resource allocation and energy efficiency in IoT networks. *Journal of Network and Computer Applications*, Article 103966. https://doi.org/10.1016/j.jnca.2024.103966

2. Colarusso, C., Falco, I., & Zimeo, E. (2025). Business continuity of cloud-based IoT applications through a seamless continuum. *Internet of Things*, Article 101723. https://doi.org/10.1016/j.iot.2025.101723

3. Dai, R., & Bai, G. (2025). Distributed context-aware transformer enables dynamic energy consumption prediction for smart building networks. *Digital Communications and Networks*. https://doi.org/10.1016/j.dcan.2025.03.006

4. Etheredge, M., Aznar Poveda, J., Pedratscher, S., Younesi, A., & Fahringer, T. (2026). Pulse: Multi-objective scheduling of service-based applications in multi-cluster cloud–edge–IoT infrastructures. *Journal of Network and Computer Applications, 248*, 104439. https://doi.org/10.1016/j.jnca.2026.104439

5. Landge, P. B., Singh, Y., Mohapatra, H., & Edalatpanah, S. A. (2025). Efficient resource management in IoT network through ACOGA

algorithm. *Computer Modeling in Engineering & Sciences, 143*(2), 1661–1688. https://doi.org/10.32604/cmes.2025.065599

УДК 519.71

Кострица С.В.[1],. Лівінська Г.В.[2]

РОБАСТНА ОНЛАЙН-ФІЛЬТРАЦІЯ ПОТОКОВИХ МОНІТОРИНГОВИХ ДАНИХ СИСТЕМ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Актуальність. Сучасні системи критичної інфраструктури (енергетичні мережі, трубопроводи природного газу, транспортні системи, водопостачання) генерують величезні обсяги потокових моніторингових даних у реальному часі. Ці дані використовуються для оцінювання стану об'єктів, раннього виявлення відхилень і підтримки прийняття рішень. Однак у практичних умовах вимірювання часто містять шум, випадкові збурення, а також викиди й аномалії, спричинені несправністю сенсорів, помилками передавання даних або зовнішніми впливами. Класичні алгоритми фільтрації, зокрема стандартний фільтр Калмана, є ефективними лише за умови ґауссівського шуму та швидко втрачають точність у присутності аномальних спостережень [1].

Постановка задачі. Необхідно розробити алгоритм онлайн-фільтрації потокових даних для оцінки прихованого стану систем критичної інфраструктури. Алгоритм має бути робастним до викидів і аномалій у вимірах, рекурсивним з мінімальною обчислювальною складністю для роботи в реальному часі [2], а також адаптивним до змінних параметрів шуму. Задача формулюється як рекурсивна оцінка стану лінійної динамічної системи в умовах зашумлених вимірювань.

Математична модель. Розглядається дискретна лінійна модель стану:

$$x_k = Fx_{k-1} + w_{k-1}, \qquad w_{k-1} \sim N(0, Q) \tag{1}$$

$$y_k = Hx_k + v_k, \qquad v_k \sim (1-\varepsilon)N(0, R) + \varepsilon\Delta_k \tag{2}$$

$$\tilde{y}_k = y_k - H\hat{x}_{k|k-1} \tag{3}$$

$$\omega_k = \min\left(1, \frac{c\sigma}{|\tilde{y}_k|}\right) \tag{4}$$

$$R_k^{ad} = \frac{R}{\omega_k^2} \tag{5}$$

$$K_k = P_{k|k-1}H^T\left(\mathrm{H}P_{k|k-1}H^T + R_k^{ad}\right)^{-1} \tag{6}$$

[1] Аспірант кафедри прикладної статистики, КНУ імені Тараса Шевченка

[2] Доцент кафедри прикладної статистики, КНУ імені Тараса Шевченка, к. ф.-м. н., доцент

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k \tilde{y}_k \quad (7)$$

де x_k – вектор стану системи в момент часу k; x_{k-1} – вектор стану на попередньому кроці; F – матриця переходу стану; w_{k-1} – шум процесу, який моделює випадкові внутрішні збурення динаміки системи; Q – коваріаційна матриця шуму процесу; y_k – вектор вимірювань; H – матриця спостереження; v_k – шум вимірювання; ε – частка аномальних спостережень у потоці даних; Δ_k – довільний розподіл, що описує викиди; $\hat{x}_{k|k-1}$ – апріорна оцінка стану; $\tilde{y}_k$ – інновація, тобто різниця між фактичним і прогнозованим вимірюванням; ω_k – робастний ваговий коефіцієнт, який зменшує вплив аномальних вимірювань; c – параметр робастності функції Хубера; σ – оцінка масштабу шуму; R_k^{ad} – адаптивно скоригована коваріація шуму вимірювання; $P_{k|k-1}$ – апріорна коваріаційна матриця похибки оцінки стану; K_k – коефіцієнт Калмана; $\hat{x}_{k|k}$ – апостеріорна оцінка стану після корекції на основі вимірювання.

Розв'язання задачі. Запропоновано алгоритм HAWKF (Huber-based Adaptive Weighted Kalman Filter) — робастний адаптивний зважений фільтр Калмана, у якому робастність виконується на основі М-оцінювання Хубера. Його робота включає такі етапи: прогноз стану та коваріації; обчислення інновації за формулою (3); робастне вагування за правилом Хубера згідно з формулою (4); оновлення коваріації шуму вимірювання, коефіцієнта Калмана та оцінки стану за формулами (5)–(7). Алгоритм є рекурсивним, не потребує буферизації даних і підтримує онлайн-адаптацію параметрів R_k^{ad}. Порівняно з класичним фільтром Калмана він зберігає низьку обчислювальну складність, але значно краще працює за наявності викидів.

Для порівняння ефективності проведено чисельне моделювання на синтетичних потокових даних (10000 кроків, 20 % викидів) з вказанням показнику RMSE (Root Mean Square Error), який являє собою корінь із середньоквадратичної похибки, що характеризує середнє відхилення оцінених значень від істинних. Чим менше значення RMSE, тим точніше працює алгоритм. Результати обчислень алгоритмів наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння результатів обчислень

Алгоритм	RMSE (без викидів)	RMSE (з викидами 20%)	Середній час на крок, мс
Стандартний фільтр Калмана	0.12	1.45	2.1
Робастний фільтр Калмана	0.11	0.35	3.5
HAWKF	0.10	0.15	2.5

Запропонований алгоритм HAWKF демонструє найвищу робастність: зниження RMSE становить 57% порівняно з базовим робастним методом при збереженні низької обчислювальної складності, що робить його придатним для вбудованих систем і задач реального часу.

Висновки. Розроблено та досліджено новий робастний онлайн-алгоритм фільтрації потокових моніторингових даних, який забезпечує стійкість до вимірювальних викидів і аномалій без втрати швидкодії [1, 3]. Алгоритм перевершує класичні та відомі робастні методи за точністю та ефективністю [2, 4], що підтверджено чисельним експериментом. Запропонований підхід може застосовуватися в системах моніторингу критичної інфраструктури для підвищення надійності оцінювання стану та якості підтримки прийняття рішень у реальному часі. Подальші дослідження спрямовані на узагальнення алгоритму для нелінійних моделей і багатовимірних потоків даних.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Chen, L., Jin, P., Yang, J., Li, Y., & Song, Y. (2021). Robust Kalman filter-based dynamic state estimation of natural gas pipeline networks. Mathematical Problems in Engineering, 2021, Article 5590572. https://doi.org/10.1155/2021/5590572

2. Azam, S. E., Chatzi, E., Papadimitriou, C., & Smyth, A. (2017). Experimental validation of the Kalman-type filters for online and real-time state and input estimation. Journal of Vibration and Control, 23(15), 2494–2519. https://doi.org/10.1177/1077546315617672

3. Wan, W., Feng, J., Song, B., & Li, X. (2021). Huber-Based Robust Unscented Kalman Filter Distributed Drive Electric Vehicle State Observation. Energies, 14(3), 750. https://doi.org/10.3390/en14030750

4. Elsayed, H., El-Mowafy, A., Allahvirdi-Zadeh, A., Wang, K., & Mi, X. (2025). A Combination of Classification Robust Adaptive Kalman Filter with PPP-RTK to Improve Fault Detection for Integrity Monitoring of Autonomous Vehicles. Remote Sensing, 17(2), 284. https://doi.org/10.3390/rs17020284

УДК 004.056.5:004.021

Бакало В.І.[1], Попадюк О.Б. [2]

АЛГОРИТМІЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ У СИСТЕМАХ КІБЕРЗАХИСТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ISO/IEC 27005

У зв’язку із постійним зростанням кількості кіберзагроз та

[1] Студент групи ПМАМ-11, ЛНУ ім. Івана Франка
[2] Доцент кафедри ТОП, ЛНУ ім. Івана Франка, доктор філософії

обмеженістю ресурсів актуальним є використання алгоритмічних методів оптимізації, які дозволяють автоматизувати процес прийняття рішень щодо управління ресурсами інформаційної безпеки.

Одним із найбільш поширених підходів до управління ризиками інформаційної безпеки є стандарт ISO/IEC 27005, який визначає методологію ідентифікації, аналізу та оброблення ризиків. Процес управління ризиками складається з наступних етапів: визначення контексту, ідентифікація ризиків, аналіз та оцінювання ризиків, оброблення ризиків, прийняття залишкових ризиків, їх постійний моніторинг та перегляд [1].

У рамках оцінювання ризиків для кожного активу визначається ймовірність реалізації загрози та потенційний вплив її наслідків на діяльність організації. Рівень ризику може бути представлений у кількісній формі як добуток ймовірності на вплив:

$$R = P_i \cdot L_i , \quad (1)$$

де: P_i – ймовірність реалізації загрози, L_i – потенційний збиток для організації.

Запропонований підхід спрямований на оптимальний розподіл обмежених ресурсів (бюджет і персонал) між підсистемами кіберзахисту з урахуванням результатів оцінювання ризиків за ISO/IEC 27005.

Розглядається система кіберзахисту, що складається з кількох підсистем: організаційні заходи безпеки, програмні засоби захисту, апаратні механізми захисту, криптографічні засоби та фізичний захист інфраструктури. Для кожної з підсистем визначаються значення ймовірності реалізації загрози та потенційного збитку до оптимізації, коли ресурси ще не виділені, що дозволяє оцінити початковий рівень ризику.

В таблиці 1 представлено сумарну очікувану величину потенційних збитків системи. Найвищий внесок у ризик робить Програмний захист (P = 0.30, L = 9 → 2.7), тобто без належного захисту ця підсистема найбільш уразлива.

Таблиця 1 – Оцінювання початкового ризику

Підсистема	Вага	Ймовірність	Вплив	$R_{initial}$
Організаційні заходи	0.1	0.20	7	1.4
Програмні засоби	0.3	0.30	9	2.7
Апаратні засоби	0.25	0.15	6	0.9
Криптографічний захист	0.15	0.25	8	2.0
Фізичний захист	0.2	0.10	5	0.5
Загалом	1.0	1.0	35	7.5

Генетичний алгоритм використовує цю інформацію для оптимального розподілу фінансових і людських ресурсів, мінімізуючи залишковий ризик та підвищуючи загальний рівень захисту системи.

У межах даної моделі кожне можливе рішення представляється у вигляді вектора стану системи X довжиною 2N компонент:

$$X = \{f_1, f_2, \dots, f_5, s_1, s_2, \dots, s_5\}, \quad (2)$$

де f_i – обсяг фінансування для і-ї підсистеми, s_i – кількість персоналу.

Генетичний алгоритм формує початкову популяцію таких рішень та поступово покращує їх шляхом застосування операторів відбору, схрещування та мутації [2].

Налаштування алгоритму та параметри моделі:

Розмір популяції – визначає кількість варіантів розподілу ресурсів, які алгоритм одночасно аналізує та порівнює на кожному етапі, 60 особин.

Кількість поколінь – тривалість роботи алгоритму, кількість оновлювлень та покращень знайдених рішень, 150 поколінь.

Ймовірність мутації – запобігання збіжності, 0.15.

Встановлено ліміти: бюджет не може перевищувати 100% ($\sum f_i \leq$ max _budget), кількість персоналу дорівнює встановленій максимальнй кількості ($\sum s_i =$ max _staff), для кожної підсистеми хоча б 5% бюджету та 1 працівник, щоб жоден напрямок захисту не залишився повністю без підтримки ($f_i \geq$ min _finance, $s_i \geq$ min _staff).

Вплив ресурсів на рівень захищеності визначається ваговими коефіцієнтами $\alpha = 0.6$ (фінанси) та $\beta = 0.4$ (персонал).

Ваги підсистем вказують на пріоритетність напрямків, параметри ISO 27005 визначають вхідні дані про загрози – ймовірність атаки та силу її наслідків, на основі яких розраховується ризик.

Коефіцієнт штрафу (λ) змушує алгоритм усувати високі ризики; чим більший цей показник, тим активніше алгоритм намагатиметься знизити залишковий ризик, навіть жертвуючи загальною збалансованістю.

Цільова функція для генетичного алгоритму складається з двох частин:

1) базовий показник захищеності (Score) – зважена сума ресурсів для всіх підсистем:

$$\text{Score} = \sum_{i=1}^{n} w_i \cdot (\alpha \cdot f_i + \beta \cdot s_i), \quad (3)$$

де w_i – ваговий коефіцієнт підсистеми, α, β – значущість фінансових та людських ресурсів.

2) коефіцієнт цілісності (бонус за мінімум): виконання принципу багаторівневого захисту, а саме рівномірний розподіл ресурсів між підсистемами для запобігання критичних вразливостей (оцінка найменш захищеної ланки):

$$\text{Bonus} = \lambda \cdot \min(\alpha \cdot f_i + \beta \cdot s_i) \quad (4)$$

Отримуємо формулу цільової функції:

$$F(X) = \text{Score} + \text{Bonus} \quad (5)$$

Цільова функція з ISO 27005:

$$F(X) = \text{Score} + \text{Bonus} - \lambda \sum_{i=1}^{N} R_i^{res}, \quad (6)$$

де λ – коефіцієнт ваги штрафу за ризики, $\sum R_i^{res}$ – залишковий ризик.

Залишковий ризик кожної підсистеми обчислюється за формулою:

$$R_i^{res} = P_i \cdot \left(1 - E_i(f_i, s_i)\right) \cdot L_i, \quad (7)$$

де P_i – ймовірність реалізації загрози, $E_i(f_i, s_i) = \alpha \cdot f_i + \beta \cdot s_i$ – оцінка захищеності підсистеми, L_i – потенційний збиток для організації.

Враховано два основні критерії: загальний рівень захищеності системи та залишковий ризик після розподілу ресурсів. Рівень захищеності підсистеми визначається на основі лінійної комбінації виділених фінансових ресурсів та кількості персоналу [3]. Залишковий ризик розраховується з урахуванням значень ймовірності та впливу, визначених на етапі оцінювання ризиків відповідно до ISO/IEC 27005.

Таблиця 2 – Усереднені результати оптимізації ресурсів після роботи генетичного алгоритму з врахуванням оцінки ризиків (30 ітерацій)

Підсистема	Бюджет (%)	Персонал (од.)
Організаційні заходи	16.73	3.17
Програмні засоби захисту	35.61	7.47
Апаратні засоби	11.25	2.3
Криптографічний захист	24.49	4.67
Фізичний захист	11.92	2.4
Загалом	100	20
Початковий ризик	7.45	
Залишковий ризик	2.69	

Програмні засоби захисту отримали найбільше ресурсів оскільки вони найбільш критичні за ризиком. Фізичний захист отримав найменше – низький потенційний збиток і ймовірність атаки. Ресурси розподілені не рівномірно, а пропорційно ризикам та впливу на бізнес, що є ідеєю багаторівневого захисту.

Ефективність проведеної оптимізації оцінюється за показником відносного зниження ризику:

$$\text{Risk reduction} = \frac{R_{initial} - R_{res}}{R_{initial}}, \quad (8)$$

де R_{res} – сукупний залишковий ризик після оптимізації, $R_{initial}$ – початковий ризик до розподілу ресурсів.

$$\text{Risk reduction} = \frac{7.45 - 2.69}{7.45} \approx 0.6389 \approx 63.9\%$$

Алгоритм дозволив зменшити очікуваний збиток на 64%, що свідчить про ефективний розподіл ресурсів.

Отримані результати демонструють, що врахування оцінювання ризиків на основі ISO/IEC 27005 дозволяє спрямувати ресурси насамперед на ті підсистеми, для яких характерний найбільший рівень ризику.

Висновки. Інтеграція методології оцінювання ризиків ISO/IEC

27005 з алгоритмічними методами оптимізації, зокрема генетичним алгоритмом, дозволяє підвищити обґрунтованість управлінських рішень у сфері кіберзахисту. Запропонований підхід може бути використаний як основа для створення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень щодо планування заходів інформаційної безпеки та оптимального розподілу ресурсів у складних інформаційних системах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Національний стандарт України. (2023). *Інформаційна безпека, кібербезпека та захист конфіденційності. Настанова керування ризиками інформаційної безпеки (ISO/IEC 27005:2022, IDT)* (ДСТУ ISO/IEC 27005:2023). ДП «УкрНДНЦ».

2. Калініна, І. В., & Лісовиченко, О. І. (2015). Використання генетичних алгоритмів в задачах оптимізації. *Адаптивні системи автоматичного управління*, 1(26), 48–61. https://doi.org/10.20535/1560-8956.26.2015.45507

3. Жданова, Ю., Шевченко, С., Спасітєлєва, С., & Сокульский, О. (2024). Прийняття рішень на основі лінійної оптимізації у процесі управління ризиками інформаційної безпеки. *Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка»*, 1(25), 330–343. https://doi.org/10.28925/2663-4023.2024.25.330343

УДК 330.4:519.6

Гетьманенко Л.О.[1], Паршикова Ю.В.[2], Шпинковський О.А.[3]

ЗАСТОСУВАННЯ ЧИСЕЛЬНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ: ВІД МОДЕЛЮВАННЯ РИНКОВОГО БАЛАНСУ ДО РОЗРАХУНКУ РЕНТАБЕЛЬНОСТІ ІНВЕСТИЦІЙ

В умовах мінливого макро- та мікроекономічного середовища прийняття обґрунтованих управлінських рішень вимагає залучення строгого математичного апарату. Значна частина економічних процесів, зокрема встановлення цінової рівноваги на поліпродуктових ринках або визначення ефективності довгострокових капіталовкладень, описується багатовимірними або нелінійними математичними залежностями [1]. Аналітичне розв'язання таких задач у загальному вигляді часто є надмірно трудомістким або математично неможливим без застосування спеціалізованих обчислювальних методів.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю алгоритмізації та прискорення обробки великих масивів економічних даних при моделюванні реальних ринкових умов. Метою роботи є

[1] студентка групи АІ-231, ІКС, НУ «Одеська політехніка»
[2] студентка групи АІ-231, ІКС, НУ «Одеська політехніка»
[3] доцент кафедри ІС, НУ «Одеська політехніка», к.т.н.

порівняльний аналіз ефективності та обчислювальної складності різних чисельних методів при вирішенні двох репрезентативних економічних задач: знаходження точки ринкової рівноваги для товарів-субститутів (задача лінійної алгебри) та оцінки внутрішньої норми прибутковості інвестиційного проекту (задача нелінійної оптимізації).

Першим етапом дослідження є моделювання ринкової рівноваги. У реальній економічній системі попит на певний товар є функцією не лише його власної ціни, але й цін товарів-замінників (субститутів) [2]. Взаємодія на ринку двох взаємопов'язаних товарів (А і Б) описується відповідними функціями попиту (Q_d) та пропозиції (Q_s). Оскільки залежності формуються для обох товарів з урахуванням коефіцієнтів прямої та перехресної еластичності, загальна модель зводиться до системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР), де критерієм рівноважного стану є попарна рівність $Q_d = Q_s$ на кожному з ринків.

Математично задача формалізується у вигляді матричного рівняння:

$$A \times X = B \qquad (1)$$

де:

- A – матриця коефіцієнтів прямої та перехресної еластичності;
- X – вектор шуканих рівноважних цін;
- B – вектор вільних членів.

Для знаходження вектора X було застосовано та алгоритмічно порівняно два підходи: прямий аналітичний розв'язок (на базі LU-розкладу) та ітераційний метод Гауса-Зейделя [3]. Процес розв'язання ітераційним методом починався з нульового наближення. На кожному кроці значення змінних уточнювалися, причому для розрахунку поточної змінної використовувалися вже знайдені нові значення попередніх змінних на цій самій ітерації. Умовою зупинки обчислювального процесу слугувало досягнення заданої точності: максимальна різниця між значеннями цін на сусідніх ітераціях не повинна була перевищувати $\varepsilon = 10^{-6}$.

За результатами чисельного експерименту з базовими коефіцієнтами системи було визначено рівноважні ціни: $P_A \approx 23{,}79$, $P_B \approx 28{,}97$. Встановлено, що прямі матричні алгоритми є оптимальними для систем малої розмірності. Однак при масштабуванні моделі (наприклад, під час аналізу міжгалузевого балансу) їхня обчислювальна складність зростає кубічно. Натомість метод Гауса-Зейделя продемонстрував високу ефективність завдяки властивості діагонального переважання матриці A, досягнувши заданої точності всього за 9 ітерацій. Це доводить доцільність інтеграції ітераційних методів у програмні комплекси для моделювання макроекономічних систем [4].

Другим етапом дослідження є оцінка фінансової доцільності проекту з випуску продукції за встановленими ринковими цінами. Ключовим індикатором інвестиційної привабливості виступає внутрішня норма прибутковості (Internal Rate of Return, IRR) [5] – гранична ставка дисконтування r, за якої чиста приведена вартість (NPV) генерованих грошових потоків дорівнює нулю [6].

Математична модель зводиться до пошуку дійсного додатного кореня характеристичного нелінійного рівняння:

$$NPV(r)=\sum_{i=0}^{n}\frac{(CF_t)}{(1+r)^t}=0 \qquad (2)$$

Оскільки аналітичне розв'язання поліномів степеня n > 4 є неможливим у радикалах, для знаходження показника IRR було програмно реалізовано метод локалізації кореня (бісекції) та градієнтний метод Ньютона-Рафсона (дотичних) [7]. В основі методу Ньютона-Рафсона лежить ітераційний перехід з використанням першої похідної цільової функції:

$$r_{к+1}=r_к - \frac{NPV(r_к)}{NPV'(r_к)} \qquad (3)$$

де NPV'(r) відображає чутливість грошового потоку до зміни ставки дисконтування.

Для тестового грошового потоку CF = [-100, 30, 50, 70] обидва алгоритми збіглися до значення IRR ≈ 0,2013 (або 20,13%). Динаміка зміни функції NPV від ставки дисконтування та точка локалізації IRR наведені на рис. 1.

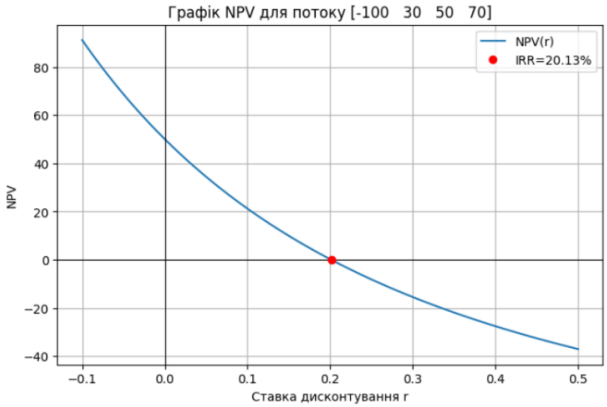


Рисунок 1 – Графічна залежність функції NPV від ставки дисконтування та визначення точки IRR

Порівняльний аналіз виявив суттєві відмінності в характеристиках збіжності. Метод Ньютона-Рафсона забезпечує квадратичну швидкість збіжності, досягаючи стабілізації результату за 4 ітерації. Втім, алгоритм висуває жорсткі вимоги до вибору початкового наближення. Зі свого боку, метод бісекції характеризується лінійною асимптотикою (19 ітерацій), проте забезпечує абсолютну стійкість і гарантовану локалізацію кореня за умови правильного вибору початкового відрізка, на кінцях якого функція набуває значень різних знаків.

Висновки. Проведене дослідження обґрунтовує доцільність застосування чисельних методів для автоматизації економічних розрахунків в умовах невизначеності. Доведено, що для моделювання багатовимірних ринкових систем ітераційні алгоритми лінійної алгебри мають суттєву перевагу над прямими завдяки мінімізації вимог до обчислювальної пам'яті. Під час розрахунку нелінійних фінансових індикаторів (IRR) оптимальним рішенням визначено застосування гібридного обчислювального підходу: ініціалізація пошуку методом бісекції для надійної локалізації інтервалу кореня з подальшим переходом до методу Ньютона-Рафсона для досягнення максимальної швидкодії та прецизійної точності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Chiang, A. C., & Wainwright, K. (2005). *Fundamental methods of mathematical economics* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
2. Varian, H. R. (1992). *Microeconomic analysis* (3rd ed.). W. W. Norton & Company.
3. Шахно, С. М., & Яремко, В. В. (2011). *Чисельні методи*. Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка.
4. Паршикова, Ю. В. (2026). Програмна реалізація розв'язку СЛАР для ринкової рівноваги. *Google Colab*. https://colab.research.google.com/drive/1kI_76apGe5kwVCWyAqhao8td7XzIFTyB
5. Поддєрьогін, А. М. (Ред.). (2017). *Фінансовий менеджмент* (2-ге вид.). КНЕУ.
6. Khadija, K. (n.d.). *Internal rate of return (IRR): Formula and examples*. Investopedia. https://www.investopedia.com/terms/i/irr.asp
7. Гетьманенко, Л. О. (2026). Програмна реалізація моделі розрахунку IRR чисельними методами (Python). *Google Drive*. https://drive.google.com/file/d/16e0Iz3GItWvFQE2D10KFSOwqzCKs0H4b/view

УДК 004.8:004.912
Миронюк В.М.[1] Кунуп Т.В. [2]

КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ІНТЕРАКТИВНИХ КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ВЕБ-СЕРЕДОВИЩАХ СПІЛЬНОГО ДОЗВІЛЛЯ

Вступ. Сучасні інформаційні системи все частіше фокусуються на забезпеченні компактності та здатності працювати в режимі реального часу на пристроях з обмеженими ресурсами [1]. У контексті розробки платформ для синхронного перегляду медіаконтенту, малі комунікаційні модулі відіграють вирішальну роль, оскільки вони оптимізовані для вузького кола завдань, де критичною є швидкість відповіді [2]. Проте актуальним залишається питання вибору методологій оцінювання їхньої практичної ефективності, оскільки традиційні методи часто не дають повної картини функціонування у спеціалізованих контекстах[3]. Забезпечення високого рівня інтерактивності вимагає ретельного дослідження балансу між природністю текстуальної комунікації та технічними обмеженнями мережі.

Основна частина. Оцінка ефективності засобів інтерактивної комунікації в межах мультимедійної системи передбачає детальний аналіз якості генерованого користувачами контенту та швидкості його обробки. Застосування метрик, що враховують семантичну близькість (наприклад, BERTScore або METEOR), дозволяє оцінити здатність системи підтримувати лінгвістично коректний обмін повідомленнями в умовах реального часу [4]. Окрім автоматичних вимірювань, надзвичайно важливим підходом є якісна оцінка людьми (human evaluation), яка дозволяє експертам вручну перевірити адекватність взаємодії в контексті конкретної задачі спільного перегляду [5].

Інший аспект комплексної оцінки пов’язаний із вимірюванням затримки передачі сигналів, що є критичним при розгортанні інтерактивних засобів на мобільних додатках або вбудованих системах [6]. Для цього використовуються спеціалізовані тестові набори, які дозволяють визначити, наскільки ефективно програмні компоненти використовують апаратні ресурси [7]. Також враховується здатність системи до узагальнення, тобто коректної роботи за межами стандартних умов, наприклад, при високому рівні мережевого шуму або нестабільному з’єднанні [8]. Багатовимірні підходи, що поєднують ці показники, дозволяють сформувати збалансовану картину ефективності моделі взаємодії [9]. Важливою частиною дослідження є аналіз поведінки системи в реальних застосуваннях, таких як діалогові вікна

[1] Студент групи АД221, НУ «Одеська політехніка»
[2] Доцент кафедри ІТ, НУ «Одеська політехніка», к.т.н., доцент

або системи автоматичного резюмування перебігу обговорення, що дозволяє побачити реальні можливості моделі під навантаженням [10].

Висновки. Таким чином, аналіз методів оцінки інтерактивних систем підтверджує доцільність використання комбінованих стратегій, що включають показники якості, продуктивності та адаптивності. Тільки такий інтегрований підхід дає змогу врахувати всі аспекти роботи системи в реальних умовах, де фактори середовища значно ускладнюють процес передачі та синхронізації інформації. Стандартизовані підходи у поєднанні з експертною оцінкою складають фундамент для успішного впровадження інтерактивних рішень у сучасні цифрові продукти.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Григорик, І. (2023). *High performance browser networking*. O'Reilly Media.
2. Сироветник, Б., & Кісь, Я. (2025). Застосування глибинного навчання для прогнозування кредитних ризиків у банківській сфері. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 351(3.1), 468–472.
3. Fielding, R. T. (2024). Modern web architectures for real-time media. *IEEE Software, 41*(2), 56–63.
4. Frantar, E., Ashkboos, S., Hoefler, T., & Alistarh, D. (2023). GPTQ: Accurate post-training quantization for generative pre-trained transformers. *Advances in Neural Information Processing Systems, 36*, 34623–34638.
5. Hendrycks, D., Mazeika, M., & Dietterich, T. (2022). Benchmarking neural network robustness to common corruptions and perturbations. *Journal of Machine Learning Research, 23*(128), 1–42.
6. Johnston, A. B., & Burnett, D. C. (2025). *WebRTC: Blueprints*. Digital Media Services.
7. Loreto, S., & Romano, S. P. (2024). *Real-time communication with WebRTC: Peer-to-peer in the browser*. O'Reilly Media.
8. Rescorla, E. (2024). *WebRTC: Real-time communication for the modern web*. O'Reilly Media.
9. Sanh, V., Debut, L., Chaumond, J., & Wolf, T. (2019). DistilBERT, a distilled version of BERT: Smaller, faster, cheaper and lighter. *arXiv*. https://arxiv.org/abs/1910.01108
10. Wang, A., Pruksachatkun, Y., Nangia, N., Singh, A., Michael, J., Hill, F., & Bowman, S. R. (2019). SuperGLUE: A stickier benchmark for general-purpose language understanding systems. *Advances in Neural Information Processing Systems, 32*.

УДК 004.942
Єрмакова А.А.[1] Косенко С.І. [2]

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ КОМП'ЮТЕРНОЇ ЕМУЛЯЦІЇ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ГІБРИДНИХ ІНВЕРТОРІВ

Вступ. У сучасних енергетичних системах спостерігається стрімке зростання частки відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної та вітрової генерації, що потребує ефективних технологій перетворення та керування електричною енергією. Одним із ключових елементів таких систем є гібридні інвертори, які забезпечують перетворення постійного струму, отриманого від фотоелектричних панелей або акумуляторних батарей, у змінний струм із необхідними параметрами для підключення до електромережі або живлення навантаження [1]. Складність процесів керування та взаємодії різних енергетичних компонентів у складі гібридних енергетичних систем зумовлює необхідність застосування методів комп'ютерного моделювання та емуляції для дослідження режимів роботи інверторів, оптимізації їх конструкції та вдосконалення алгоритмів керування.

Комп'ютерна емуляція дозволяє відтворювати динамічні процеси функціонування силових електронних перетворювачів у віртуальному середовищі без необхідності створення фізичних прототипів. Такий підхід забезпечує можливість дослідження складних електромагнітних, теплових та керуючих процесів, що виникають у системах перетворення енергії [2]. У сучасній науковій практиці моделювання гібридних інверторів використовується для аналізу енергетичної ефективності, дослідження гармонічних спотворень напруги та струму, оптимізації топології силових схем та вдосконалення алгоритмів керування. Зокрема, моделювання інверторів широко застосовується при розробці автономних або мережевих систем генерації на базі відновлюваних джерел енергії, де ефективність перетворення енергії та стабільність роботи системи мають вирішальне значення.

Основна частина. Гібридні інвертори є складними електронними пристроями, що поєднують функції перетворення енергії, керування потоками потужності та інтеграції різних джерел енергії у єдину електроенергетичну систему. У типовій конфігурації такі інвертори взаємодіють із фотоелектричними модулями, системами накопичення енергії, дизельними генераторами або іншими джерелами електроенергії, забезпечуючи їх синхронізацію та оптимальне розподілення потужності. Через наявність як безперервних електричних процесів, так і дискретних процесів комутації силових ключів інвертори належать до класу гібридних динамічних систем, що характеризуються поєднанням безперервної та дискретної динаміки.

[1] Студентка групи АД222, НУ «Одеська політехніка»
[2] Доцент кафедри ІТ, НУ «Одеська політехніка», к.т.н., доцент

Математичне моделювання таких систем передбачає формування систем диференціальних рівнянь, що описують електричні процеси у силових ланцюгах інвертора, а також алгоритмів перемикання напівпровідникових ключів. У більшості сучасних досліджень використовуються еквівалентні електричні схеми, які дозволяють представити складні фізичні процеси за допомогою резистивних, індуктивних та ємнісних елементів. На основі цих моделей визначаються динамічні характеристики системи, зокрема зміни напруги, струму та потужності у різних режимах роботи [3].

Суттєву роль у дослідженні інверторів відіграють спеціалізовані програмні середовища комп'ютерного моделювання. Найбільш поширеними серед них є системи математичного моделювання силової електроніки, які дозволяють виконувати як детальне моделювання комутаційних процесів, так і спрощене системне моделювання енергетичних процесів. У таких програмних середовищах моделі силових ключів можуть представлятися як нелінійні елементи або у вигляді еквівалентних опорів, що змінюються залежно від режиму комутації. Такий підхід значно прискорює процес обчислень та дозволяє проводити моделювання складних систем у реальному часі [2].

У сучасних дослідженнях значна увага приділяється створенню багатодоменних моделей інверторів, які враховують не лише електричні, але й теплові процеси. Наприклад, електротермічні моделі дозволяють оцінити втрати потужності в силових напівпровідниках, визначити температурні режими роботи компонентів та прогнозувати довговічність електронних модулів. Такі моделі базуються на поєднанні електричних схем з тепловими еквівалентними мережами та дозволяють значно підвищити точність прогнозування параметрів системи. Іншим важливим напрямом досліджень є використання методів оптимізації параметрів інверторів у процесі моделювання. Зокрема, для мінімізації гармонічних спотворень напруги та струму можуть застосовуватися гібридні алгоритми оптимізації, що поєднують генетичні алгоритми та метод рою частинок. Такі алгоритми дозволяють визначати оптимальні параметри керування силовими ключами, що забезпечує підвищення якості електроенергії та ефективності роботи системи. Значний розвиток отримали також методи системного моделювання енергетичних систем, у яких інвертори розглядаються як частина складних енергетичних мереж [4]. У цьому випадку використовуються ієрархічні моделі, що дозволяють описувати взаємодію між різними компонентами енергетичної системи. Подібні моделі можуть включати джерела відновлюваної енергії, системи накопичення, навантаження та електричну мережу. Використання таких моделей дозволяє оцінювати вплив інверторів на стабільність енергосистеми, аналізувати режими роботи мікромереж та прогнозувати ефективність інтеграції відновлюваних джерел енергії.

Важливою особливістю сучасних технологій моделювання є використання середовищ, які підтримують моделювання гібридних систем із поєднанням дискретної та безперервної динаміки. У таких системах моделі можуть створюватися у вигляді ієрархічних блокових структур, що дозволяє поєднувати різні підсистеми у єдину модель. Подібні підходи значно спрощують дослідження складних технічних систем та забезпечують можливість проведення численних експериментів без необхідності створення фізичних прототипів..

Висновки. Проведений аналіз показує, що комп'ютерне моделювання є одним із ключових інструментів дослідження процесів функціонування гібридних інверторів у сучасних енергетичних системах. Використання математичних моделей та програмних середовищ симуляції дозволяє досліджувати електричні, теплові та керуючі процеси, що відбуваються у силових перетворювачах, а також оцінювати їх ефективність у різних режимах роботи.

Застосування сучасних методів комп'ютерної емуляції дає можливість проводити комплексні дослідження складних енергетичних систем, оптимізувати параметри силових схем та алгоритмів керування, а також прогнозувати поведінку систем у різних умовах експлуатації. Перспективним напрямом подальших досліджень є інтеграція методів інтелектуального аналізу даних та машинного навчання у процеси моделювання, що дозволить підвищити точність прогнозування та ефективність керування гібридними енергетичними системами.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Rezki, M., & Griche, I. (2017). *Simulation and modeling of a five-level inverter fed by a photovoltaic generator and integrated in a hybrid wind–PV power system*. Engineering, Technology & Applied Science Research, 7(4), 1759–1764.

2. Su, H., Zhang, L., Meng, D., Li, Y., Han, N., & Xia, Y. (2022). *Modeling and evaluation of SiC inverters for EV applications*. Energies, 15(19), 7025.

3. Colmenar-Santos, A., Muñoz-Gómez, A., Rosales-Asensio, E., & López-Rey, Á. (2024). *Experimental tests and simulations about the efficiency of commercial hybrid inverters operating at variable power factor*. Smart Grids and Sustainable Energy, 9, 46.

4. Suárez, A., García, J., & Fernández, L. (2021). *Inverter-based modeling and energy efficiency analysis of off-grid hybrid power system in distributed generation*. Computers & Electrical Engineering, 96, 107476

УДК 004.8:614.2
Єрмаков В.А.[1] Косенко С.І. [2]

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА МОДЕЛЕЙ СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ СТРУКТУРОВАНИХ ПОКАЗНИКІВ ЗАХВОРЮВАНОСТІ

Вступ. Сучасна епідеміологія та охорона здоров'я потребують високої точності в оцінюванні стану здоров'я населення та прогнозуванні динаміки поширення різних захворювань. Особливе значення має статистичний аналіз структурованих показників захворюваності, що дозволяє систематизувати інформацію, виявляти тенденції та взаємозв'язки, а також розробляти моделі прогнозування. Структуровані показники захворюваності включають чисельність випадків захворювань у певних групах населення, розподіл за віком, статтю, географічними регіонами, часовими періодами та іншими демографічними і соціальними ознаками [1]. Складність аналізу цих даних полягає у необхідності врахування багаторівневих факторів, кореляцій між показниками, сезонних коливань і довгострокових тенденцій. У зв'язку з цим науковці активно розробляють і впроваджують різноманітні статистичні методи і моделі, які дозволяють проводити комплексний аналіз, зменшувати похибки оцінок та підвищувати точність прогнозів.

У сучасній практиці статистичного аналізу захворюваності використовуються як класичні методи, так і сучасні підходи, засновані на обчислювальних алгоритмах і машинному навчанні. Класичні методи включають регресійні моделі, аналіз часових рядів, факторний аналіз, методи кластеризації та кореляційного аналізу. Вони забезпечують формалізований підхід до визначення закономірностей у структурованих даних та дозволяють проводити прогнозування на основі історичних спостережень [2]. Сучасні підходи використовують машинне навчання та нейронні мережі, що дає можливість враховувати нелінійні взаємозв'язки між показниками, адаптувати моделі до змін у динаміці захворюваності та підвищувати точність прогнозів. Важливим аспектом є інтеграція статистичних методів із демографічними, соціальними та економічними даними, що дозволяє проводити багатовимірний аналіз і оцінювати вплив різних факторів на рівень захворюваності.

Основна частина. Структуровані показники захворюваності мають багатопараметричну природу і включають чисельні та якісні дані, що характеризують захворюваність у різних групах населення. Основною складністю статистичного аналізу таких даних є необхідність врахування їхньої ієрархічної структури, кореляцій між показниками та потенційної мультиколінеарності. Класичні регресійні

[1] Студент групи АД221, НУ «Одеська політехніка»
[2] Доцент кафедри ІТ, НУ «Одеська політехніка», к.т.н., доцент

методи дозволяють оцінити вплив окремих факторів на рівень захворюваності, проте вони можуть бути обмеженими у випадках складних нелінійних залежностей та високої розмірності даних. Лінійна регресія, логістична регресія та поасонівські моделі широко застосовуються для прогнозування захворюваності за віковими та географічними групами, дозволяючи оцінювати ризики виникнення захворювань і проводити порівняльний аналіз регіональних показників [3].

Аналіз часових рядів є ключовим інструментом для дослідження динаміки захворюваності. Використання авторегресивних моделей, моделей ковзного середнього та їх комбінацій дозволяє виявляти сезонні коливання, тенденції і циклічні зміни захворюваності. Складніші методи, такі як ARIMA та SARIMA, забезпечують більш точне прогнозування за умови наявності достатньої кількості історичних даних. Разом з тим, у сучасних умовах виникає необхідність інтегрування часових рядів з іншими видами даних, наприклад соціально-економічними показниками та факторами навколишнього середовища, що підвищує точність моделей і дозволяє проводити комплексний багатовимірний аналіз.

Факторний та кластерний аналізи застосовуються для виділення прихованих структур у даних, виявлення груп регіонів або населення з подібними показниками захворюваності та оцінки взаємозв'язків між різними захворюваннями. Факторний аналіз дозволяє зменшити розмірність даних та виділити ключові латентні змінні, що впливають на рівень захворюваності. Кластеризація дає можливість створювати сегменти населення за ризиком захворюваності, що важливо для цільового планування профілактичних заходів та ресурсного забезпечення системи охорони здоров'я [4].

Сучасні підходи до статистичного аналізу включають методи машинного навчання та нейронні мережі, які здатні обробляти великі обсяги даних і виявляти складні взаємозв'язки, що традиційними методами важко піддаються формалізації. Регресійні дерева, методи випадкових лісів та градієнтного бустингу дозволяють прогнозувати рівень захворюваності на основі багатовимірних вхідних даних та враховувати взаємодію численних факторів. Глибокі нейронні мережі забезпечують можливість прогнозування нелінійних процесів у динаміці захворюваності та виявлення прихованих закономірностей у складних структурах даних. Використання таких моделей потребує високої обчислювальної потужності та ретельної валідації результатів для уникнення переобучення і забезпечення надійності прогнозів.

Однією з важливих проблем є оцінка точності та надійності моделей статистичного аналізу. Методи крос-валідації, бутстреппінг та порівняльний аналіз моделей дозволяють об'єктивно оцінювати ефективність різних підходів і вибирати оптимальні моделі для

практичного застосування. Крім того, інтеграція статистичних моделей із сучасними інформаційними системами та базами даних забезпечує оперативний аналіз та оновлення прогнозів у режимі реального часу. Використання відкритих даних та систем моніторингу захворюваності сприяє підвищенню прозорості, порівнянності та репрезентативності досліджень [1].

Важливим напрямом є застосування багатовимірних моделей, що дозволяють одночасно враховувати демографічні, соціальні та екологічні фактори. Такі моделі забезпечують комплексний підхід до прогнозування захворюваності та оцінки ефективності профілактичних заходів. Розвиток методів інтелектуальної обробки даних і алгоритмів машинного навчання відкриває нові можливості для створення адаптивних моделей, здатних оновлюватися на основі нових даних і підвищувати точність прогнозів [3].

Серед перспективних напрямів розвитку статистичного аналізу захворюваності є інтеграція класичних і сучасних методів для створення гібридних моделей. Такі підходи поєднують точність класичних статистичних методів з гнучкістю алгоритмів машинного навчання, що забезпечує більш високий рівень прогнозування та можливість врахування складних взаємозв'язків між показниками. Важливою є також розробка методологічних підходів до оцінки ризиків, адаптованих до різних груп населення та специфічних епідеміологічних умов, що дозволяє підвищувати ефективність системи охорони здоров'я та оперативно реагувати на зміни в динаміці захворюваності.

Висновки. Таким чином, аналіз існуючих методів та моделей статистичного аналізу структурованих показників захворюваності показує, що сучасна епідеміологія потребує комплексного підходу, який поєднує класичні статистичні методи з сучасними алгоритмами машинного навчання. Класичні методи забезпечують формалізацію, надійність оцінок і можливість пояснення результатів, тоді як сучасні підходи дозволяють виявляти складні нелінійні залежності і підвищувати точність прогнозування. Інтеграція багатовимірних моделей з інформаційними системами та відкритими базами даних створює умови для оперативного аналізу, оновлення прогнозів і формування доказової бази для прийняття управлінських рішень у сфері охорони здоров'я. Перспективним є розвиток гібридних моделей, які поєднують точність класичних підходів з гнучкістю сучасних алгоритмів, що дозволяє підвищувати ефективність прогнозування та оцінки ризиків, а також адаптувати моделі до змін у динаміці захворюваності. У підсумку, комплексне використання існуючих методів і моделей статистичного аналізу є ключовим фактором для забезпечення системного підходу до оцінювання стану здоров'я населення та підвищення ефективності епідеміологічного прогнозування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Hendrycks, D., Mazeika, M., & Dietterich, T. (2022). *Benchmarking neural network robustness to common corruptions and perturbations*. Journal of Machine Learning Research, 23(128), 1–42.
2. Shmueli, G., Bruce, P., Gedeck, P., & Patel, N. R. (2020). *Data Mining for Business Analytics: Concepts, Techniques, and Applications* in R. Wiley, Hoboken, NJ.
3. Berkson, J. (2018). *Statistical Methods in Epidemiology*. Journal of the American Statistical Association, 113(523), 1–25.
4. Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2017). *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. Springer, New York, NY.

УДК 338.5:615.1

Ропало Д. А.[1]

МЕРЕЖЕВІ ЕФЕКТИ В АПТЕЧНОМУ РИТЕЙЛІ: ОГЛЯД МОДЕЛЕЙ

Сучасний стан вітчизняного фармацевтичного ритейлу характеризується інтенсивними процесами консолідації капіталу навколо найбільших гравців. За даними галузевого медіа «The Pharma Media», у 2025 році спостерігалося суттєве зростання товарообігу провідних операторів: зокрема, ТОП мережі збільшили кількість аптечних точок на 7% порівняно з груднем 2024 року [6]. Таке масштабування бізнесу в умовах високої конкуренції підкреслює критичну важливість наукового обґрунтування стратегій ціноутворення, що враховують мережеві взаємозв'язки між споживачами. Сучасні аптечні мережі функціонують в умовах, коли рішення про купівлю одного клієнта залежить від поведінки його соціального оточення та загального рівня попиту. З одного боку, маркетинг впливу, ефекти «сарафанного радіо» та лідери думок формують позитивні локальні мережеві ефекти, стимулюючи готовність до купівлі. З іншого боку, надмірний наплив клієнтів створює негативні мережеві ефекти (ефекти перевантаження) — черги та скупчення людей в аптеках, що відлякує частину покупців [2].

Метою даної роботи є систематизація мережевих ефектів за характером їхніх впливів на ціни (позитивні, негативні) з урахуванням специфіки аптечного ритейлу та огляд існуючих моделей ціноутворення в мережах.

Проблема ціноутворення з урахуванням мережевих ефектів широко вивчалася в економіці та операційному менеджменті. Автори Liebowitz та Margolis (1994) [5] визначають мережевий ефект —

[1] Аспірант групи А-F4.15, НУ «Запорізька політехніка»

залежність вигоди від кількості агентів, що здійснюють подібні дії та екстерналію, за якої в рівновазі існують нереалізовані вигоди від торгівлі. Farrell та Saloner (1985) [3] описують позитивний ефект приєднання до більшості, на якому ґрунтується логіка таргетування лідерів думок, що сьогодні простежується і в аптечному ритейлі. Моделі Candogan, Bimpikis та Ozdaglar (2012) [1] і Fainmesser та Galeotti (2016) [2] деталізують механізми оптимального ціноутворення в мережі з екстерналіями.

Агентний підхід до моделювання. Суспільство складається з множини агентів $I = \{1, \dots, n\}$, інтегрованих у мережу, задану матрицею суміжності G. Елемент g_{ij} відображає силу впливу агента j на агента i; припускається $g_{ij} \in [0,1]$ для всіх i, j, діагональні елементи нормалізовані: $g_{ii} = 0$ [1].

Формалізація міжособистісного впливу g_{ij} Candogan, Bimpikis & Ozdaglar здійснюється через коефіцієнти кореляції споживчих преференцій: високий ступінь ідентичності придбаних асортиментів інтерпретується як прояв мережевого ефекту [1].

Мережеві ефекти параметризуються через рівень сприйнятливості k та рівень впливу $l \in D = \{0, 1, \dots, l\text{^}max\}$ кожного споживача. Функція $H: D \to [0,1]$ позначає розподіл імовірностей рівня впливу. Умова узгодженості:

$$k = \Sigma_l H(l) * l \quad (1)$$

де k — середній рівень впливу. Теорема Байєса передбачає, що умовна імовірність відбору споживача j рівня $l \geq 1$ іншими дорівнює $\tilde{H}(l) = \left(\frac{1}{k}\right) H(l) * l$ [2].

Зазначена параметризація дозволяє врахувати гетерогенність клієнтської бази аптечної мережі: від пересічних покупців, які орієнтуються на власні потреби, до «лідерів думок». В аптечному ритейлі вона демонструє, що загальне задоволення споживача від придбання лікарських засобів складається не лише з базової терапевтичної цінності препарату, а й з додаткового психологічного чи соціального ефекту.

Підхід на основі теорії корисності. Функція корисності агента i має вигляд [1]:

$$u_i(x_i, x_{-i}, p_i) = f_i(x_i) + x_i \cdot h_i(G, x_{-i}) - p_i \cdot x_i \quad (2)$$

де $x_i \in [0, \infty)$ — обсяг придбання; f_i — корисність без мережевих екстерналій; h_i — приріст корисності від позитивного мережевого ефекту; $p_i \cdot x_i$ — сума оплати. Ключове припущення — ввігнутість $f_i(x_i)$, що відображає закон спадної граничної корисності: кожна додаткова одиниця товару приносить менший приріст корисності.

Для агентів типу I^+ (клієнти з позитивним мережевим ефектом) матриця суміжності G має ненульові елементи $g_{ij} > 0$, що відображає взаємний вплив через наслідування. Для агентів типу I^- (клієнти з

негативним ефектом перевантаження) вважається $g_{ij} = 0$, проте їхня корисність спадає зі зростанням загального попиту $D = \Sigma x_j$. Таким чином, умови рівноваги породжують лінійні функції попиту. Функція корисності дозволяє формалізувати суб'єктивну цінність фармацевтичного товару для споживача, де ціна виступає основним регулятором попиту.

Для практичної реалізації цінової стратегії, спираючись на підхід, запропонований Івадзі та Сато (Iwaji & Sato), адаптуємо їхню модель до специфіки мережевого ринку ліків, а саме – до проблеми ціноутворення аптечного ритейлу за наявності як позитивних, так і негативних мережевих ефектів. Для цього розглянемо фірму, яка продає єдиний продукт за ціною $p \geq 0$. Фіксована кількість, $M > 0$, клієнтів купує цей продукт. Клієнтів можна розділити на два типи: клієнти з позитивним мережевим ефектом та клієнти з негативним мережевим ефектом. Для клієнтів з позитивним мережевим ефектом: чим більше користувачів продукту чи послуги, тим більше вони прагнуть придбати цей продукт. Навпаки, для клієнтів з негативним мережевим ефектом: чим більше користувачів продукту чи послуги, тим вища ймовірність того, що клієнт утримається від покупки цього продукту [4].

Нехай P та N будуть значеннями індексу i, що представляють належність до позитивної та негативної групи відповідно. Нехай q — частка негативної групи, тобто відношення кількості осіб у негативній групі до загальної кількості потенційних клієнтів. Відповідно, чисельність позитивної та негативної груп визначається як $(1 - q)M$ та qM відповідно. Для спрощення аналітичних розрахунків припускаємо, що кожна група клієнтів має різну лінійну функцію попиту. Нехай y_i та γ_i будуть фіксованим ефектом та параметром чутливості до ціни відповідно для групи i, $i = \{P, N\}$. Крім того, оскільки на попит групи i також впливає рівень скупченості (тобто сумарний обсяг попиту), нехай $\alpha \geq 0$ та $\beta \geq 0$ будуть параметрами групи N та групи P відповідно. Вплив мережевих ефектів буде оцінюватися за величинами цих параметрів. Обсяг попиту кожної групи i, де $i = \{P, N\}$, визначається наступними рівняннями:

$$x_P = y_P - \gamma_P p + \beta\{M(1 - q)x_P + Mqx_N\}, \quad (5)$$

$$x_N = y_N - \gamma_N p + \alpha\{M(1 - q)x_P + Mqx_N\}, \quad (6)$$

Позитивний (негативний) попит зростає (зменшується) зі збільшенням (зменшенням) загального попиту $(1 - q)x_P + qx_N$ [4].

За таких умов попит позитивного типу зменшується, але коли мережевий ефект є низьким, величина зниження прибутку, отриманого від клієнтів позитивного типу, є обмеженою. Це призводить до збільшення загального прибутку, оскільки зростання доходу від негативних типів переважує зниження доходу від позитивних типів. Отже, навіть коли є багато клієнтів, які вважають за краще уникати скупчення людей, фірма все одно може підвищити свою ціну і

збільшити прибуток за наступних двох умов: позитивні мережеві ефекти є невеликими, і чутливість до ціни клієнтів, які уникають скупчення, нижча, ніж у клієнтів, які прагнуть скупчення [5].

У реальності позитивні та негативні мережеві ефекти існують і діють водночас для багатьох товарів та послуг. Обсяги попиту «позитивної» та «негативної» груп клієнтів постійно впливають один на одного. Попит позитивного типу зростає зі збільшенням загального попиту, тоді як попит негативного типу в такій ситуації падає.

Попередні дослідження розглядали вплив цих ефектів окремо, але Івадзі та Сато (Iwaji & Sato) [4] наголошують на необхідності та розглядають обидва ефекти одночасно. Згідно з авторами, рівняння (5) та (6) формалізують попит кожної групи як функцію від сукупного рівня скупченості у системі. Змінна $(1 - q)x_P + qx_N$, яка символізує загальний попит, входить в обидва рівняння одночасно. Параметр β (позитивний вплив) та параметр α (негативний вплив) діють паралельно в межах однієї системи. Автори доводять, що мережа може отримати вигоду від ситуації, коли обидва ефекти діють одночасно

Висновки. Наукова новизна даної роботи полягає в систематизації мережевих ефектів за характером їхніх впливів на ціни (позитивні, негативні) з урахуванням специфіки аптечного ритейлу. Це створює теоретичне підґрунтя для вибору оптимальних конкурентних стратегій ціноутворення в умовах взаємопов'язаного попиту. Досліджені математичні моделі комплексно формалізують механізми дії позитивних (наслідування) та негативних (перевантаження, скупчення) мережевих ефектів у середовищі аптечного ритейлу. Встановлена можливість використовувати оптимальні цінові стратегії балансуючи між цими ефектами. Зокрема, за сильного негативного ефекту максимізація прибутку досягається через зниження цін для стимулювання попиту (замість їх підвищення для зменшення черг). Натомість за умов слабких позитивних ефектів та низької цінової чутливості клієнтів, що уникають натовпу, аптека може безпечно збільшувати прибуток шляхом контрольованого підвищення цін.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Candogan, O., Bimpikis, K., & Ozdaglar, A. (2012). Optimal pricing in networks with externalities. Operations Research, 60(4), 883–905.
2. Fainmesser, I. P., & Galeotti, A. (2016). Pricing network effects: Competition [Preprint]. SSRN Electronic Journal.
3. Farrell, J., & Saloner, G. (1985). Standardization, compatibility, and innovation. The RAND Journal of Economics, 16(1), 70–83.
4. Iwaji, N., & Sato, K. (2023). Optimal pricing policy in the presence of positive and negative network effects [Preprint]. SSRN Electronic Journal.
5. Liebowitz, S. J., & Margolis, S. E. (1994). Network externality: An uncommon tragedy. Journal of Economic Perspectives, 8(2), 133–150.
6. The Pharma Media. (2026, березень 2). Кількість активних аптек в Україні зменшилася у 2025 році: що відбувається з ринком. The

Pharma Media. https://thepharma.media/uk/news/41192-kilkist-aktivnix-aptek-v-ukrayini-zmensilasya-u-2025-roci-shho-vidbuvajetsya-z-rinkom-02032026.

УДК 004.094

Мирненко М.Д.[1], Шевель В.В.[2]

ДОКАЗОВА ІНТЕГРОВАНА ІНФОРМАЦІЙНА ПЛАТФОРМА ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ТРАСОВАНІСТЮ ВИМОГ У ВИРОБНИЦТВІ РАМИ БПЛА МЕТОДОМ АДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА

Вступ. Зростання складності безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в комерційному, аграрному та оборонному секторах висуває нові вимоги до управління інженерними даними впродовж усього життєвого циклу виробу. Сучасна розробка БПЛА охоплює системну інженерію, структурний аналіз, аеродинаміку, електроніку та виробництво, де кожна дисципліна генерує різнорідні інформаційні артефакти, синхронізація та трасованість яких є критичною умовою якості та безпеки кінцевого виробу [1].

Концепція цифрової нитки (digital thread) визнана фундаментальною парадигмою управління складними виробами: вона забезпечує неперервне відстеження від вимог через проектування, виробництво та операційну підтримку [2]. Проте існуючі реалізації переважно спираються на корпоративні PLM-платформи (Siemens Teamcenter, Dassault 3DEXPERIENCE), що робить їх недоступними для малих і середніх підприємств та академічних лабораторій. Метод пошарового наплавлення (FFF) набуває дедалі ширшого застосування у виробництві рам БПЛА завдяки свободі конструювання та швидкості прототипування [3], проте стандартизовані реалізації цифрової нитки, що пов’язують профілі нарізувача, параметри G-коду та специфікації матеріалів з вихідними вимогами, практично відсутні [4].

Метою роботи є розробка та верифікація архітектури Доказової інтегрованої інформаційної платформи (EIP) – легковагової реалізації цифрової нитки для наскрізного управління трасованістю вимог у виробництві рами БПЛА методом адитивного виробництва.

Основний матеріал. Запропонована архітектура EIP реалізує чотирирівневу модель: (1) доменний рівень – інженерні інструменти та джерела даних; (2) рівень інтеграції – вилучення, трансформація та зв’язування даних; (3) реєстровий рівень – уніфікований JSON-каталог

[1] аспірант кафедри «інформаційних технологій проектування», Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

[2] д.т.н., професор кафедри «інформаційних технологій проектування», Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

артефактів з метаданими трасованості під контролем Git; (4) презентаційний рівень – дашборди та звіти підтримки інженерних рішень. Кожен артефакт отримує унікальний EIP-ідентифікатор (наприклад, FRM-ARM-01, PETG-STR-01) і пов'язується з вимогами та доказами верифікації через явні двоспрямовані зв'язки чотирьох типів: satisfies, implements, verifies та derived-from.

Трасованість вимог (ТС) визначається як частка вимог, для яких одночасно існують усі три зв'язки: «вимога → артефакт проектування» (satisfies), «артефакт → виробничий запис» (implements) і «тестовий доказ → вимога» (verifies) – консервативне визначення, за яким наявність лише двох зі трьох зв'язків не зараховується.

Платформа інтегрує шість доменів: MBSE (спрощений SysML-рушій на Python, JSON-метамоделі, SVG-діаграми), CAD (FreeCAD, 25 позицій BOM), CAE (CalculiX, МСЕ-аналіз), CAM (PrusaSlicer, автоматичне призначення профілів), виробничий процес (журнали принтера, карти перевірки) та випробування [5]. Прототип верифіковано на рамі квадрокоптера (колісна база ≤250 мм, клас 5″): структурні елементи з PETG (профіль 240 °C, заповнення 40%, 50 мм/с) та гасники вібрацій з TPU (220 °C, 20%, 25 мм/с). Загальна маса БПЛА – 670,2 г.

Визначено 18 системних вимог шести категорій. Структурний МСЕ-аналіз компонента FRM-ARM-01 (CalculiX, 8 640 елементів): статичне відхилення $\delta = 5{,}78$ мм при 10 Н; перша власна частота $f_1 = 145{,}8$ Гц – підтверджена аналітично методом Ейлера–Бернуллі: $f_{1\_аналіт} = 147{,}3$ Гц (відхилення 1,0%); коефіцієнт запасу $SF = 5{,}87 \geq 2{,}0$ (REQ-STR-002). Вимогу REQ-SEC-001 (деградація відмовостійкості при відмові одного важеля) закрито симуляційно: навантаження $F = 19{,}7$ Н, $\sigma_{max} = 24{,}3$ МПа, $SF = 2{,}06 \geq 2{,}0$. Усі 18 вимог верифіковано: 17 фізичними тест-кейсами (механічні випробування, вимірювання геометрії, CAE-розрахунки у процедурах верифікації REQ-STR-002 та REQ-VIB-001), 1 виключно симуляційно (REQ-SEC-001: зварійна посадка при відмові одного важеля).

Для кількісної оцінки проведено 10 експериментальних ітерацій повного інженерного циклу (вимоги → MBSE → CAD → CAE → CAM → випробування) у двох режимах: базовому (файлова система, ручне відстеження) та EIP-режимі (реєстр артефактів, автоматизовані конвеєри). Ітерації 1–5 проведено під час першого розгортання платформи, ітерації 6–10 – через два тижні після стабілізації, що знижує вплив ефекту навчання на результати. Підсумкові показники наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльні показники базового та EIP-режимів ($n = 10$ ітерацій)

Показник	**Базовий**	**EIP**	**Покращення**
Трасованість вимог	35,7 %	94,6 %	+58,9 п.п.

Час циклу	50,1 год	4,3 год	−91,4 %
Ручні передачі даних	14,2/цикл	2 (залишк.)	−85,9 %
Частота похибок	13,1 %	2,2 %	−83,2 %

Аналіз спарених різниць ($n = 10$, $df = 9$, $t_{0,975;9} = 2,262$): трасованість – $\bar{\Delta} = +58,87$ п.п. ($\approx 58,9$ п.п.), 95% ДІ [55,92; 61,82] п.п.; час циклу – $\bar{\Delta} = 91,28\%$, 95% ДІ [90,46; 92,10]%; частота похибок – $\bar{\Delta} = 10,78$ п.п., 95% ДІ [9,66; 11,90] п.п. Усі 10 ітерацій демонструють однонаправлене покращення за всіма показниками без жодного від'ємного значення спареної різниці.

Висновки. Розроблено та верифіковано архітектуру Доказової інтегрованої інформаційної платформи (EIP) для управління трасованістю вимог у виробництві рами БПЛА методом FFF. За результатами 10 експериментальних ітерацій досягнуто: (1) зростання трасованості вимог з 35,7% до 94,6% (+58,9 п.п.), усі 18 вимог верифіковано; (2) скорочення часу інженерного циклу на 91,3% (з ~50,1 год до ~4,3 год); (3) зниження частоти похибок узгодження даних з 13,1% до 2,2% (−83,2%); (4) усунення ручних передач даних між доменами – з 14,2 операцій/цикл до 2 залишкових (технічно нередуцівельних) операцій (−85,9%).

Запропонована архітектура є відтворюваною та адаптованою до інших галузей малосерійного виробництва, де необхідні можливості цифрової нитки без корпоративних PLM-систем. Порівняльний аналіз засвідчив переваги EIP над No-PDM, Git+YAML та OSLC-підходами за критеріями автоматичного формування зв'язків трасованості та доменної специфічності CAM-конвеєра. Перспективи: інтеграція IoT-моніторингу виробничого процесу в реальному часі та льотні випробування для підтвердження симуляційного результату REQ-SEC-001.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Zhang, Q., Liu, J., & Chen, X. (2024). A literature review of the digital thread: Definition, key technologies, and applications. *Systems, 12*(3), 70. https://doi.org/10.3390/systems12030070

2. West, T. D., & Blackburn, M. (2017). Is digital thread/digital twin affordable? A systemic assessment of the cost of DoD's latest Manhattan Project. *Procedia Computer Science, 114*, 47–56. https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.09.003

3. Šostakaitė, L., Šapranauskas, E., Rudinskas, D., Rimkus, A., & Gribniak, V. (2024). Investigating additive manufacturing possibilities for an unmanned aerial vehicle with polymeric materials. *Polymers, 16*(18), 2600. https://doi.org/10.3390/polym16182600

4. Kim, D. B., Witherell, P., Lipman, R. R., & Feng, S. C. (2015). Streamlining the additive manufacturing digital spectrum: A systems approach. *Additive Manufacturing, 5*, 20–30. https://doi.org/10.1016/j.addma.2014.10.004

5. Hedberg, T., Lubell, J., Fischer, L., Maggiano, L., & Barnard Feeney, A. (2016). Testing the digital thread in support of model-based manufacturing and inspection. *Journal of Computing and Information Science in Engineering, 16*(2), 021001. https://doi.org/10.1115/1.4032697

УДК 004.827

Сідєльнікова А.С.[1], Рудніченко М.Д.[2]

УСУНЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ШУМУ В ПОЛІТЕМАТИЧНИХ ОНТОЛОГІЯХ

Вступ. Вузьким місцем розробки онтологічних баз знань є проведення опитувань професіоналів – носіїв знань – аналіз отриманої інформації інженерами знань та її структурування у базу[1]. Оскільки такі бази розроблюються таким чином, щоб оптимізувати подальшу автоматизовану роботу (приклади: обробка запитів, аналіз проблеми за вхідними даними), результуючі структури є надто громіздкими для комфортного оновлення не-спеціалістами.

Тим не менш, вони дозволяють вибудовувати моделі актуальних для обивателя комплексних систем. До буденного прикладу можна навести економічну ситуацію з ринком праці та, відповідно, прогнозування релевантних тенденцій. Щодо більш екзистентно значущої теми, існує питання глобального потепління: як воно працює, які міри діють для його усунення, чи достатньо їх і які дії є найбільш актуальними для покращення ситуації. Публічна схема знань за цима питаннями може допомогти синхронізувати потуги людства та послабити значущість дезінформації.

Втім, розробка такого ПЗ підіймає багато технічних і організаційних питань.

Оскільки такій платформі життєво необхідна досить широка база користувачів з достатніми навичками в області інженерії знань, існує сенс максимально підвищити комфорт використання. В даній роботі розглядається варіант вирішення проблеми інфошуму.

Основна частина. Онтології є формальним описом об’єктів певної тематики та їх взаємозв’язків[2]. Тобто, будь-яку онтологію можливо представити у вигляді графа[3].

Під інформаційним шумом в даній роботу розуміється наступна ситуація: об’єкт існує в декількох тематиках, слабко або зовсім не пов’язаних між собою. Користувачу в більшості випадків буде потрібна інформація лише одного з контекстів (рис. 1). Актуальнм аспектом є особливості щодо порядку як ПЗ може відокремити один тематичний контекст від іншого. Можна помітити, що вузли окремих контекстів

[1] студентка НУ «Одеська політехніка»
[2] к.т.н. доц, кафедри ІТ, НУ «Одеська політехніка»

мають різне змістовне призначення. Це вказує на, по-перше, існування незалежних функціональних слоїв; по-друге, на певну сталість структур їх суб-графів; по-третє, на певну сталість атрибутів окремих вузлів та їх сусідів.

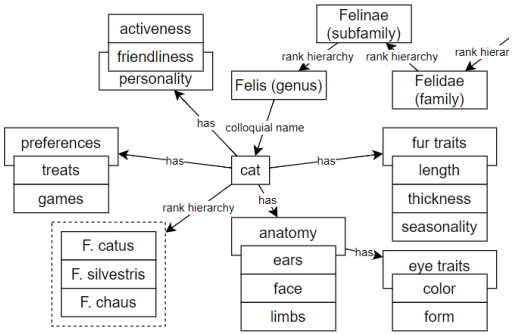


Рисунок 1 – Таксономічна, поведінкова і зовнішністна інформація щодо об’єкту «кіт»

Ця сталість визначає можливість сформувати слой класів, які б описували абстрактну структуру незалежних слоїв та вузли-переходи між ними (рис. 2). Це також вирішує потребу в списках атрибутів для новостворених вузлів, оскільки їх можна взяти з визначених тут вузлів-класів.

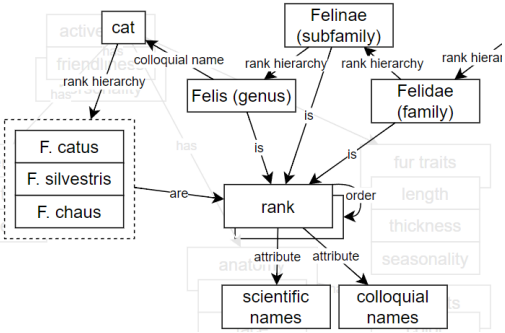


Рисунок 2 – Таксономічна інформація, релевантна до об’єкту «кіт», і слой класів, що описує структуру її вузлів

Проблема саме інформаційного шуму звідси вирішується налаштуваннями локальної фільтрації, яка може використовувати слой класів у якості трафарету для виділення лише поточно релевантних зв’язків.

Висновки. Політематичні онтології мають значний потенціал для протидії буденній дезінформації. Вирішення питання якісного UX-дизайну є необхідним для зниження порогу входу та, відповідно,

формування достатньої користувацької бази, яка б вміла і хотіла підтримувати проект.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Russell, Stuart J. (2021). *Knowledge-based agents*. Artificial intelligence: a modern approach.
2. Oberle, D.; Guarino, N.; Staab, S. (2009). *Handbook on Ontologies*. pp. 1–17. doi:10.1007/978-3-540-92673-3_0.
3. Diestel, R. (2025). *Graph Theory*. Springer-Verlag.

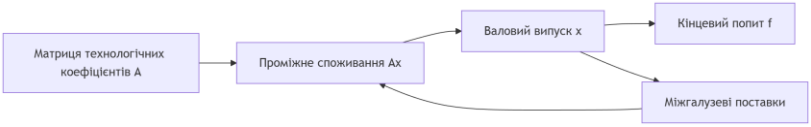
УДК 330.44:338.22

Дробишевський С.В.[1], Шпинковська М.І.[2]

ДОСЛІДЖЕННЯ БАЛАНСОВОЇ МОДЕЛІ «ВИТРАТИ–ВИПУСК» В. ЛЕОНТЬЄВА ТА ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ МІЖГАЛУЗЕВИХ ЗВ'ЯЗКІВ

Міжгалузевий аналіз (Input-Output Analysis) є одним із ключових інструментів сучасного економіко-математичного моделювання. Його методологічний апарат дозволяє формалізувати структуру виробничих зв'язків між секторами економіки та кількісно оцінювати їх взаємозалежності. Основи цього підходу були закладені В. Леонтьєвим, який запропонував метод побудови таблиць «витрати–випуск» для емпіричного аналізу економічних систем. У сучасній економічній теорії міжгалузевий аналіз часто розглядається у взаємозв'язку з теорією виробництва П. Сраффи [1], що дозволяє поєднати структурний аналіз виробництва з формалізованими моделями розподілу ресурсів та ціноутворення.

Класична модель «витрати–випуск» базується на припущеннях лінійності технологічних залежностей, постійної віддачі від масштабу та фіксованих технологічних коефіцієнтів. У межах цієї моделі кожна галузь економіки споживає певні обсяги продукції інших галузей для виробництва власного випуску. Взаємозв'язки між секторами описуються матрицею прямих витрат, елементи якої відображають частку продукції однієї галузі, що використовується у виробництві іншої. Структуру взаємодії між галузями економіки в межах міжгалузевої системи подано на рис. 1.



[1] студент групи АІ-231, ІКС, НУ «Одеська політехніка»
[2] доцент кафедри ВММС, НУ «Одеська політехніка», к.т.н.

Рисунок 1 – Узагальнена структура моделі «витрати–випуск»

Математично міжгалузева модель Леонтьєва описується системою балансових рівнянь:

$$x = Ax + f \tag{1}$$

де:
x — вектор валового випуску галузей економіки;
A — матриця технологічних коефіцієнтів прямих витрат;
f — вектор кінцевого попиту.
Розв'язок цієї системи має вигляд:

$$x = (I - A)^{-1} f \tag{2}$$

де $(I - A)^{-1}$ є оберненою матрицею Леонтьєва, яка відображає повний мультиплікативний ефект змін кінцевого попиту на обсяг виробництва у всіх галузях економіки.

Існування економічно змістовного розв'язку системи визначається умовами Хокінса–Саймона [3], відповідно до яких усі головні кутові мінори матриці $(I - A)$ повинні бути додатними. Ці умови гарантують продуктивність економічної системи, тобто її здатність виробляти додаткову вартість без нескінченного зростання потреби у ресурсах.

Важливим аналітичним інструментом міжгалузевого аналізу є структурні мультиплікатори Расмуссена–Хіршмана, які дозволяють оцінити інтенсивність міжгалузевих взаємозв'язків. Індекс Backward Linkages характеризує ступінь залежності галузі від проміжної продукції інших секторів, тоді як Forward Linkages відображає роль галузі як постачальника ресурсів для економічної системи. На основі цих показників формується матриця мультиплікаторних добутків (MPM), що дозволяє класифікувати галузі економіки відповідно до їхнього структурного впливу (рис. 2).

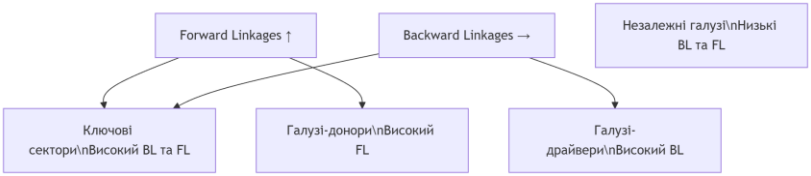


Рисунок 2 – Класифікація галузей за індексами міжгалузевих зв'язків

Подальший розвиток міжгалузевого аналізу пов'язаний із розширенням базової моделі. Зокрема, сучасні дослідження

пропонують нелінійні міжгалузеві моделі [2], що враховують рівень індустріальної концентрації та вертикальної спеціалізації у виробничих ланцюгах. Такі підходи дозволяють більш точно моделювати структурні зміни економіки та поведінку великих корпоративних виробничих систем.

У прикладних дослідженнях міжгалузеві моделі активно використовуються для аналізу просторової структури економіки. Зокрема, багаторегіональні моделі «витрати–випуск» дозволяють оцінювати регіональні ефекти економічних шоків та досліджувати трансформацію виробничих ланцюгів. Подібний підхід було застосовано для аналізу економічних наслідків війни в Україні [4], де за допомогою міжгалузевого моделювання було показано значний вплив руйнування індустріального потенціалу східних регіонів на національні виробничі ланцюги.

Подальше розширення міжгалузевих моделей здійснюється через використання матриць соціальних рахунків (Social Accounting Matrix, SAM) [5], які дозволяють інтегрувати у модель не лише виробничі зв'язки, але й потоки доходів між домогосподарствами, державою та корпоративним сектором. Застосування таких моделей дає змогу оцінювати соціально-економічні наслідки державної політики та аналізувати ефекти перерозподілу доходів у національній економіці.

Сучасний розвиток міжгалузевого аналізу значною мірою пов'язаний із використанням обчислювальних методів. Екосистема Python пропонує широкий набір інструментів для реалізації таких моделей. Зокрема, бібліотеки PyIO та pymrio забезпечують можливості автоматизованої обробки таблиць «витрати–випуск», розрахунку мультиплікаторів та аналізу глобальних виробничих ланцюгів. Бібліотеки NumPy та SciPy дозволяють ефективно виконувати матричні операції, обчислювати обернені та псевдообернені матриці, а також застосовувати методи сингулярного розкладу для аналізу великих економічних систем.

Формування макроекономічних дисбалансів у сучасних економічних системах часто пов'язується з появою фінансових «бульбашок» на ринках активів та нерухомості. Такі явища виникають унаслідок надмірного зростання вартості активів, що не підкріплене фундаментальними економічними показниками, та можуть спричиняти різкі корекції цін і кризові процеси у фінансовому секторі. Дослідження показують, що подібні процеси здатні формувати значні макроекономічні дисбаланси та впливати на структуру національної економіки [6]. У цьому контексті міжгалузевий аналіз може використовуватися як інструмент оцінювання поширення кризових ефектів між секторами економіки через систему виробничих зв'язків.

Висновки. Балансова модель В. Леонтьєва залишається фундаментальним інструментом макроекономічного аналізу. Її

використання дозволяє виявляти структурні взаємозв'язки між галузями економіки, оцінювати мультиплікативні ефекти змін кінцевого попиту та досліджувати просторову трансформацію виробничих систем. Поєднання класичних міжгалузевих моделей із сучасними обчислювальними методами відкриває нові можливості для аналізу економічної структури та формування стратегій післявоєнного відновлення економіки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Dutta, S. (2025). *The circular flow revisited: A comparative exposition of Leontief's input-output analysis and Sraffa's production of commodities*. arXiv.

2. Betancourt-Gómez, M. E. (2025). Examining patterns of vertical specialization and industrial concentration with a nonlinear input-output model. *El Trimestre Económico*.

3. Giorgi, G. (2023). *Proofs of the Hawkins-Simon conditions and other related topics*. DEM Working Papers Series.

4. Haddad, E. A., et al. (2022). *Input-output analysis of the Ukraine war: A tool for assessing the internal territorial impacts of the conflict*. Policy Center for the New South.

5. Mavrodi, A., et al. (2025). From data to decisions: Leveraging the social accounting matrix and multiplier analysis to guide equitable policy decision in Greece. *Regional Science and Environmental Economics*.

6. Шпинковська, М. І., & Шпинковська, М. О. (2018). Фактори прояву фінансових «бульбашок» в економіці та нерухомості. *Глобальні та національні проблеми економіки*, (21). http://global-national.in.ua/issue-21-2018

UDC 621.391.812:621.3.029.65

Novikov M.A.[1], Gritsunov O. V.[2]

MODELING THE IMPACT OF ADVERSE CONDITIONS ON THE RELIABILITY OF 5G/6G TELECOMMUNICATION NETWORKS

Introduction: Millimeter-wave (mmWave) communication, typically defined in the 30–300 GHz range, has become a key technology for modern wireless systems such as 5G and future 6G networks. Compared to microwave bands, mmWave frequencies offer significantly wider bandwidths, enabling multi-gigabit data rates and dense spatial reuse. However, these advantages come at the cost of increased sensitivity to atmospheric conditions. Due to their short wavelengths, mmWave signals experience stronger absorption, scattering, and attenuation when propagated through the atmosphere, especially during adverse weather such as rain, fog, snow, or high humidity. Rain attenuation can

[1] Student, gr. MNTMN-24-1, Kharkiv National University of Radio Electronics
[2] Prof., Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof. of the Department of MEEPP, Kharkiv National University of Radio Electronics

exceed tens of decibels per kilometer, while fog and humidity introduce additional signal absorption in specific frequency bands. Wind, though less directly attenuating, can disrupt link alignment in narrow-beam systems. Understanding these effects is essential for designing robust wireless links, performing link budgeting, and implementing adaptive communication mechanisms.

This paper investigates the influence of rain, fog, humidity, and wind on mmWave and low-terahertz (THz) signal propagation, drawing on empirical studies and predictive models.

Rain Attenuation: Rain is one of the most significant atmospheric factors affecting mmWave propagation. The attenuation caused by rain is primarily due to scattering and absorption by raindrops, which are comparable in size to the wavelength of mmWave signals.

The specific attenuation γ_R (in dB/km) due to rain can be modeled using the ITU-R P.838-3 recommendation:

$$\gamma_R = kR^{\alpha}$$

where

- R= rain rate (mm/h),
- k, α = frequency-dependent coefficients.

For example, at 60 GHz, heavy rainfall of 50 mm/h may lead to:

$$\gamma R \approx 10 - 20\ dB/km$$

Zahid and Salous (2022) reported that short-range mmWave links (200–300 m) can experience momentary drops exceeding 15 dB during extreme rainfall, requiring robust fade margins [1].

Norouzian et al. (2019) extended this analysis to low-THz frequencies (100–300 GHz), demonstrating that rain attenuation increases exponentially with frequency. For instance, at 300 GHz, attenuation can exceed 30 dB/km during heavy rainfall (50 mm/h), making link reliability a critical concern [2].

Recent research by Song et al. (2024) specifically analyzed the power and bit error rate (BER) performance of terahertz channels under rainy conditions, providing further insights into how precipitation degrades digital signal quality in the sub-THz spectrum [5].

Mankong et al. (2023) further investigated the combined effects of wind and heavy tropical rain. They found that wind-driven rain introduces angular dispersion and Doppler shifts, degrading signal coherence and increasing bit error rates (BER) [3].

Fog and Atmospheric Absorption: Fog consists of tiny water droplets (1–20 μm), which interact differently with mmWave signals compared to rain. According to Liao et al. (2023), the attenuation caused by fog increases with liquid water density and can be approximated by:

$$\gamma_{fog} = 0.2M$$

where

- M = liquid water density (g/m³).

At 100–300 GHz, fog-related loss may reach 1–3 dB/km, particularly in dense fog conditions (M > 0.5 g/m³). Though lower than rain-induced attenuation, it is still important for systems requiring high reliability.

Atmospheric gases (oxygen and water vapor) also introduce frequency-selective absorption peaks. Oxygen absorption at 60 GHz can exceed 15 dB/km, independent of weather, but intensified under high humidity. Fog attenuation is also a critical factor, with the density of liquid water being paramount. Dense advection fog (common in maritime environments) causes substantially greater loss than radiation fog. For example, 30 m visibility advection fog at 1 THz can reach 8488.33 dB/km, a nearly thousand-fold difference compared to radiation fog under the same conditions.

Wind Effects: Wind does not directly attenuate mmWave signals, but it impacts communication indirectly:

1. Antenna misalignment—mmWave systems use highly directional beams; strong wind can physically move small antennas.
2. Rain trajectory distortion—wind alters the distribution of raindrops across the path, producing fast fading.

Mankong et al. (2023) measured an additional 2–5 dB loss during storms due to rapidly changing link geometry [3].

Experimental Results and Comparative Analysis: Based on the reviewed literature, typical attenuation values under different weather conditions can be summarized as follows in Table 1.

Table 1 – Typical mmWave Attenuation under Various Weather Conditions

Weather Condition	Frequency Range	Typical Attenuation	Source
Light Rain (10-20 mm/h)	28-60 GHz	3-7 dB/km	ITU-R P.838-3; Zahid & Salous (2022) [1]
Heavy Rain (50-70 mm/h)	28-80GHz	10-20 dB/km	Norouzian et al. (2019) [2]
Dense Fog	100-300 GHz	1-3 dB/km	Liao et al (2023)[4]
High Humidity	60 GHz	+15 dB/km oxygen absorption	ITU-R P.676 [1]
Wind Gusts (20-30 m/s)	Any mmWave link	2-5 dB additional loss	Mankong et al. (2023) [3]

Discussion: 5G networks widely use 26–28 GHz and 39 GHz bands. Although they are less affected than 60+ GHz links, rain still poses significant challenges:

- Cell radius decreases during rainfall.
- Adaptive beamforming is needed to maintain link quality.

- Outage probability increases under intense precipitation.

For future 6G systems, targeting sub-THz bands (100–300 GHz), weather effects become even more critical. Even short communication distances (50–200 m) may require large fade margins.

Fixed point-to-point mmWave links (e.g., rooftop connections) are particularly vulnerable:

- Rain attenuation can exceed safety margins.
- Wind-induced misalignment reduces signal-to-noise ratio.
- High humidity increases background absorption.

Zahid et al. (2020) demonstrated that long-term monitoring is essential for predicting worst-case attenuation scenarios [6].

Example Link Budget Analysis: Consider a 60 GHz mmWave link with a distance of 300 m during rainfall of 25 mm/h. Using ITU-R formula:

$$\gamma_R = kR^{\alpha} \approx 0.35 \cdot (25)^{0.9} \approx 6.2 \text{ dB/km}$$

Total rain attenuation:

$$A_R = \gamma_R \cdot d = 6.2 \cdot 0.3 \approx 1.86 \text{ dB}$$

Including oxygen absorption (~15 dB/km):

$$A_{\text{oxygen}} = 15 \cdot 0.3 = 4.5 \text{ dB}$$

Total weather-induced attenuation:

$$A_{\text{total}} = A_R + A_{\text{oxygen}} \approx 6.4 \text{ dB}$$

This example highlights that even moderate rain contributes far less attenuation than atmospheric oxygen at 60 GHz.

Conclusion: Atmospheric and weather conditions significantly influence mmWave and THz signal propagation. Rain remains the most critical factor, with attenuation scaling non-linearly with frequency and rain rate. Fog and humidity become increasingly relevant at higher frequencies, while wind introduces dynamic channel impairments.

For modern 5G/6G networks understanding and modeling weather impacts are essential. Effective strategies – such as adaptive modulation, dynamic power control, beam tracking, and weather-aware planning – can significantly mitigate the adverse effects and ensure communication reliability.

Further research should focus on real-time atmospheric sensing, machine learning prediction models, and improved link budgeting for variable meteorological conditions.

REFERENCES:

1. Zahid, O., & Salous, S. (2022). Long-term rain attenuation measurement for short-range mmWave fixed link using DSD and ITU-R prediction models. *Radio Science, 57*(4). doi:10.1029/2021RS007307

2. Norouzian, F., Marchetti, E., Gashinova, M., Hoare, E., Constantinou, C., Gardner, P., & Cherniakov, M. (2019). Rain attenuation at millimeter wave and low-THz frequencies. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 68*(1), 421–431. doi:10.1109/TAP.2019.2938735

3. Mankong, U., Chamsuk, P., Nakprasert, S., Potha, S., Weng, Z.-K., Dat, P. T., ... Kawanishi, T. (2023). Millimeter wave attenuation due to wind

and heavy rain in a tropical region. *Sensors, 23*(5), 2532. doi:10.3390/s23052532

4. Liao, X., Fan, L., Wang, Y., Yu, Z., Wang, G., Li, X., & Zhang, J. (2023). Attenuation characterization of terahertz waves in foggy and rainy conditions at 0.1–1 THz frequencies. *Electronics, 12*(7), 1684. doi:10.3390/electronics12071684

5. Song, Y., Cui, J., Liu, G., Zhao, J., Zhang, M., Liu, J., ... Ma, J. (2024). *Terahertz channel power and BER performance in rain*. Retrieved from https://arxiv.org/abs/2412.03916

6. Zahid, O., Huang, J., & Salous, S. (2020). *Long term rain attenuation measurements at millimeter wave bands for direct and side short-range fixed links*. Paper presented at 2020 XXXIIIrd General Assembly and Scientific Symposium of the International Union of Radio Science (URSI GASS), Rome, Italy. doi:10.23919/ursigass49373.2020.9232024

УДК 621.32:004.942

Удовиця М.О.[1], Колесник А.І. [2]

МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ З АДАПТИВНИМ АЛГОРИТМОМ РЕГУЛЮВАННЯ У ВІРТУАЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ TINKERCAD

Сучасні світлотехнічні системи є складними динамічними об’єктами, що функціонують в умовах змінних зовнішніх параметрів та потребують оптимізації енергоспоживання при збереженні нормативного рівня освітленості. Підвищення вимог до енергоефективності та комфорту зорового сприйняття зумовлює необхідність застосування методів математичного та імітаційного моделювання для дослідження алгоритмів керування освітлювальними установками. У таких системах важливу роль відіграють алгоритми автоматичного регулювання, які дозволяють підтримувати заданий рівень освітленості та зменшувати енергоспоживання [1]. Використання адаптивних методів керування освітленням дає змогу враховувати зміну зовнішнього природного освітлення та присутність користувачів у приміщенні, що підвищує ефективність експлуатації освітлювальних установок [1].

Одним із перспективних напрямів досліджень є застосування алгоритмів автоматичного регулювання, зокрема PID-керування, для оптимізації режимів роботи освітлювальних систем [2]. Використання мікроконтролерних платформ дозволяє реалізувати такі алгоритми у вигляді компактних та енергоефективних систем керування. Крім того,

[1] Студент групи СДС 2022-1, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
[2] Доцент кафедри світлотехніки і джерел світла, «ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, к. т. н., доцент

імітаційне моделювання світлотехнічних систем на етапі проектування дозволяє дослідити їх динамічні характеристики та перевірити ефективність алгоритмів керування без створення фізичного прототипу.

Метою роботи є розробка імітаційної моделі адаптивної системи керування освітленням із зворотним зв'язком та дослідження її динамічних характеристик у віртуальному середовищі Tinkercad [3].

Об'єктом дослідження є світлотехнічна система з автоматичним регулюванням світлового потоку. Предметом дослідження – процес стабілізації освітленості робочої поверхні при зміні зовнішніх умов освітлення.

У роботі використано математичну модель регулювання освітленості на основі пропорційного закону керування:

$$U(t) = k \cdot \left(E_{\text{зад}} - E_{\text{вим}}\right).$$

де: $E_{\text{зад}}$ – задане значення освітленості;

$E_{\text{вим}}$ – виміряне значення;

k – коефіцієнт підсилення регулятора;

$U(t)$ – керуючий сигнал.

Освітленість у точці розраховувалась із використанням узагальненої фотометричної залежності. Система реалізована у середовищі Tinkercad із застосуванням мікроконтролерної плати Arduino Uno. Імітаційна модель включає світлодіодне джерело світла, фоторезистор як датчик освітленості та алгоритм широтно-імпульсної модуляції для регулювання яскравості [2].

Алгоритм функціонування системи передбачає:

1. Зчитування значення освітленості з датчика.
2. Порівняння із заданим рівнем.
3. Формування керуючого сигналу.
4. Зміну коефіцієнта заповнення широтно-імпульсного сигналу.

У процесі імітаційного моделювання було досліджено динамічні характеристики системи керування освітленням. Модель системи реалізовано у середовищі Tinkercad із використанням мікроконтролерної платформи Arduino Uno [3]. Аналіз перехідного процесу дозволяє оцінити швидкодію системи та її здатність стабілізувати освітленість при зміні зовнішніх умов.

На **рисунку 1 представлено графік перехідного процесу стабілізації освітленості**, який показує, як система поступово досягає заданого рівня освітлення.

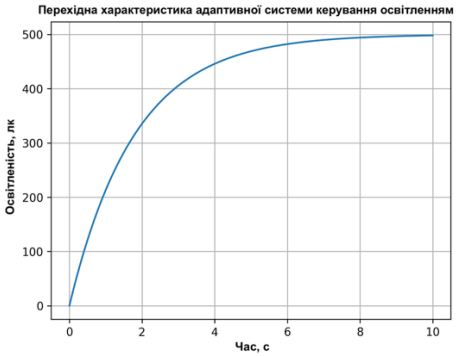


Рисунок 1 – Перехідний процес стабілізації освітленості

Отримані результати свідчать про аперіодичний характер процесу та стабільність системи керування.

Висновки. У результаті моделювання встановлено, що система забезпечує стабілізацію освітленості з відносною похибкою до 5% при зміні зовнішнього освітлення в широкому діапазоні. Перехідні процеси характеризуються аперіодичним характером та відсутністю коливань за умови оптимального вибору коефіцієнта підсилення. Проведений аналіз підтвердив, що використання імітаційного моделювання дозволяє дослідити динамічні характеристики складної світлотехнічної системи без створення фізичного прототипу, а також здійснювати оптимізацію параметрів регулятора з метою мінімізації енергоспоживання. Отримані результати можуть бути використані при проєктуванні адаптивних систем освітлення в адміністративних, навчальних та виробничих приміщеннях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Caicedo, D., & Pandharipande, A. (2016). Daylight and occupancy adaptive lighting control system: An iterative optimization approach. *Lighting Research & Technology, 48*(6), 661–675. https://doi.org/10.1177/1477153515587148

2. Yang, Q., & Yue, Z. (2024). Research on energy-saving lighting control of high-rise building by the PID control algorithm. *Sustainable Buildings, 7*, 1–8. https://doi.org/10.1051/sbuild/2024001

3. Tinkercad. Program an LED Light Show – Lesson Plan**.** URL: https://www.tinkercad.com/lessonplans/program-an-led-light-show

УДК 004.942:519.876.5 Підгорний С.С.[1], Дмитрієва О.А.[1,2]

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЛИБОКИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Одним із основних інструментів математичного моделювання динамічних процесів у фізиці, техніці, біології, економіці та інших галузях на сьогодні є звичайні диференціальні рівняння та їх системи [1]. У більшості випадків математичні моделі таких процесів формулюються у вигляді задачі Коші для систем звичайних диференціальних рівнянь (ЗДР). Необхідність чисельного інтегрування таких систем виникає як у задачах, безпосередньо описаних звичайними диференціальними рівняннями, так і в більш складних математичних моделях, представлених рівняннями з частинними похідними. У таких моделях системи звичайних диференціальних рівнянь часто виступають складовими елементами чисельних алгоритмів їх розв'язування [1-2].

Традиційно для розв'язування таких задач використовуються чисельні методи інтегрування, серед яких явні і неявні одно- і багатокрокові різницеві схеми, можливо, з використанням вкладеності та(або) з додаванням у розрахункові схеми похідних високих порядків. Не зважаючи на множинні переваги відомих методів, при моделюванні складних нелінійних або жорстких систем вони можуть вимагати значних обчислювальних витрат, особливо у випадках багаторазового розв'язування задач, коли, наприклад, йдеться про множинні симуляції стохастичних ЗДР [3]. У зв'язку з цим останніми роками активно розвиваються підходи, що поєднують методи чисельного аналізу з методами машинного навчання, зокрема глибоких нейронних мереж. Завдяки універсальній здатності до апроксимації складних нелінійних залежностей такі моделі можуть бути використані для побудови наближених вирішувачів диференціальних рівнянь або для відтворення динаміки досліджуваних систем на основі експериментальних або згенерованих даних [4].

Метою роботи є дослідження можливостей застосування глибоких нейронних мереж для моделювання динамічних процесів, описуваних звичайними диференціальними рівняннями, а також проведення порівняльного аналізу точності відтворення поведінки з використанням різних архітектур нейронних мереж.

У роботі запропоновано підхід до моделювання динамічних процесів, у якому глибокі нейронні мережі використовуються для апроксимації правої частини звичайних диференціальних рівнянь із подальшим чисельним інтегруванням отриманої моделі. На відміну від

[1] НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», Київ, Україна
[2] Дослідницький центр моделюючих технологій (SimTech) університету Штутгарта, Німеччина

традиційного використання нейронних мереж для прямого прогнозування часових рядів, запропонований підхід дозволяє відтворювати внутрішню структуру динамічної системи та використовувати класичні методи інтегрування для отримання розв'язку. В зв'язку з цим у роботі реалізовано та експериментально досліджено кілька архітектур глибоких нейронних мереж (DFNN, RNN, LSTM) для апроксимації динаміки систем, що описуються звичайними диференціальними рівняннями. Проведено порівняльний аналіз ефективності цих архітектур на прикладах систем різного типу – нелінійної коливальної системи (рівняння Дюффінга), автоколивальної системи (рівняння Ван-дер-Поля) та жорсткої системи (рівняння Протеро–Робінсона).

На першому етапі було сформовано навчальні та тестові вибірки на основі чисельного розв'язання відповідних задач Коші. Для генерації референсних даних використовувалися класичні методи інтегрування, зокрема методи Рунге–Кутти, а також метод Radau, реалізований у бібліотеці SciPy, який ефективно застосовується для розв'язування жорстких систем диференціальних рівнянь. Отримані чисельні розв'язки використовувалися для формування навчальних наборів даних, що надалі застосовувалися для навчання нейронних моделей.

Навчання моделей здійснювалося з використанням бібліотеки TensorFlow. Перед навчанням виконувалася попередня обробка даних, зокрема їх масштабування за допомогою методів MinMaxScaler та StandardScaler. Компіляція та навчання моделей здійснювалися за допомогою оптимізатора Adam із фіксованою швидкістю навчання. Навчання моделей проводилося протягом 150 епох, з batch_size = 32 (кількість навчальних прикладів за одну ітерацію перед оновленням внутрішніх ваг), що дозволило забезпечити баланс між ефективністю використання оперативної пам'яті та якістю оновлення ваг мережі. Для оцінювання точності побудованих моделей використовувалися загальноприйнятні метрики, такі як середньоквадратична помилка, середня абсолютна похибка, максимальна похибка, коефіцієнт детермінації та інш. Використання декількох показників дозволило виконати комплексну оцінку точності та узагальнювальної здатності моделей і провести порівняльний аналіз ефективності різних архітектур глибоких нейронних мереж.

На рис. 1-3 для обраних моделей наведено графіки функцій втрат при моделювання поведінки автоколивальної системи, що ґрунтувалися на оцінюванні середньоквадратичної помилки. Можна переконатися, що модель LSTM (рис.3) мала найнижчі похибки, втрати сягали значень на рівні $10^{-6} \div 10^{-5}$. Графік функції втрат моделі DRNN (рис. 2) показує деякі стрибки у певних епохах, але сама модель теж має дуже малі похибки. Модель DFNN (рис.1) показала себе найгірше серед

усіх запропонованих моделей через велике коливання значень та найвищі втрати.



Рисунок 1 – Графік функції втрат моделі DFNN



Рисунок 2 – Графік функції втрат моделі DRNN

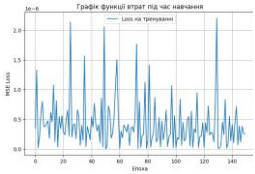


Рисунок 3 – Графік функції втрат моделі LSTM

Отримані результати дозволили оцінити можливості використання різних типів глибоких нейронних мереж для моделювання динамічних процесів та визначити їхню точність при відтворенні поведінки систем, що описуються диференціальними рівняннями.

Висновки. Таким чином у роботі досліджено можливості застосування глибоких нейронних мереж для наближеного моделювання динамічних систем, описуваних звичайними диференціальними рівняннями. Проведено експериментальне дослідження ефективності моделей DFNN, RNN та LSTM для відтворення динаміки систем різного типу. Виконано порівняльний аналіз точності моделей із використанням комплексу статистичних метрик. Отримані результати показали, що застосування глибоких нейронних мереж дозволяє ефективно відтворювати динаміку нелінійних систем і може розглядатися як перспективний підхід до моделювання складних процесів у різних прикладних галузях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Butcher, J. (2016). *Numerical methods for ordinary differential equations* (3rd ed.). Chichester: John Wiley & Sons.

2. Qureshi, S., Ramos, H., & Soomro, A. (2024). Numerical integration of stiff problems using a new time-efficient hybrid block solver. *Mathematics and Computers in Simulation,* 220, 237-252. https://doi.org/10.1016/j.matcom.2024.01.001

3. Teel, A., Sanfelice, R., & Goebel, R. (2025). Stochastic approximation of hybrid systems. *Annual Reviews in Control*, 60(101015). https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2025.101015

4. Chen, R., Rubanova, Y., Bettencourt, J., & Duvenaud, D. (2018). Neural Ordinary Differential Equations. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 1(4), 6571–6583. https://doi.org/10.48550/arXiv.1806.07366.

УДК 004.046 Цукур В.Г.[1], Молоканова В.М.[2]

ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ГІБРИДНОМУ УПРАВЛІННІ ПРОЕКТАМИ

Сучасна економіка переживає фундаментальні трансформації. Класичні методи управління проектами, що ґрунтуються на припущенні відносної стабільності середовища та лінійності процесів, у сучасних змінних умовах виявляються неефективними. Тому виникає необхідність поєднання різних підходів і методів, що й створило передумови формування гібридного управління проектами [1, 2].

З позицій системного аналізу проект характеризується наявністю множини взаємопов'язаних елементів (людські ресурси, технології, інформація), структурних та функціональних зв'язків, а також обмежень за часом, вартістю і якістю. Проектна система є відкритою, оскільки постійно взаємодіє із зовнішнім середовищем (ринок, замовники, регуляторні умови), та динамічною, оскільки її параметри змінюються впродовж усього життєвого циклу [3].

Гібридне управління проектами розглядається як системно обґрунтований підхід, що інтегрує формалізовані методи планування та гнучкі механізми підтримки прийняття рішень. Таким чином, гібридне управління є не просто комбінацією методологій, а результатом розвитку системного бачення проектів в умовах цифровізації та зростання складності.

Штучний інтелект (ШІ) являє собою сукупність методів та алгоритмів, здатних до обробки великих даних, самонавчання й оптимізації рішень. Найбільш поширені технології включають:

- машинне навчання (ML) — створення моделей, що навчаються на основі історичних даних;
- глибинне навчання (DL) — багатошарові нейронні мережі для розпізнавання складних закономірностей;
- експертні системи — програмні рішення з базами знань і правилами логічного висновку;
- алгоритми оптимізації — інтелектуальні підходи до пошуку найкращих рішень у складних багатофакторних системах.

Для формалізації процесу розробки програмного забезпечення в рамках гібридного управління запропоновано математичну модель на основі GERT-мережі. У цій моделі кожен перехід між станами розробки розглядається як дуга з імовірністю успішного проходження контрольних точок та відповідним розподілом тривалості. Вузловими точками є ключові процеси: концептуалізація вимог, проєктування

[1] Аспірант групи САа-25-10, НТУ «Дніпровська політехніка»
[2] Завідувач кафедри САтаУ, НТУ «Дніпровська політехніка», д. т. н., професор

системи та інтерфейсу, реалізація функціональності, автоматизоване і ручне тестування, а також демонстрація результатів стейкхолдерам.

У рамках запропонованої моделі розглядаються два сценарії управління ітераціями розробки: з використанням ШІ (AI-enabled) та без нього (AI-disabled). В AI-enabled конфігурації вузол «AI Requirements Assistant» активується для уточнення формулювань і виявлення суперечностей у специфікації, а на етапі реалізації залучається AI static analysis для раннього виявлення дефектів і вразливостей у коді. Застосування ШІ не є обов'язковою фазою потоку — воно виконує роль підсилювача якості процесу, адаптуючись до конкретних умов проекту [4].

Результати чисельного моделювання методом Монте-Карло демонструють суттєві переваги AI-enabled підходу. Спостерігається чіткий лівий зсув розподілу тривалості ітерацій: медіана часу виконання $p_{50} \approx 9.4$ умов. од. при використанні ШІ проти $p_{50} \approx 11.9$ без нього. На рівні 90-го перцентиля різниця є ще більш вираженою: $p_{90} \approx 16.1$ проти $p_{90} \approx 23.5$. Крім скорочення типового часу, AI-enabled конфігурація характеризується меншою дисперсією та тоншим правим хвостом розподілу, що свідчить про зниження ризику тривалих затримок.

Аналіз функції надійності $S(t) = P(T > t)$ підтверджує отримані результати: для AI-enabled сценарію крива падає швидше та лежить нижче по всьому діапазону значень. Це означає, що для будь-якого фіксованого часового порогу ймовірність «не вкластися» у встановлений дедлайн при використанні ШІ є суттєво нижчою. Найбільш виражена різниця спостерігається у зоні робочих тривалостей (≈08–25 умов. од.), що безпосередньо відповідає реальним виробничим дедлайнам у проектах розробки програмного забезпечення.

Таким чином, впровадження ШІ-вставок на ключових етапах — формалізації вимог та автоматичному контролі якості коду — забезпечує не лише прискорення ітерацій, а й підвищення передбачуваності проекту в цілому. Перспективним напрямом подальших досліджень є розширення моделі для оцінювання сукупного економічного ефекту від інтеграції ШІ в гібридні методології управління проектами, а також розроблення практичних інструментів підтримки прийняття рішень для проектних менеджерів [5].

Практична цінність отриманих результатів полягає в їхній безпосередній застосовності у реальних проектах розробки програмного забезпечення. Розроблена модель може слугувати основою для побудови систем підтримки прийняття рішень проектного менеджера: зокрема, для обґрунтованого вибору конфігурації процесу (з ШІ або без), прогнозування тривалості ітерацій та оцінювання ризику зриву дедлайнів на ранніх стадіях планування. Отримані кількісні показники — скорочення медіани часу ітерації на 21 % та зменшення 90-го перцентиля на 32 % — є достатнім обґрунтуванням для прийняття

управлінського рішення щодо впровадження ШІ-інструментів у процес розробки. Результати дослідження є актуальними для ІТ-компаній, що застосовують Agile- або гібридні методології, а також для організацій, які перебувають на етапі цифрової трансформації та прагнуть підвищити передбачуваність і керованість своїх проектів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Project Management Institute. (2021). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide)* (7th ed.). PMI.

2. Бушуєв, С., & Козир, Б. (2020). Гібридизація методологій управління інфраструктурними проектами та програмами. *Вісник Одеського національного морського університету*, (61), 187–207. https://doi.org/10.47049/2226-1893-2020-1-5-26

3. Івко, А. В. (2024). Підбір моделей організаційної структури взаємодії самокерованих організацій із внутрішнім оточенням проєктів розвитку. *Управління розвитком складних систем*, (58), 6–14. https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.58.6-14

4. Hällgren, M., & Lindahl, M. (2012). Limits of project management: Rethinking management of complex projects. *International Journal of Project Management, 30*(7), 804–814.

5. Yepifanova, I. M., & Trofymchuk, O. V. (2024). Formation of a modern technical and technological base of a machine-building enterprise. *Investytsiyi: praktyka ta dosvid*, (16), 178–183. https://doi.org/10.32702/2306-6814.2024.16.178

УДК 303.732

Молчанов М.Ю.[1], Хом'як Т.В.[2]

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА РОЗРОБКА СЕРВІСУ ГЕНЕРАЦІЇ QR-КОДІВ ДЛЯ ВЕБ- ТА API-ІНТЕГРАЦІЙ

QR-коди (Quick Response codes) набули масового поширення як інструмент безконтактної взаємодії між фізичним та цифровим середовищами. Їх застосовують у маркетингу, електронній комерції, освіті та соціальних мережах. За даними аналітики, кількість сканувань QR-кодів у світі щорічно зростає більш ніж на 25%, що підтверджує стійкий попит на ефективні інструменти їх створення. Водночас популярні хмарні сервіси генерації QR-кодів (QR Code Generator, GoQR.me, Bitly) мають спільні обмеження: відсутність відкритого API без реєстрації, залежність від платної підписки та неможливість вбудованої інтеграції у власні застосунки. Це обумовлює потребу у власному, відкритому сервісі з REST API, придатному для прямого використання у веб-застосунках без ключів доступу.

[1] Студент групи 124-22-2, НТУ «Дніпровська політехніка»

[2] Доцент кафедри САУ, НТУ «Дніпровська політехніка», к. ф.-м. н., доцент

Метою роботи є проведення системного аналізу предметної області, проєктування архітектури та програмна реалізація сервісу генерації QR-кодів із підтримкою веб-інтерфейсу та REST API для інтеграції у зовнішні системи. Для досягнення мети вирішено такі задачі: аналіз наявних рішень та визначення вимог; проєктування модульної архітектури; реалізація серверної та клієнтської частин; впровадження механізмів кешування та захисту; розгортання сервісу у хмарному середовищі.

Аналіз предметної області. QR-код — це двовимірний матричний штрихкод стандарту ISO/IEC 18004, що кодує дані у квадратній матриці модулів [1]. Ключові параметри: версія (розмір матриці від 21×21 до 177×177), рівень корекції помилок (L — 7%, M — 15%, Q — 25%, H — 30% відновлення) та метод кодування даних (числовий, буквено-цифровий, байтовий). Для практичних застосувань у соціальних мережах QR-коди кодують URL-посилання на профілі: Telegram (t.me/username), WhatsApp (wa.me/phone), Instagram, Facebook, TikTok, Twitter (X), LinkedIn, YouTube, а також mailto- та tel-посилання — всього 11 типів контенту. Порівняльний аналіз наявних рішень виявив, що найближчий аналог — TEC-IT API — вимагає реєстрації та обмежує безкоштовний план 5000 запитів на місяць, що є недостатнім для динамічної інтеграції.

Проєктування. Архітектуру сервісу побудовано за патерном «клієнт-сервер»[4, 6]: сервер обробляє HTTP GET-запити та повертає PNG-зображення, клієнт формує запит із параметрами. Серверна частина складається з п'яти функціональних модулів: маршрутизації, генерації QR-кодів, валідації параметрів, кешування та rate-limiting. Веб-інтерфейс реалізовано у вигляді єдиної SPA-сторінки з вкладками «Веб-інтерфейс» та «API Документація» без перезавантаження сторінки. Перелік спроєктованих ендпоінтів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Ендпоінти REST API сервісу

Ендпоінт	**Метод**	**Опис**
/qr	GET	Генерація QR-коду, повертає PNG-зображення
/download	GET	Завантаження QR із заголовком Content-Disposition
/view	GET	HTML-сторінка перегляду згенерованого QR-коду
/generate	GET	Веб-форма введення даних для обраного типу
/stats	GET	JSON зі статистикою запитів, кешу та rate-limit
/health	GET	Перевірка стану сервісу для моніторингу

Реалізація. Серверну частину реалізовано мовою Python 3 з використанням мікрофреймворку Flask 3.0 [2, 6]. Генерацію QR-зображень виконує бібліотека qrcode 7.4.2 у парі з Pillow 10.4 для масштабування результату до заданого розміру методом LANCZOS. Усі QR-коди формуються з рівнем корекції помилок H (відновлення до 30% площі), що забезпечує стійке зчитування навіть при частковому пошкодженні або накладанні логотипу. Сервіс підтримує такі параметри запиту: data (рядок до 1000 символів, обов'язковий), color та bgcolor (колір модулів і фону у HEX без «#», за замовчуванням 000000/ffffff), size (від 64 до 2048 пікселів або словесне значення Small/Medium/Large) та quietzone (відступи від 0 до 10 одиниць, за замовчуванням 4).

Кешування реалізовано через декоратор @lru_cache(maxsize=512) з модуля functools стандартної бібліотеки Python [5]. Ключем кешу слугує кортеж із п'яти параметрів генерації, тому повторні запити з ідентичними параметрами повертають збережений байтовий об'єкт без повторної генерації. Захист від зловживань реалізовано через власний rate limiter: для кожного IP у словнику defaultdict зберігається черга часових міток запитів; критичні секції захищено через threading.Lock. Реальну IP-адресу клієнта визначають послідовним аналізом заголовків X-Forwarded-For та X-Real-IP, що забезпечує коректну роботу за реверс-проксі та CDN. Ліміт складає 100 запитів на 60 секунд з одного IP; при перевищенні повертається HTTP 429 з JSON-повідомленням. Для розгортання на безкоштовному рівні Render.com реалізовано модуль KeepAlive: фоновий daemon-поток надсилає GET-запит до /health кожні 14 хвилин, запобігаючи автоматичному «засинанню» інстансу [3]. Продакшн-сервер запускається через Gunicorn 21.2 з конфігурацією Procfile.

Веб-інтерфейс побудовано як єдиний HTML-документ із вбудованими CSS та JavaScript без зовнішніх залежностей. Головна сторінка містить сітку з 11 карток типів QR-кодів; при виборі типу відкривається форма з відповідними підказками, вибором кольорів через input[type=color], розміру та quietzone. Після натискання «Створити» JavaScript формує GET-запит до /qr та відображає результат у превью без перезавантаження сторінки. Вкладка API-документації містить приклади запитів у форматах HTML, Python та JavaScript.

Результати та тестування. Сервіс розгорнуто за адресою https://qr-api-service.onrender.com. Функціональне тестування підтвердило коректну генерацію QR-кодів для всіх 11 типів контенту та правильне декодування за допомогою стандартних сканерів. Тестування кешування: при повторних запитах з однаковими параметрами лічильник cache_hits у /stats зростає, а час відповіді скорочується; відсоток попадань при рівномірному трафіку перевищує 60%. Перевірку rate-limiting проведено шляхом відправлення 110 послідовних запитів: починаючи з 101-го сервер повертав HTTP 429, що відповідає

специфікації. Ендпоінт /health повертає JSON {"status": "ok"} із кодом 200, що підтверджує готовність сервісу до прийому запитів.

Висновки. Спроєктовано та реалізовано відкритий сервіс генерації QR-кодів з REST API та веб-інтерфейсом на базі Python/Flask. Сервіс підтримує 11 типів контенту соціальних мереж, гнучке налаштування зображення (колір, розмір, відступи), LRU-кешування до 512 унікальних конфігурацій, захист rate-limiting та автономне хмарне розгортання з механізмом підтримки активності. Практична цінність роботи полягає у можливості безкоштовної інтеграції генерації QR-кодів у будь-який веб-застосунок за допомогою одного HTTP GET-запиту. Перспективи розвитку: підтримка формату SVG, динамічні QR-коди зі зміною цільового URL без перегенерації зображення, а також додавання аналітики сканувань.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. International Organization for Standardization. (2015). *ISO/IEC 18004:2015 information technology — Automatic identification and data capture techniques — QR code bar code symbology specification* (3rd ed.). ISO.

2. Grinberg, M. (2018). *Flask web development: Developing web applications with Python* (2nd ed.). O'Reilly Media.

3. Render. (n.d.). *Free instance types & limitations*. https://docs.render.com/free

4. Fielding, R. T. (2000). *Architectural styles and the design of network-based software architectures* (Doctoral dissertation, University of California).

5. Python Software Foundation. (n.d.). *functools — Higher-order functions and operations on callable objects*. https://docs.python.org/3/library/functools.html

6. Хом'як, Т. В., Хабарлак, К. С., & Гаранжа, Д. М. (2024). *Бази даних у професійних задачах аналітики*. НТУ «Дніпровська політехніка». https://ir.nmu.org.ua/bitstreams/8b618fdf-e7e2-438a-acfb-17a3b8b098a0/download

УДК 004.8:004.75

Кравченко Д.О.[1]

МОДЕЛІ ВЗАЄМОДІЇ ТА КООРДИНАЦІЙНІ МЕХАНІЗМИ В МУЛЬТИАГЕНТНИХ СИСТЕМАХ

Важливим аспектом реалізації мультиагентних систем (MAS) є організація взаємодії між агентами. У загальному випадку взаємодія визначається як форма колективної дії, в межах якої рішення або дії одного агента залежать від наявності, поведінки чи знань інших агентів. Вона має розподілений характер, оскільки ґрунтується на координованій діяльності кількох автономних учасників (Dorri et al., 2018). MAS є окремим класом інтелектуальних розподілених систем, у яких автономні агенти взаємодіють з метою досягнення індивідуальних або спільних цілей (Wooldridge, 2009).

Актуальною сьогодні є проблема ефективної координації агентів у системах підтримки прийняття рішень, робототехнічних комплексах, логістичних мережах та інтелектуальних інформаційних платформах.

У MAS взаємодія агентів здійснюється через механізми комунікації (мови повідомлень, протоколи, перформативи), тоді як координація забезпечує узгодженість їхніх дій у межах спільних цілей. Засоби взаємодії виступають інструментальною основою координації, оскільки саме через обмін повідомленнями агенти домовляються про розподіл ролей, ресурсів та відповідальності.

На відміну від об'єктів у традиційних об'єктно-орієнтованих системах, агенти повинні комунікувати за допомогою універсального, незалежного від внутрішньої структури механізму. Мова взаємодії в MAS має бути незалежною від конкретної реалізації агента та його внутрішніх алгоритмів.

Обмін інформацією здійснюється через загальний інтерфейс повідомлень, що забезпечує семантичну узгодженість між різнорідними агентами, тому виникає потреба у формуванні спільної мовної системи, яка дозволяє агентам обмінюватися знаннями, незважаючи на відмінності їхніх баз знань і внутрішніх моделей представлення інформації. Недостатня формалізація взаємодії може призводити до конфліктів інтересів, дублювання дій або неефективного використання ресурсів. Саме тому сучасні дослідження зосереджені на розробці формальних моделей координації, що враховують автономність агентів та їх часткову інформованість.

Одним із універсальних підходів до формалізації взаємодії в MAS є теорія мовленнєвих актів (speech act theory) (Searle, 1969). Вона

[1] аспірант кафедри комп'ютерних наук, Сумський державний університет

розглядає комунікацію як різновид дії, спрямованої на зміну знань, переконань або намірів іншого агента.

У цьому підході висловлення трактуються не просто як істинні або хибні твердження, а як перформативні дії, що мають намір вплинути на внутрішній стан співрозмовника. Також теорія вводить поняття перформативів — спеціальних комунікативних актів, за допомогою яких агент може передавати свої переконання, бажання, цілі або наміри. Таким чином, комунікація стає інструментом координації, формування зобов'язань і досягнення узгоджених рішень.

Ефективне функціонування MAS неможливе без використання спеціалізованих засобів координації, які забезпечують узгодженість дій автономних агентів у спільному середовищі. Вибір конкретного механізму координації залежить від архітектури системи, рівня автономності агентів, обмежень ресурсів та характеристик середовища. Серед основних:

1. Протоколи переговорів (negotiation protocols). Використовуються для досягнення взаємовигідних рішень у разі конфлікту інтересів або обмежених ресурсів. Найпоширенішими є аукціонні механізми, контрактна модель (Contract Net Protocol), механізми торгів та багатосторонні переговори.

2. Алгоритми консенсусу(consensus algorithms) – забезпечують формування спільного рішення в умовах розподіленості. До них належать алгоритми узгодження значень, голосування, розподіленої оптимізації та gossip-алгоритми.

3. Організаційні структури. Координація може здійснюватися через ієрархічні, мережеві або гібридні моделі організації агентів. Ієрархічні структури спрощують управління, тоді як децентралізовані підвищують стійкість та адаптивність системи.

4. Розподіл ролей та завдань. Використання рольових моделей дозволяє зменшити конфлікти та оптимізувати взаємодію. Розподіл завдань може здійснюватися на основі компетентності агентів, доступності ресурсів або поточного навантаження.

5. Спільні моделі знань (онтології). Формування єдиного семантичного простору забезпечує правильну інтерпретацію повідомлень та мінімізує непорозуміння між агентами.

6. Механізми адаптації та навчання. Методи машинного навчання, зокрема мультиагентне підкріплювальне навчання, дозволяють агентам коригувати стратегії взаємодії на основі досвіду та підвищувати ефективність координації в динамічних середовищах.

7. Чорна дошка (blackboard systems). Спільний інформаційний простір, у якому агенти публікують результати своєї діяльності та отримують дані для подальших дій. Такий підхід зменшує кількість прямих комунікацій.

Особливої уваги набувають підходи мультиагентного

підкріплювального навчання, що дозволяють агентам адаптувати стратегії поведінки на основі отриманого досвіду (Nguyen et al., 2020; Albrecht et al., 2021). Такі механізми сприяють формуванню стійких стратегій співпраці та підвищенню загальної ефективності системи в умовах невизначеності.

Застосування зазначених засобів дозволяє підвищити рівень когерентності системи, зменшити конфлікти між агентами, оптимізувати використання ресурсів і забезпечити досягнення глобальних цілей навіть за неповної інформації.

Важливим аспектом координації є також проблема масштабованості мультиагентних систем. Зі збільшенням кількості агентів зростає складність управління комунікаційними потоками, обчислювальне навантаження та ризик виникнення інформаційних перевантажень. У таких умовах особливого значення набувають децентралізовані механізми координації, що базуються на локальних правилах взаємодії та самоорганізації. Подібні підходи дозволяють зменшити залежність від центрального координатора та підвищити стійкість системи до відмов окремих компонентів.

Крім того, актуальною є проблема конфліктів інтересів між агентами, особливо в системах із частково суперечливими цілями. Для їх вирішення застосовуються механізми стимулювання, формальні моделі прийняття рішень на основі теорії ігор, а також протоколи багатосторонніх переговорів. Поєднання формальних алгоритмічних методів із адаптивними підходами навчання забезпечує баланс між індивідуальною раціональністю агентів і глобальною оптимальністю системи.

Висновки. MAS є формують перспективний напрям розвитку інтелектуальних розподілених технологій. Ефективність їх функціонування визначається узгодженістю комунікаційних механізмів і координаційних стратегій. Формалізовані протоколи взаємодії, алгоритми консенсусу, переговорні механізми, організаційні структури та методи мультиагентного навчання утворюють інтегровану систему управління колективною поведінкою. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розробку гібридних моделей координації, що поєднують формальні логічні методи, економічні механізми стимулювання та сучасні алгоритми глибокого навчання. Це дозволить створювати більш адаптивні, масштабовані та стійкі мультиагентні системи нового покоління.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Albrecht, S. V., Christianos, F., Schäfer, L., & Stone, P. (2021). *Multi-agent reinforcement learning: Foundations and modern approaches*. MIT Press.

2. Dorri, A., Kanhere, S. S., & Jurdak, R. (2018). Multi-agent systems: A survey. *IEEE Access, 6*, 28573–28593.

3. Nguyen, T. T., Nguyen, N. D., & Nahavandi, S. (2020). Deep reinforcement learning for multiagent systems. *IEEE Transactions on Cybernetics, 50*(9), 3826–3839.
4. Searle, J. R. (1969). *Speech acts: An essay in the philosophy of language*. Cambridge University Press.
5. Wooldridge, M. (2009). *An introduction to multiagent systems* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

UDC 004.8+519.6

Loza K. P.[1], Hladka L. I.[2]

AN INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEM FOR REFERENCE IMAGE RETRIEVAL BASED ON HUMAN BODY CONFIGURATION ANALYSIS

Introduction

Modern intelligent information-analytical systems increasingly operate in dynamic visual environments where decision-making depends on rapid and accurate interpretation of image data. In creative domains such as digital art, animation, illustration, and design, selecting appropriate reference images plays an important role in ensuring anatomical correctness and visual consistency of human body representations.

Traditional search mechanisms rely primarily on metadata or textual tags, which do not adequately capture structural characteristics of visual content. As a result, the problem of automated retrieval of reference images based on structural similarity of human body configurations remains insufficiently addressed. This challenge can be considered within the broader context of intelligent decision support systems (DSS), where analytical models and artificial intelligence methods assist users in selecting optimal alternatives [1-3].

The purpose of this research is to develop and analyze an intelligent decision support system for automated retrieval of reference images based on modeling and comparison of human body configurations extracted from visual data.

Problem Formulation

Let an input image Iq represent a simplified human sketch provided by the user. The objective is to retrieve from a reference database D = {I1, I2, …, In} a ranked subset of images whose body configurations are structurally similar to the query.

Each image is represented by a structured set of keypoints:

K = {(x1, y1), (x2, y2), …, (xm, ym)}

where m denotes the number of anatomical landmarks.

[1] Master's Student National Bohdan Khmelnytsky University of Cherkasy
[2] PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

The research problem consists of [1-5]:

1. Detecting human body keypoints in both query and reference images.
2. Normalizing configurations to eliminate scale and rotation effects.
3. Modeling similarity between configurations.
4. Ranking retrieved images according to similarity measures.
5. Evaluating system effectiveness under varying transformation conditions.

System Architecture and Modeling Approach

The proposed decision support system consists of the following functional modules:

1. **Keypoint Detection Module**

Human body configurations are extracted using computer vision techniques for pose estimation. The output is a structured representation of anatomical landmarks.

2. **Normalization Module**

To ensure invariance to translation, scale, and partial rotation, keypoints are normalized relative to a reference joint (e.g., pelvis center) and rescaled using torso length as a normalization factor.

3. **Feature Vector Construction**

Normalized keypoints are transformed into feature vectors in a multidimensional configuration space.

4. **Similarity Modeling Module**

Similarity between configurations is computed using distance metrics such as:

a. Euclidean distance

b. Cosine similarity

5. The similarity function can be defined as:

Similarity between configurations is computed using distance metrics such as Euclidean distance and cosine similarity.

$$S(Kq, Ki) = (Kq \cdot Ki) / (||Kq|| \, ||Ki||)$$

5. **Ranking and Decision Support Module** The system ranks reference images according to similarity scores and presents the top-N results to the user as decision alternatives.

Thus, the system functions as an intelligent analytical layer supporting visual decision-making in creative workflows.

Evaluation of Effectiveness

To assess system performance, experimental evaluation is conducted using a dataset of annotated human body configurations. The following metrics are applied [3-7]:

1. Precision@K
2. Recall
3. Mean Reciprocal Rank (MRR)

Additionally, robustness analysis is performed under controlled transformations (scaling, partial rotation, minor keypoint displacement). The evaluation demonstrates that normalization significantly improves retrieval stability and ranking accuracy.

The results confirm that structural configuration modeling enables meaningful comparison of visual content beyond traditional metadata-based retrieval approaches.

Discussion

From the perspective of decision support systems, the proposed solution provides:

1. Formal modeling of configuration similarity
2. Quantitative evaluation of alternatives
3. Analytical support in dynamic visual environments
4. Integration of artificial intelligence methods into visual DSS

Unlike conventional search systems, the proposed approach incorporates structural semantics of the human body representation, enhancing the relevance of retrieved references.

The system can be extended with adaptive weighting of anatomical segments, learning-based similarity refinement, or integration into broader intelligent creative platforms.

Conclusions

The research presents a modeling approach to the development of an intelligent decision support system for automated reference image retrieval based on human body configuration analysis. The proposed method combines computer vision techniques, structural feature normalization, and similarity modeling to support informed visual decision-making.

Experimental evaluation confirms the feasibility and effectiveness of the approach in dynamic visual environments. The study contributes to the development of intelligent information-analytical systems that integrate artificial intelligence, modeling techniques, and quantitative evaluation mechanisms.

Future work may involve incorporating machine learning-based similarity learning, expanding datasets, and exploring hybrid semantic-structural retrieval strategies.

REFERENCES

1. Cao, Z., Hidalgo, G., Simon, T., Wei, S.-E., & Sheikh, Y. (2020). OpenPose: Realtime multi-person 2D pose estimation using part affinity fields. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 42(1), 172–186. https://doi.org/10.1109/TPAMI.2019.2929257

2. Datta, R., Joshi, D., Li, J., & Wang, J. Z. (2008). Image retrieval: Ideas, influences, and trends. ACM Computing Surveys, 40(2), 1–60. https://doi.org/10.1145/1348246.1348248

3. He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer

Vision and Pattern Recognition (CVPR) (pp. 770–778). https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90

4. Johnson, J., Douze, M., & Jégou, H. (2019). Billion-scale similarity search with FAISS. IEEE Transactions on Big Data, 7(3), 535–547. https://doi.org/10.1109/TBDATA.2019.2921572

5. Lugaresi, C., Tang, J., Nash, H., et al. (2019). MediaPipe: A framework for building perception pipelines. arXiv. https://arxiv.org/abs/1906.08172

6. Radford, A., Kim, J. W., Hallacy, C., et al. (2021). Learning transferable visual models from natural language supervision. In Proceedings of the International Conference on Machine Learning (ICML). https://arxiv.org/abs/2103.00020

7. Szeliski, R. (2022). Computer vision: Algorithms and applications (2nd ed.). Springer.

УДК 004.89

Ликова В.І.[1], Бредіхін В.М.[2,]

ВИКОРИСТАННЯ ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ У ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

За умов стрімкого розвитку інформаційних технологій і штучного інтелекту важливу роль відіграють інтелектуальні інформаційні системи (ІІС). Вони можуть аналізувати великі обсяги даних та підтримувати прийняття рішень. У сучасних ІІС ключовою проблемою залишається ефективна робота з неструктурованими текстовими даними, які становлять значну частину корпоративної та галузевої інформації. Класичні експертні системи, побудовані на rule-based механізмах і продукційних правилах, демонструють високу інтерпретованість, проте мають обмежену масштабованість і слабку адаптивність до динамічних текстових потоків.

Поява великих мовних моделей (LLM) відкрила новий етап розвитку інтелектуальних систем, які доцільно розглядати не тільки як автономний інтелектуальний агент, а й як probabilistic semantic engine у складі гібридної архітектури. Завдяки трансформерній архітектурі та навчанню на масштабних корпусах даних LLM здатні виконувати семантичне узагальнення, контекстну інтерпретацію та генерацію тексту з високим рівнем когерентності. Разом із тим використання LLM у чистому вигляді є обмеженим через стохастичну природу генерації та ризик виникнення hallucination-ефекту. Тому сучасні ІІС підтримки

[1] студент групи ІСтаТ 2022-1, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[2] доцент кафедри КНІТ, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, к. т. н.

прийняття рішень (DSS) потребують інтеграції LLM у багаторівневу гібридну архітектуру [1].

Найбільш ефективною моделлю впровадження такого підходу є Retrieval-Augmented Generation (RAG), який передбачає поєднання генеративної моделі з механізмом семантичного пошуку у векторних базах даних. Типовий pipeline включає:

- перетворення запиту у векторне представлення (embeddings);
- пошук релевантних фрагментів у корпоративному сховищі знань;
- розширення контексту відповіді retrieved-даними;
- генерацію відповіді з урахуванням доменної інформації.

Такий підхід істотно знижує ризик генерації недостовірної інформації та підвищує explainability системи, табл. 1 [2].

Таблиця 1 - Порівняння з класичними експертними системами

Параметр	Rule-based системи	LLM-орієнтовані системи
Інтерпретованість	Висока	Обмежена
Масштабованість	Складна	Висока
Робота з текстом	Обмежена	Ефективна
Адаптивність	Низька	Висока
Ризик стохастичних помилок	Низький	Помірний

Сьогодні завдяки допоміжним сервісам ці технології розвиваються у медичній, фінансовій і освітній сферах де інтелектуальні системи із використанням LLM використовуються для аналізу звітів, прогнозування ризиків й автоматизації професійного консультування [3]. Таким чином, оптимальним є гібридний підхід, у якому LLM інтегрується як семантичний модуль, але остаточне прийняття рішень залишається за детермінованими компонентами системи. [4].

Великі мовні моделі формують новий обчислювальний шар інтелектуальних інформаційних систем, забезпечуючи ефективну роботу з неструктурованими даними та природномовними запитами. Однак їх використання у DSS повинно здійснюватися в межах гібридної архітектури з retrieval-механізмами, rule-based валідацією та системами контролю достовірності. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку адаптивних multi-agent LLM-систем, автоматизованих механізмів перевірки фактів та підвищення інтерпретованості генеративних моделей у критичних інформаційних середовищах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Brown, T., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J., Dhariwal, P., Neelakantan, A., Shyam, P., Sastry, G., Askell, A., Agarwal, S., Herbert-Voss, A., Krueger, G., Henighan, T., Child, R., Ramesh, A., Ziegler, D., Wu, J., Winter, C., … Amodei, D. (2020). *Language models are few-shot learners*. https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.14165

2. Chang, Y., Wang, X., Wang, J., Wu, Y., Zhu, K., Chen, H., Yi, X., Wang, C., Wang, Y., Ye, W., Zhang, Y., Chang, Y., Yu, P. S., Yang, Q., & Xie, X. (2023). *A survey on evaluation of large language models*. https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.03109

3. Андрощук, Г. О. (2021). Штучний інтелект: економіка, інтелектуальна власність, загрози (Ч. 2). *Теорія і практика інтелектуальної власності*, (3), 45–56. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tpiv_2021_3_6

4. Celik, B., & Mahmoud, A. (2025). A review of large language models for intelligent systems. *Machine Learning and Knowledge Extraction*. https://doi.org/10.3390/make7030097

УДК 004.89

Ткач Н.С..[1], Дружинін Є.А.[2]

МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ПРИ РОЗРОБЦІ ІНТЕГРОВАНИХ КОРПОРАТИВНИХ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

Проєкти впровадження інтегрованих корпоративних програмних систем (ERP, CRM, SCM) мають суттєво нижчий рівень успішності порівняно зі стандартними програмними проєктами: за даними Gartner та Panorama Consulting, 55-75% таких проєктів виходять за межі бюджету або термінів [1, 2]. Причина полягає не лише у складності самих систем, а й у принциповій відмінності їхньої архітектури: щільні міжмодульні залежності зумовлюють каскадний характер ризиків, при якому відмова в одному компоненті послідовно поширюється на суміжні. Цю властивість наявні методи прогнозування ризиків не моделюють, оскільки розроблялися для монолітних систем без урахування ефектів поширення.

Методи машинного навчання підвищують точність прогнозування ризиків у програмних проєктах, проте мають системне обмеження: вони встановлюють статистичні кореляції між характеристиками проєкту і реалізованими ризиками, але не відтворюють причинно-наслідковий механізм їх виникнення [3]. Наслідком є відсутність пояснюваності: модель вказує на підвищену ймовірність ризику, але не визначає, через які первинні чинники він

[1]аспірант кафедри ІТП НАУ «Харківський авіаційний інститут»
[2]професор кафедри ІТП НАУ «Харківський авіаційний інститут»

виникає і які суміжні процеси може ініціювати. Для обґрунтування рішень з мітигації – вибору стратегії, перерозподілу ресурсів, коригування плану – потрібне саме причинне розуміння, яке кореляційні моделі принципово не забезпечують.

У роботі запропоновано архітектуру системи підтримки прийняття рішень, що поєднує три компоненти з різними функціями. Гетерогенний ансамбль ML – Gradient Boosting, Random Forest, SVM та нейронна мережа з мета-моделлю стекінгу – відповідає за прогнозування ризиків на основі кількісних проєктних метрик: частоти комітів, щільності дефектів, темпу закриття задач, стабільності вимог. Різнотипність алгоритмів знижує кореляцію помилок; теоретично обґрунтована точність прогнозування становить 90–92%, що перевищує результат найкращого одиночного алгоритму на 5-7 в.п. [4]. Байєсівська мережа з каузальними обмеженнями вирішує задачу пояснюваності: встановлює причинні зв'язки між факторами проєкту і ризиками, оцінює ймовірність поширення ризику між модулями та підтримує контрфактичний аналіз. Структура мережі формується на основі даних завершених проєктів і знань, зібраних методом Дельфі у профільних експертів. Адаптивна нечітка система [5] перетворює числові оцінки на рекомендації щодо мітигації: стратегію реагування, обсяг необхідних зусиль і терміновість. Параметри системи уточнюються на основі зворотного зв'язку за результатами реальних проєктів.

Гіпотеза дослідження: спільне використання ансамблевого класифікатора і байєсівської мережі у складі єдиної системи забезпечує статистично значуще покращення точності прогнозування та якості рекомендацій з мітигації порівняно з кожним підходом окремо. Для перевірки гіпотези передбачається: побудова спеціалізованої таксономії ризиків інтегрованих корпоративних систем як структурної основи байєсівської мережі; навчання і тестування моделей на ретроспективних даних завершених ERP-проєктів; статистична перевірка відмінностей за критерієм Манна-Уїтні.

Висновки. Обґрунтовано, що причиною недостатньої ефективності наявних ML-підходів до управління ризиками в інтегрованих корпоративних системах є принципова неможливість кореляційних моделей відтворити причинно-наслідковий механізм виникнення і поширення ризиків. Запропоновано архітектуру, в якій ансамблевий класифікатор забезпечує точність прогнозування, байєсівська мережа – пояснюваність причинних зв'язків, а нечітка система – конкретні рекомендації з мітигації. Подальша робота спрямована на побудову таксономії ризиків і проведення емпіричної валідації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Gartner. (2023). *ERP market trends and analysis*. https://www.gartner.com/en/information-technology/insights/erp

2. Panorama Consulting Group. (2023). *2023 ERP report*. Panorama Consulting Group.
3. Pearl, J. (2009). *Causality: Models, reasoning, and inference* (2nd ed.). Cambridge University Press.
4. Sagi, O., & Rokach, L. (2018). Ensemble learning: A survey. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery, 8*(4), e1249.
5. Jang, J.-S. R. (1993). ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 23*(3), 665–685.

УДК 004.93

Цап Д.І.[1], Царева О.С.[2]

ВИКОРИСТАННЯ САМООРГАНІЗОВУВАНИХ КАРТ КОХОНЕНА ДЛЯ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ДАНИХ І РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

Вступ. Стрімкий розвиток інформаційних технологій та безперервне накопичення гігантських обсягів неструктурованих даних ставлять перед сучасними інтелектуальними системами складні завдання щодо їх обробки. Традиційні методи аналізу часто виявляються неефективними при роботі з багатовимірними масивами інформації, що потребує залучення передових алгоритмів машинного навчання. Одним із найперспективніших напрямів у цій сфері є використання нейромережевих технологій без вчителя, здатних самостійно знаходити приховані закономірності. Актуальність цієї роботи зумовлена необхідністю дослідження самоорганізовуваних карт Кохонена (SOM) як ефективного інструменту для візуалізації, кластеризації даних та розпізнавання образів

Основний матеріал. Самоорганізовувана карта Кохонена (Self-Organizing Map, SOM) являє собою специфічний клас штучних нейронних мереж, розроблений фінським дослідником Теуво Кохоненом для розв'язання задач неконтрольованого навчання. Структурно SOM зазвичай складається з одного шару нейронів, організованих у вигляді правильної (найчастіше двовимірної) решітки, на яку проєктуються багатовимірні вхідні вектори.

[1] Здобувач освіти кафедри інженерії програмного забезпечення Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу
[2] Асистент кафедри інженерії програмного забезпечення Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

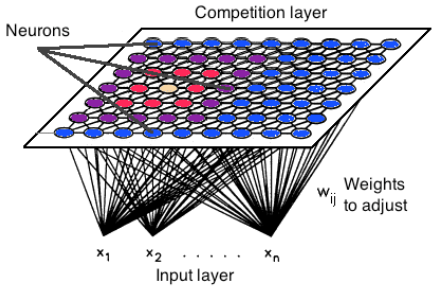


Рисунок 1 – структурна схема самоорганізовуваної карти Кохонена[4]

Метою такого проєкціювання є стиснення інформації зі збереженням її найважливіших просторових і метричних властивостей, що дозволяє візуалізувати складні неочевидні взаємозв'язки між даними у вигляді наочної карти кластерів.

Основою функціонування самоорганізовуваних карт Кохонена (SOM) є принцип конкурентного навчання нейронних мереж без вчителя, що дозволяє виявляти приховані закономірності у складних багатовимірних масивах інформації. Хоча фундаментальний математичний апарат алгоритму був закладений кілька десятиліть тому, у сучасних інтелектуальних системах SOM переживають етап активного переосмислення завдяки їхній унікальній здатності до збереження топологічного простору. Ця властивість гарантує, що об'єкти з подібними характеристиками у багатовимірному просторі ознак будуть спроєктовані на сусідні вузли двовимірної або тривимірної сітки. SOM виконує функцію потужного інструменту для розтину та візуалізації складних ландшафтів даних, перетворюючи їх на керовані репрезентації нижчої розмірності [1]. Під час процесу навчання мережа використовує механізм латерального гальмування, де нейрон-переможець та його топологічні сусіди адаптують свої синаптичні ваги. Це дозволяє системі самостійно підлаштовуватися під розподіл вхідних даних без попереднього маркування експертами, що суттєво економить обчислювальні ресурси при роботі з великими масивами інформації [2].

На етапі кластеризації та розвідувального аналізу практична цінність підходу полягає у перетворенні абстрактних числових векторів на інтуїтивно зрозумілі візуальні моделі, такі як матриці відстаней (U-matrix).

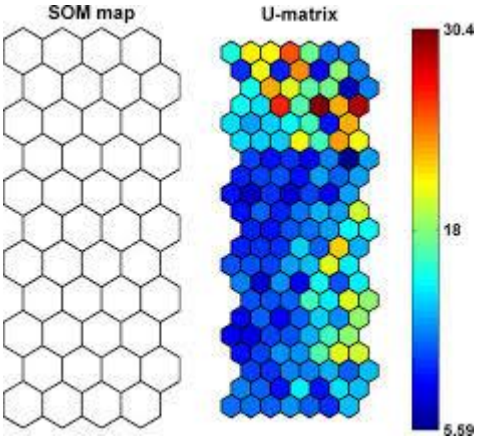


Рисунок 2 – вигляд самоорганізовуваної карти Кохонена та модель U-matrix[5]

Сьогодні масштаб задач для SOM став значно серйознішим: алгоритми ефективно застосовуються для обробки потокових даних з датчиків Інтернету речей (IoT), аналізу структур у медичній діагностиці та класифікації багатовимірних часових рядів. Останні дослідження демонструють високу ефективність SOM у гібридних архітектурах комп'ютерного зору, де вони допомагають сегментувати зображення та виявляти аномалії з високою точністю [3]. Комбінація SOM з методами глибокого навчання дозволяє автоматизувати процес вилучення ознак із зашумлених даних, створюючи надійне підґрунтя для класифікації та прийняття рішень автоматизованими системами без втручання людини.

Висновки. Застосування самоорганізовуваних карт Кохонена в сучасних інтелектуальних системах залишається потужним та надійним підходом до розв'язання задач неконтрольованого навчання. Завдяки унікальній здатності зберігати топологічну структуру при стисненні багатовимірних даних, алгоритм забезпечує високу наочність результатів у вигляді матриць відстаней (U-matrix) та кластерних карт. Інтеграція карт Кохонена з новітніми методами глибокого навчання відкриває широкі перспективи для створення стійких архітектур комп'ютерного зору, систем аналізу часових рядів та обробки потокових даних, що робить цей математичний апарат невід'ємною складовою подальшого розвитку інтелектуальних технологій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Guérin, A., Chauvet, P., & Saubion, F. (2024). A survey on recent advances in Self-Organizing maps. *ArXiv.org*. https://doi.org/10.48550/arxiv.2501.08416

2. Awong, L. E. E., & Zielinska, T. (2023). Comparative Analysis of the clustering quality in Self-Organizing Maps for Human Posture

Classification. Sensors, 23(18), 7925. https://doi.org/10.3390/s23187925
3. Mohammed, R. J. (2025). Self-Organizing maps based pattern recognition and image processing for effective computer vision. Journal of Information Systems Engineering & Management, 10(32s), 629–642. https://doi.org/10.52783/jisem.v10i32s.5412
4. Self-Organizing Maps – the Kohonen's algorithm explained | Iván Vallés-Pérez. *Iván Vallés-Pérez | Learning to swim in the data deluge*. URL: https://ivape3.blogs.uv.es/2015/03/15/self-organizing-maps-the-kohonens-algorithm-explained/ (date of access: 23.02.2026).
5. Bieroza, M., Baker, A., & Bridgeman, J. (2011). Exploratory analysis of excitation–emission matrix fluorescence spectra with self-organizing maps—A tutorial. Education for Chemical Engineers, 7(1), e22–e31. https://doi.org/10.1016/j.ece.2011.10.002

УДК 004.4

Селютін Д.А.[1], Яшина О.С.[2]

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОГРАМНОГО КОДУ З ВИКОРИСТАННЯМ ГРАФОВИХ І ВЕКТОРНИХ РЕПРЕЗЕНТАЦІЙ

Сучасний розвиток програмної інженерії характеризується значним зростанням обсягів програмного коду та ускладненням його структури. Це зумовлює необхідність розроблення інтелектуальних методів автоматизованого аналізу програмного коду, які дозволяють враховувати його структурні та функціональні характеристики. Традиційні методи аналізу, засновані на синтаксичних правилах або текстовому порівнянні, не забезпечують достатнього рівня точності при визначенні функціональної подібності програм і виявленні логічних закономірностей, оскільки не враховують залежності керування та потоків даних [1].

Перспективним напрямом вирішення цієї проблеми є використання графових моделей програмного коду. У такому підході програмний код представляється у вигляді структурованого графа, вершини якого відповідають програмним конструкціям, а ребра відображають залежності між ними. Це дозволяє формалізувати структуру та логіку виконання програми, що створює основу для подальшого застосування методів машинного навчання [2].

Побудова графового представлення програмного коду здійснюється на основі абстрактного синтаксичного дерева (AST), яке формується в результаті синтаксичного аналізу. AST відображає

[1] Аспірант кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут»
[2] Доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут», к. т. н., доцент

ієрархічну структуру програми та містить інформацію про її основні конструкції. На основі AST формується граф потоку керування та визначаються залежності даних між змінними і операціями. Отриманий граф виконання дозволяє враховувати як структурні, так і функціональні характеристики програмного коду [3].

Для забезпечення можливості автоматизованого аналізу графове представлення програмного коду перетворюється у векторну форму. Векторна репрезентація є числовим представленням програми, яке зберігає її структурні характеристики та може використовуватися як вхідні дані для алгоритмів машинного навчання. Використання векторних репрезентацій дозволяє застосовувати методи класифікації, кластеризації та визначення подібності програмного коду [4, 5].

Запропонований метод інтелектуального аналізу програмного коду включає такі етапи:

– Синтаксичний аналіз програмного коду з формуванням абстрактного синтаксичного дерева.

– Побудова графа виконання програми на основі структурних і функціональних залежностей.

– Формування векторної репрезентації програмного коду.

– Інтелектуальний аналіз програмного коду із застосуванням методів машинного навчання.

На рисунку 1 наведено схему запропонованого методу.



Рисунок 1 – Схема методу інтелектуального аналізу програмного коду

Такий підхід дозволяє перейти від текстового представлення програмного коду до його формалізованого структурного подання, що забезпечує можливість застосування сучасних методів інтелектуального аналізу даних, де використання графових і векторних репрезентацій дозволяє ефективно визначати подібність програм, виконувати їх класифікацію та виявляти закономірності у програмних реалізаціях [2, 4].

Перевагами запропонованого методу є: врахування структурних і функціональних характеристик програмного коду; інваріантність до синтаксичних відмінностей реалізацій; можливість застосування алгоритмів машинного навчання та придатність для використання в автоматизованих системах аналізу програм, що у свою чергу дозволяє використовувати його у системах автоматизованого аналізу програмного забезпечення, інтелектуальних навчальних системах та системах автоматизованого оцінювання програмного коду для підвищення ефективності аналізу програмного коду, та створює основу для побудови сучасних інтелектуальних систем підтримки програмування.

Висновки. Запропоновано метод інтелектуального аналізу програмного коду на основі графових і векторних репрезентацій, який забезпечує формалізоване подання структурних характеристик програм на основі використання графових моделей і векторних репрезентацій, та дозволяє ефективно застосовувати методи машинного навчання для класифікації та аналізу програмного коду у сучасних інтелектуальних системах аналізу програмного забезпечення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Maarleveld, J., Guo, J., & Feitosa, D. (2025). A systematic mapping study on graph machine learning for static source code analysis. *Information and Software Technology*, 107722. doi:10.1016/j.infsof.2025.10772
2. Liu, J., Zeng, J., Wang, X., & Liang, Z. (2023). Learning Graph-based Code Representations for Source-level Functional Similarity Detection. У *2023 IEEE/ACM 45th International Conference on Software Engineering (ICSE)*. IEEE. doi:10.1109/icse48619.2023.00040
3. Mi, Q., Zhan, Y., Weng, H., Bao, Q., Cui, L., & Ma, W. (2023). A graph-based code representation method to improve code readability classification. *Empirical Software Engineering*, *28*(4). doi:10.1007/s10664-023-10319-6
4. Khoshraftar, S., & An, A. (2023). A Survey on Graph Representation Learning Methods. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*. doi:10.1145/3633518
5. Hoang , V. T., Jeon , H.-J., You , E.-S., Yoon , Y., Jung , S., & Lee , O.-J. (2023). Graph Representation Learning and Its Applications: A Survey. *Sensors*, *23*(8), 4168. doi:10.3390/s23084168

УДК 004.4 Жувако В. Г, [1] Черкасова В. В.[2]

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА НАВІГАЦІЇ В БАГАТОРІВНЕВИХ СЕРЕДОВИЩАХ

У сучасному світі навігаційні сервіси, такі як Google Maps, Apple Maps, Waze чи MAPS.ME, стали невід'ємною частиною повсякденного життя користувачів. Вони допомагають планувати поїздки, знаходити об'єкти інфраструктури та скорочувати час пересування. Однак, попри значний розвиток технологій, існує суттєва проблема недостатньої деталізації маршрутів, особливо у випадках, коли користувачеві потрібно зорієнтуватися всередині великих будівель, підземних споруд, комплексних транспортних вузлів або на території університетів.

Сервіси Google Maps Indoor, OpenStreetMap чи Citymapper частково вирішують ці завдання, проте не забезпечують комплексного покриття внутрішніх просторів. Традиційна GPS-навігація у щільно забудованих міських зонах, тунелях та підземних просторах має похибки, що призводить до втрати сигналу або неточності координат [1]. Порівняльний аналіз існуючих IPS-рішень демонструє, що жодна система не забезпечує комплексного рішення для внутрішніх або частково закритих просторів [2].

Локальні картографічні системи підвищують деталізацію внутрішніх просторів, однак функціонують ізольовано від загальноміської навігації. Таким чином, існує суперечність між точністю, масштабованістю та інтегрованістю навігаційних рішень.

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця навігаційних рішень

Підхід	**Основна технологія**	**Сфера**	**Переваги**	**Обмеження**
GPS-навігація	Супутникове позиціонування	Outdoor	Глобальне покриття, простота	Низька точність у приміщеннях
IPS (Indoor Positioning Systems)	Wi-Fi, Bluetooth, маячки	Indoor	Висока точність у будівлях	Потребує інфраструктури
Локальні картографічні системи	Цифрові плани будівель	Indoor	Деталізація приміщень	Відсутність інтеграції з outdoor
AI-орієнтована маршрутизація	ML, графові алгоритми	Hybrid	Персоналізація маршрутів	Потребує великих даних

[1] студентка групи КН 2022-1, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
[2] асистент кафедри КНтаІТ, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова

Спеціалізовані інклюзивні системи	Сенсори + голосові модулі	Indoor	Доступність	Обмежена універсальність

З огляду на це пропонується концепція гібридної платформи, що поєднує внутрішню та зовнішню орієнтацію в єдиному цифровому середовищі. Система реалізується як кросплатформений застосунок із використанням алгоритмів штучного інтелекту для персоналізованої маршрутизації та передбачає краудсорсинговий збір і багаторівневу верифікацію даних. Такий підхід забезпечує інтегрованість, інтелектуальність і масштабованість навігаційної системи.

Обробка геолокаційних даних та маршрутів створює ризики пов'язані з обробкою геолокаційних даних та маршрутів у навігаційних системах [3, 4].

Для мінімізації зазначених ризиків доцільно впроваджувати комплекс організаційних та технічних заходів, зокрема:

1. *застосування криптографічного захисту даних* під час їх передавання та зберігання;
2. *анонімізацію та псевдонімізацію персональних даних* користувачів шляхом усунення або маскування ідентифікаційних ознак;
3. *розмежування прав доступу до інформації* через механізми авторизації та автентифікації;
4. *регулярну перевірку та верифікацію маршрутів* для виявлення помилкових, застарілих або потенційно шкідливих даних;
5. *дотримання вимог чинного законодавства у сфері захисту персональних даних*.

Такий комплексний підхід забезпечує підвищення рівня інформаційної безпеки, збереження приватності користувачів і надійність функціонування навігаційної системи для всіх груп користувачів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Переваги та недоліки GPS. Carlos Barraza. Режим доступу: https://barrazacarlos.com/uk/переваги-та-недоліки-gps/

2. Hailu, T. G., Guo, X., & Si, H. (2025). *Indoor positioning systems as critical infrastructure: An assessment for enhanced location-based services*. Sensors, 25(16), 4914. Режим доступу: https://www.mdpi.com/1424-8220/25/16/4914

3. Seamless Indoor-Outdoor Navigation: Solutions & Challenges. *Mapsted Blog*. (2025). 24 March. Режим доступу: https://mapsted.com/blog/indoor-outdoor-navigation-explained

4. Kessler F., Frankenstein J., Rothkopf C. A. Human navigation strategies and their errors result from dynamic interactions of spatial

uncertainties. Nature Communications. (2024). 6 July. Vol. 15, Art. 5677. Режим доступу: https://www.nature.com/articles/s41467-024-49722-y

УДК 004.021

Юдіна Л.Г.[1] Апенько Н.В. [2]

ОЦІНЮВАННЯ УЗГОДЖЕНОСТІ ВІЗУАЛЬНИХ ДАНИХ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

У сучасних інформаційних системах значна частина даних представлена у візуальній формі. Відеопотоки та послідовності зображень надходять із різних джерел спостереження та обробляються незалежними алгоритмами, що призводить до формування декількох варіантів представлення однієї й тієї самої сцени. За умов зашумленості, відмінностей у параметрах зйомки, компресії та структурної неоднорідності даних результати аналізу можуть бути частково неузгодженими. Відсутність формалізованих підходів до оцінювання ступеня такої узгодженості ускладнює визначення достовірності інформації та знижує надійність прийняття рішень.

Актуальною є розробка підходу, який дозволяє перейти від якісного порівняння візуальних потоків до кількісного оцінювання їх відповідності (рис. 1).

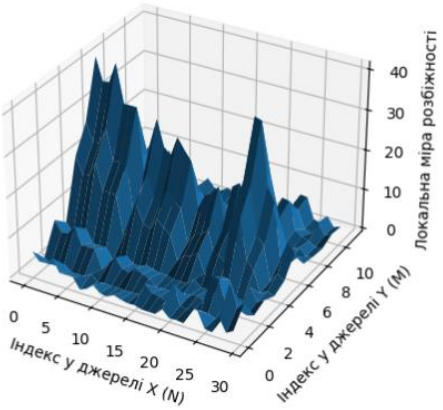


Рис. 1. Поверхня локальних розбіжностей між двома джерелами даних

Запропонований підхід базується на уніфікації вхідних даних,

[1] аспірант 3-го року навчання спеціальності 122 Комп'ютерні науки «Державний університет «Київський авіаційний інститут»

[2] доцент кафедри ІКС «Державний університет «Київський авіаційний інститут», к.т.н., доцент

формуванні ознакового представлення з урахуванням можливих стохастичних варіацій та подальшому узгодженому аналізі результатів. Для забезпечення інваріантності до допустимих змін використовується математичне очікування ознак, обчислене за множиною перетворень, що моделюють вплив шумів, освітлення та геометричних спотворень. Додатково оцінюється стабільність сформованих ознак, що дозволяє врахувати рівень невизначеності при порівнянні кадрів.

$$d_{ij} = (z_i^X - z_j^Y)^T \left(\Sigma_i^X + \Sigma_j^Y + \lambda I\right)^{-1} (z_i^X - z_j^Y).$$

Отримані ознакові представлення використовуються для побудови матриці подібності між двома послідовностями даних.

$$R = \frac{1}{1 + \exp\left(-\beta(S^* - \tau)\right)}.$$

Подальше узгодження виконується на основі оптимізаційної процедури, яка дозволяє враховувати часові зсуви та локальні невідповідності.

Інтегральний показник відповідності визначається як узагальнена характеристика ступеня узгодженості між потоками та може бути інтерпретований як оцінка їх достовірності.

$$\mathrm{H} = \begin{cases} \mathrm{H}_0, & S^* \geq \tau \\ \mathrm{H}_1, & S^* < \tau \end{cases}.$$

Висновки. Запропонований підхід створює формальну основу для аналізу відповідності візуальних даних у багатоканальних інформаційних системах та може бути використаний у задачах моніторингу, комп'ютерного зору та підтримки прийняття рішень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Kashkevich, S. (ed.) (2025), *Decision support systems: mathematical support*, TESHNOLOGY SENTER PC, Kharkiv, 202 p., doi:10.15587/978-617-8360-13-9.

2. Yudina L.H., Nechiporuk O.P. Theoretical aspects of information exchange in unmanned aerial vehicle networks. «Сучасні тенденції розвитку системного програмування», науково-практична конференція, 20-21 листопада 2025 р.: тези доп. – К., 2025. С. 10.

3. Pérez-González, C.J., Colebrook, M., Roda-García, J.L. and Rosa-Remedios, C.B (2019), «Developing a data analytics platform to support decision making in emergency and security management», Expert Systems with Applications, Vol. 120, pp. 167–184, doi: 10.1016/j.eswa.2018.11.023.

УДК 004.7:004 Ластівка О.І.[1], Марченко Н.Б. [2]

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА МОДЕЛЬ САМООРГАНІЗАЦІЇ РОЗПОДІЛЕНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Сучасні розподілені технічні системи функціонують у середовищах із високим рівнем невизначеності, змінності навантаження та можливих відмов елементів. Традиційні підходи до управління, що базуються на жорстко заданих алгоритмах і централізованому контролі, виявляються недостатньо ефективними в умовах масштабованих мережевих структур. Це обумовлює необхідність побудови інтелектуальних комп'ютерних систем, здатних до адаптації, самоналаштування та структурної перебудови.

У роботі розглянуто модель самоорганізації розподіленої системи (рис 1), в якій якість функціонування визначається значенням цільового функціоналу.

У випадку зниження цього показника нижче допустимого порогу запускається механізм адаптації. Запропонований підхід передбачає багаторівневу самоорганізацію: параметричну (зміна керованих параметрів елементів), функціональну (перерозподіл виконуваних функцій) та структурну (зміна конфігурації мережі або складу елементів).

$$F_i = \left\{ F_{1,i}, F_{2,i} \ldots F_{m,i} \right\}.$$

Параметрична самоорганізація формалізується як багатокритеріальна оптимізаційна задача з обмеженнями, що враховує вектор керованих параметрів та зовнішні фактори невизначеності. Для її реалізації можуть застосовуватися методи інтелектуальної оптимізації, зокрема покоординатний спуск, градієнтні процедури або нейромережеві апроксимації цільового функціоналу.

$$D = \{ x \in R_n \mid g_i(x, \delta) \le 0, i \in [1:m]; g_i(x, \delta) = 0, i \in [m+1:r] \}.$$

Функціональна самоорганізація розглядається як задача прийняття рішень щодо перерозподілу ролей між елементами системи, що може бути реалізовано через експертні правила або системи підтримки прийняття рішень.

$$x_l^{i+1} \in Arg \min Jx_1^{i+1}, x_2^{i+1}, ..., x, x_{l+1}^{i+1}, ..., x_n^{i+1}).$$

Структурна самоорганізація відповідає переходу системи до нового режиму функціонування та може інтерпретуватися як біфуркаційний стан, у якому змінюється топологія мережі або типи її

[1] аспірант кафедри ІКС «Державний університет «Київський авіаційний інститут»

[2] доцент кафедри ІКС «Державний університет «Київський авіаційний інститут», к.т.н., доцент

елементів.

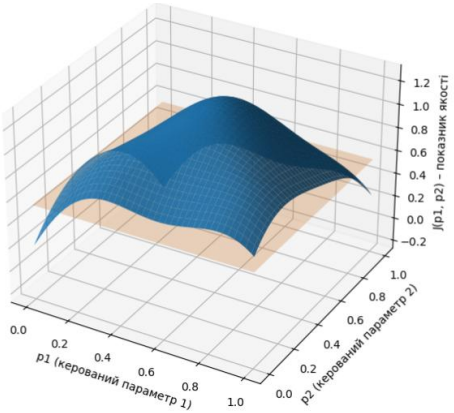


Рисунок 1 – Візуалізація залежності показника якості функціонування системи від керованих параметрів.

Висновки. Запропонована модель відповідає концепції інтелектуальних комп'ютерних систем, оскільки поєднує механізми аналізу стану системи, оптимізації параметрів, адаптивного прийняття рішень і прогнозування наслідків структурних змін. Її застосування дозволяє підвищити стійкість розподілених систем, забезпечити збереження працездатності при відмовах та реалізувати адаптивну поведінку в умовах невизначеності зовнішнього середовища.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Duan, H., & Qiao, P. (2014). Pigeon-inspired optimization: a new swarm intelligence optimizer for air robot path planning. International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics, 7(1), 24–37. https://doi.org/10.1108/IJICC-02-2014-0005.

2. Nechyporuk, O. P., Kashkevich, S. O., & Dehtiar, Yu. V. (2023). Research and analysis of channel capacity in telecommunications. In XX International Scientific and Practical Conference "Technologies, Innovative and Modern Theories of Scientists" (pp. 495–499). Graz, Austria.

3. Ластівка О.І., Нечипорук О.П. Дослідження ефективності модуляційних методів для забезпечення якості передачі даних в інформаційних мережах. Технічна інженерія. 2025. №2 (96). С. 101-107. https://doi.org/10.26642/ten-2025-2(96)-101-107 .

УДК 004.738.5:004.415.2 Оленченков І. В.[1] , Булаєнко М.В. [2]

ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕРАТИВНИХ НЕЙРОМЕРЕЖ У ПІДГОТОВЦІ ВІЗУАЛЬНОГО КОНТЕНТУ ДЛЯ ЦИФРОВИХ ТОРГОВЕЛЬНИХ СИСТЕМ

Сучасна галузь інтернет-торгівлі (e-commerce) характеризується невпинно зростаючою потребою у високоякісних візуальних матеріалах. Класична предметна зйомка, особливо для таких специфічних нішевих товарів, як збірні дерев'яні конструктори чи діорами, є вкрай фінансово та часозатратною, оскільки вимагає підготовки фізичних декорацій. У цьому контексті інтеграція технологій генеративного штучного інтелекту (ШІ) дозволяє кардинально оптимізувати процес підготовки контенту, замінюючи реальні фотосесії на комп'ютерний синтез оточення [1].

В основі новітніх підходів до генерації зображень лежать дифузійні архітектури нейромереж (наприклад, Nano Banana Pro). Їхня сутність полягає у поетапному перетворенні інформаційного шуму на деталізоване зображення в латентному просторі, орієнтуючись на текстові інструкції (промпти). Як зазначають вітчизняні дослідники, генеративні моделі здатні швидко продукувати унікальний візуальний контент, що суттєво підвищує загальну конкурентоспроможність брендів на цифрових платформах та автоматизує рутинні завдання контент-мейкерів [2]. Крім того, автоматизація візуалу в електронній комерції забезпечує значне скорочення витрат на розробку маркетингових кампаній [3].

У цій роботі розкрито практичний алгоритм формування комерційного візуалу на прикладі збірної дерев'яної моделі диспенсера «Tea Bag House». Виробничий цикл складається з п'яти послідовних кроків.

Крок перший – аудит наявних активів та підготовка вихідних даних. Якщо товарна позиція не має належного презентаційного оформлення, із середовища розробки вивантажується базовий 3D-рендер виробу. Це статичне зображення моделі на нейтральному білому тлі, позбавлене складного освітлення чи реалістичних текстур. Такий первинний візуальний матеріал виступає своєрідним цифровим каркасом для подальшої обробки алгоритмами. Важливою умовою на цьому етапі є збереження високої роздільної здатності та бездоганної чіткості контурів об'єкта. Це гарантує точне розпізнавання геометрії

[1] Студент групи КН 2022-1, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова
[2] Доцент кафедри КНтаІТ, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, к.т.н.,доцент

виробу нейромережею та ефективно запобігає виникненню просторових викривлень чи небажаних артефактів під час майбутнього синтезу фону.



Рисунок 1 – Базовий 3D-рендер виробу «Tea Bag House»

Крок другий – проєктування текстових запитів (промпт-інжиніринг). За допомогою великих мовних моделей (зокрема Gemini) формується детальний опис бажаної сцени. Алгоритми обробки природної мови допомагають задати параметри світла, матеріалів оточення (наприклад, дубовий стіл) та супутніх предметів. Сучасні наукові дослідження підтверджують, що чітке формулювання та персоналізація промптів є критичною умовою для успішної генерації релевантних маркетингових матеріалів, що відповідають очікуванням цільової аудиторії [4].

Крок третій – безпосередній синтез середовища. Використовуючи дифузійну нейромережу Nano Banana Pro, реалізується метод контекстного заповнення (inpainting). ШІ розраховує правильне падіння світла, генерує тіні та гармонійно вписує дерев'яний виріб у створений інтер'єр. Процес алгоритмічної генерації відбувається ітеративно: система продукує кілька альтернативних варіацій фонового оточення, дозволяючи контент-мейкеру обрати найбільш вдалу композицію для подальшої роботи. Більше того, нейромережа здійснює глибокий аналіз фізичних властивостей матеріалів базового рендера, автоматично відтворюючи природні відблиски на дерев'яних поверхнях та коректне розсіювання світла у новому просторі. Такий інноваційний підхід дозволяє зберегти точні геометричні параметри самого товару, водночас формуючи навколо нього емоційно привабливу атмосферу, що є ключовим елементом сучасного візуального маркетингу [2].



Рисунок 2 – Синтезоване нейромережею оточення для моделі

Крок четвертий – графічне вдосконалення та брендування. Згенеровані зображення проходять обов'язкову модерацію в Adobe Photoshop. На цьому етапі нівелюються дрібні артефакти алгоритмічної генерації та проводиться просторова адаптація (за допомогою інструменту Generative Expand) під стандарти різних маркетплейсів. Після цього у векторному редакторі CorelDRAW накладається корпоративна інфографіка. Науковці наголошують, що впровадження гібридної моделі виробництва, де ШІ доповнюється людським експертним контролем, є найефективнішим шляхом для збереження унікальної айдентики бренду та уникнення ризиків стандартизації [2].



Рисунок 3 – Фінальна комерційна обкладинка після постобробки

Крок п'ятий – дистрибуція та SMM-просування. Оформлені обкладинки інтегруються на платформи електронної комерції (Shopify, Etsy) та персональний сайт бренду. Генерується SEO-оптимізований альтернативний текст. Для стимулювання органічного трафіку налаштовується системна публікація візуалів у мережі Pinterest. Інтеграція інструментів ШІ у SMM-стратегії дозволяє не лише генерувати контент, а й оперативно адаптувати його до актуальних алгоритмів соціальних мереж, покращуючи охоплення [3].



Рисунок 4 – Відображення картки товару у цифрових каталогах

Висновки. Застосування генеративних нейромереж докорінно трансформує підходи до розробки візуального контенту в e-commerce. Делегування алгоритмам ШІ завдань зі створення навколишнього середовища для товарів ліквідує необхідність у дорогих фізичних зйомках. Це оптимізує ресурси підприємства та суттєво пришвидшує виведення нових позицій на глобальні ринки (Etsy, Shopify) [3]. Водночас, для забезпечення максимальної конверсії та збереження довіри покупців, алгоритмічна генерація повинна обов'язково супроводжуватися фаховою постобробкою, що підтверджує ефективність гібридного формату взаємодії людини та технологій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Трапаідзе, С. М., & Швецова, К. Г. (2025). Генеративний штучний інтелект у створенні маркетингового контенту для українських компаній. *Економіка та суспільство*, (72). https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-72-161

2. Балабанова, К. Є., Ахтоян, А. Н., & Ефендієв, А. А. (2025). Генеративний штучний інтелект у брендингу та візуальному маркетингу. *Соціальний розвиток: економіко-правові проблеми*, (6). https://doi.org/10.70651/3083-6018/2025.9.15

3. Захарченков, О. С. (2025). Використання інструментів штучного інтелекту для автоматизації створення контенту в електронній комерції та SMM. *Академічні візії*, (44). https://doi.org/10.5281/zenodo.16574980

4. Грижак, В., Борисов, Т., & Дудар, В. (2024). Формування стратегії інтернет-маркетингу із застосуванням ШІ для аналізу поведінкових моделей споживачів в умовах війни. *Галицький економічний вісник, 91*(6), 156–162. https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2024.06.156

УДК 004.9

Алексєєв В.О.[1], Демченко А.В.[2],
Прохоров О.В.[3], Пахомов Ю.В.[4]

МУЛЬТИАГЕНТНІ МОДЕЛІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ, МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ В РОЗПОДІЛЕНИХ IOT-МЕРЕЖАХ

Сучасний етап розвитку Інтернету речей (IoT) характеризується стрімким зростанням кількості підключених пристроїв, ускладненням архітектур мереж, гетерогенністю апаратного та програмного забезпечення, а також зростаючими вимогами до надійності, автономності та безпеки функціонування. Паралельно у штучному інтелекті швидко розвиваються агентні підходи (edge-AI, tool-using, multi-agent, планування з верифікацією, семантична/графова пам'ять, dry-run, оркестрація великих мовних моделей тощо), які дозволяють переходити від пасивної аналітики до керованого управління та пояснюваних дій. У цих умовах особливої актуальності набувають інтелектуальні методи обробки інформації та нові інформаційні технології моніторингу й управління, здатні забезпечити адаптивність, масштабованість і стійкість IoT-інфраструктур.

Тому однією з ключових тенденцій є перехід від пасивної аналітики даних до активних, агентно-орієнтованих підходів, у межах яких система не лише аналізує стан мережі, але й автономно формує та реалізує керуючі дії [1]. У цьому контексті особливе значення мають мультиагентні моделі, що природно відповідають розподіленій сутності IoT. Кожен агент може бути асоційований з окремим пристроєм, вузлом мережі, сервісом або функціональним модулем і виконувати спеціалізовані задачі аналізу, моніторингу, планування або управління. Взаємодія таких агентів дозволяє формувати узгоджену глобальну поведінку системи без необхідності жорсткого централізованого контролю. Сучасні підходи до інтелектуальної обробки інформації в IoT-мережах дедалі частіше ґрунтуються на поєднанні методів машинного навчання, агентного штучного інтелекту та знаннє-орієнтованих моделей. Зокрема, використання нейронних мереж і моделей глибинного навчання дає змогу ефективно працювати з великими обсягами потокових даних, виявляти аномалії, приховані закономірності та ознаки деградації станів. Водночас ці методи потребують доповнення механізмами інтерпретації, валідації та

[1] аспірант, Національний аерокосмічний університет «ХАІ»
[2] аспірант, Національний аерокосмічний університет «ХАІ»
[3] професор кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний аерокосмічний університет «ХАІ», д. т. н., проф.
[4] доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, к. т. н., доц.

контролю, що зумовлює інтеграцію агентних архітектур із формальними правилами, політиками безпеки та графовими моделями знань. Мультиагентний підхід до моніторингу IoT-мереж дозволяє перейти від простого спостереження за параметрами до інтелектуального аналізу причинно-наслідкових зв'язків між подіями, станами пристроїв і зовнішніми впливами. Агенти, оснащені механізмами пам'яті, можуть накопичувати інформацію про попередні стани мережі, типові сценарії збоїв і ефективність керуючих рішень, що створює передумови для адаптивного та контекстно-залежного управління. Застосування семантичної та графової пам'яті дозволяє формувати внутрішню модель середовища, яка підвищує пояснюваність прийнятих рішень і спрощує аналіз поведінки системи.

У задачах управління IoT-мережами мультиагентні системи демонструють особливу ефективність завдяки можливості поєднання реактивних і проактивних стратегій. Локальні агенти, розміщені на периферійних вузлах або edge-пристроях, здатні оперативно реагувати на зміни стану, тоді як агенти вищого рівня виконують функції планування, оптимізації ресурсів і координації. Використання ієрархічних та оркестраційних механізмів дозволяє масштабувати систему та забезпечувати узгодженість дій у великих мережах. Важливою сучасною тенденцією є впровадження агентів, здатних не лише аналізувати інформацію, але й взаємодіяти з зовнішніми інструментами та сервісами, здійснюючи конфігурацію пристроїв, зміну політик або ініціювання діагностичних процедур. Такий підхід перетворює агентів на активні елементи управління IoT-інфраструктурою. Разом із цим зростає роль механізмів безпечного виконання рішень, зокрема попередньої симуляції або «dry-run» сценаріїв, які дозволяють оцінити можливі наслідки керуючих дій до їх реального застосування. З огляду на складність і динамічність IoT-мереж, особливого значення набуває проблема оцінювання ефективності інтелектуальних та мультиагентних рішень. Окрім традиційних показників точності або швидкодії, необхідно враховувати стійкість до збоїв, затримки, енергоспоживання, масштабованість, а також здатність системи підтримувати стабільну поведінку в умовах невизначеності та неповної інформації. У цьому контексті мультиагентні моделі відкривають нові можливості для дослідження емерджентної поведінки та формування інваріантів безпеки.

Висновки. Таким чином, поєднання методів інтелектуальної обробки інформації з мультиагентними підходами до моніторингу та управління формує перспективний напрям наукових досліджень у галузі IoT. Розробка відповідних моделей і інформаційних технологій дозволяє підвищити автономність, адаптивність і надійність IoT-мереж, що є критично важливим для сучасних кіберфізичних систем, розумних міст, промислового Інтернету речей та інших прикладних сфер.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ
1. Kravari, K., Roussi, M., Ladomenou, K., Thysiadou, A., & Chalaris, M. (2025). Intelligent Agent-Based Control of Distributed Sensor Networks for Environmental Monitoring and Disaster Prediction. *Engineering Proceedings*, *104*(1), 38. https://doi.org/10.3390/engproc2025104038

УДК 004.89:338.48

Кіндзерський Н.І.[1], Палка О.В.[2]

ПЕРСОНАЛІЗАЦІЯ ТУРИСТИЧНОГО ДОСВІДУ ЧЕРЕЗ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Повсюдний вплив технології штучного інтелекту (ШІ) фундаментально трансформує галузі промисловості та повсякденне життя. ШІ, емуляція людського інтелекту в машинах наділяє системи здатністю автономно навчатися, міркувати та приймати рішення.

З огляду на трансформаційну еволюцію туристичної галузі, ШІ відіграє ключову роль у покращенні вражень відвідувачів, оптимізації операцій та сприянні сталому управлінню. Рішення на базі ШІ персоналізують та спрощують всю подорож мандрівника, пропонуючи індивідуальні рекомендації щодо планування перед поїздкою, вражень на місці та взаємодії після поїздки [1]. Крім того, ШІ оптимізує операційні процеси, використовуючи прогнозну аналітику та машинне навчання для прогнозування попиту, розподілу ресурсів та управління потоками відвідувачів. Прийняття рішень на основі даних дає можливість ефективно використовувати ресурси та мінімізувати вплив на навколишнє середовище.

Інтеграція штучного інтелекту у туризмі стимулює технологічне та економічне зростання, підвищує безпеку мандрівників. Системи на базі штучного інтелекту аналізують дані в режимі реального часу для виявлення потенційних загроз та реагування на них, забезпечуючи безпечне середовище.

Яскравим прикладом застосування штучного інтелекту в туристичній галузі є зростаюче використання чат-ботів та віртуальних помічників, які забезпечують ефективне та персоналізоване обслуговування клієнтів у режимі реального часу. Такі компанії, як Booking.com, використовують штучний інтелект для покращення взаємодії з клієнтами за допомогою чат-ботів, призначених для аналізу даних користувачів, включаючи історію пошуку та попередні взаємодії, щоб надавати відповідні рекомендації щодо розміщення, такі як типи номерів, розташування та ціни, адаптовані до вподобань клієнтів. Дана

[1] Студент групи СНнм-61, ТНТУ імені Івана Пулюя
[2] Асистент кафедри КН, ТНТУ імені Івана Пулюя, доктор філософії

технологія дозволяє компаніям ефективніше надсилати запити до клієнтів, пропонуючи точні рекомендації, одночасно зменшуючи навантаження на команди обслуговування клієнтів. Крім того, чат-боти на базі штучного інтелекту слугують інструментами комунікації для надання базової інформації та створення більш персоналізованого досвіду, використовуючи дані для відповіді на запити та запити клієнтів у контекстуальному ключі. Перевагою є те, що чат-боти працюють цілодобово, пропонуючи зручність клієнтам у різних часових поясах без часових обмежень, часто пов'язаних з людською взаємодією.

Штучний інтелект також відіграє значну роль в оптимізації маркетингових стратегій у туристичній галузі, глибоко аналізуючи поведінку клієнтів, дозволяючи компаніям створювати більш цільові пропозиції, зменшувати витрати бюджету та підвищувати коефіцієнти конверсії продажів. Штучний інтелект може обробляти та інтерпретувати дані клієнтів у режимі реального часу за допомогою алгоритмів машинного навчання, що дозволяє компаніям розробляти більш релевантні та точні рекламні акції. Наприклад, Expedia, одне з найбільших туристичних агентств світу, використовує ШІ для аналізу даних користувачів на своєму вебсайті, визначаючи моделі поведінки, такі як популярні напрямки або ідеальний час бронювання [2]. Завдяки ШІ компанії можуть керувати маркетинговою стратегією в режимі реального часу, збільшувати конверсії та заохочуючи клієнтів частіше здійснювати покупки турів або бронювати житло.

Інформація про місцезнаходження в режимі реального часу також відіграє важливу роль у сучасних системах розумного туризму. Такі програми, як VisitDubai та Smart Destinations Helsinki, відстежують потоки туристів у режимі реального часу та використовують алгоритми штучного інтелекту для рекомендації менш переповнених туристичних об'єктів. Подібні системи базуються на використанні GPS-даних, відстеження Wi-Fi та інформації з давачів, які аналізуються за допомогою алгоритмів машинного навчання для формування динамічних рекомендацій.

Важливим напрямом розвитку є інтеграція штучного інтелекту з технологіями доповненої реальності (AR), що дозволяє накладати цифровий контент на фізичне середовище. Наприклад, застосунок AR City Tour, який використовується в кількох європейських містах, надає інтерактивні туристичні путівники у вигляді віртуальних аватарів, здатних розповідати інформацію про об'єкти кількома мовами. Штучний інтелект у таких системах забезпечує адаптацію контенту відповідно до мови користувача, його інтересів та доступного часу.

Ще одним перспективним напрямом є використання комп'ютерного зору та технологій розпізнавання облич для персоналізації туристичного досвіду. У розумних тематичних парках, зокрема Tokyo Disney Resort та Shanghai Disneyland, системи

розпізнавання облич дозволяють персоналізувати взаємодію з відвідувачами, рекомендувати атракціони та оптимізувати керування чергами. Це досягається завдяки аналізу відеоданих із допомогою алгоритмів штучного інтелекту.

Окремої уваги заслуговує розвиток емоційно-чутливого штучного інтелекту, який здатний адаптувати інформацію відповідно до емоційного стану користувача. Наприклад, прототип EmoTrip, створений із використанням методів глибокого навчання та розпізнавання міміки, пропонує аудіогіди, які змінюють стиль подачі інформації залежно від настрою, рівня зацікавленості та енергії користувача.

Впровадження описаних технологій штучного інтелекту демонструє суттєвий позитивний вплив на ключові показники туристичної галузі. Зокрема, аналіз ефективності різних ШІ-інструментів підтверджує зростання задоволеності клієнтів та оптимізацію операційних процесів. Детальні статистичні дані щодо впливу конкретних категорій штучного інтелекту на розвиток туризму наведено у таблиці 1, яку сформовано на основі аналізу праці [3].

Таблиця 1 – Вплив ШІ в туристичній сфері

Сфери застосування ШІ	Зростання задоволеності клієнтів (%)	Покращення операційної ефективності (%)	Зниження впливу на довкілля (%)
Рекомендаційні системи на базі ШІ	80	70	40
ШІ-чат-боти та віртуальні помічники	75	65	30
Туристичні гіди з доповненою реальністю	85	50	20
Smart-управління туризмом на основі ШІ	70	85	60
Оптимізація сталого розвитку за допомогою ШІ	65	55	80

Проте інтеграція штучного інтелекту в туристичну сферу супроводжується низкою етичних і соціальних викликів, зокрема проблемами алгоритмічної упередженості, конфіденційності даних та зменшення ролі людської взаємодії. Системи штучного інтелекту, які навчаються на обмежених або нерепрезентативних наборах даних, можуть відтворювати або посилювати існуючі соціальні стереотипи, що призводить до несправедливих або неточних рекомендацій для окремих груп користувачів. Це негативно впливає на якість сервісів і знижує

рівень довіри до цифрових туристичних платформ.

Однією з найбільш актуальних проблем є конфіденційність персональних даних. Сучасні туристичні системи, включаючи чат-боти, системи геолокації та технології розпізнавання облич, збирають значний обсяг персональної інформації користувачів. У багатьох випадках механізми отримання згоди користувачів або пояснення способів використання даних залишаються недостатньо прозорими, що створює ризики порушення права на приватність і може призводити до несанкціонованого використання інформації.

Крім того, широке впровадження штучного інтелекту створює ризик поступового заміщення людської участі у сфері обслуговування. Використання автоматизованих систем може зменшити рівень персоналізації, автентичності та емоційної складової взаємодії, які є важливими елементами туристичного досвіду. У зв'язку з цим науковці наголошують на необхідності впровадження підходів, орієнтованих на співпрацю людини та штучного інтелекту, а не на повну автоматизацію процесів.

Для мінімізації зазначених ризиків дослідники пропонують низку практичних заходів. Зокрема, рекомендується використовувати різноманітні та репрезентативні набори даних для зменшення алгоритмічної упередженості, забезпечувати прозорість алгоритмів і зрозумілі механізми отримання згоди користувачів на обробку даних, а також впроваджувати системи управління даними, що відповідають чинним правовим і етичним стандартам.

Висновки. У постійно мінливій туристичній галузі штучний інтелект (ШІ) постає як трансформаційна сила. Від персоналізації туристичного досвіду до оптимізації операційної ефективності – вплив штучного інтелекту є значним і багатогранним.

Загалом роль інтелектуальних інформаційних систем на основі штучного інтелекту в туризмі є багатогранною, поєднуючи значні можливості розвитку з рядом проблем, що потребують стратегічного підходу для забезпечення технологічного, інклюзивного та сталого майбутнього туристичної галузі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Mishra, D., Das, S., & Patnaik, R. (2024). Application of AI technology for the development of destination tourism towards an intelligent information system. *Economic Affairs, 69*(2), 1083–1095.

2. Nugroho, I. S., Priyanto, D., & Purnama, Y. (2024). Exploring the role of artificial intelligence (AI) in designing and optimizing personalization strategies to enhance customer experience in the tourism industry. *Technology and Society Perspectives (TACIT), 2*(3), 292–298.

3. Leka, E., Aliti, A., Lamani, L., & Hoxha, E. (2024). *The role of artificial intelligence in transforming tourism: Enhancing personalization, engagement, and sustainability*. Polytechnic University of Tirana.

УДК 004.89
Меняк А.В.[1], Берест О.Б.[2]

ФОРМУВАННЯ НАВЧАЛЬНИХ МАТРИЦЬ ДЛЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ОЦІНЮВАННЯ БАНКІВСЬКИХ ТРАНЗАКЦІЙ

Актуальність проблеми оцінювання ризиків банківських транзакцій зумовлена стрімким зростанням обсягів електронних фінансових операцій та відповідним збільшенням кількості шахрайських дій. За даними міжнародних організацій, щорічні збитки від шахрайства вимірюються мільярдами доларів, що робить розроблення ефективних автоматизованих систем виявлення аномалій пріоритетним завданням. Традиційні системи, що базуються на статичних правилах (наприклад, “Red Flags Rule” [1]), не здатні адаптуватися до нових схем шахрайства, що обумовлює необхідність застосування алгоритмів штучного інтелекту (ШІ). Ключовим етапом побудови будь-якої інтелектуальної системи є формування навчальної вибірки даних, від якості якої безпосередньо залежить ефективність класифікаційних рішень.

Пропонується побудова системи підтримки прийняття рішень (СППР) на основі інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІ-технології) [2]. ІЕІ-технологія ґрунтується на принципі максимізації інформаційної спроможності системи в процесі машинного навчання та дозволяє будувати високодостовірні вирішальні правила за умов апріорної невизначеності вхідних даних. Першим та визначальним етапом побудови такої СППР є формування навчальних матриць, що забезпечують коректне функціонування алгоритмів класифікації транзакцій.

Формування вхідного математичного опису СППР оцінювання банківських транзакцій передбачає побудову структурованої навчальної матриці типу “об’єкт-властивість”, де кожний рядок відповідає окремій транзакції, а стовпці — ознакам розпізнавання. У таблиці 1 наведено перелік основних ознак розпізнавання, що формують простір ознак для класифікації банківських транзакцій.

Таблиця 1 – Ознаки розпізнавання банківських транзакцій

№	Ознака	Опис	Одиниці	Діапазон / Тип
1	Сума транзакції	Грошовий обсяг операції	грн	0,01 – ∞
2	Час операції	Момент здійснення транзакції	ГГ:ММ	00:00 – 23:59

[1]Здобувач гр. А-46/КН, Сумський державний університет
[2]Ст. викладач кафедри комп’ютерних наук, Сумський державний університет

№	Ознака	Опис	Одиниці	Діапазон / Тип
3	Тип операції	Категорія фінансової дії	–	переказ, оплата, зняття
4	Геолокація	Місце ініціювання	коорд.	широта, довгота
5	Частота операцій	Кількість операцій за період	од./год	0 – N
6	Відхилення від патерну	Відхилення від типової поведінки	σ	0 – ∞
7	Відношення до обігу	Сума / середньомісячний обіг	%	0 – 100+
8	Канал транзакції	Спосіб здійснення операції	–	онлайн, POS, ATM

Алфавіт класів розпізнавання формується відповідно до рівнів ризику транзакцій. Визначимо множину класів $X = \{X_1, X_2, X_3\}$, де клас X_1 характеризує легітимні транзакції з мінімальним рівнем ризику; клас X_2 відповідає підозрілим транзакціям, які потребують додаткової верифікації; клас X_3 характеризує транзакції з високою ймовірністю шахрайства.

Суттєвою проблемою при формуванні навчальної матриці є значний дисбаланс класів: кількість легітимних транзакцій суттєво перевищує кількість шахрайських. Для вирішення цієї проблеми пропонується застосувати комбінований підхід, що поєднує методи аугментації даних (SMOTE, ADASYN) із інформаційно-екстремальним кластер-аналізом вхідних даних. Кластер-аналіз у рамках IEI-технології дозволяє автоматизувати формування вхідної класифікованої нечіткої навчальної матриці з наступною її адаптацією в процесі машинного навчання.

Процедура формування навчальної матриці складається з наступних етапів. На першому етапі здійснюється збір та попередня обробка деперсоніфікованих транзакційних даних. На другому етапі формується вхідна евклідова нечітка класифікована навчальна матриця $||y(j)||$, де $j = 1, N$ — кількість ознак. На третьому етапі здійснюється перетворення евклідової матриці в бінарну $||x(j)||$ шляхом кодування ознак за рівнем системи контрольних допусків (СКД). Четвертий етап передбачає оптимізацію параметрів СКД за критерієм максимізації інформаційної спроможності системи.

Як інформаційний критерій оптимізації параметрів машинного навчання використовується модифікована міра Кульбака [3]. Для класу X_m критерій обчислюється за формулою:

$$E_m = 1 - \tfrac{1}{2}\cdot[D_{1m}\cdot\log_2(2D_{1m}/(D_{1m}+D_{2m})) + (1-D_{2m})\cdot\log_2(2(1-D_{2m})/(2-D_{1m}-D_{2m}))], \quad (1)$$

де D_{1m} — перша достовірність (ймовірність правильного розпізнавання вектора класу X_m); D_{2m} — хибнопозитивна ймовірність.

Оцінки точнісних характеристик обчислюються за навчальною матрицею:

$$D_{1m} = 1 - k_{1m}/n \; ; \quad D_{2m} = k_{2m}/n, \qquad (2)$$

де k_{1m} — кількість помилок першого роду; k_{2m} — кількість помилок другого роду; n — обсяг репрезентативної вибірки.

Процес машинного навчання полягає в пошуку глобального максимуму усередненого інформаційного критерію:

$$\bar{E}^* = \max (1/M)\sum E_m, \; m = 1,...,M, \qquad (3)$$

де M — потужність алфавіту класів. Оптимізація здійснюється за вектором $g = <d, \delta, r>$, де d — радіус контейнера класу, δ — параметр поля контрольних допусків, r — кількість інтервалів контрольного поля.

Важливим аспектом є визначення мінімального обсягу репрезентативної навчальної вибірки, який забезпечує статистичну стійкість та однорідність результатів навчання [2]. У контексті банківських транзакцій вибірка повинна містити достатню кількість прикладів кожного класу ризику.

Запропонований підхід має ряд переваг: вирішальні правила інваріантні до багатовимірності словника ознак; ІЕІ-технологія забезпечує адаптивність до апріорної невизначеності даних; статистична корекція вирішальних правил усуває необхідність застосування апарату нечіткої логіки.

У роботі обґрунтовано вибір ІЕІ-технології як методологічної основи для побудови СППР оцінювання ризиків банківських транзакцій. Визначено перелік ознак розпізнавання та сформовано алфавіт класів за рівнями ризику. Запропоновано поетапну процедуру формування навчальної матриці, що включає побудову евклідової та бінарної навчальних матриць і оптимізацію параметрів СКД за модифікованою інформаційною мірою. Наведені формули інформаційного критерію дозволяють формалізувати процес машинного навчання та забезпечити побудову високодостовірних вирішальних правил.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Federal Trade Commission. (n.d.). *Red Flags Rule.* https://www.ftc.gov/business-guidance/privacy-security/red-flags-rule/

2. Довбиш, А. С. (2009). *Основи проектування інтелектуальних систем.* Суми: Видавництво СумДУ.

3. Москаленко, В. В., & Довбиш, А. С. (2016). *Вступ до інформаційного аналізу і синтезу інфокомунікаційних систем.* Суми: Сумський державний університет.

УДК 004.9 Веремійчук І.А.[1], Аушева Н.М.[2]

ІНТЕГРАЦІЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ПРОТЕЗУВАННІ: СУЧАСНІ ПІДХОДИ, ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Сучасна стоматологія активно інтегрує цифрові технології, серед яких особливе місце займає штучний інтелект (ШІ). Його впровадження дозволяє підвищити точність діагностики, ефективність лікування та рівень персоналізації медичної допомоги. Однією з найбільш перспективних сфер застосування ШІ є ортопедична стоматологія та протезування, де автоматизація складних етапів проєктування вимагає багато часу та знань.

Класичний процес виготовлення зубної коронки включає зняття відбитка, створення моделі, проєктування, реставрації, виготовлення, примірка та фіксація. Запровадження CAD/CAM-систем дозволило перевести значну частину цього процесу у цифровий формат. Проте традиційні CAD/CAM-рішення здебільшого базуються на використанні бібліотек стандартних форм зубів, що не завжди враховує індивідуальні анатомічні особливості пацієнта [1].

ШІ включає технологічні підгалузі, такі як обробка природної мови (Natural Language Processing, NLP), робототехніка та машинне навчання (ML). ML як підрозділ ШІ, охоплює прикладні методи, які дозволяють алгоритмам навчатися на даних і робити прогнози без явного програмування.[2] Серед основних підходів ML виділяють:[3]

1. Навчання з учителем (Supervised Learning) - алгоритм навчається на розмічених даних, де для кожного вхідного прикладу відомий правильний результат (ground truth). Модель навчається відображати вхідні дані у вихідні, що дозволяє робити точні прогнози на нових даних.

2. Напівконтрольоване навчання (Semi-supervised Learning) - поєднує розмічені та нерозмічені дані, що дозволяє алгоритму використовувати частково мічені дані для підвищення точності прогнозів.

3. Навчання без учителя (Unsupervised Learning) - алгоритм працює з даними без попередньо визначених міток, його завдання - виявити приховані закономірності, структури або взаємозв’язки в даних.

На рис. 1 подано детальний опис класифікації структури розподілу ШІ технологій.

[1] аспірант, КПІ ім. Ігоря Сікорського
[2] д.т.н., проф., КПІ ім. Ігоря Сікорського

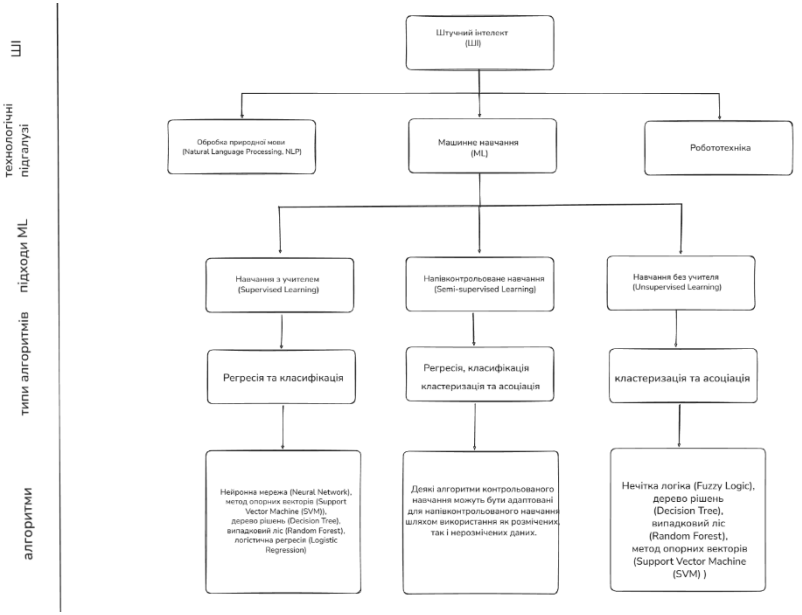


Рисунок 1 - Класифікація ШІ технологій

Сучасні підходи передбачають використання алгоритмів глибокого навчання та генеративних нейронних мереж. Зокрема, 2D-GAN моделі застосовуються для створення коронок шляхом навчання на дизайнерських рішеннях зубних техніків, отримані з тривимірних моделей зубів [4]. Більш прогресивним є використання 3D-DCGAN мереж, які працюють безпосередньо з тривимірними даними та дозволяють створювати анатомічно обґрунтовані реставрації, максимально наближені до форми зуба [5].

Висока точність алгоритмів підтверджується численними дослідженнями. Так, мережа TSegNet для сегментації зубів на 3D-сканованих моделях демонструє точність 0,969 [6]. CNN-моделі для прогнозування відшарування CAD/CAM композитних коронок досягають точності 0,985 [1]. У сфері діагностики карієсу глибокі нейронні мережі забезпечують точність близько 0,94 [7]. Такі показники свідчать про високий потенціал інтеграції ШІ у щоденну практику.

Окрему увагу слід приділити застосуванню ШІ у знімному протезуванні. Цей напрям є складнішим для алгоритмізації через значну кількість факторів: стан слизової оболонки, міжщелепні співвідношення, естетичні параметри обличчя пацієнта. Наразі алгоритми машинного навчання застосовуються переважно для допоміжних задач - класифікації зубних дуг (точність 0,995) [8], прогнозування деформації обличчя після встановлення повного протеза [9], реконструкції цифрової оклюзії [10].

Перевагами впровадження ШІ у протезуванні є підвищення рівня персоналізації лікування, скорочення часу клінічних процедур, зменшення впливу людського фактору та покращення прогнозованості результатів. Алгоритми здатні аналізувати великі масиви даних, враховувати анатомічні особливості та створювати оптимальні рішення з точки зору функціональності.

Разом з тим існують певні обмеження. Для ефективного навчання моделей необхідні великі якісні дата сети, стандартизовані протоколи сканування та зберігання даних. Важливими залишаються питання етичності використання медичної інформації та захисту персональних даних пацієнтів. Крім того, повна інтеграція ШІ у стоматологічну практику потребує адаптації освітніх програм для лікарів та техніків.

Перспективи розвитку пов'язані з поєднанням генеративних моделей із 3D-друком та роботизований системами виготовлення протезів. У майбутньому можливе створення повністю автоматизованих цифрових робочих процесів, де від сканування ротової порожнини до фіксації реставрації проходитиме мінімальний час за максимальної точності.

Висновки: Таким чином, інтеграція штучного інтелекту у протезуванні формує нову парадигму цифрової стоматології, що поєднує алгоритмічну точність із досвідом лікаря. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на розширення стоматологічних випробувань, удосконалення архітектури нейронних мереж та розробки стандартів використання ШІ у медицині.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. S. Yamaguchi., C. Lee. (2019). Predicting the Debonding of CAD/CAM Composite Resin Crowns with AI. *Journal of dental research*, 98(11). https://doi.org/10.1177/0022034519867641

2. M. Najeeb., S. Islam. (2025). Artificial intelligence (AI) in restorative dentistry: current trends and future prospects. *BMC oral health*, 25(592). https://doi.org/10.1186/s12903-025-05989-1

3. F. Tanwir1., O. Ishaq., B. Ijaz. (2025). Role of artificial intelligence (AI) in modern dentistry: A narrative review. *Frontier in medical and health research*, 3(7). 1112-1122. https://doi.org/10.5281/zenodo.17205155

4. J. Hwang1., S. Azernikov., A. Efros., (2018). Learning Beyond Human Expertise with Generative Models for Dental Restorations. *arXiv, https://arxiv.org/abs/1804.00064*.
https://doi.org/10.48550/arXiv.1804.00064

5. S. Tian., M. Wang. (2022). Dental Crown Prosthesis Restoration Using Two-Stage Generative Adversarial Networks. *Journal of Biomedical and Health Informatics*, 26(1), 151-160.

6. Zh. Cui., Li. Changjian. (2021). An efficient and accurate tooth segmentation network on 3D dental model. *Medical Image Analysis*, 69(101949). https://doi.org/10.1016/j.media.2020.101949

7. Jae-Hong Leea., Do-Hyung Kima. (2018). Detection and diagnosis

of dental caries using a deep learning-based CNN algorithm. *Journal of Dentistry*, 77, 106-111. https://doi.org/10.1016/j.jdent.2018.07.015

8. N. Kazunori., T. Takahashi. (2021). A system for designing removable partial dentures using artificial intelligence. *Journal of Prosthodontic Research*, 65, 115-118.

9. C. Cheng., C. Xiaosheng. (2015). Prediction of facial deformation after complete denture prosthesis using BP neural network. *Computers in Biology and Medicine*, 66, 103-112. https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2015.08.018

10. Jian Zhang., James J. Xia. (2017). Reconstruction-based Digital Dental Occlusion. *Journal of Biomedical and Health Informatics*, 21(1), 201-210 https://doi.org/10.1109/JBHI.2015.2500191

УДК 004.65+004.891

Іванов О.О.[1], Овсянник В.Н.[2]

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА АДАПТИВНОГО РОЗПОДІЛУ ДАНИХ У ПОЛІГЕННИХ БАЗАХ ДАНИХ НА ОСНОВІ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ З ПІДКРІПЛЕННЯМ

Сучасні інформаційні системи широко використовують полігенне зберігання даних (polyglot persistence) — підхід, за якого різні типи СУБД застосовуються для різних задач у межах єдиної архітектури. Традиційний статичний розподіл даних між СУБД (PostgreSQL, MongoDB, Cassandra, Redis) приймається на етапі проектування і не адаптується до динамічних змін навантаження, що призводить до субоптимального використання ресурсів та значних адміністративних витрат. Метою дослідження є розробка інтелектуальної системи адаптивного управління полігенними базами даних на основі алгоритмів глибокого навчання з підкріпленням.

Основний матеріал

Запропоновано архітектуру AI Data Manager (AIDM) — інтелектуального посередника між прикладними системами та гетерогенною інфраструктурою СУБД. Система функціонує як autonomous cognitive system та складається з чотирьох ключових компонентів.

Workload Predictor на базі LSTM-мережі (3 шари: 256→128 нейронів з attention-механізмом) прогнозує навантаження на 1–30 діб уперед. Вхідний вектор містить 47 ознак, що охоплюють структурні, семантичні, темпоральні та контекстуальні характеристики запитів. Окрема увага приділена моделюванню специфічних бізнес-циклів:

[1] аспірант, кафедра інформаційних технологій проектування, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

[2] канд. техн. наук, доцент, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

податкові звітні періоди, сезонні коливання агро-, туристичної та роздрібної галузей, святкові дні.

Smart Data Placer реалізовано на основі Dueling Deep Q-Network (DQN) з Prioritized Experience Replay та Double Q-Learning. Простір станів охоплює 73-вимірний вектор (характеристики даних, паттерни доступу, ресурси системи, метрики продуктивності), а простір дій включає 15 стратегій розміщення: одиночні (PostgreSQL, MongoDB, Cassandra, Redis, InfluxDB), гібридні та спеціалізовані конфігурації (CQRS, Event Sourcing, Tiered Storage тощо).

Функція винагороди R(s,a) є багатокритеріальною та враховує: приріст продуктивності запитів, вартість зберігання, витрати на міграцію, складність обслуговування, доступність системи, енергоспоживання, масштабованість та операційну складність. Вагові коефіцієнти адаптуються залежно від фази розвитку бізнесу (Startup, Growth, Mature, Cost-optimization).

Performance Monitor здійснює безперервний збір метрик та забезпечує зворотний зв'язок через online training моделей. Система реалізує concept drift detection для виявлення кардинальних змін у паттернах навантаження. Query Router виконує семантичну маршрутизацію запитів за допомогою Transformer-моделі.

Центральним алгоритмом є ADDA (Adaptive Data Distribution Algorithm), який інтегрує всі підсистеми у безперервний цикл: аналіз даних → прогнозування навантаження → прийняття рішення → виконання міграції → навчання на результатах. Міграції виконуються у режимі zero-downtime; час реакції системи на зміни навантаження — менше 30 секунд.

Експериментальна валідація проводилась на гетерогенній платформі (PostgreSQL, MongoDB, Apache Cassandra, Redis) з використанням реальних наборів даних 12 українських IT-компаній різних розмірів та спеціалізацій протягом 18 місяців.

Результати

Система AIDM продемонструвала такі результати: підвищення швидкості виконання запитів на 35–60%; зниження вимог до обсягу сховища на 20–40%; скорочення адміністративних витрат на 70–80%. Точність прогнозування навантаження за метрикою MAPE: 8,3% (1–24 год.), 12,7% (1–7 днів), 18,9% (1–30 днів). Smart Data Placer забезпечив 94,3% оптимальних рішень щодо розміщення даних. Економічна ефективність підтверджена у секторах FinTech (зниження витрат на ліцензії на 41%), e-commerce (+12% конверсія) та Gaming (+18% задоволеність гравців).

Висновки

Розроблено інтелектуальну систему AIDM для адаптивного управління полігенними базами даних, що поєднує LSTM, DQN та Transformer в єдину архітектуру. Система забезпечує динамічну

оптимізацію розподілу даних у реальному часі, суттєво підвищуючи продуктивність та знижуючи операційні витрати. Практична цінність підтверджена тестуванням на реальних даних українських підприємств. Перспективи розвитку включають інтеграцію з квантовими обчисленнями, edge computing та federated learning для розподілених середовищ.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Fowler, M., & Sadalage, P. J. (2012). *NoSQL distilled: A brief guide to the emerging world of polyglot persistence*. Addison-Wesley Professional.
2. Kraska, T., et al. (2018). The case for learned index structures. In *Proceedings of the 2018 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data* (pp. 489–504).
3. Debnath, B. K., et al. (2020). Automatic database management system tuning through large-scale machine learning. In *Proceedings of the 2020 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data* (pp. 1019–1034).
4. Li, G., et al. (2019). Qtune: A query-aware database tuning system with deep reinforcement learning. *Proceedings of the VLDB Endowment, 12*(12), 2118–2130.
5. Chen, W., et al. (2021). Towards machine learning for query optimization in heterogeneous database systems. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 33*(5), 1956–1969.

УДК 004.9

Дідок В.О.[1], Пан М. П. [2]

МУЛЬТИАГЕНТНА ШІ-СИСТЕМА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ РИНКОВО-ЗНАЧУЩИХ ПОДІЙ У ПОТОКАХ ВІДКРИТИХ ДАНИХ ТА ФОРМУВАННЯ ІНДЕКСУ ГЕОПОЛІТИЧНОЇ НАПРУЖЕНОСТІ

Стрімке зростання обсягів відкритої цифрової інформації ускладнює своєчасне виявлення подій, здатних впливати на фінансові ринки, енергетичні активи та поведінку учасників економічних систем. Новинні потоки, повідомлення у соціальних медіа, офіційні урядові заяви, регуляторні розкриття та інші відкриті джерела формують безперервний інформаційний масив, ручний аналіз якого є повільним, фрагментарним і чутливим до інформаційного шуму. У зв’язку з цим актуальною є задача побудови інтелектуальної системи, здатної в автоматизованому режимі збирати, фільтрувати, інтерпретувати та узагальнювати ринково-значущі сигнали з різнорідних потоків даних.

[1] Магістр спеціальності 122 «Комп’ютерні науки», ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
[2] к. т. н., доцент кафедри комп’ютерних наук та інформаційних технологій, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова

Метою роботи є обґрунтування мультиагентної архітектури ШІ-системи для моніторингу ринково-значущих подій у потоках відкритих даних та формування інтегрального індексу геополітичної напруженості, який може використовуватися як аналітичний інструмент у системах підтримки прийняття рішень. Об'єктом дослідження є процес автоматизованого виявлення та оцінювання подій, що потенційно впливають на ринкове середовище. Предметом дослідження є мультиагентна модель обробки потокових даних на основі великих мовних моделей.

На відміну від традиційних підходів, що передбачають централізований аналіз або використання окремих інструментів моніторингу, мультиагентний підхід дозволяє розподілити функції між спеціалізованими інтелектуальними модулями. У сучасних дослідженнях показано, що мультиагентні LLM-системи здатні ефективно координувати взаємодію між окремими агентами, інтегрувати зовнішні інструменти та забезпечувати гнучке виконання складних завдань [1]. Досвід використання генеративних мовних моделей у прикладних цифрових системах, наведений у роботах [8, 9], підтверджує доцільність їх адаптації для задач інтелектуального аналізу інформації.

Це створює методологічну основу для побудови систем, у яких різні агенти виконують окремі ролі: збір даних, попередню фільтрацію, виділення сутностей, подієвий аналіз, оцінювання достовірності та формування узагальненого висновку.

Запропонована мультиагентна система складається з кількох функціональних рівнів. На першому рівні агент збору даних забезпечує підключення до відкритих джерел: новинних стрічок, соціальних платформ, урядових публікацій, корпоративних розкриттів і тематичних API. Результатом роботи цього агента є нормалізований потік повідомлень, приведений до єдиної структури. На другому рівні агент попередньої обробки виконує очищення потоку: усуває дублікати, відсікає нерелевантний контент, знижує вплив спаму та стандартизує текстові дані. Це особливо важливо для потокового середовища, де значна частина повідомлень не містить аналітичної цінності.



Рисунок 1 – Архітектура мультиагентної ШІ-системи моніторингу ринково-значущих подій у потоках відкритих даних

Наступний рівень представлений агентом виділення сутностей і подій. Його завданням є автоматичне визначення ключових об'єктів повідомлення: країн, компаній, посадових осіб, регіонів, товарів, валют або інших ринково-чутливих категорій. Одночасно виконується класифікація типу події: санкційне рішення, військово-політична ескалація, аварія, зміна регуляторної політики, корпоративне розкриття, різка зміна суспільної реакції тощо. На цьому етапі доцільно використовувати великі мовні моделі як інструмент семантичної інтерпретації тексту, оскільки вони здатні враховувати контекст, приховані зв'язки між сутностями та специфіку предметної області [7]. Водночас у задачах виявлення причинно-наслідкових зв'язків доречно говорити не про встановлення безумовної причинності, а про виявлення гіпотетичних подієвих залежностей, що узгоджується з сучасними підходами до аналізу природної мови [3].

Після цього агент оцінювання достовірності формує вагу повідомлення з урахуванням типу джерела, його репутації, частоти підтвердження події в інших каналах та рівня узгодженості з уже наявним інформаційним контекстом. Такий підхід дає змогу зменшити вплив маніпулятивних або неперевірених повідомлень. Далі агент інтегрального аналізу розраховує індекс геополітичної напруженості (Tension Index), який узагальнює інтенсивність, новизну, достовірність і потенційну ринкову значущість події. На практиці це може бути шкала, що відображає відносний рівень інформаційної напруги у певному регіоні, секторі або для конкретного активу. Зростання такого індексу свідчить не про гарантовану зміну ціни, а про підвищення ймовірності короткострокового ринкового відгуку, що робить його корисним у системах аналітичної підтримки.

Завершальний етап забезпечує агент узагальнення, який генерує коротке текстове пояснення для користувача. Його вихід повинен містити стислий опис виявленої події, перелік ключових сутностей, логіку оцінки важливості та посилання на джерела. Саме наявність пояснюваного результату є важливою перевагою такої системи, оскільки користувач отримує не лише числовий індикатор, а й обґрунтований аналітичний сигнал. Отже, система виконує функцію не автоматичного ухвалення рішень, а інтелектуальної підтримки аналітика, скорочуючи часовий інтервал між появою події та формуванням придатного до інтерпретації висновку.

Практична цінність запропонованого підходу полягає в можливості роботи з відкритими потоками даних у режимі, наближеному до реального часу. Для цього можуть використовуватися глобальні агрегатори новин, сервіси публічних регуляторних розкриттів і потоки суспільних повідомлень [4–6]. Крім того, сучасні дослідження підтверджують доцільність поєднання текстових подій із часовими рядами для підвищення якості аналітичних оцінок і прогнозування,

особливо коли агентна система попередньо відсікає інформаційний шум та виокремлює релевантні новини [2]. Саме тому мультиагентна модель є доцільною для побудови інтелектуальних систем раннього виявлення ринково-значущих подій.

Разом із перевагами слід ураховувати і певні обмеження. По-перше, великі мовні моделі можуть продукувати неточні узагальнення або надмірно впевнені висновки за недостатньої кількості підтверджених даних. По-друге, висока швидкість надходження повідомлень у потоковому режимі потребує ефективних механізмів дедуплікації та пріоритизації. По-третє, достовірність аналітичного сигналу значною мірою залежить від якості джерел і коректності налаштувань агентів. Тому в практичному застосуванні доцільно поєднувати автоматизований аналіз з експертною верифікацією результатів.

Висновки. Запропоновано концептуальну модель мультиагентної ШІ-системи для моніторингу ринково-значущих подій у потоках відкритих даних та формування індексу геополітичної напруженості. Показано, що розподіл функцій між спеціалізованими агентами дає змогу підвищити швидкість обробки потокової інформації, зменшити вплив шуму та сформувати пояснюваний аналітичний сигнал для користувача. Використання великих мовних моделей у складі такої системи є доцільним для семантичного аналізу, класифікації подій і текстового узагальнення. Перспективою подальших досліджень є розроблення формальної моделі розрахунку індексу напруженості, експериментальна перевірка якості сигналів на реальних потоках даних та оцінювання точності системи за метриками релевантності, затримки та стійкості до інформаційного шуму.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Wu, Q., Bansal, G., Zhang, J., Wu, Y., Li, B., Zhu, E., Jiang, L., Zhang, X., Zhang, S., Liu, J., Awadallah, A. H., White, R. W., Burger, D., & Wang, C. (2023). *AutoGen: Enabling next-gen LLM applications via multi-agent conversation*. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.08155

2. Wang, X., Feng, M., Qiu, J., Gu, J., & Zhao, J. (2024). *From news to forecast: Integrating event analysis in LLM-based time series forecasting with reflection*. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.17515

3. Yang, J., Han, S. C., & Poon, J. (2021). *A survey on extraction of causal relations from natural language text*. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2101.06426

4. The GDELT Project. (n.d.). *The GDELT Project*. Retrieved March 3, 2026, from https://www.gdeltproject.org/

5. U.S. Securities and Exchange Commission. (2024). *EDGAR application programming interfaces (APIs)*. Retrieved March 3, 2026, from https://www.sec.gov/search-filings/edgar-application-programming-

interfaces
6. X. (n.d.). *Filtered Stream*. Retrieved March 3, 2026, from https://docs.x.com/x-api/posts/filtered-stream/introduction
8. Бредіхін, В. М., Дідок, В. О., & Черкасова, В. В. (2025). *Розвиток архітектур нейронних мереж: від класичних до інноваційних* [Монографія]. ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. https://eprints.kname.edu.ua/73493/
9. Дідок, В. О., & Пан, М. П. (2024). Оцінка ефективності методів адаптації мовної моделі GPT-4o в освітньому середовищі. *Комунальне господарство міст, 6*(187). https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/6378
10. Дідок, В. О., & Пан, М. П. (2024). Впровадження цифрових двійників на основі GPT-3.5 у закладах вищої освіти. *Комунальне господарство міст, 6*(187). https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/6377

УДК 004.9

Берковський Д.С.[1],Артьомова А.В. [2]

ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМІВ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ У СИСТЕМАХ ВІЙСЬКОВОЇ РОЗВІДКИ

Сучасне проведення військових операцій зазвичай супроводжується з обробкою великого обсягу інформації, що надходить з різних джерел розвідки: супутникових систем, безпілотних літальних апаратів, радіолокаційних станцій та інших сенсорних засобів. Під час аналізу таких даних витрачається багато часу та людських ресурсів, це ускладнює оперативне прийняття рішень у мінливих умовах бойових дій.

У зв'язку з цими факторами актуальним завданням є застосування сучасних методів штучного інтелекту для автоматизації процесів обробки розвідувальної інформації та розпізнавання об'єктів.

Ефективним напрямком розвитку систем аналізу зображень можна назвати використання методів глибокого навчання, наприклад згорткових нейронних мереж [1].

Ці методи дозволяють автоматично виділяти інформативні ознаки на зображеннях та відеопотоках, це підвищує точність виявлення та класифікації об'єктів у складних умовах спостереження.

[1] Аспірант групи F3-105-1, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут».
[2] В.о. зав. кафедри інформаційних технологій проєктування, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», канд. техн. наук, доцент.

У системах військової розвідки такі алгоритми можуть застосовуватися для виявлення техніки противника, визначення типу об’єктів інфраструктури, а також для аналізу змін обстановки на місцевості.

Сучасні алгоритми виявлення об’єктів, а саме моделі типу You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection та Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks дозволяють проводити розпізнавання об’єктів у реальному часі [2]. Алгоритми сімейства YOLO можуть оброблювати відео від деятків до сотен кадрів на секунду, тоді як Faster R-CNN є менш швидким, але забезпечує бульшу точність розпізнавання об’єктів. При обранні алгоритму для конкретної системи розвідки можна спиратися на ці розбіжності у швидкості та точності [3].

Використовуючи цю інформацію можна порівняти швидкість роботи алгоритмів (FPS)(рис. 1) та точность розпізнавання (AP)(рис. 2). Наприклад можна побачити алгоритми YOLO виконують розпізнавання значн швидше, що дозволяє використовувати їх для аналізу відеопотоків у реального часу [1].

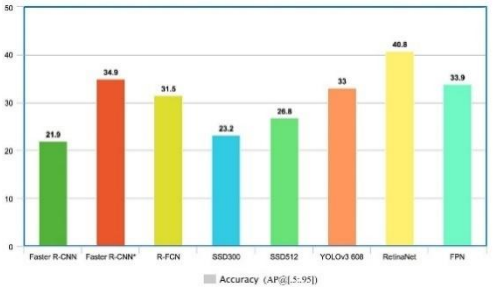


Рисунок 1 – Точность розпізнавання різних алгоритмів [1].

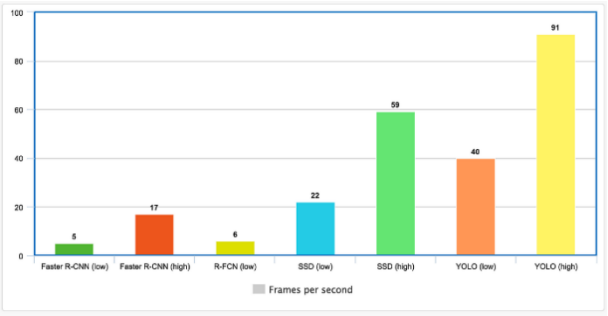


Рисунок 2 – Швидкість розпізнавання різних алгоритмів [1].

Застосування моделей такого типу у розвідувальних системах дозволяє швидко та оперативно обробляти великі масиви відеоданих, які

були отримані з безпілотних апаратів, та автоматично визначати потенційні загрози. Алгоритми глибокого навчання можуть, наприклад, використовуватися для розпізнавання бронетехніки, артилерійських позицій, транспортних колон або логістичних об'єктів противника на основі аерофотознімків [4].

Одним з напрямків розвитку інтелектуальних систем розвідки є використання алгоритмів комп'ютерного зору в багаторівневі системи збору та аналізу інформації. У таких системах дані, що були отримані з різних сенсорів об'єднуються в єдиному середовищі, це робить розпізнавання точнішим і надійнішим [2]. Автоматизований аналіз відеопотоків значно скорочує час для обробки розвідувальної інформації та зменшиує навантаження операторів, які здійснюють моніторинг обстановки під час бойових дій.

Також застосування методів глибокого навчання дає змогу покращити прогнозування змін оперативної ситуації. Аналізуючи послідовностей зображень на відеоданих можна виявляти закономірності у переміщенні техніки супротивника, визначати напрями потенційних наступальних дій та своєчасно виявляти підготовку до бойових операцій. Ці вдосконалення можуть значно підвищити ефективність систем військової розвідки [5].

Висновки. Використання методів глибокого навчання для автоматичного розпізнавання об'єктів у системах військової розвідки зараз є перспективним напрямом розвитку сучасних технологій розвідки та інформаційних технологій в цілому. Інтеграція алгоритмів комп'ютерного зору у розвідувальні системи дозволяє підвищити швидкість і точність обробки даних, також зменшує навантаження на операторів та забезпечити більш ефективне прийняття рішень під час постійно змінюючихся умовах бойових дій. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на удосконалення цих моделей глибокого навчання, проведення їх інтеграції з даними різних джерел розвідки та підвищення стійкості алгоритмів до різноманітних завад та невизначеності середовища.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Object Detection: Speed and Accuracy Comparison (Faster R-CNN, R-FCN, SSD and YOLO). Jonathan Hui. URL: https://jonathan-hui.medium.com/object-detection-speed-and-accuracy-comparison-faster-r-cnn-r-fcn-ssd-and-yolo-5425656ae359 (дата звернення: 05.03.2026).
2. Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A., & Bengio, Y. (2016). *Deep learning* (Vol. 1, No. 2, pp. 1-800). Cambridge: MIT press.
3. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 779-788).

4. Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2016). Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, *39*(6), 1137-1149.
5. Makarichev, V., Tsekhmystro, R., Lukin, V., & Krytskyi, D. (2025). Performance Improvement of Vehicle and Human Localization and Classification by YOLO Family Networks in Noisy UAV Images. *Information*, *16*(12), 1087.

УДК 004.932

Пастушенко М.О.[1], Титаренко А.М. [2]

ZERO-SHOT VISUAL PERCEPTION З ВИКОРИСТАННЯМ VISION-LANGUAGE MODELS ЯК АЛЬТЕРНАТИВА СПЕЦІАЛІЗОВАНИМ МОДЕЛЯМ ДЕТЕКЦІЇ

Задача автоматичного виявлення об'єктів на зображеннях (*object detection*) традиційно розв'язувалась у парадигмі закритого словника: модель навчається на фіксованому наборі класів і принципово не здатна розпізнавати нові категорії без повного перенавчання. Розширення категоріального словника вимагає трудомісткого формування розміченої вибірки для кожного нового класу – процес, що стає економічно нездійсненним при спробі охопити десятки тисяч концепцій [1]. Саме це обмеження стало рушієм для розвитку альтернативної парадигми – виявлення з відкритим словником (*open-vocabulary detection*, OVD) на основі мовно-візуальних моделей.

VLM навчаються на мільярдах пар «зображення–текст» і проектують візуальні ознаки та мовні концепти у єдиний спільний простір векторних представлень (*joint embedding space*). Завдяки цьому модель здатна локалізувати об'єкти, що не були присутні у навчальній вибірці, спираючись виключно на текстовий опис під час виведення результату [2]. Метою даної роботи є порівняльний аналіз ефективності VLM та спеціалізованих детекторів, а також визначення умов, за яких кожна з парадигм є методологічно виправданою.

Серед спеціалізованих детекторів виокремлюють двостадійні та одностадійні архітектури. Двостадійний *Faster R-CNN* реалізує послідовний конвеєр генерування регіонів-кандидатів із подальшою їх класифікацією, що забезпечує високу точність, проте обмежує швидкість виведення до 5–20 кадрів на секунду [3]. Одностадійна архітектура *YOLO* розглядає виявлення як єдину задачу регресії на рівномірній просторовій сітці. Еволюція від YOLOv8 до YOLOv12 демонструє систематичне підвищення швидкості та точності: зокрема, YOLOv12 інтегрував механізм просторової уваги (Area Attention) з

[1] Студент групи КА-33, НТУУ «КПІ ім.Ігоря Сікорського»
[2] Асистент кафедри ММСА, НТУУ «КПІ ім.Ігоря Сікорського, доктор філософії

оптимізацією FlashAttention, розширивши рецептивне поле без суттєвого зростання затримки виведення [4]. Попри ці досягнення, обидва типи архітектур залишаються принципово обмеженими закритим словником.

Механізм узагальнення у VLM є якісно відмінним. Спільний простір векторних представлень є неперервним семантичним континуумом, де закодовано ієрархічні зв'язки, синонімію та атрибути об'єктів. Новий текстовий запит під час виведення перетворюється на вектор у цьому ж просторі, де вже присутні суміжні візуальні концепти, а ступінь відповідності обчислюється через косинусну подібність із температурним масштабуванням [2]. Серед ключових архітектур слід виокремити такі. *OWLv2* адаптує CLIP для щільної локалізації шляхом збереження повної просторової сітки токенів у візуальному трансформері; масштабоване самонавчання на 10 мільярдах пар WebLI дозволяє суттєво підвищити повноту виявлення рідкісних категорій без ручного анотування [5]. *Grounding DINO* реалізує глибоке мультимодальне злиття на трьох архітектурних рівнях – на рівні агрегації ознак, при відборі запитів декодера та в кожному шарі крос-модального декодера – що забезпечує безперервну взаємодію між текстовими та візуальними ознаками [6]. *YOLO-World* повертає можливості відкритого словника у режим реального часу: текстові векторні представлення кодуються один раз і кешуються у вагах класифікатора, що усуває потребу запускати важкий текстовий енкодер при обробці кожного кадру [7].

Кількісне оцінювання проводилось на двох контрольних наборах даних. Набір *COCO* у режимі *zero-shot* перевіряє здатність до перенесення знань на 80 стандартних категоріях без використання тренувальних даних *COCO*. Набір *LVIS*, що містить понад 1200 категорій із вираженим важким хвостом розподілу [1], оцінює реальну здатність до узагальнення через метрику APr (середня точність на рідкісних категоріях). Результати наведено в таблицях 1 та 2.

Таблиця 1 – Показники моделей на контрольному наборі *COCO* (zero-shot, Box AP при IoU = 0.5)

Модель	**Backbone**	**Zero-Shot AP (*COCO*)**	**Примітки**
GLIP	Swin-L	49.8	27M пар зображення–текст
Grounding DINO 1.0	Swin-L	52.5	Стандарт OVD, 2023
Grounding DINO 1.6 Pro	Custom ViT	55.4	Grounding-30M
YOLO-World V2-L	YOLOv8-L	~39.3	52+ кадрів/с, режим реального часу

Таблиця 2 – Показники моделей на контрольному наборі *LVIS*

Модель	**LVIS-minival AP**	**LVIS-val AP**	**APr (рідкісні)**
YOLO-World (L)	35.4	25.1	16.4
OWLv2 (ST+FT)	47.0	—	44.6
Grounding DINO 1.6 Pro	57.7	51.5	49.3
DINO-X Pro	59.8	52.4	56.5

Аналіз результатів виявляє принципову закономірність: YOLO-World демонструє конкурентоспроможне значення AP (~39.3) на наборі *COCO*, проте показник APr на наборі *LVIS* становить лише 16.4. Це підтверджує, що поверхове злиття модальностей, характерне для CNN-архітектур із кешованими векторними представленнями, не забезпечує достатньої семантичної глибини для узагальнення на рідкісних концепціях [7]. DINO-X Pro досягає APr 56.5 – приріст понад 40 одиниць, що є емпіричним підтвердженням визначальної ролі глибокого багаторівневого злиття модальностей [8].

Практичне застосування VLM пов'язане з суттєвими обмеженнями. Обчислювальна складність операцій взаємної уваги є квадратичною відносно кількості токенів, що зумовлює затримку виведення 10–16 секунд на зображення у Grounding DINO 1.5 Pro [6], тоді як YOLOv11 досягає 170–1120 кадрів на секунду. Не менш принциповим є зміщення домену (*domain shift*): на наборі даних Kaputt (промислові дефекти) значення AUROC у режимі *zero-shot* становило 56.96%, тоді як спеціалізовані дотреновані моделі досягали 94.27% [9]. Аналогічна картина спостерігається в медичній діагностиці: точність VLM на радіологічних знімках у режимі *zero-shot* не перевищує 2% [10]. Окремою проблемою залишається чутливість до формулювання текстового запиту: заміна одного синоніма здатна спричинити суттєві та важко передбачувані коливання метрик [11].

На підставі виявлених властивостей сформульовано практичні рекомендації. Для систем реального часу та вбудованих пристроїв при відомому статичному словнику оптимальним є цільове дотренування архітектур серії YOLO; за необхідності підтримки відкритого словника зі збереженням вимог до швидкості – YOLO-World. Для задач із широким динамічним категоріальним простором рекомендовано OWLv2. Задачі розуміння референційних виразів (*Referring Expression Comprehension*) та максимальна точність локалізації потребують Grounding DINO або DINO-X Pro. У доменах зі специфічним розподілом вхідних даних безпосереднє застосування VLM у режимі *zero-shot* є методологічно неприйнятним; рекомендованою стратегією є двоетапний конвеєр «вчитель–учень» (*teacher–student pipeline*): VLM як

інструмент напівавтоматичного формування розмітки з подальшим дотренуванням спеціалізованої моделі [9].

Висновки. Мовно-візуальні моделі та спеціалізовані детектори вирішують принципово відмінні класи задач і є взаємодоповнювальними інструментами. VLM методологічно обґрунтовані там, де формування достатньої розміченої вибірки є нездійсненним: виявлення з відкритим словником, розподіли з важким хвостом, розуміння референційних виразів. Кількісно це підтверджується різницею APr між DINO-X Pro (56.5) та YOLO-World (16.4) на наборі LVIS [8]. Водночас у системах реального часу та доменах зі специфічним розподілом вхідних даних традиційні підходи залишаються незамінними. Перспективним напрямом є розробка ефективних методів адаптації VLM до вузькоспеціалізованих доменів із мінімальними витратами на розмітку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Gupta, A., Dollar, P., & Girshick, R. (2019). LVIS: A dataset for large vocabulary instance segmentation. Proceedings of the IEEE/CVF CVPR, 5356–5364. https://doi.org/10.1109/CVPR.2019.00550

2. Bangalath, A., Maaz, M., Khattak, M. U., Khan, S. H., & Cholakkal, H. (2022). Bridging the gap between object and image-level representations for open-vocabulary detection. Advances in Neural Information Processing Systems, 35, 33781–33794.

3. Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2015). Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks. Advances in Neural Information Processing Systems, 28.

4. Tian, Y., Ye, Q., & Doermann, D. (2025). YOLOv12: Attention-centric real-time object detection. arXiv:2502.12524. https://arxiv.org/abs/2502.12524

5. Minderer, M., Gritsenko, A., & Houlsby, N. (2023). Scaling open-vocabulary object detection. Advances in Neural Information Processing Systems, 36. https://arxiv.org/abs/2306.09683

6. Liu, S., Zeng, Z., Ren, T., Li, F., Zhang, H., Yang, J., & Zhang, L. (2023). Grounding DINO: Marrying DINO with grounded pre-training for open-set object detection. arXiv:2303.05499. https://arxiv.org/abs/2303.05499

7. Cheng, T., Song, L., Ge, Y., Liu, W., Wang, X., & Shan, Y. (2024). YOLO-World: Real-time open-vocabulary object detection. Proceedings of the IEEE/CVF CVPR, 16901–16911.

8. Ren, T., Chen, Q., Liu, S., Li, W., Zeng, A., Zhang, J., & Zhang, L. (2024). DINO-X: A unified vision model for open-world object detection and understanding. arXiv:2411.14347. https://arxiv.org/abs/2411.14347

9. Amazon Science. (2024). Novel "Kaputt" dataset sets new benchmark for large-scale visual defect detection. https://www.amazon.science/blog/novel-kaputt-dataset

10. Roboflow. (2025). Roboflow100-VL: A multi-domain object detection benchmark for vision-language models. arXiv:2505.20612. https://arxiv.org/abs/2505.20612

11. Janisch, J., Pevny, T., & Vítů, V. (2024). A retrospective analysis of automated image labeling for eyewear detection. Electronics, 13(23), 4763. https://doi.org/10.3390/electronics13234763

УДК 004.9

Сазонов І. А[1]., Костенко О. Б[2].

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЇ У ВЕЛИКИХ БАЗАХ ДАНИХ

Вступ. Розширення та розвиток великих баз даних приводить до того, що неможливо аналізувати інформацію у сирому вигляді. Без продуктивної обробки «сира» інформація стає непотрібною та незрозумілою. Саме тому існує проблема аналізувати, обробляти та актуалізувати інформацію, яка використовуються у великих базах даних [1].

Сучасні алгоритми дозволяють проаналізувати певну інформацію за певними параметрами. Завдяки використанню глибинного навчання, можна створити нові методи обробки та аналізу інформації у великих базах даних. Одним із таких напрямків є інтелектуальний аналіз та обробка інформації у великих базах даних.

Основна частина. Інтелектуальний аналіз інформації – це концепція, яка дозволяє аналізувати дані різної природи, у тому числі і величезних обсягів, які можуть бути різнорідними та неточними. При аналізі можна оцінювати різні параметри, які залежать від певних методів та засобів, що використовуються при аналізі великих баз даних. При цьому можна виявити певні тенденції та закономірності, які можуть бути невідомими при традиційному аналізі та обробці інформації.

Основними перевагами використання інтелектуального аналізу інформації (ІАД) є наступні факти [2]:

- Стрімке накопичення даних (об’єм інформації вже рахується екзабайтами);
- Загальна автоматизація виробничих та бізнес-процесів);
- Широке використання мережі Інтернету у всіх сферах діяльності;
- Розвиток інформаційних технологій, великих баз даних та використання хмарних сховищ.

Сфера використання інтелектуального аналізу є необмеженою, а методи застосування використовуються у розробці проєктів та автоматизації підприємств. Метод пришвидшує процес розробки

[1] Студент групи Аспір Комп 2025, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[2] Доцент кафедри КНІТ, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, канд. фіз.-мат. наук.

проєктів та дає підвищену конкурентоздатність підприємства.

Алгоритми, що використовуються в ІАД, вимагають великої кількості обчислень. Раніше це було стримувальним чинником широкого практичного застосування ІАД, проте сьогоднішнє зростання продуктивності сучасних процесорів зняло гостроту цієї проблеми. Таким чином, можна обробляти понад мільярд операцій у секунду [3].

Процес інтелектуального аналізу складається з двох або трьох стадій.

1 стадія. Виявлення закономірностей. Здійснюється процес пошуку певних закономірностей у базах даних.

2. стадія. Прогностичне моделювання. Проводиться пошук невідомих значень та їх можливий прогноз. Проводиться перевірка достовірності певних значень.

3 стадія. Аналіз виключень. Проводиться пошук та аналіз можливих аномалій у базах даних. Проводиться розрахунок норми та можливе відхилення від значення норми. Можливе використання як процесу очищення даних [4].

При цьому процес інтелектуального аналізу дозволяє добувати потрібні закономірності, параметри інформації, а використання моделі глибинного навчання дозволяє перевіряти та знаходити приховані елементи та закономірності у великих базах даних шляхом глибинного аналізу даних і перетворення у детальну та зрозумілу інформацію.

Висновок. Інтелектуальний аналіз – це процес виявлення прихованих закономірностей та взаємозв'язків, який пришвидшує аналіз та обробку інформації у великих базах даних.

Використання ІАД у моделях глибинного навчання пришвидшує процес оперування над даними та використовуються у процесах прогнозування, класифікації, пошуку певних закономірностей. Результати можна легко інтерпретувати, а сам процес складається з двох або трьох стадій аналізу закономірностей.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сторчак, К. П., Тушич, А. М., Козелкова, К. С., & Степанов, М. М. (2018). Інтелектуальний аналіз даних з використанням нейронних мереж. *Зв'язок*, (4), 17–19.

2. Лєнков, С. В., Джулій, В. М., Горбатюк, О. М., & Берназ, Н. М. (2014). Концептуальна схема системи інтелектуальної обробки даних. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*, (46), 181–190.

3. Xianjun, N. (2008). Research of data mining based on neural networks. *World Academy of Science, Engineering and Technology, 15*, 381–384.

Yang, J., Parikh, D., & Batra, D. (2016). Joint unsupervised learning of deep representations and image clusters. In *Proceedings of the IEEE*

Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) (pp. 5147–5156)

УДК 004.85

Патіка Д.Є.[1]

ПОКРАЩЕНІ ПІДХОДИ ДО ПЕРЕДОБРОБКИ ДАНИХ ДЛЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ

Прогнозування часових рядів є фундаментальною задачею в енергетиці, фінансах, медицині та промисловості, де точність передбачення безпосередньо впливає на прийняття рішень. З розвитком глибоких нейронних мереж, зокрема LSTM та Transformer-архітектур, дослідники дедалі більше визнають, що якість вхідних даних є не менш важливим чинником точності, ніж складність самої моделі. Проте більшість практичних реалізацій досі спираються на стандартний підхід передобробки, який не враховує специфіки реальних зашумлених та нестаціонарних рядів.

Стандартний підхід до передобробки даних для часових рядів у задачах прогнозування включає такі кроки:

1. перевірку цілісності - усунення пропусків і аномалій,
2. кодування ознак - таких як дати, типи, категорії та інші,
3. розподіл на навчальну, валідаційну, тестову множини,
4. глобальну нормалізацію - використовуючи метод MinMax до [0,1] діапазону або стандартизацію,
5. формування вхідних-вихідних послідовностей - переважно методом ковзного вікна.

Попри свою поширеність, такий підхід має суттєві обмеження при роботі з реальними часовими рядами. Основна проблема стандартного підходу полягає у припущенні, що дані є стаціонарними та "чистими" після усунення явних аномалій. На практиці, нормалізація у стандартному підході застосовується до сирих даних, які нерідко містять високочастотний шум, який стандартна нормалізація не усуває, а лише масштабує, та має нестаціонарні компоненти, такі як непостійна дисперсія та середнє значення. Метод MinMax є особливо чутливим до викидів, бо навіть одне екстремальне значення здатне стиснути решту ряду у вузький діапазон, що ускладнює градієнтне навчання нейронної моделі. Крім того, глобальна нормалізація, обчислена на навчальній вибірці, може бути непридатною для інших відрізків часового ряду у валідаційному і тестовому наборах. У сучасних наукових дослідженнях пропонуються покращені підходи до передобробки даних, які дозволяють підвищити якість прогнозування.

[1] аспірант кафедри КТ, ДНУ ім. Олеся Гончара

Одним зі способів вирішення проблеми глобального масштабування є адаптивна нормалізація. В цьому випадку масштабування робиться на фрагменті ряду або одному вікні. Наприклад, у методі Slicing Adaptive Normalization (SAN)[1] нормалізація виконується на рівні часових зрізів, а окремий модуль моделює еволюцію статистичних властивостей, що краще узгоджується з нестаціонарними даними, ніж глобальне масштабування. Інший спосіб полягає у введені в мереж шару, що адаптує нейромережу до нестаціонарності даних. Прикладом такого підходу є Deep Adaptive Input Normalization (DAIN)[2] шар, який навчається краще масштабувати дані та дозволяє ефективніше працювати навіть із "сирими" рядами.

Популярним напрямом дослідження є використання вейвлет-перетворень (WT)[3]. На відміну від перетворення Фур'є, яке дає лише частотну інформацію, втрачаючи часову локалізацію, WT забезпечує багатомасштабний аналіз, розкладаючи сигнал на апроксимуючі, низькочастотні, та деталізуючі, високочастотні, дані. Це дозволяє контрольовано зменшувати зашумленість, зберігаючи корисні високочастотні компоненти, які можуть нести важливу інформацію, або зробити композицію нейронних моделей, одна з яких навчається на високочастотних даних, а інша - на низькочастотних. Інший підхід боротьби із шумом полягає у використані згладжуючих методів та фільтрів, наприклад фільтру Савіцького-Голея. Цей фільтр згладжує ряд через локальну поліноміальну регресію на ковзному вікні, добре зберігаючи локальні екстремуми й форму сигналу. У сучасних роботах його нерідко використовують [4].

Висновки. Якість прогнозування часових рядів нейронними мережами визначається не лише архітектурою моделі, а й тим, наскільки адекватно етап передобробки враховує реальну природу зашумлених і нестаціонарних даних. Стандартний конвеєр із глобальною нормалізацією та ковзним вікном нерідко виявляється недостатнім, оскільки лише масштабує шум і приховану нестаціонарність.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Liu, Z., Cheng, M., Li, Z., Huang, Z., Liu, Q., Xie, Y., Chen, E. (2023). Adaptive Normalization for Non-stationary Time Series Forecasting: A Temporal Slice Perspective. *37th International Conference on Neural Information Processing Systems*, pp. 14273-14292. https://doi.org/10.52202/075280-0628

2. Passalis, N., Tefas, A., Kanniainen, J., Gabbouj, M., Iosifidis, A. (2019). Deep Adaptive Input Normalization for Time Series Forecasting. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, pp(99):1-6. https://doi.org/10.1109/TNNLS.2019.2944933

3. Zhang, Z., Qin, J., Sun, D., Zhang, Z., Ma, J., Feng, X., Zhang, H. (2025). MWENet: Multi-Wavelet Enhanced Network for seasonal-trend

analysis in long-term forecasting. *Neurocomputing*, vol. 649, 130730. https://doi.org/10.1016/j.neucom.2025.130730

Liu, S., Xu, T., Du, X., Zhang, Y., Wu, J. (2024). A hybrid deep learning model based on parallel architecture TCN-LSTM with Savitzky-Golay filter for wind power prediction. *Energy Conversion and Management*, vol. 302, 118122. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118122

УДК 004.8:510.62

Галавай О.М.[1], Шкільняк С.С.[2]

НЕЧІТКЕ РОЗШИРЕННЯ АВТОЕПІСТЕМІЧНОЇ ЛОГІКИ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ НЕМОНОТОННИХ МІРКУВАНЬ

Вступ. Немонотонні логіки відіграють важливу роль у моделюванні процесів міркування в системах штучного інтелекту. Одним із найбільш відомих формалізмів у цій сфері є програмування множин відповідей (Answer Set Programming – ASP), яке використовується для декларативного опису складних задач. У межах ASP задача формулюється у вигляді набору логічних правил, а розв'язок відповідає одній із можливих множин відповідей, що задовольняють ці правила.

Водночас автоепістемічна логіка запропонована Р. Муром [1], дозволяє формалізувати міркування експерта щодо власних знань та вірувань. В такій логіці вводиться модальний оператор вірування $\mathcal{B}$, за допомогою якого можна моделювати висловлення виду «експерт вірує, що предикат X є істинним».

З іншого боку, нечіткі логіки дозволяють працювати з істиннісними значеннями не лише у бінарному форматі (істина або фальш), а й у вигляді ступенів істинности з інтервалу $[0,1]$. Це в свою чергу дає можливість моделювати часткову істинність тверджень та працювати з неперервними або неповними даними.

В поданій роботі пропонується поєднання цих двох підходів – впровадження концепту нечіткої автоепістемічної логіки, яка дозволяє описувати переконання експерта щодо ступенів істинности певних властивостей.

Програмування множин відповідей базується на правилах виведення вигляду $\alpha \rightarrow \beta$, де α є кон'юнкцією літералів (засновком), а β – диз'юнкцією літералів (висновком). В цьому контексті літералом називатимемо атом A або його заперечення $\neg A$. Множина α може містити множину розширених літералів з операторами «заперечення як

[1] Аспірант катедри теорії та технології програмування, Київський національний університет імені Тараса Шевченка

[2] Доктор фізико-математичних наук, професор катедри теорії та технології програмування, Київський національний університет імені Тараса Шевченка

відмова» (*negation-as-failure)*: $not\ A$, який означає, що твердження не може бути доведено, а предикат A вважається хибнісним. Таким чином, в ASP використовуються два типи заперечень: традиційне заперечення $\neg A$, що означає доведену хибність, та $not\ A$, що означає неможливість доведення істинности [2].

Наявність другого типу заперечення обумовлене використанням припущення про замкнений світ (Closed World Assumption – CWA), суть якого полягає в тому, що якщо факт не можливо вивести з наявної бази знань, він вважається хибним. Це робить ASP прикладом немонотонних міркувань, де додавання нової інформації може призвести до втрати раніше отриманих висновків.

Формально множина відповідей (answer set) визначається як мінімальна інтерпретація I, що задовольняє всі логічні правила програми. Для програм, які містять оператор *negation-as-failure*, використовується редукція Гельфонда-Ліфшіца P^I [3]. Вона будується індуктивно наступним чином:

1. Видалення з програми усіх правил, що містять заперечення $not\ A$, де $A \in I$.
2. Видалення всіх операторів $not\ A$ з решти правил.

Отримана програма P^I не містить заперечень. Якщо I збігається з мінімальною моделлю цієї редукованої програми ($I = Cn(P^I)$), то I є множиною відповідей.

Автоепістемічна логіка є розширенням традиційної пропозиційної логіки, для якої введено модальний оператор вірування $\mathcal{B}$. Якщо φ є формулою, то $\mathcal{B}\varphi$ означає, що експерт вірить в істинність φ. Такий підхід дозволяє формалізувати міркування, що базуються на відсутности знань. Наприклад, формула $\neg BP \rightarrow Q$ означає, що якщо експерт не вірить в істинність P, то можна зробити висновок Q [4].

Інтерпретація таких формул задається через можливі світи. Формально істинність визначається відносно пари (I, S), де I – фактичний світ (інтерпретація), S – множина можливих світів, що представляє переконання експерта.

Позначимо через L мову всіх пропозиційних формул Fp над множиною A, а через $L_{\mathcal{B}}$ – розширення L оператором вірування $\mathcal{B}$. Формули без оператора $\mathcal{B}$ назвемо об'єктивними, а формули з $L_{\mathcal{B}}$ – унімодальними.

Автоепістемічною теорією називатимемо множину унімодальних формул. Визначимо її наступним чином $A' = A \cup \{\mathcal{B}\varphi \mid \varphi \in L_{\mathcal{B}}\}$, що є нескінченною множиною навіть тоді, коли A є скінченною.

Автоепістемічна логіка призначена для моделювання переконань ідеального раціонального експерта, який рефлексує над власними переконаннями. Вони повинні задовольняти певним умовам замкнености: містити все, що експерт може вивести за допомогою

традиційної пропозиційної логіки, а також шляхом рефлексії над тим, у що він вірить. Автоепістемічна логіка відіграє важливу роль у теоретичному обґрунтуванні семантики ASP, оскільки множини відповідей можуть бути представлені як стабільні розширення відповідних автоепістемічних теорій.

Нечітка автоепістемічна логіка. В цьому формалізмі поєднаємо ідеї автоепістемічної логіки та нечіткої логіки. Він описує інструментарій для міркування про ступінь переконаности експерта в тому, що одна або декілька властивостей виконуються. Формули в нечіткій автоепістемічній логіці будуються з множини атомів A, констант $\bar{c}$, де $\forall c \in [0,1]$, множини $\mathcal{F} = \bigcup_{n\in N} F_n$, де F_n – множина n-арних функцій f, а також модального оператора $\mathcal{B}$, що інтерпретується як «віруємо, що істина». Мову нечіткої автоепістемічної логіки позначатимемо через $\hat{L}_{\mathcal{B}}$.

Як і в класичній автоепістемічній логіці, виділимо об'єктивні та унімодальні формули. Нечітка автоепістемічна теорія в $\hat{L}_{\mathcal{B}}$ – це множина формул в $\hat{L}_{\mathcal{B}}$. Переконання експерта можуть бути представлені у вигляді нечітких автоепістемічних теорій. Як і раніше, визначимо $A' = A \cup \{\mathcal{B}\varphi \mid \varphi \in \hat{L}_{\mathcal{B}}\}$.

Введемо узагальнення стабільних розширень автоепістемічної теорії E, яке визначається так, що множина класичних моделей $T \cup \{\mathcal{B}\varphi \mid \varphi \in E\} \cup \{\neg\mathcal{B}\varphi \mid \varphi \notin E\}$ збігається з множиною моделей E. Зауважимо, що якщо є узгодженою класичною моделлю $\{\mathcal{B}\varphi \mid \varphi \in E\} \cup \{\neg\mathcal{B}\varphi \mid \varphi \notin E\}$, то це означає, що $\mathcal{B}\varphi \in I \Leftrightarrow \varphi \in E$. Для нечітких множин I' та E це можна узагальнити, вимагаючи, щоб $[\mathcal{B}\varphi]_{I'} = E(\varphi)$.

Означення 1. Розглянемо нечітку автоепістемічну теорію T у $\hat{L}_{\mathcal{B}}$ та $E \in \mathcal{F}(\hat{L}_{\mathcal{B}})$. E назвемо нечітким стабільним розширенням теорії T, якщо $\forall\, \alpha \in \hat{L}_{\mathcal{B}}\ \ E(\alpha) = \inf\{[\alpha]_{I'} \mid I' \vDash T, \forall\varphi \in \hat{L}_{\mathcal{B}}\ [\mathcal{B}\varphi]_{I'} = E(\varphi)\,, I' \in \mathcal{F}(A')\}$.

Висновки. У роботі запропоновано новий формалізм – нечітку автоепістемічну логіку, яка поєднує можливості модального міркування про переконання експерта та нечіткої логіки зі ступенями істинности. Основні результати дослідження полягають в тому, що було описано класичну автоепістемічну логіку та формалізовано програмування множин відповідей. Крім того, було введено концепцію формальної семантики нечіткої автоепістемічної логіки, яку буде розглянуто детальніше в наступних працях.

Отримані результати поглиблюють розуміння семантики нечіткого програмування множин відповідей та створюють основу для подальших досліджень у сфері немонотонного міркування та нечітких логічних систем.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Moore, R. (1983). Semantical considerations on nonmonotonic

logic. In *Proceedings of the Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence* (pp. 272–279).

2. Baral, C. (2003). *Knowledge representation, reasoning and declarative problem solving*. Cambridge University Press.

3. Janssen, J., Schockaert, S., Vermeir, D., & De Cock, M. (2009). General fuzzy answer set programs. In *Proceedings of the International Workshop on Fuzzy Logic and Applications* (pp. 353–359).

Stalnaker, R. (1993). A note on non-monotonic modal logic. *Artificial Intelligence, 64*(2), 183–196.

УДК 004.9

Задворний С.О.[1], Іванов О.В. [2] , Нічепорук А.О. [3]

МЕТОД АНАЛІЗУ НАДІЙНОСТІ IOT-ІНФРАСТРУКТУР НА ОСНОВІ РЕДУКЦІЇ БІНАРНИХ ДІАГРАМ РІШЕНЬ

Стрімкий розвиток технологій Інтернету речей (IoT) призвів до появи великої кількості взаємопов'язаних пристроїв, що використовуються у різних сферах. Такі системи включають сенсорні вузли, шлюзи, комунікаційні модулі та центральні платформи керування. Через складну структуру та взаємозалежність компонентів виникає проблема забезпечення високої надійності функціонування IoT-інфраструктур.

У системах IoT значна кількість сенсорних пристроїв підключається до мережі через шлюзи або базові вузли. У випадку відмови шлюзу підключені до нього сенсори можуть втратити зв'язок із системою, що призводить до деградації або повної відмови всієї інфраструктури. Крім того, сенсорні вузли можуть піддаватися різним типам відмов, зокрема локальним апаратним збоям або відмовам, що поширюються мережею та впливають на інші компоненти системи. Такі залежності значно ускладнюють процес аналізу надійності системи та вимагають використання ефективних методів моделювання.

Одним із ефективних підходів до аналізу надійності складних технічних систем є використання бінарних діаграм рішень (БДР). Бінарні діаграми рішень представляють булеві функції у вигляді орієнтованого ациклічного графа, що дозволяє ефективно виконувати обчислення ймовірності відмови системи та визначати критичні компоненти. Порівняно з традиційними методами аналізу, такими як дерева відмов, БДР дозволяють зменшити обчислювальну складність задачі та підвищити ефективність аналізу великих систем.

Однак при застосуванні класичних БДР-методів виникає

[1] Студент групи КІ2м-24-1, Хмельницький національний університет

[2] Доцент кафедри КІІС, Хмельницький національний університет, к. т. н., доцент

[3] Доцент кафедри КІІС, Хмельницький національний університет, к. т. н., доцент

проблема значного збільшення розміру діаграми при моделюванні складних IoT-інфраструктур. Велика кількість вузлів та зв'язків між ними призводить до зростання кількості логічних комбінацій, що ускладнює побудову та аналіз моделей. Для вирішення цієї проблеми застосовується метод редукції бінарних діаграм рішень, який дозволяє оптимізувати структуру БДР шляхом усунення надлишкових вузлів та об'єднання ізоморфних підграфів.

Таким чином мета роботи полягає у підвищенні ефективності аналізу надійності IoT-інфраструктур шляхом застосування методу редукції бінарних діаграм рішень для моделювання відмов та їх взаємозалежностей.

Запропонований метод передбачає побудову логічної моделі системи, яка описує взаємозв'язки між компонентами IoT-інфраструктури, такими як сенсори, шлюзи та комунікаційні канали. На першому етапі формується структура системи у вигляді дерева відмов, де визначаються основні події відмов та логічні залежності між ними. Далі виконується перетворення отриманої моделі у бінарну діаграму рішень, що відображає всі можливі стани системи. Після побудови БДР виконується процедура редукції діаграми. Вона включає видалення дубльованих вузлів, об'єднання однакових підграфів та усунення зайвих логічних переходів. Завдяки цьому значно зменшується кількість вузлів у графі, що дозволяє підвищити швидкість обчислень та знизити витрати пам'яті під час аналізу системи.

Процес реалізації методу можна подати у вигляді таких етапів:

1. Формування структурної моделі IoT-системи та визначення основних компонентів і зв'язків між ними.
2. Побудова дерева відмов для опису можливих сценаріїв відмов системи.
3. Перетворення дерева відмов у бінарну діаграму рішень.
4. Виконання редукції БДР шляхом усунення ізоморфних підграфів і надлишкових вузлів.
5. Обчислення показників надійності системи на основі отриманої редукованої діаграми.

Висновки: Таким чином, використання бінарних діаграм рішень із застосуванням процедури редукції є перспективним підходом для аналізу надійності IoT-систем. Запропонований метод дозволяє враховувати складні залежності між компонентами інфраструктури, підвищує точність оцінювання надійності та може бути використаний для проектування більш стійких і відмовостійких IoT-мереж.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Wang, Y., Xing, L., Wang, H., & Levitin, G. (2015). Combinatorial analysis of body sensor networks subject to probabilistic competing failures. *Reliability Engineering & System Safety*, 142, 388–398. https://doi.org/10.1016/j.ress.2015.06.005

Su, P., & Wang, G. (2020). Reliability analysis of network systems subject to probabilistic propagation failures and failure isolation effects. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: *Journal of Risk and Reliability*. https://doi.org/10.1177/1748006X19893547

УДК 004.9

Гурський В.Ю.[1], Березька К.М. [2] , Нічепорук А.О. [3]

АРХІТЕКТУРА ВІДДАЛЕНОЇ ВЕРИФІКАЦІЇ KUBERNETES POD'ІВ ДЛЯ EDGE-ПРИСТРОЇВ НА БАЗІ RASPBERRY PI

Розвиток концепції edge-обчислень сприяв активному використанню розподілених обчислювальних платформ, розгорнутих безпосередньо поблизу джерел даних. Такі системи широко застосовуються у промислових IoT-мережах, системах моніторингу, розумних містах та автономних керованих середовищах. Для реалізації контейнеризованих застосунків у таких середовищах часто використовується платформа оркестрації контейнерів Kubernetes, яка забезпечує автоматизоване розгортання, масштабування та управління контейнерними застосунками [1].

Разом із перевагами edge-обчислень зростають і ризики безпеки. Edge-пристрої часто розміщуються у фізично доступних або недостатньо захищених середовищах, що створює потенційні можливості для компрометації програмного забезпечення. У таких умовах важливою задачею є забезпечення перевірки цілісності програмного забезпечення, яке виконується на віддалених вузлах, без необхідності фізичного доступу до них [2]. Одним із ключових механізмів вирішення цієї задачі є віддалена верифікація, що дозволяє перевірити стан віддаленої системи за допомогою криптографічних механізмів та апаратних засобів довіри.

Запропонована архітектура спрямована на забезпечення віддаленої верифікації Kubernetes pod'ів у середовищі edge-обчислень, де обмежені ресурси, фізична доступність пристроїв і підвищений ризик компрометації вимагають посиленого контролю цілісності виконання. Архітектура нативно інтегрується в Kubernetes кластер без модифікації його ядра та базується на стандартних механізмах розширюваності платформи, зокрема Custom Resource Definitions (CRD) і користувацьких контролерів, що дозволяє реалізувати функції верифікації як частину керуючої логіки кластера.

У запропонованій моделі edge-пристрої, зокрема одноплатні

[1] Студент групи КІ2м-24-1, Хмельницький національний університет
[2] Доцент кафедри КІІС, Хмельницький національний університет, к. т. н., доцент
[3] Доцент кафедри КІІС, Хмельницький національний університет, к. т. н., доцент

комп’ютери Raspberry Pi, виконують роль робочих вузлів кластеру. Такі пристрої розміщуються безпосередньо на периферії мережі та відповідають за виконання контейнеризованих застосунків у вигляді pod’ів, часто у фізично незахищеному або напівдовіреному середовищі. Саме ця особливість edge-інфраструктури зумовлює необхідність апаратно підкріпленої верифікації стану як самих вузлів, так і запущених на них pod’ів.

Контрольні та верифікаційні компоненти архітектури розміщуються на головному вузлі Kubernetes, який може бути реалізований як окремий сервер або більш потужний edge-шлюз. Вони відповідають за координацію процесів верифікації, зберігання довірених еталонів, перевірку криптографічних доказів та прийняття рішень щодо довіреності pod’ів. Взаємодія між головним вузлом та edge-вузлами здійснюється виключно через Kubernetes API, що забезпечує узгодженість із декларативною моделлю керування та спрощує масштабування системи.

На кожному Raspberry Pi розгортається спеціалізований агент, який виконується з підвищеними привілеями та взаємодіє з апаратними і програмними механізмами довіри пристрою. У межах даної роботи Raspberry Pi розглядається як edge-платформа, здатна виступати верифікатором, використовуючи програмний TPM 2.0 як корінь довіри та підсистему Linux Integrity Measurement Architecture для збору вимірювань виконуваного коду. Це дозволяє формувати криптографічно захищені докази цілісності, що відображають реальний стан pod’ів на edge-вузлі.

Висновки: Таким чином, ключовим архітектурним рішенням є представлення станів вузлів, pod’ів і процесів верифікації у вигляді користувацьких ресурсів Kubernetes. Такий підхід дозволяє інтегрувати механізм віддаленої верифікації в подієву модель Kubernetes і забезпечує автоматичну реакцію системи на зміни стану edge-вузлів або pod’ів. У результаті верифікація pod’ів стає безперервним процесом, тісно пов’язаним із життєвим циклом застосунків, що особливо важливо для edge-сценаріїв із динамічним навантаженням і частими оновленнями.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Rostampour, S., Bagheri, N., Bendavid, Y., Safkhani, M., Kumari, S., & Rodrigues, J. J. (2022). An authentication protocol for next generation of constrained IoT systems. *IEEE Internet of Things Journal*, 9, 21493–21504.

Ding, X., Wang, X., Xie, Y., & Li, F. (2021). A lightweight anonymous authentication protocol for resource-constrained devices in Internet of Things. *IEEE Internet of Things Journal*, 9, 1818–1829.

УДК 004.9 Дідик Д.С.[1], Войчур Ю.О. [2] , Нічепорук А.О. [3]

МЕТОД МАРШРУТИЗАЦІЇ ДАНИХ У БЕЗПРОВІДНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ МОБІЛЬНОЇ БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ

Стрімкий розвиток Інтернету речей (IoT) призвів до появи мільярдів автономних пристроїв, об'єднаних у безпровідні сенсорні мережі (WSN). Проте функціонування таких мереж обмежене низькою енергоємністю батарей сенсорів та проблемою «гарячих точок» (hotspot), коли вузли поблизу стаціонарної базової станції виснажуються значно швидше за інші. Традиційні протоколи часто не забезпечують гнучкості при мобільності збирача даних, що призводить до втрат пакетів та затримок [1, 2]. Тому розробка методів маршрутизації, що адаптуються до руху мобільного хабу, є актуальним науковим завданням.

Мета роботи полягає у підвищенні показника успішної доставки пакетів та часу життя мережі шляхом розробки методу маршрутизації на основі мобільної базової станції.

В основі методу лежить використання центральної координаційної області у формі хреста, яка складається з опорних пристроїв, що розташовані на перетині вертикальної та горизонтальної смуг у центрі мережі. Такий підхід дозволяє детермінувати шляхи передачі даних незалежно від траєкторії руху хабу.

Процес реалізації методу включає наступні ключові етапи:

1. Формування координаційної області та кластеризація: серед опорних пристроїв проводиться ітеративна кластеризація. Вибір голови кластера базується на показнику ступеня зв'язності та залишкової енергії, а формування груп – на критерії максимальної спільної суміжності вузлів, що забезпечує високу щільність з'єднань.
2. Побудова багатошляхового дерева маршрутизації: дерево «росте» від чотирьох граничних пристроїв на периферії координаційної зони до геометричного центру. Кожен вузол обирає основного та альтернативного «батька» за мінімальною відстанню до центру, що гарантує відмовостійкість системи.
3. Секторна ідентифікація: мережева площина розділяється на вісім секторів. Кожен периферійний пристрій самостійно визначає свій сектор за кутовим положенням відносно центру, що дозволяє миттєво обирати найкоротший шлях до координаційної області без зайвого службового трафіку.

[1] Студент групи КІ2м-24-1, Хмельницький національний університет
[2] Старший викладач кафедри КІІС, Хмельницький національний університет, ДФ
[3] Доцент кафедри КІІС, Хмельницький національний університет, к. т. н., доцент

4. Управління мобільним хабом: при зупинці хаб обирає шлюзовий пристрій (gateway), враховуючи мінімальну відстань та максимальну енергію кандидата. Шлюз поширює інформацію про позицію хабу в дерево, встановлюючи зворотний маршрут для передачі даних.

5. Удосконалення процесу передачі даних. Передача від джерела до хабу здійснюється на основі модифікованого коефіцієнта локації, який враховує залишкову енергію сусіда, відстань до цільової точки та якість радіоканалу:

$$\varepsilon(x) = w_1 \cdot \overline{R_x} + w_2 \cdot \overline{LQ_x} - w_3 \cdot D_x$$

де $\overline{R_x}$ – нормалізований рівень енергії, $\overline{LQ_x}$ – нормалізований рівень якості сигналу, D_x – відстань від сусіднього пристрою, w_1, w_2, w_3 – вагові коефіцієнти, причому $w_1 + w_2 + w_3 = 1$.

Для перевірки методу було використано дискретно-подійний симулятор OMNeT++ 6.3.0 з модулем Castalia [3]. Оцінка ефективності запропонованої моделі маршрутизації проводилася шляхом порівняння показника коефіцієнта успішної доставки пакетів (PDR). Порівняння пропонованого протоколу маршрутизації здійснювалось із протоколом для сенсорних мереж LBDD. Обидва протоколи порівнювались при різних швидкостях руху мобільного хаба, зокрема було обрано значення: 5 м/с, 7 м/с та 10 м/с. Симуляції виконувалися в середовищі OMNeT++ з однаковими початковими умовами: мережа з 50 статичних сенсорних вузлів у квадратній області 1000 × 1000 м, координаційна область у формі хреста з шириною гілок 200 м, початкова енергія вузлів 20 Дж, генерація пакетів з експоненціальним інтервалом (середнє 2 с), розмір пакета 512 біт.

На рисунку 2 представлено залежність PDR від швидкості руху хабу. При швидкості 5 м/с PDR запропонованої моделі становить 94%, тоді як у LBDD – 88%. При 7 м/с значення знижуються відповідно до 91% та 84%. При швидкості 10 м/с PDR запропонованої моделі падає до 87%, а LBDD – до 81%. Різниця пояснюється наявністю багатошляхового дерева та зворотного маршруту, що дозволяє швидше адаптуватися до зміни позиції хабу, тоді як LBDD чутливіший до віддалення sink від фіксованої лінії, що призводить до більших втрат пакетів при високих швидкостях (рис. 1).

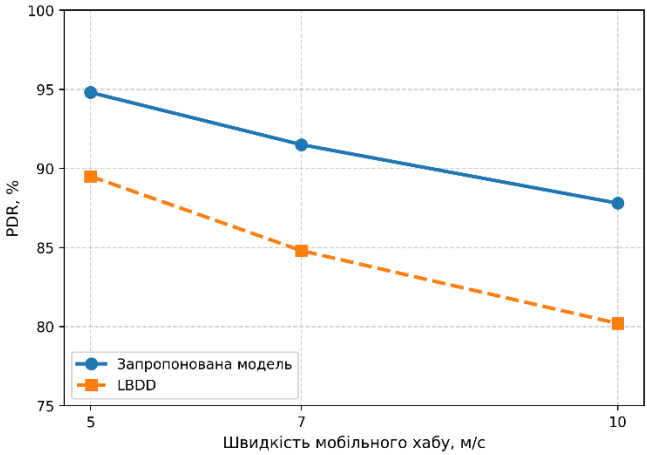


Рисунок 1 – Залежність PDR від швидкості руху хабу

Висновки: Запропонований метод маршрутизації досить ефективно вирішує проблему «гарячих точок» та забезпечує стабільні показники доставки даних в умовах високої мобільності базової станції. Використання хрестоподібної координаційної зони у поєднанні з багатошляховим деревом дозволяє рівномірно розподіляти енергетичне навантаження, що робить цей підхід перспективним для систем екологічного моніторингу та промислової автоматизації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Branco, H. M. G. C., Oleskovicz, M., Coury, D. V., & Delbem, A. C. B. (2018). Multiobjective optimization for power quality monitoring allocation considering voltage sags in distribution systems. *Int. J. Electr. Power Energy Syst*., 97, 1–10.

2. Bottura, F. B., & Oleskovicz, M. (2023). Optimal allocation of power quality monitors considering short-duration voltage variations and parallel harmonic resonance conditions in power distribution systems. *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, 144, Article 108580

3. OMNeT++. (n.d.). OMNeT++ Discrete Event Simulator. https://omnetpp.org/

УДК 004.8:519.6 Єзерська О.А.[1], Пилипенко А.І. [2]

АНАЛІЗ ЧУТЛИВОСТІ МЕТРИК ОЦІНЮВАННЯ МОДЕЛЕЙ ДО КВАНТИЗАЦІЇ ТА ПОХИБОК ОКРУГЛЕННЯ

З розвитком машинної арифметики числові обчислення стали ключовим елементом сучасних систем машинного навчання та аналізу даних, а їх результати є критично важливими для прийняття рішень у різних прикладних задачах [4]. Проте на практиці більшість числових значень зберігаються та обробляються з обмеженою точністю, що призводить до появи похибок округлення. Такі похибки можуть накопичуватися та впливати на кінцеві результати моделювання [2, 3].

Сучасні обчислювальні платформи дозволяють використовувати високоточну арифметику для зменшення таких похибок, однак це супроводжується зростанням витрат пам'яті та обчислювальних ресурсів [4]. У зв'язку з цим у сучасних системах машинного навчання все ширше застосовуються методи квантизації та обчислень з низькою точністю, які передбачають зменшення точності числового представлення даних і параметрів моделей. Такі підходи дозволяють зменшити обсяг пам'яті, прискорити обчислення та підвищити ефективність використання апаратних ресурсів під час навчання та розгортання моделей [7].

Однак зниження точності числового представлення може впливати не лише на результати прогнозування моделей, але й на значення статистичних метрик, що використовуються для оцінювання їх якості. Тому дослідження чутливості метрик оцінювання до зниження числової точності є актуальною задачею.

Для дослідження впливу похибок округлення на результати обчислень було обрано кілька поширених метрик: **MAE (Mean Absolute Error), MSE (Mean Squared Error), RMSE (Root Mean Squared Error), MAPE (Mean Absolute Percentage Error) та** NMB (Normalized Mean Bias)**.** Метою даної роботи є про**аналізувати чутливість обраних метрик до похибок округлення та обмеженої машинної точності** під час обчислень. Зокрема, як зміна точності представлення чисел може впливати на значення метрик.

MAE визначається як середнє значення абсолютних відхилень між фактичними та прогнозованими значеннями:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|y_i - x_i|}{n}, \quad (1)$$

[1] Студентка групи ІПЗ-22, Київський національний університет імені Тараса Шевченка

[2] Доцент кафедри програмних систем і технологій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, к. т. н., доцент

де y_i – істинне значення, x_i – прогнозоване значення, n – кількість спостережень. MSE обчислюється як середнє значення квадратів різниці між фактичними та прогнозованими значеннями [5]:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - x_i)^2}{n}. \quad (2)$$

RMSE є квадратним коренем із значення MSE та дозволяє представити похибку у вихідному масштабі даних. MAPE обчислює середнє значення абсолютних відсоткових похибок між прогнозованими та фактичними значеннями:

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{y_i - x_i}{y_i}\right|}{n} * 100. \quad (3)$$

NMB характеризує середнє зміщення прогнозу відносно фактичних значень і нормалізується на суму фактичних значень [1]:

$$NMB = \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - x_i)}{\sum_{i=1}^{n}(x_i)}. \quad (4)$$

Для оцінювання впливу числової точності обчислень на значення наведених метрик (1-4) було проведено експерименти. Метою першого є оцінка впливу точності числового представлення на результати обчислення метрик похибки. У його межах було сформовано набір фактичних значень та прогнозів. Обчислення метрик виконувалося з використанням двох типів числового представлення: float32 та float64. Після цього було визначено абсолютну та відносну різницю між значеннями метрик, отриманими при використанні цих форматів. Результати наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Вплив точності числового представлення на значення метрик

Метрика	**float32**	**float64**	**Абсолютна похибка**	**Відносна похибка**
MAE	0.0796332881	0.0796332558	3.226×10^{-8}	4.051×10^{-7}
MSE	0.0100210560	0.0100210449	1.113×10^{-8}	1.110×10^{-6}
RMSE	0.1001052260	0.1001051693	5.673×10^{-8}	5.667×10^{-7}
MAPE	0.0834597796	0.0834597476	3.202×10^{-8}	3.837×10^{-7}
NMB	0.0000135400	0.0000135398	1.233×10^{-10}	9.103×10^{-6}

Аналіз результатів показує, що використання різних форматів числового представлення призводить до дуже незначних відмінностей у значеннях метрик - відносні похибки не перевищують 1.11×10^{-6}. Серед досліджуваних показників найбільшу відносну похибку демонструє

MSE, що пояснюється квадратуванням похибок у її формулі, через яке навіть малі числові неточності дещо посилюються. Метрики MAE, RMSE та MAPE мають близькі значення відносної похибки, що свідчить про їх відносну стабільність при зміні точності обчислень. Найменшу абсолютну похибку серед розглянутих метрик показує NMB, оскільки нормалізація сумарної похибки відносно суми істинних значень компенсує накопичення числових неточностей.

Метою другого експерименту є оцінка того, як штучне округлення значень фактичних та прогнозованих даних впливає на обчислення статистичних метрик оцінювання моделі. Для цього використовувався той самий набір даних, що й у попередньому експерименті. Фактичні та прогнозовані значення округлювалися до різної кількості десяткових знаків: без округлення, до 3 знаків, до 1 та до цілого числа. Після кожного рівня округлення обчислювалися значення обраних метрик. Результати наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Вплив рівня округлення даних на значення метрик якості

Рівень округ-лення	**MAE**	**MSE**	**RMSE**	**MAPE**	**NMB**
no_round	0.0796332	0.010021	0.100105	0.083460	1.354×10^{-5}
round_3	0.0796333	0.010021	0.100105	0.083460	1.351×10^{-5}
round_1	0.0800500	0.011753	0.108411	0.084174	1.351×10^{-5}
round_0	0.0790000	0.079000	0.281069	0.083201	1.601×10^{-5}

Отримані результати показують, що вплив округлення даних на значення метрик залежить від типу метрики та її математичної формули. При округленні до трьох знаків зміни метрик мінімальні (менше 10^{-6}), що свідчить про практично відсутній вплив такого рівня округлення на результати оцінювання моделі. При округленні до одного знаку після коми вплив стає помітнішим: MSE збільшується на 17%, RMSE – на 8%, а MAE - приблизно на 0,5%. Це свідчить про зростання середньої похибки внаслідок втрати точності даних.

Найбільші зміни спостерігаються при округленні до цілих значень. У цьому випадку **MSE** зростає у вісім разів, а **RMSE** – майже у три рази. Метрики **MAE** та **MAPE** виявилися більш стійкими до округлення, оскільки вони не підсилюють великі похибки настільки сильно. Метрика **NMB** практично не змінюється при різних рівнях округлення, що свідчить про її низьку чутливість до втрати точності даних.

Висновки. Дослідження показало, що використання різної точності числового представлення призводить до незначних змін значень метрик. Найбільш чутливою до зниження точності виявилася метрика MSE, що пояснюється використанням квадрату похибки у її формулі. Подібну поведінку демонструє і RMSE, оскільки вона безпосередньо залежить від значення MSE. Натомість метрики, що базуються на абсолютній або відносній похибці, демонструють вищу стійкість до втрати точності. Метрика NMB виявилася практично нечутливою до рівня округлення, що пояснюється частковою компенсацією випадкових відхилень під час обчислення сумарного зміщення.

Отримані результати свідчать, що більшість розглянутих метрик залишаються відносно стабільними при використанні стандартної одинарної точності (float32), яка широко застосовується у сучасних системах машинного навчання. Водночас значне зниження точності даних або груба квантизація можуть призводити до суттєвого спотворення значень окремих метрик, передусім квадратичних. Це необхідно враховувати під час застосування таких методів та інших підходів low-precision computing при оцінюванні якості моделей.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Tobias Schlosser, Michael Friedrich, Trixy Meyer, Danny Kowerko. (2024). A Consolidated Overview of Evaluation and Performance Metrics for Machine Learning and Computer Vision. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=de&user=fklpO3IAAAAJ&citation_for_view=fklpO3IAAAAJ:Zph67rFs4hoC

2. Ningning Zhao, Z.D. Bai. (2013). Analysis of rounded data in measurement error regression. *Journal of the Korean Statistical Society*, 42 / 3, 415 – 429. Analysis of rounded data in measurement error regression - ScienceDirect

3. Amar Ahmad. (2024). A Note on Rounding Error in The Variables: Understanding Its Influence on Statistical Estimators. *La Matematica*, 3, 865 – 890. https://link.springer.com/article/10.1007/s44007-024-00123-z

4. Théo Beuzeville, Alfredo Buttari, Serge Gratton, Theo Mary. (2026). Deterministic and probabilistic rounding error analysis of neural networks in floating-point arithmetic. *IMA Journal of Numerical Analysis, 130*. https://hal.science/hal-04663142/document

5. S. Oswalt Manoj, J. P. Ananth, M. Rohini, Balan Dhanka, N. Pooranam, Sajeev Ram Arumugam. (2022). FWS-DL: forecasting wind speed based on deep learning algorithms. *Artificial Intelligence for Renewable Energy Systems*, 353 – 374. FWS-DL: forecasting wind speed based on deep learning algorithms - ScienceDirect

6. Yiming Fang, Li Chen. (2024). Statistical Rounding Error Analysis for Random Matrix Computations. https://arxiv.org/abs/2405.07537

7. Soheil Hashemi, Nicholas Anthony, Hokchhay Tann, R. Iris Bahar, Sherief Reda. (2016). Understanding the Impact of Precision Quantization on the Accuracy and Energy of Neural Networks. *DATE '17: Proceedings of the Conference on Design, Automation & Test in Europe,* 1478 – 1483. https://arxiv.org/pdf/1612.03940

УДК 004.8

Гриценко О.М.[1], П'ятаченко В.Ю.[2]

ГІБРИДНИЙ ПІДХІД ДО ЕКСТРАКЦІЇ БАГАТОМАСШТАБНИХ ОЗНАК ІЗ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ YOLO

Сучасні задачі комп'ютерного зору дедалі частіше потребують не лише детектування об'єктів, а й виконання складніших аналітичних операцій, таких як трекінг, прогнозування поведінки об'єктів, інтеграція різнорідних даних або підтримка прийняття рішень у реальному часі. У таких умовах використання монолітних end-to-end моделей не завжди є оптимальним, оскільки вони обмежують можливість гнучкого використання проміжних ознак та їх подальшої обробки у спеціалізованих моделях [1].

Незважаючи на високу точність сучасних end-to-end моделей комп'ютерного зору, їх застосування у складних прикладних системах часто обмежується значними обчислювальними витратами та недостатньою гнучкістю архітектури. У таких моделях усі етапи обробки даних — від аналізу зображення до формування рішення – реалізуються в межах єдиної нейронної мережі, що ускладнює адаптацію системи до специфічних крайових сценаріїв без повного перенавчання моделі.

Одним із можливих підходів до подолання цих обмежень є використання модульних або гібридних архітектур, у яких окремі етапи обробки, зокрема детекція об'єктів, екстракція ознак та прийняття рішень, реалізуються незалежними компонентами [2]. У такій архітектурі моделі сімейства YOLO (You Only Look Once) можуть використовуватися як ефективний модуль багатомасштабної екстракції ознак, що дозволяє поєднати переваги глибоких нейронних мереж із гнучкістю класичних моделей машинного навчання.

Моделі сімейства YOLO є ефективними детекторами об'єктів, що поєднують високу швидкодію з достатньою точністю в задачах комп'ютерного зору. Проте їх використання як універсальної end-to-end моделі для повного циклу аналізу даних не завжди є оптимальним, оскільки поєднання всіх етапів обробки в межах однієї архітектури

[1] Аспірант групи А-46/КН, Сумський державний університет
[2] PhD,асистент кафедри комп'ютерних наук, Сумський державний університет

обмежує гнучкість системи. У зв'язку з цим перспективним є підхід до побудови гібридних архітектур, у яких YOLO використовується як окремий модуль детекції об'єктів та екстракції релевантних ознак [3].

У такій архітектурі детектор виконує попередню локалізацію значущих областей зображення та передає до наступних етапів лише інформацію, що містить релевантні об'єкти. Це дозволяє зменшити розмірність простору ознак і знизити обчислювальну складність подальшої обробки [4].

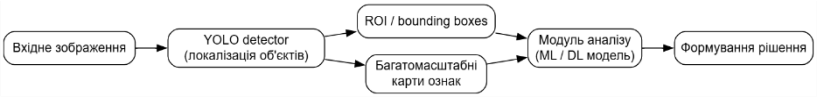


Рисунок 1 – Архітектура гібридної моделі на основі YOLO

Крім того, попередньо натренований детектор може використовуватися як універсальний екстрактор візуальних ознак, що сприяє підвищенню узагальнювальної здатності системи та зменшує ризик перенавчання [5]. Модульна архітектура також забезпечує можливість незалежного оновлення окремих компонентів без необхідності повного перенавчання всієї моделі.

Запропонований підхід має кілька важливих переваг. Архітектури сімейства YOLO оптимізовані для швидкого виконання на edge-пристроях та підтримують використання апаратного прискорення. Завдяки цьому екстракція ознак може виконуватися з високою швидкістю навіть у системах реального часу [1].

Оскільки моделі YOLO попередньо натреновані на великих датасетах, сформовані ними карти ознак містять семантичну інформацію про просторове розташування об'єктів. Це дозволяє використовувати їх як попередньо сформований простір ознак та прискорює навчання гібридної моделі на невеликих спеціалізованих вибірках [3]. Крім того, архітектура YOLO формує карти ознак для кількох масштабів одночасно, що дозволяє ефективно обробляти об'єкти різного розміру в межах одного зображення [2]. Це є важливим для задач, у яких об'єкти інтересу можуть суттєво змінювати масштаб у кадрі [4].

Попри ці переваги, побудова гібридної архітектури потребує ретельного проєктування інтерфейсів між її модулями. Надмірна редукція інформації на етапі детекції може призвести до втрати важливого контексту, зокрема фонових об'єктів або просторових взаємозв'язків між елементами сцени. Тому доцільним є підхід, за якого до наступного етапу передаються не лише координати виявлених об'єктів, а й проміжні карти ознак, що містять багаторівневу просторову та семантичну інформацію [5].

Аналіз сучасних досліджень свідчить, що гібридні архітектури можуть забезпечувати кращий баланс між швидкодією та гнучкістю порівняно з монолітними end-to-end моделями. Перенесення частини обчислень на етап попередньої екстракції ознак дозволяє зменшити навантаження на наступні модулі та застосовувати складніші алгоритми аналізу навіть на пристроях з обмеженими обчислювальними ресурсами [4, 5]. Модульна структура також підвищує масштабованість системи, оскільки окремі компоненти можуть вдосконалюватися незалежно один від одного без необхідності повного перенавчання всієї моделі.

Додатковою перевагою є можливість аналізу проміжних представлень даних. Наявність шару ознак дозволяє контролювати якість детекції та локалізувати джерела помилок системи, що значно складніше реалізувати у глибоких end-to-end моделях [2].

Висновки. Отже, використання моделей сімейства YOLO як модуля попередньої екстракції ознак у складі гібридних архітектур є перспективним підходом до побудови систем комп'ютерного зору, орієнтованих на роботу в умовах обмежених обчислювальних ресурсів. Такий підхід дозволяє відокремити етап локалізації об'єктів від подальшого аналізу, що підвищує гнучкість системи та спрощує інтеграцію різних алгоритмів машинного навчання.

Водночас ефективність гібридної архітектури суттєво залежить від способу передачі інформації між модулями. Надмірна редукція даних на етапі детекції може призводити до втрати контекстної інформації, тоді як передавання повних карт ознак підвищує обчислювальні витрати. Тому одним із ключових напрямів подальших досліджень є пошук оптимального балансу між компактністю представлення ознак і збереженням семантичної інформації.

Перспективними також є дослідження впливу різних стратегій екстракції багатомасштабних ознак, інтеграція гібридної архітектури з мультимодальними системами аналізу даних, а також оцінювання ефективності такого підходу на різних прикладних задачах комп'ютерного зору.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Huang, Y., Jiao, D., Huang, X., Tang, T., & Gui, G. (2024). A hybrid CNN-Transformer network for object detection in optical remote sensing images. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing.* doi:10.1109/JSTARS.2024.3483253.

2. Zhang, Z., Lu, X., Cao, G., Yang, Y., Jiao, L., & Liu, F. (2021). *ViT-YOLO: Transformer-based YOLO for object detection.* Paper presented at the Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops.

3. Wang, J., Li, X., Chen, Y., & Zhao, H. (2024). Enhancing object detection in remote sensing: A hybrid YOLOv7 and transformer approach

with automatic model selection. *Remote Sensing, 16*(1), 51. doi:10.3390/rs16010051.

4. Huang, L., & Chen, J. (2024). Basketball dribbling action recognition and performance evaluation based on YOLO-Pose and LSTM. *Proceedings of SPIE, 13166*, 131660Q. doi:10.1117/12.3023456.

5. Li, Y., Wang, H., Zhang, Q., & Liu, T. (2025). A novel YOLO-LSTM approach for enhanced human action recognition in video sequences. *Scientific Reports, 15*, 17036. doi:10.1038/s41598-025-01898-z

УДК 004.8

Печена Юлія[1], Федосєєва Аліна[2]

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ В РОЗРОБЦІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З VISION РІШЕНЬ

«Хто володіє інформацією, той володіє світом»
Натан Ротшильд

В сучасному світі інформаційні технології є важливим інструментом в різних галузях: медицина, фінансовий сектор, автоматизація процесів у різних типів виробництва. Так, нейронні мережі активно використовуються в роботі фахівців з Machine Learning, Data Analytics, DevOps, впровадження інноваційних рішень.

Нейронні мережі - це особливий тип комп'ютерних алгоритмів, які допомагають нам розв'язувати дуже складні завдання, подібні до тих, які ми розв'язуємо, міркуючи та ухвалюючи рішення [1]. Для підтримки роботи даного алгоритму необхідна деяка кількість запропонованих прикладів у різних ситуаціях для можливості вибору та «навчання» для покращення роботи даної системи. Ці мережі назвали так через їхню схожість зі структурою людського мозку – нейронною мережею, в основі якої поєднані між собою нейрони, які можуть передавати інформацію одне до одного. Спочатку дані надходять до вхідного шару нейронів, далі вони потрапляють у приховані шари, а потім – у вихідний шар, який і надає результат обробки. Щобільше шарів, то складнішу інформацію здатна обробляти нейромережа [2].

Нейронні мережі мають дивовижну універсальність і здатні вирішувати широкий спектр завдань [3]

Нейронні мережі у життєвому циклі розробки програмного забезпечення надає можливості:

- аналізу вимог до програмного забезпечення;

[1] Студентка групи ПІ-333, Харківський радіотехнічний фаховий коледж
[2] Голова ЦК "Програмування та інформаційних технологій", викладач-методист, кандидат технічних наук, Харківський радіотехнічний фаховий коледж

- аналізу програмного коду;
- аналізу та передбачення ресурсів програмних проєктів;
- створення систем автоматизованого тестування;
- використання систем компютерного зору при створення програмного забезпечення.

Нейронна мережа стає необхідністю для великих компаній. Серед світових лідерів, можна виокремити наступні компанії, які використовують нейронні мережі: Netflix (пропозиції цікавих для користувачів фільмів та серіалів, Spotify (підбору музики відповідно до смаків), PayPal (виявлення шахрайства в електронних платежах), Tesla (автономне керування автомобілями), Google (рекомендації, переклад та прогноз погоди), Facebook (рекомендацій контенту), Microsoft (створення віртуальних помічників) [4].

Одним з найперспективніших напрямків використання нейронних мереж є Vision ASH рішень, що дозволяє аналізувати зображення та відео, використовуючи алгоритми Computer Vision та Machine Learning завдяки перетворенню зображення в набір числових даних. Однією з бібліотек, яка дозволяє працювати із такими технологіями є OpenCV, яка містить понад 2500 оптимізованих модулів і підтримує інтеграцію з Python, C++, Java та використовує апаратне прискорення через GPU і сумісний із фреймворками, такими як TensorFlow і PyTorch, що суттєво підвищує швидкість обробки даних при роботі з нейронними мережами та комп'ютерним зором.

Можна реалізувати повний цикл обробки зображень: від простих трансформацій до складної аналітики та навчання моделей за допомогою нейронних мереж.

За даними Grand View Research, світовий ринок комп'ютерного зору у 2024 році оцінювався у $19,8 мільярда. До 2030 року ця цифра прогнозується до $58,29 мільярда при середньорічному темпі зростання (CAGR) 19,8% [6].

Один з найважливіших аспектів – навчання нейронної мережі, бо без правильного навчання нейронна мережа залишається лише набором випадкових математичних ваг.

В Україні та в усьому світі використання нейронних мереж в IT і розробці продовжує зростати завдяки здатності до вирішення складних завдань насамперед в програмуванні та розробці складних сучасних програмних проєктів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дія.Освіта. (н.д.). *Цифрова освіта*. Режим доступу: https://it-osvita.diia.gov.ua/task/item/2a163d33-3da4-48d2-bbd0-f3a14a7b93da

2. Gen.Tech. (2023). *Нейромережа: що це, як працює, найкращі приклади*. Режим доступу: https://journal.gen.tech/post/sho-take-neiromerezhi

3. Lemon School. (2024). *Використання нейромережі в IT та розробці*. Режим доступу: https://lemon.school/blog/vykorystannya-nejromerezhi-v-it-ta-rozrobtsi.

4. Site2B. (2025). *Нейромережі у 2025 – що це і як працює*. Режим доступу: https://www.site2b.ua/ua/web-blog-ua/nejromerezhi-shho-ce-i-yak-pracyuye.html

5. OpenCV Team. (2024). opencv-python (Version 4.10.0) [Software]. Режим доступу: https://pypi.org/project/opencv-python/.

6. Global Leader in Market Reports & Statistics (2024). Режим доступу: https://www.grandviewresearch.com.

UDK 004.9

Pyvovar M.V.[1], Moroz D.V. [2]

USING SWARM INTELLIGENCE ALGORITHMS IN DECISION SUPPORT SYSTEMS (DSS)

In modern environments characterized by high uncertainty and market dynamics, traditional deterministic DSS models are becoming insufficient. Decision-making in complex socio-technical and economic systems requires the analysis of massive datasets and the search for trade-offs among conflicting objectives. Swarm Intelligence (SI) algorithms offer a robust heuristic approach to solving NP-hard optimization problems that form the core of intelligent DSS.

SI is based on the idea of collective search. While traditional DSS searches for solutions sequentially, a swarm system initiates hundreds of "research agents" that test different scenarios in parallel.

Key stages of SI work in DSS:

- generation of alternatives: agents (bees, wolves, particles) are distributed across the space of possible solutions;
- information exchange: each agent "notifies" others about the local maxima found (profit, reliability, speed);
- convergence: the group focuses on the most promising area, narrowing the range of options for the decision maker (DM).

The most common swarm intelligence methods include: Particle Swarm Optimization (PSO); Ant Colony Optimization (ACO); Artificial Bee Colony (ABC), Grey Wolf Optimizer (GWO) [1]. These algorithms are based on the principles of collective interaction of agents, which allows you to effectively explore the space of possible solutions and find optimal or approximately optimal parameter values (table 1).

[1] Assistant, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"
[2] PhD student, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"

Table 1 – Basic algorithms and their role in DSS

Algorithm	Role in decision-making	Application example
PSO	Optimization of parameters of forecast models	Forecasting demand for energy resources.
ACO	Search for the shortest paths in decision graphs	Logistics and supply chain management.
ABC	Multi-criteria choice with limited resources	Formation of an investment portfolio
GWO	Decision-making in hierarchical structures	Strategic management of a large enterprise

Swarm intelligence algorithms can be integrated into decision support systems to solve a wide class of problems, including:

- optimization of technological process parameters;
- search for optimal equipment operating modes;
- planning of production resources;
- optimization of transport flows;
- setting parameters of automatic control systems.

The use of swarm intelligence algorithms allows you to automate the process of finding effective management solutions and improve the quality of functioning of complex technical systems.

For the functioning of DSS, the problem of choosing the optimal strategy is formulated as a multi-criteria optimization under constraints [2]. Swarm algorithms allow to find a set of solutions that satisfy the vector of objective functions (formula 1).

$$F(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots f_n(x)]^T \to min \quad (1)$$

where:

$x = \{x_1, x_2, \dots x_m\}$ – vector of solution parameters (resources, time intervals, coefficients);

$f_i(x)$ – local efficiency criteria (cost, cycle time, reliability);

$g_i(x) \leq 0$ and $h_j(x) = 0$ – system of restrictions (budget, technical regulations).

In the search process, SI algorithms (e.g., MOPSO) form a Pareto Front – a set of compromise solutions, where improving one criterion is impossible without worsening another, which provides the decision maker with an objective basis for choice.

The effectiveness of the approach is demonstrated in the case of optimization of intra-factory logistics. The use of the ACO allows us to consider each vehicle as an agent that dynamically responds to "digital pheromones" (road congestion) [3]. This ensures self-organization of the fleet and a reduction in downtime by 25-30% without the intervention of the dispatcher.

Advantages of the SI approach for the analyst:

- speed: the ability to obtain an acceptable solution in a limited time (real-time DSS);
- stability: swarm methods are less sensitive to "noise" in the input data compared to classical gradient methods;
- scalability: easily adaptable from single-shop analysis to industry-wide analysis.

Despite their effectiveness, swarm intelligence is not a universal solution. The main risks of using SI in control systems are:

1. Premature convergence problem (Local Optima). The swarm can too quickly "cohere" around a good, but not the best solution. This is critical for DSS, where a mistake in choosing a strategy can lead to large financial losses.
2. Parametric sensitivity. The effectiveness of SI is highly dependent on the initial settings (inertia weight, acceleration coefficients). Incorrect parameter selection turns intelligent search into a chaotic walk.
3. Lack of formal proof of stability. Unlike classical automatic control theory, it is difficult for swarm algorithms to mathematically prove the stability of the system at all points in the workspace.
4. "Black box". It is sometimes difficult for a decision-maker to understand the logic behind the swarm's choice, reducing trust in the system.

To overcome these problems, the implementation of hybrid architectures (for example, combining SI with genetic algorithms to escape local minima) and Explainable AI methods for interpreting swarm decisions is promising.

Conclusions. The integration of swarm intelligence algorithms into decision support systems transforms them from passive databases into proactive analytics tools. This allows the decision maker to focus on strategic choices, delegating the routine work of sorting through millions of parameter combinations to intelligent agents.

REFERENCES

1. Chakraborty, A., & Kar, A. K. (2017). Swarm intelligence: A review of algorithms. *Nature-inspired computing and optimization*, 475-494.

2. Coello, C. A. C., Lamont, G. B., & Veldhuizen, D. A. V. (2007). *Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems*. Boston, MA: Springer US.

3. Nguyen, T. H., & Jung, J. J. (2023). ACO-based traffic routing method with automated negotiation for connected vehicles. *Complex & Intelligent Systems*, *9*(1), 625-636.

УДК 004.9 Колісник О.М.[1] Прилепа Д.В.[2]

ІНФОРМАЦІЙНО-ЕКСТРЕМАЛЬНА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ТЕХНОЛОГІЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ОСТЕОЛОГІЧНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ ТА ПАТОЛОГІЙ ЛЮДИНИ

Сучасний етап розвитку інформаційних технологій в медицині можна характеризувати поступовим переходом від побудови простої візуалізації до застосування комплексного інтелектуального аналізу біологічних і фізіологічних даних [1]. Така сфера медицини, як остеологія особливо гостро потребує впровадження комплексного аналізу, адже даний напрямок характеризується цілим рядом викликів. Головний виклик проявляються в забезпеченні об'єктивності оцінки стану кісткових структур, бо традиційні методи дослідження зазвичай є обмеженими роздільною здатністю знімків та впливом людського фактору, котрий відіграє вирішальну роль при встановленні кінцевого діагнозу. Значна різноманітність рентгенологічних проявів остеологічних патологій та наявність артефактів на цифрових відображеннях потребує створення адаптивних алгоритмів, котрі мають ефективно функціонувати в умовах наявності значної невизначеності. Зважаючи на потреби, застосування інформаційно-екстремальних інтелектуальних технологій забезпечить нові можливості для розробки систем автоматизованої діагностики, котрі мають гарантувати високу точність розпізнавання аномалій на різних стадіях проходження захворювання.

В основі розроблювальної системи інтелектуального аналізу закладені принципи інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології. Даний підхід спирається на максимізацію інформаційної здатності системи в процесі машинного навчання, що забезпечується пошуком глобального максимуму функцій ефективності навчання в просторі параметрів системи. Це відрізняється від традиційних нейронних мереж тим, що не потребує використання великих навчальних наборів даних [2].

В межах даної технології машинного діагностування застосовуються наступні етапи:

1) **Попередня обробка знімків:** проводиться фільтрація для усунення шумів та збільшення контрастності структури кісток. На цьому етапі варто застосовувати алгоритми нормалізації гістограми, котрі дають можливість вирівняти умови для проведення аналізу зображень, які створені за допомогою різного обладнання.

[1] аспірант кафедри комп'ютерних наук, Сумський державний університет
[2] старший викладач кафедри комп'ютерних наук, Сумський державний університет, к.т.н.

2) **Сегментація знімків та виділення ознак:** застосовується автоматизоване виділення зон інтересу та розрахунок текстурних ознак, котрі характеризують трабекулярну структуру кістки. Після чого здійснюється вейвлет-перетворення та проводиться обчислення статистичних моментів розподілу вейвлет-коефіцієнтів. Результати використовується для формування багатовимірного простору ознак.

3) **Інформаційно-екстремальне навчання:** у побудованому просторі ознак формуються три гіперсферичні контейнери класів, такі як: норма, патологія та граничний стан. Після чого проводиться оптимізація радіусів сформованих контейнерів, щоб забезпечити максимальну достовірність розпізнавання при дотриманні мінімальної ймовірності виникнення помилкових рішень.

Дана архітектура системи має забезпечувати адаптування до специфічних ознак різних остеологічних захворювань та патологій, що є запорукою підвищення точності диференціального діагностування при порівнянні з експертним методом. Постійний перерахунок критерію інформаційної ефективності є основою для процесу самонавчання даної системи. Це надає можливість чітко відділяти крайні класи один від одного навіть при наявності значної кількості шумів у вхідних даних. Дана особливість є дуже корисною при проведені аналізу початкових деструктивних змін котрі виникають в трабекулярній структурі кісток, котрі зазичай залишаються малопомітними при проведені стандартного візуального огляду.

Висновки. Застосування інформаційно-екстремальних інтелектуальних технологій для вирішення завдань в медичній сфері покликане забезпечити високу достовірність проведення класифікації стану кісткових тканин при умові наявності обмеженої кількості навчальних даних. Реалізація автоматизованого процесу аналізу рентгенологічних наборів даних має на меті забезпечити виявлення патологічних змін на ранніх стадіях захворювань, що збільшує шанси на проведення своєчасного та успішного лікування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Razzak M.I., Naz S., Zaib A. Deep learning for medical image processing: Overview, challenges and the future. Classification in BioApps. 2018:323–350. https://doi.org/10.1007/978-3-319-65981-7_12.

2. A. S. Dovbysh, A. A. Stadnyk Intelligence diagnosis system of pathological process with redundant training matrix. Scientific Journal. 2016. https://doi.org/10.1109/CRMICO.2014.6959417.

УДК 004.932:004.93 Фоменко В. О[1], Шовкопляс О. А[2]

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧ В УМОВАХ НИЗЬКОЇ ОСВІТЛЕНОСТІ ТА ДИНАМІЧНОГО ФОНУ

Стійкість алгоритмів розпізнавання облич у реальних умовах експлуатації залишається обмеженою через деградацію якості зображення при низькому рівні освітлення та наявності динамічного фону. Зниження відношення сигнал/шум (SNR) у каналі яскравості, локальні перепади експозиції та фонові флуктуації призводять до нестабільності ембеддингів та зростання помилок другого роду. Традиційні підходи, орієнтовані лише на покращення візуальної якості кадру, не гарантують підвищення точності класифікації.

Метою роботи є формування гібридного алгоритмічного пайплайну, що інтегрує модулі адаптивного покращення зображення безпосередньо в цикл розпізнавання, із подальшим темпоральним згладжуванням ембеддингів. Концептуально модель має вигляд:

$$I' = F_{enh}(I), E_t = R(I'_t), \underline{E} = \sum_{t=1}^{T} w_t E_t$$

де I— вхідне зображення, F_{enh}— модуль покращення, R— мережа вилучення ознак, E_t— ембеддинг кадру, w_t— вагові коефіцієнти.

1. Адаптивна гістограмна еквілізації

Для локального підвищення контрасту застосовується CLAHE до каналу L простору LAB:

```python
import cv2
import numpy as np

def enhance_clahe(image):
    lab = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2LAB)
    l, a, b = cv2.split(lab)

    clahe = cv2.createCLAHE(clipLimit=2.0, tileGridSize=(8, 8))
    l_enhanced = clahe.apply(l)

    lab_enhanced = cv2.merge((l_enhanced, a, b))
    return cv2.cvtColor(lab_enhanced, cv2.COLOR_LAB2BGR)
```

Метод забезпечує локальну нормалізацію контрасту без надмірного підсилення шуму, що критично для стабільної детекції [1].

2. Гамма-корекція

Для компенсації недоекспонованих ділянок використовується нелінійне перетворення:

---

[1] Аспірант групи А-36/КН, Сумського державного університету

[2] Завідувач кафедри комп'ютерних наук, Сумського державного університету, к.ф.-м.н.вчене звання - доцент

$$I_\gamma(x) = I(x)^\gamma$$

```
def gamma_correction(image, gamma=1.8):
inv_gamma = 1.0 / gamma
table = np.array([(i / 255.0) ** inv_gamma * 255
                  for i in np.arange(256)]).astype("uint8")
return cv2.LUT(image, table)
```

Параметр γ≈1.6–2.0 експериментально забезпечує баланс між підсиленням темних зон і збереженням текстури [2].

3. Частотна декомпозиція

Зображення розділяється на низько- та високочастотні компоненти з метою окремої обробки освітлення та текстур:

```
def frequency_decomposition(image):
low = cv2.GaussianBlur(image, (15, 15), 0)
high = cv2.subtract(image, low)
return low, high
```

Низькочастотна складова підлягає нормалізації освітлення, тоді як високочастотна — адаптивному денойзингу зі збереженням контурів. Експериментальна оцінка продемонструвала наявність кореляції між дисперсією каналу яскравості та точністю класифікації. Оптимізація параметрів CLAHE (clipLimit, tileGridSize), коефіцієнта γ та глибини буфера кадрів (T=5–10) забезпечує приріст точності на 8–15% у сценаріях низької освітленості.

Висновки

Розроблений гібридний пайплайн підтверджує ефективність адаптивної корекції освітленості та частотної декомпозиції у задачах біометричної ідентифікації. Поєднання локальної контрастної нормалізації, нелінійної фотометричної корекції та темпорального згладжування ембеддингів формує робастну модель, придатну для систем відеоспостереження стратегічного призначення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Zhou, X., Gao, Z., Gong, H., & Li, S. (2024). DeFFace: Deep face recognition unlocked by illumination attributes. *Electronics, 13*(22), Article 4566. https://doi.org/10.3390/electronics13224566

2. He, M. (2024). A study of CiteSpace-based deep learning applied to face recognition. *Advances in Computer, Signals and Systems*. https://doi.org/10.54254/2755-2721/48/20241700

UDC 004.853.2:697.1:620.92(045) Kirichenko D.[1], Zemlianko H.[2]

HYBRID GREY-BOX NEURAL NETWORK MODELS FOR ADAPTIVE ENERGY CONTROL UNDER STOCHASTIC ENVIRONMENTAL CHANGES

Buildings currently consume approximately 30–34% of global energy, highlighting an urgent need for advanced energy management systems [1]. Traditional physical models, known as "white boxes," require complex manual tuning and struggle to adapt to building degradation over time. Conversely, modern deep learning approaches, or "black boxes," offer high predictive accuracy but lack transparency. This opacity makes them unsuitable for certification under the ISO 50001 standard, which strictly mandates auditability and clear interpretability of all automated energy-saving decisions [2].

To bridge this gap, this study proposes a "Grey-box" architecture that combines physical laws with machine learning. The physical layer utilizes simplified low-order resistor-capacitor (RC) circuits (typically 3C-4C models), where thermal resistance and capacitance represent the thermal inertia of walls and indoor air [3]. This configuration provides a recognized optimum between accuracy and computational complexity, making it suitable for deployment on Edge devices. This foundation is integrated with Physics-Informed Neural Networks (PINNs), which incorporate physical constraints directly into their loss function [3]. Notably, this hybrid approach enhances data efficiency, requiring less historical data for convergence compared to standard black-box models. Furthermore, the system employs symbolic regression to find analytical mathematical formulas. These derived analytical formulas are computationally lightweight, making them ideal for execution on local Edge controllers without cloud dependency. During training, this algorithm evolves transparent equations, such as wind or solar effects on heat loss, enabling engineers to model thermal dynamics for precise energy control within a smart home [4].

Effective predictive control must also account for stochastic environmental variables. The proposed model integrates external meteorological APIs to use solar radiation, humidity, and wind speed as exogenous variables, while addressing the uncertainty of human behavior through Human Activity Recognition algorithms [5]. The system also adapts to dynamic Smart Grid pricing signals, forecasting optimal time windows for pre-heating or pre-cooling. This capability renders the building "Grid-Ready," enabling active participation in Demand Response programs. Moreover, global climate change and the increasing frequency of natural

[1] Student, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute".
[2] Assoc. Prof. Dept. of Computer Systems, Networks, and Cybersecurity, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", PhD, Assoc. Prof.

disasters expose the severe vulnerability of conventional smart home systems during emergency situations like extreme weather events or grid blackouts [6]. Adapting these predictive control models to withstand sudden catastrophic events and extreme temperature fluctuations is critical for ensuring occupant safety, protecting vital infrastructure, and maintaining system stability during crises [6].

The implementation of Explainable AI within the Grey-box framework ensures full compliance with the ISO 50001:2018 standard by allowing the system to dynamically adjust the Energy Baseline based on weather conditions [7]. Because every automated control action is backed by a logical analytical dependency, the system significantly facilitates the certification process and meets the auditability requirements of ISO 50001.

Conclusions: Simulation results demonstrate that this hybrid approach reduces energy consumption by 15–35%, reaching up to 47% in optimized scenarios, while strictly maintaining thermal comfort within the Predicted Mean Vote (PMV) range of [-0.5, 0.5] in accordance with ASHRAE 55. Furthermore, the integration of physical constraints reduces thermodynamic law violations by 98.6% compared to classical machine learning models.

REFERENCES:

1. Li, Y., O'Neill, Z., Zhang, L., Chen, J., Im, P., & DeGraw, J. (2021). Grey-box modeling and application for building energy simulations - A critical review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 146, 111174.

2. ISO. (2018). ISO 50001:2018 Energy management systems — Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization.

3. Gokhale, G., Claessens, B., & Develder, C. (2022). Physics Informed Neural Networks for Control Oriented Thermal Modeling of Buildings. Applied Energy, 314, 118852.

4. Zdankin, P., Matkovic, V., Schiele, G., & Weis, T. (2024). Towards Predicting the Perceived Brightness in a Smart Home Through Symbolic Regression. 2024 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, Biarritz, France, pp. 457-460.

5. Amangeldy, B., Tasmurzayev, N., Imankulov, T., Baigarayeva, Z., Izmailov, N., Riza, T., Abdukarimov, A., Mukazhan, M., & Zhumagulov, B. (2025). AI-Powered Building Ecosystems: A Narrative Mapping Review on the Integration of Digital Twins and LLMs for Proactive Comfort, IEQ, and Energy Management. Sensors, 25(17), 5265.

6. Kirichenko, D., & Zemlianko, H. (2025). Smart home subsystems during emergency situations. Research Europe, 24-27. DOI: https://doi.org/10.64076/iedc251023.02

7. Guo, F., Yan, J., Chen, Z., & Xiao, L. F. (2023). Interpretable machine learning for building energy management: A state-of-the-art review. Advances in Applied Energy, 9.

УДК 004.8

Хороших К.Р.[1], Нафєєв Р.К.[2]

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СОЦІАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ ВЕЛИКИХ ДАНИХ

У сучасному інформаційному суспільстві обсяги даних, що генеруються різноманітними інформаційними системами, постійно зростають. Соціальні мережі, електронні сервіси, системи державного управління та статистичні ресурси формують значні масиви інформації, які відображають поведінку суспільства та динаміку соціально-економічних процесів. Такі масиви інформації відносять до категорії великих даних (Big Data), що характеризуються значним обсягом, швидкістю надходження та різноманітністю структури.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю ефективного аналізу великих обсягів інформації для виявлення закономірностей розвитку соціальних систем. Використання сучасних методів аналізу даних, математичного моделювання та машинного навчання дозволяє досліджувати складні соціальні процеси та здійснювати їх прогнозування.

Соціальні процеси є складними системами, що формуються під впливом великої кількості факторів: економічних, демографічних, політичних та інформаційних. Для їх дослідження доцільно використовувати системний підхід, який передбачає розгляд об’єкта як цілісної системи з взаємопов’язаними елементами.

Метою дослідження є аналіз можливостей застосування методів аналізу великих даних для моделювання та прогнозування соціальних процесів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасні підходи до аналізу великих даних;
- дослідити методи моделювання соціальних процесів;
- визначити можливості використання алгоритмів машинного навчання для прогнозування соціальних явищ.

Одним із ключових напрямів сучасних інформаційних технологій є використання методів інтелектуального аналізу даних (Data Mining).

[1] студентка гр. САДМ-51, «Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій»

[2] доцент кафедри ІСТ, «Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій», к.ф.-м.н.

Такі методи дозволяють виявляти приховані закономірності у великих масивах інформації та отримувати нові знання на основі аналізу даних.

Аналіз великих даних передбачає декілька основних етапів: збір інформації, попередню обробку даних, побудову моделей та інтерпретацію отриманих результатів. На етапі збору даних використовуються різноманітні джерела інформації, зокрема відкриті статистичні ресурси, соціологічні дослідження, інформаційні системи державних установ та дані соціальних мереж.

Попередня обробка даних є важливим етапом аналізу, оскільки отримані дані можуть містити пропущені значення, помилки або надлишкову інформацію. На цьому етапі виконуються очищення даних, нормалізація, інтеграція та перетворення даних у форму, придатну для подальшого аналізу.

Для моделювання соціальних процесів використовуються різні математичні та статистичні методи. Серед найбільш поширених можна виділити регресійний аналіз, кластеризацію та класифікацію даних. Регресійні моделі дозволяють досліджувати залежності між різними соціально-економічними показниками, тоді як кластеризація допомагає групувати об’єкти за подібними характеристиками.

Важливу роль у прогнозуванні соціальних процесів відіграють методи машинного навчання. Такі методи дозволяють будувати моделі, які здатні прогнозувати майбутні значення показників на основі історичних даних. Серед найбільш поширених алгоритмів можна виділити методи дерева рішень, нейронні мережі та алгоритми ансамблевого навчання.

Застосування технологій Big Data дозволяє обробляти значні обсяги інформації та здійснювати аналіз соціальних процесів у реальному часі. Це відкриває нові можливості для дослідження поведінки суспільства, аналізу соціально-економічних тенденцій та прогнозування їх подальшого розвитку.

Крім того, результати аналізу великих даних можуть використовуватися у системах підтримки прийняття рішень. Такі системи допомагають органам державного управління, аналітичним центрам та дослідницьким організаціям приймати більш обґрунтовані управлінські рішення.

Висновки. У результаті проведеного дослідження було розглянуто основні підходи до моделювання та прогнозування соціальних процесів на основі великих даних. Встановлено, що використання сучасних методів аналізу даних дозволяє ефективно обробляти значні обсяги інформації та виявляти закономірності розвитку соціальних систем.

Застосування математичного моделювання та алгоритмів машинного навчання створює можливості для прогнозування

соціально-економічних процесів та підвищення ефективності прийняття управлінських рішень.

Подальші дослідження у цьому напрямі можуть бути пов'язані з використанням більш складних алгоритмів аналізу даних, розширенням наборів досліджуваних даних та створенням комплексних систем аналізу соціальних процесів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Han J., Kamber M., Pei J. Data Mining: Concepts and Techniques. Morgan Kaufmann, 2012.
2. Provost F., Fawcett T. Data Science for Business. O'Reilly Media, 2013.
3. Kitchin R. The Data Revolution: Big Data, Open Data, Data Infrastructures. Sage Publications, 2014.
4. Witten I., Frank E., Hall M. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques. Morgan Kaufmann, 2016.
5. Shmueli G., Bruce P., Yahav I. Data Mining for Business Analytics. Wiley, 2020.
6. Marr B. Big Data in Practice. Wiley, 2016.

УДК 004.7, 004.8

Афонін Ю.С.[1], Савінов В.Ю.[2]

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ГЕТЕРОГЕННИХ РОЇВ БЕЗПІЛОТНИХ АПАРАТІВ У ГАЛУЗІ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ

Станом на сьогодні близько 140 тис. км^2 території України є потенційно замінованими вибухонебезпечними предметами (ВНП), проте традиційні (*ручні*) методи розмінування займають велику кількість часу і є надзвичайно ризикованими для фахівців-демінерів. Використання інноваційних засобів таких як безпілотні літальні апарати (БпЛА), наземні роботизовані комплекси (НРК), великі машини розмінування, у поєднанні із технологіями штучного інтелекту (*глибинне машинне навчання, комп'ютерний зір, рої дронів*) є рішенням, що вже дає свої результати і сприяє активному відновленню соціально-економічної діяльності населення на цих територіях.

Сталий розвиток безпілотних технологій дозволяє впроваджувати безпілотні рішення у різних галузях, в тому числі для гуманітарного розмінування. Різноманітність типів БпЛА (*квадрокоптери, гексакоптери, октокоптери тощо*) і доступність апаратно-програмного

[1] Аспірант кафедри КІ, ЧНУ ім. Петра Могили
[2] Доцент кафедри КІ, ЧНУ ім. Петра Могили, к. т. н., доцент

забезпечення створює можливість пристосовувати спеціальні засоби для завдань гуманітарного розмінування. Звичайні і мультиспектральні камери, магнітометри, LiDAR-сенсори, металошукачі, різні модулі зв'язку – усе це, залежно від технічних обмежень, можна встановити на БпЛА.

Тенденції останніх років показують значний попит на використання БпЛА саме як засобу візуального обстеження ділянок з метою виявлення ВНП. Оператори БпЛА, за рахунок вбудованої відеокамери, мають змогу дистанційно робити відеозйомку територій, а також картографувати потенційно небезпечні ділянки шляхом аналізу відзнятого матеріалу і внесення (*ручного або автоматизованого*) цих даних в геоінформаційні системи (ГІС) [1]. Комп'ютерний зір як елемент автоматизації допомагає підвищити ефективність візуального обстеження та виявлення підозрілих предметів на поверхні. Широкий вибір моделей машинного навчання, насамперед згорткових нейронних мереж (моделі YOLO), візуальних трансформерів (ViT, DETR, R-DETR), гібридних архітектур (CNN + Tranformer) і мультимодальних моделей (наприклад Gemma 3n) відкриває нові можливості підвищення ефективності автоматизованого виявлення ВНП.

У 2024 році українським БпЛА «Mines Eye» було продемонстровано магнітометричний метод обстеження. Система на базі важкого квадрокоптера із підвісним магнітометром, який дає змогу фахівцям сканувати ґрунт та помічати «аномалії», що можуть виявитись ВНП. Отримані дані із сенсорів аналізуються спеціальними алгоритмами машинного навчання «з учителем» з метою класифікації ВНП. Цей БпЛА зараз активно використовується ДСНС України.

Знешкодження або розмінування ВНП є більш складним і небезпечним завданням ніж виявлення. НРК і великогабаритні машини розмінування сьогодні замінюють традиційні методи, знижуючи безпекові ризики для операторів, адже керування здійснюється операторами дистанційно. Більш того, такі платформи аналогічно дозволяють встановлювати різноманітне обладнання: відеокамери, георадари, магнітометри, роботизовані маніпулятори. У 2025 сертифіковані оператори гуманітарного розмінування почали масово використовувати цілу низку таких комплексів: КНРО «Змій», «GART 5100», «Germina URCM-3000», «GSC-200» та інші. Наведені комплекси дають змогу обробляти місцевість, звільняючи її від прихованих ВНП шляхом детонації.

Перспективним напрямком є безпілотні ройові рішення, так звані рої дронів. Рої дронів використовують динамічні топології бездротових комп'ютерних мереж, що здатні перебудовуватись під впливом швидких змін [2,3]. Суть роїв дронів полягає у взаємодії вузлів мережі з метою виконання конкретного завдання або завдань. Для прикладу ізраїльська компанія у 2023 році представила гомогенний рій дронів Tevel,

призначення яких збирати свіжі яблука з використання штучного інтелекту для визначення стану зрілості.

У роях важливим є передача телеметрії і підтримка зв'язку між вузлами мережі. Прикладом є FANET (*з англ. flying ad-hoc network*), де кожен вузол мережі виступає є і клієнтом, і маршрутизатором. Зазвичай як основа використовуються MESH-топології, які передбачають зв'язок між кількома вузлами мережі одночасно.

У 2024-25 рр. українсько-данський стартап-проєкт «Dropla» продемонстрував рій БпЛА і кілька НРК як частину власної екосистеми для розмінування і отримав подальше фінансування [4]. Вона включає 4 БпЛА із різними сенсорами (*тепловізори, мультиспектальні камери, магнітометри*), кілька багатоцільових НРК і рухомі пункти керування, звідки оператори керують безпілотними апаратами.

Подібні системи набуватимуть все більшого попиту і технологічної новизни за рахунок постійного ітеративного розвитку технологій штучного інтелекту та апаратно-програмних рішень для безпілотних апаратів. Очевидно, що питання автономної навігації, взаємодії між вузлами рою, якості зв'язку, прийняття рішень, зміни ролей (*лідер/підлеглий*), енергоефективності апаратів потребують подальшого покращення, проте вже зараз використання роїв дронів у галузі гуманітарного розмінування не є неможливим.

Оскільки розмінування містить велику кількість специфічних і складних завдань, то кожен БпЛА, НРК чи великогабаритний роботизований комплекс потребує конкретних сенсорів, обладнання і власного призначення. На рис. 1 зображено можливий сценарій використання різнотипних безпілотних апаратів як гетерогенного рою.

Так наприклад малі БпЛА (*FPV*) можуть мати звичайну RGB камеру, яка використовує комп'ютерний зір, що здатен розпізнавати і класифікувати обриси ВНП на поверхні. Отримавши дані, БпЛА передає їх наступним вузлам для підтвердження/маршрутизації їх далі по мережі. Інший тип БпЛА за рахунок мультиспектральної камери, здатен аналізувати спектральні аномалії там, де RGB камера нічого не виявила. Третій тип БпЛА (як «Mines Eye») може нести підвішений магнітометр і аналізувати аномалії в ґрунті.

Одночасно із цим, у такій мережі присутні НРК, які підтримують зв'язок, обмінюючись телеметрією і вказівками із БпЛА, наприклад про наявність певного ВНП, який потрібно знешкодити або ділянку, яку потрібно розчистити від трави. Така гетерогенна мережа (*або гетерогенний рій безпілотних апаратів*) є багатофункціональною розподіленою системою, що здатна перевести виконання завдань гуманітарного розмінування у нову концептуальну площину, де ризик для операторів-демінерів мінімальний.

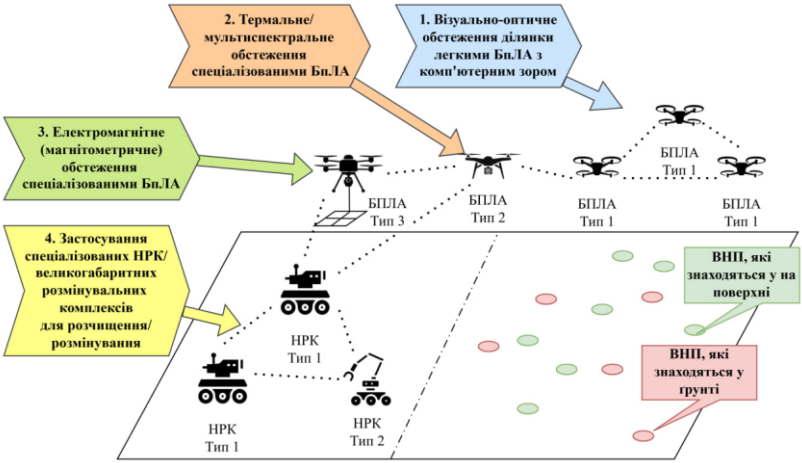


Рисунок 1 – Сценарій взаємодії БпЛА і НРК як гетерогенного рою для завдань гуманітарного розмінування

Безумовно, складність технічної реалізації подібних роїв і рівень навчання операторів є високими, але в теорії це дасть можливість збільшити зону дії місій гуманітарного розмінування за рахунок можливості керувати кількома апаратами одночасно, що вивільнить інші екіпажі для виконання аналогічних завдань на інших ділянках.

Висновки. Безпілотні апарати, як літальні так і наземні, сьогодні доводять свою ефективність при виконанні завдань у галузі гуманітарного розмінування, в тому числі зменшуючи безпекові ризики для операторів завдяки дистанційному керуванню. Подальшим перспективним напрямком є застосування роїв безпілотних апаратів, в тому числі гетерогенних, які передбачають наявність різнотипних БпЛА і НРК для виконання специфічних завдань розмінування. Невід'ємну складову таких роїв мають складати технології штучного інтелекту, насамперед комп'ютерного зору для візуального розпізнавання ВНП, алгоритмів машинного навчання на отриманих даних із сенсорів, автономної навігації, прийняття ройових рішень та ситуаційної взаємодії між вузлами таких роїв.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Hutsul, T., Khobzei, M., Tkach, V., Krulikovskyi, O., Moisiuk, O., Ivashko, V., & Samila, A. (2024). *Review of approaches to the use of unmanned aerial vehicles, remote sensing and geographic information systems in humanitarian demining: Ukrainian case*. Heliyon, DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e29142.

2. Журавська, І. М. (2019). *Гетерогенні комп'ютерні мережі критичного застосування на основі роїв та зграй БПЛА* [Монографія]. Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили.

3. Yao, H., & Mai, T. (2026). *UAV Swarm Cooperation*. Springer Nature Switzerland. DOI: 10.1007/978-3-031-96444-2.

4. Dropla. Розумне розмінування: роботи + ШІ. https://dropla.tech/ukr.

УДК 004.94:330.43

Бойко О.О.[1], Пилипенко А.І.[2]

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СТАНДАРТНОГО ТА ГІБРИДНОГО ПІДХОДІВ ДО ПРОГНОЗУВАННЯ ПЕРСОНАЛЬНИХ ФІНАНСОВИХ ВИТРАТ

Системи прогнозування персональних фінансових витрат є важливим інструментом підтримки прийняття рішень у сфері особистого бюджетування. Класичний підхід до побудови таких систем передбачає використання методів статистичного моделювання – зокрема лінійної регресії – виключно на основі накопиченої історії транзакцій конкретного користувача [1]. Проте такий підхід має суттєве обмеження: він є непрацездатним або малоефективним для нових користувачів, які ще не накопичили достатнього обсягу даних.

Проблема «холодного старту» (cold start) широко досліджується у контексті рекомендаційних систем [2], однак у задачах фінансового прогнозування вона набуває специфічних рис: фінансова поведінка є глибоко індивідуальною, а помилковий прогноз на початковому етапі безпосередньо впливає на довіру користувача до системи. Метою даної роботи є порівняльний аналіз стандартного підходу (лінійна регресія на персональних даних) та гібридного підходу, що поєднує глобальну статистичну модель з персональною, з точки зору точності прогнозування на різних стадіях накопичення даних.

Стандартний підхід до прогнозування витрат базується на методі лінійної регресії, де прогноз на наступний місяць розраховується за формулою [3]:

$$\hat{y} = a \cdot (N + 1) + b,$$

де a і b – коефіцієнти регресії; N – кількість наявних місячних спостережень. Модель формує прогноз лише на основі персональних даних і не здатна генерувати результат за відсутності хоча б двох точок

[1] Студентка групи ІПЗ-41, Київський національний університет імені Тараса Шевченка

[2] Доцент кафедри програмних систем і технологій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, к. т. н., доцент

спостереження. При малій кількості даних (2–3 місяці) модель є нестійкою і схильною до перенавчання на випадкових відхиленнях.

Гібридний підхід передбачає три послідовні етапи залежно від обсягу накопичених персональних даних. На кожному етапі застосовується зважена комбінація глобального прогнозу G (на основі агрегованої статистики) та персонального прогнозу P (лінійна регресія + сезонні коефіцієнти + коригування на інфляцію):

$$\hat{y} = wG \cdot G + wP \cdot P,$$

де wG і wP – ваги, що змінюються залежно від етапу (таблиця 1). Глобальна модель G формується на основі даних Державної служби статистики України, показників НБУ та відповідей користувача на онбординг-опитування.

Таблиця 1 – Ваги моделей на різних етапах гібридного підходу

Етап	**Місяців даних**	**wG**	**wP**
Холодний старт	0-2	1.0	0.0
Гібридне навчання (рання фаза)	2-3	0.6	0.4
Гібридне навчання (пізня фаза)	3-4	0.3	0.7
Персоналізований	4+	0.0	1.0

Для порівняння двох підходів проведено тестування на синтетичних даних, що моделюють поведінку користувача протягом 12 місяців з вираженою сезонністю (підвищені витрати у грудні, серпні) та загальним трендом зростання. Як метрики точності використано MAE та MAPE. Результати наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Порівняння точності стандартного та гібридного підходів

Місяців даних	**MAPE стандарт., %**	**MAPE гібридний, %**	**Різниця, %**
1	—	18.2	—
2	31.5	16.4	15.1
3	20.3	11.2	9.1

4	14.7	8.6	6.1
6	9.8	6.3	3.5
12	4.6	4.4	0.2

З таблиці 2 видно, що стандартний підхід є повністю непрацездатним при наявності лише одного місяця даних – система не здатна побудувати регресійну пряму. При двох місяцях даних стандартна модель дає MAPE на рівні 34.2%, тоді як гібридна модель – 19.8%, оскільки значну частину прогнозу формує перевірена глобальна статистика. Перевага гібридного підходу поступово зменшується в міру накопичення даних: при 12 місяцях обидві моделі демонструють порівнянну точність (5.1% та 4.9% відповідно).

Окремо варто відзначити поведінку моделей у категоріях з вираженою сезонністю. Стандартна лінійна регресія не враховує сезонні коливання, що призводить до систематичної похибки, наприклад, у грудні (витрати на подарунки, святкування) та серпні (відпустки, підготовка до навчального року). Гібридна модель компенсує цей недолік завдяки вбудованим сезонним коефіцієнтам, що розраховуються як відношення середнього значення витрат у конкретному місяці до загального середнього по всій наявній історії.

Висновки. Проведений порівняльний аналіз показує, що стандартний підхід на основі лінійної регресії є ефективним лише за наявності достатньої кількості персональних даних користувача. При обсязі історії менше двох місяців стандартна модель не здатна сформувати прогноз взагалі, а при 2–3 місяцях демонструє похибку на рівні 20–31%, що є неприйнятним для практичного використання. Гібридний підхід вирішує цю проблему: завдяки поєднанню глобальної статистичної моделі з персональною, система здатна формувати прогноз від першого дня використання з похибкою 18.2%, що відповідає прийнятному рівню точності для орієнтовного фінансового планування. У процесі накопичення транзакцій гібридна модель поступово збільшує вагу персональних даних, знижуючи похибку до 8.6% після чотирьох місяців та до 4.4% після року використання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2021). *Introduction to Linear Regression Analysis* (6th ed.). John Wiley & Sons.

2. Schein, A., Popescul, A., Ungar, L., & Pennock, D. (2002). Methods and metrics for cold-start recommendations. *Proceedings of the 25th Annual International ACM SIGIR Conference*, 253–260.

3. Hyndman, R., & Athanasopoulos, G. (2021). *Forecasting: Principles and Practice* (3rd ed.). OTexts. https://otexts.com/fpp3/
4. Державна служба статистики України. (2024). *Витрати і ресурси домогосподарств України*. https://ukrstat.gov.ua
5. Національний банк України. (2024). *Індекс споживчих цін*. https://bank.gov.ua

УДК 657.424:004.89

Краснокутський В.І.[1], Нестеренко І.В.[2]

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ У СИСТЕМІ ОБЛІКУ ТА ОЦІНКИ ВЛАСНОГО КАПІТАЛУ ПІДПРИЄМСТВА

Цифровізація економічних процесів та стрімке зростання обсягів фінансово-економічних даних формують нові вимоги до інформаційно-аналітичного забезпечення управління підприємствами. У сучасних умовах системи бухгалтерського обліку та фінансової звітності генерують значні масиви структурованих і напівструктурованих даних, що відображають процеси формування, трансформації та використання власного капіталу підприємства. Традиційні методи фінансового аналізу, які базуються переважно на системі коефіцієнтів і статичних показників звітності, не завжди забезпечують виявлення прихованих закономірностей і складних взаємозв'язків між фінансовими параметрами. У цьому контексті важливого значення набуває використання технологій інтелектуального аналізу даних (Data Mining), які дозволяють автоматизовано виявляти закономірності, тренди та аномалії у великих обсягах фінансових даних. Інтелектуальний аналіз даних інтегрує методи математичної статистики, машинного навчання, штучних нейронних мереж та алгоритмів оптимізації і використовується для підтримки прийняття управлінських рішень у фінансовій сфері. Сучасні дослідження підтверджують [1-4], що впровадження цифрових технологій та інтелектуальних систем аналізу даних сприяє підвищенню ефективності управління капіталом і покращує фінансову стійкість підприємств .

Метою дослідження є обґрунтування можливостей використання методів інтелектуального аналізу даних у системі бухгалтерського обліку та оцінювання власного капіталу підприємства для підвищення ефективності інформаційно-аналітичного забезпечення управління.

Власний капітал підприємства є фундаментальним елементом фінансової структури, який визначає рівень фінансової незалежності,

[1] Студент групи 071-12б , Державний біотехнологічний університет
[2] Доцент кафедри ОАО, Державний біотехнологічний університет, к. е.н., доцент

інвестиційної привабливості та стабільності функціонування господарюючого суб'єкта. Його оцінювання базується на даних бухгалтерського обліку та фінансової звітності, зокрема показниках статутного капіталу, нерозподіленого прибутку, резервного капіталу, а також показниках фінансових результатів діяльності підприємства.

У сучасних умовах цифрової трансформації підприємства активно впроваджують автоматизовані інформаційні системи обліку, що забезпечують накопичення значних обсягів фінансових даних, що створює передумови для використання технологій інтелектуального аналізу даних, які дозволяють здійснювати глибоку аналітичну обробку інформації, прогнозування фінансових показників та виявлення ризиків.

Методологія інтелектуального аналізу даних у системі обліку власного капіталу передбачає використання комплексу алгоритмів і моделей, серед яких: методи класифікації, що дозволяють визначати фінансовий стан підприємства або його структурних підрозділів на основі набору фінансових показників; методи кластеризації, які забезпечують групування підприємств або фінансових показників за подібними характеристиками структури капіталу; регресійні та економетричні моделі для прогнозування змін показників власного капіталу; нейронні мережі та алгоритми машинного навчання для виявлення складних нелінійних взаємозв'язків між фінансовими показниками; алгоритми виявлення аномалій, що дозволяють ідентифікувати нетипові фінансові операції або ризики фінансової нестабільності. Використання таких методів дозволяє формувати комплексну систему аналітичної обробки фінансових даних. Зокрема, сучасні дослідження у сфері фінансового Data Mining демонструють ефективність застосування глибоких нейронних мереж для аналізу складних фінансових даних, що характеризуються високою розмірністю, нелінійністю та часовою залежністю [5]. Використання моделей глибокого навчання дозволяє значно підвищити точність прогнозування фінансових показників підприємств та виявлення закономірностей у фінансових даних .

У системі обліку та оцінювання власного капіталу підприємства інтелектуальний аналіз даних може застосовуватися для вирішення таких практичних завдань:

1. Моделювання структури капіталу підприємства та визначення оптимального співвідношення між власними і залученими джерелами фінансування.
2. Прогнозування змін показників власного капіталу на основі історичних фінансових даних.
3. Виявлення факторів, що впливають на формування фінансових результатів і зміну структури капіталу.
4. Моніторинг фінансових ризиків та виявлення потенційних ознак фінансової нестійкості підприємства.

Результати сучасних економетричних досліджень підтверджують, що структура капіталу суттєво впливає на фінансові результати та ринкову вартість підприємств, що підкреслює необхідність використання сучасних аналітичних інструментів для її оцінювання . Крім того, застосування технологій інтелектуального аналізу даних у фінансових системах дозволяє підвищити ефективність аудиту та виявлення аномальних фінансових операцій, що сприяє підвищенню прозорості фінансової інформації та зниженню ризиків помилок у бухгалтерських даних .Саме інтеграція методів інтелектуального аналізу даних із системами бухгалтерського обліку та бізнес-аналітики формує основу для створення систем підтримки прийняття управлінських рішень. Такі системи дозволяють автоматично обробляти великі обсяги фінансової інформації, моделювати різні сценарії розвитку підприємства та формувати рекомендації щодо оптимізації структури капіталу.

Висновки. Інтелектуальний аналіз даних виступає важливим інструментом модернізації системи обліку та оцінювання власного капіталу підприємства в умовах цифрової економіки. Використання методів Data Mining, машинного навчання та економетричного моделювання дозволяє підвищити якість аналітичної обробки фінансових даних, виявляти приховані закономірності у структурі капіталу та прогнозувати тенденції фінансового розвитку підприємства. Інтеграція інтелектуальних технологій у систему бухгалтерського обліку сприяє підвищенню достовірності фінансової інформації, удосконаленню системи внутрішнього контролю та формуванню ефективних управлінських рішень щодо оптимізації структури власного капіталу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Hailong A., Jaafar H. Analysing the Impact between Capital Structure and Accounting Disclosure Quality of Chinese Listed Companies. *International Journal of Academic Research in Accounting, Finance and Management Sciences*. 2024. DOI: 10.6007/IJARAFMS/v14-i3/22420

2. Kashchena N., Nesterenko I. Digitalization of environmental safety management as a tool for ensuring sustainable development. Integration vectors of sustainable development: economic, social and technological aspects: collective monograph. The University of Technology in Katowice Press, 2023. P. 109–122. URL: https://repo.btu.kharkov.ua//handle/123456789/27313

3. Yu L., Wang J. Research on the design of a data mining-based financial audit model for financial multi-type data processing and audit trail discovery. *Software and Systems Modeling*. 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.sasc.2025.200295

4. Kashchena N., Kovalevska N., Nesterenko I. Organizational and methodological aspects of audit of integrated reporting of enterprise. Zeszyty

naukowe wyższej szkoły technicznej w Katowicach. 2022. No 14. P. 153–164. DOI: https://doi.org/10.54264/0040

5. Lu Y. Analysis of digital cloud accounting incorporating data mining technology in corporate investment decision making. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*. 2024. DOI: 10.2478/amns.2023.2.00586

УДК 004.93

Крицький Д.М.[1], Кайдан Е.С.[2]

ВИЯВЛЕННЯ ЗАМАСКОВАНИХ ОБ'ЄКТІВ

Вступ. Сучасні військові конфлікти характеризуються активним використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для виконання розвідувальних завдань, спостереження за територією та виявлення позицій противника. Одним із важливих напрямів застосування БПЛА є отримання оперативної інформації про розташування військових об'єктів, техніки та інженерних споруд [1,2]. Водночас ефективність аеророзвідки значно ускладнюється через використання засобів маскування, що дозволяють приховувати техніку та інші об'єкти під природними або штучними укриттями [3,4].

Застосування маскувальних сіток, природної рослинності, особливостей рельєфу місцевості та інших методів камуфляжу зменшує ймовірність виявлення об'єктів під час візуального аналізу зображень [5-7]. Крім того, складність розпізнавання зростає через значний обсяг даних, що отримуються під час польоту БПЛА, а також через вплив зовнішніх факторів, таких як погодні умови, зміни освітлення, задимленість та різні кути спостереження [7].

У зв'язку з цим актуальним є використання сучасних методів комп'ютерного зору та машинного навчання для автоматизації процесу аналізу аеророзвідувальних даних [8-10]. Застосування інтелектуальних алгоритмів дозволяє підвищити швидкість оброблення інформації, зменшити навантаження на операторів та підвищити точність виявлення потенційних цілей.

Метою дослідження є розроблення технології автоматичного виявлення замаскованих об'єктів на основі аналізу зображень та відеоданих, отриманих із безпілотних літальних апаратів, із використанням методів комп'ютерного зору та нейромережевих алгоритмів.

Основний матеріал. Одним із ключових напрямів підвищення ефективності аеророзвідки є автоматизація процесів оброблення

[1] Декан факультету літакобудування, НАУ «ХАІ», к.т.н., доцент
[2] Студентка 145 групи, НАУ «ХАІ»

зображень, отриманих із БПЛА. Використання алгоритмів комп'ютерного зору дозволяє здійснювати пошук характерних ознак об'єктів навіть у випадках, коли вони частково приховані або замасковані. Основу таких систем становлять алгоритми глибинного навчання, зокрема згорткові нейронні мережі, які продемонстрували високу ефективність у задачах розпізнавання образів.

Розроблення технології автоматичного виявлення замаскованих об'єктів передбачає декілька етапів. Першим етапом є формування навчального набору даних, який включає зображення та відеокадри з БПЛА, що містять приклади об'єктів у різних умовах спостереження. Важливим елементом цього процесу є анотація даних, під час якої визначаються області зображення, що містять об'єкти інтересу. Це дозволяє сформувати структурований набір даних для подальшого навчання нейромережевих моделей. В цьому дослідженні використовувалась система Roboflow Annotate, що значно скоротило час розмітки й забезпечило стандартизовані формати виводу (YOLO TXT, COCO JSON).

Наступним етапом є попередня обробка зображень. Вона включає нормалізацію даних, усунення шумів, підвищення контрастності та корекцію освітлення. Такі процедури дозволяють підвищити якість вихідних даних і забезпечити більш стабільну роботу алгоритмів розпізнавання.

Після попередньої обробки здійснюється аналіз зображень із використанням нейромережевих моделей. Згорткові нейронні мережі дозволяють автоматично виділяти характерні ознаки об'єктів, такі як форма, текстура, кольорові характеристики та просторові співвідношення елементів зображення. На основі цих ознак система виконує локалізацію об'єктів та визначає ймовірність їх належності до певного класу. Створений програмний застосунок показав значення mAP понад 0.9. Це свідчить про високу відповідність між виявленими та реальними об'єктами, тоді як висока Recall означає здатність алгоритму виявляти більшість цілей без пропусків (рис. 1).

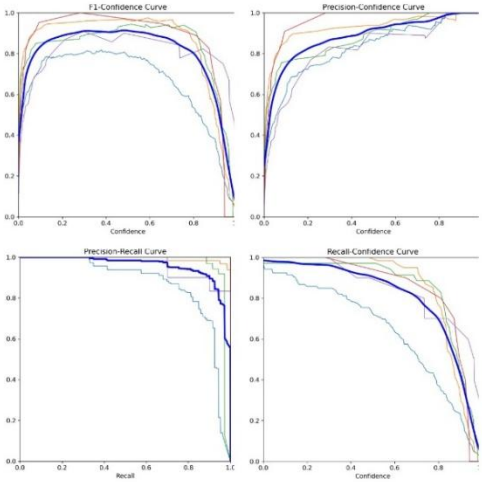


Рисунок 1 – Криві залежності точності, повноти та F1-міри

Особливу складність становить розпізнавання об’єктів, які частково приховані під маскувальними матеріалами або елементами навколишнього середовища. Для підвищення ефективності виявлення були застосовані методи розширення навчальних вибірок, зокрема аугментація даних. Це дозволило підвищити стійкість нейромережевої моделі до різних умов спостереження.

Практичне застосування запропонованої технології дозволяє підвищити точність виявлення потенційних цілей, зменшити вплив людського фактора та забезпечити більш ефективне використання безпілотних літальних апаратів у розвідувальних операціях (рис. 2).

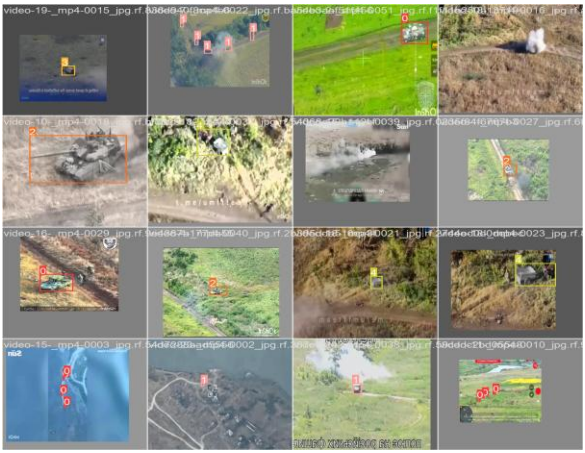


Рисунок 2 – Вихідні дані на одній з пізніх епох навчання (ітерація 1361)

Висновки. У результаті проведеного дослідження розглянуто можливості застосування методів комп'ютерного зору та машинного навчання для автоматичного виявлення замаскованих військових об'єктів за даними, отриманими з безпілотних літальних апаратів.

Запропонована технологія передбачає комплексний підхід до оброблення аеророзвідувальних матеріалів, який включає формування навчальних наборів даних, попередню обробку зображень, використання нейромережевих алгоритмів для розпізнавання об'єктів та інтеграцію результатів аналізу в систему підтримки прийняття рішень.

Використання таких технологій дозволяє значно підвищити ефективність аналізу великих обсягів відео- та фотоданих, скоротити час виявлення потенційних цілей. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення алгоритмів розпізнавання, інтеграцію різнорідних джерел даних та підвищення автономності систем оброблення інформації.

The research has been funded by National Research Foundation of Ukraine (https://nrfu.org.ua/en/, accessed on 24 June 2025) within Project No. 2025.06/0037 "A system for detecting and recognizing camouflaged and small objects based on the use of modern computer vision technologies" (2025–2026).

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Fan, D.-P., Ji, G.-P., Sun, G., Cheng, M.-M., Shen, J., & Shao, L. (2020). Camouflaged object detection. *In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR*) (pp. 2777–2787).

2. Xiao, F., Hu, S., Shen, Y., et al. (2024). A survey of camouflaged object detection and beyond. *CAAI Artificial Intelligence Research*, 3, 9150044. https://doi.org/10.26599/AIR.2024.9150044

3. Wang, X., Wang, A., Yi, J., Song, Y., & Chehri, A. (2023). Small object detection based on deep learning for remote sensing: A comprehensive review. *Remote Sensing,* 15(13), 3265. https://doi.org/10.3390/rs15133265

4. Li, W., & Zhang, Y. (2025). Enhanced small object detection in UAV aerial imagery through attention gated backbone and context aware fusion. *Scientific Reports*. https://doi.org/10.1038/s41598-025-32074-y

5. Han, Y., Wang, C., Luo, H., et al. (2025). LRDS-YOLO enhances small object detection in UAV aerial images with a lightweight and efficient design. *Scientific Reports*, 15, 22627. https://doi.org/10.1038/s41598-025-07021-6

6. Chen, Z., Zhang, Z., Su, Q., Yang, K., Wu, Y., He, L., & Tang, X. (2026). Object detection for autonomous vehicles under adverse weather conditions. *Expert Systems with Applications*, 296(Part B), 128994. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.128994

7. Du, J., Hao, F., Yu, M., Kong, D., Wu, J., Wang, B., Xu, J., & Li, P. (2025). Shift the lens: Environment-aware unsupervised camouflaged object detection. *In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (CVPR) (pp. 19271–19282).

8. Liu, C., Zhang, S., Hu, M., & Song, Q. (2024). Object detection in remote sensing images based on adaptive multi-scale feature fusion method. *Remote Sensing*, 16(5), 907. https://doi.org/10.3390/rs16050907

9. Hu, Z., Chen, W., Yang, D., et al. (2025). Enhancing object detection in remote sensing images with improved YOLOv8 model. *Scientific Reports*, 15, 42488. https://doi.org/10.1038/s41598-025-26536-6

10. Pant, A., Baniya, A. A., Lee, T.-K., & Aryal, S. (2025). Hyperspectral anomaly detection methods: A survey and comparative study. *arXiv Preprint.* https://arxiv.org/abs/2507.05730

УДК 004.8

Жуков Ілля[1], Федосєєва Аліна[2]

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ЯК СЕРВІС В РОЗРОБЦІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

У сучасному світі штучний інтелект (ШІ) надає новий погляд на всі етапи життєвого циклу розробки програмного забезпечення: автоматизує та спрощує кодування, рефакторинг коду, генерацію звітів, підтримку. Це звільняє час для розробників на більш складні завдання, такі як проєктування архітектури програмного забезпечення або виправлення складних багів. Тому використання як сервіс (AIaaS) є одним з сучасних напрямків. AIaaS являє хмарний сервіс надання послуг, що дозволяє користувачам отримати інструменти штучного інтелекту через API разом із набором готових сервісів для різних завдань, з отриманням можливості автоматизації, оптимізації та розгортки програмних рішень

Ефективність розробки програмного забезпечення на основі штучного інтелекту базується на чотирьох основних технологіях: машинному навчанні, обробці природної мови (NLP), комп'ютерному зорі та генеративному штучному інтелекті. Алгоритми машинного навчання забезпечують прогнозні аналітичні дані та автоматизоване прийняття рішень, а NLP забезпечує роботу чат-ботів, аналіз настроїв та багатомовну підтримку. Комп'ютерний зір дозволяє програмному забезпеченню інтерпретувати зображення та відео, сприяючи

[1]Студент групи ПІ-323, Харківський радіотехнічний фаховий коледж

[2] Голова ЦК "Програмування та інформаційних технологій", викладач-методист, кандидат технічних наук , Харківський радіотехнічний фаховий коледж

інноваціям у сфері контролю якості, діагностики в охороні здоров'я та безпеки [2].

Послуги з розробки програмного забезпечення на основі штучного інтелекту інтегрують передові аналітичні інструменти, що забезпечують оперативний огляд операцій та поведінки клієнтів. Моделі машинного навчання аналізують величезні масиви даних, виявляючи приховані закономірності, що дозволяє приймати більш обґрунтовані стратегічні рішення. Особи, що приймають рішення, отримують доступ до прогнозних даних, які допомагають швидше і точніше реагувати на динамічні зміни ринкової кон'юнктури.

Рішення для розвитку штучного інтелекту дозволяють здійснювати персоналізацію в широких масштабах, даючи можливість підприємствам адаптувати послуги та продукти до індивідуальних уподобань. Рекомендаційні системи, що працюють на основі машинного навчання, підвищують рівень задоволеності клієнтів та збільшують коефіцієнт конверсії. Водночас чат-боти та віртуальні асистенти забезпечують безперебійну підтримку 24/7 різними мовами.

AIaaS стає все більш цінним активом у сфері забезпечення якості (QA). Він пропонує спосіб вдосконалити процеси тестування, підвищити ефективність та отримати більш глибоке розуміння без необхідності мати великий внутрішній досвід або інфраструктуру в галузі штучного інтелекту. Самовідновлювані тести для виявлення змін в інтерфейсі або функціональності додатка та автоматичного коригування тестових скриптів.

Візуальне тестування з використанням штучного інтелекту для аналізу елементів інтерфейсу користувача та виявлення візуальних дефектів (проблеми з макетом, відсутні елементи тощо). AIaaS може аналізувати звіти про дефекти, виявляти закономірності та автоматично класифікувати і пріоритезувати дефекти, оптимізуючи процес сортування для команд розробників.

Серед найбільш відомих платформ AIaaS можна виділити такі сервіси, як Google Cloud AI, який надає інструменти для аналізу даних, створення чат-ботів та прогнозування; Amazon Web Services (AWS), що пропонує можливості створення голосових помічників і аналізу відео; а також Alibaba Cloud AI, який використовується для аналізу поведінки користувачів, обробки зображень та побудови прогнозних моделей [3].

AIaaS буде все більше інтегруватися з іншими технологіями, такими як Інтернет речей (IoT) та блокчейн, для створення пов'язаних екосистем та підвищення безпеки, прозорості та довіри до процесів і транзакцій, що базуються на штучному інтелекті [4].

Треба пам’ятати, що ШІ не ідеальним рішенням, він містить помилки і завжди залишається питання етичності використання такого інструменту. ШІ не може замінити кваліфікованого розробника, але він

може спростити девелоперам рутинні завдання та дати можливість зосередитися на креативних, нетипових тасках.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Stellium. (н.д.). *Artificial Intelligence as a Service: Complete Guide*. Режим доступу: https://stellium.consulting/articles/news/artificial-intelligence-as-a-service.

2. Smartdev. *Scaling Projects with AI Software Development Services*, AI Development Solutions, and AI-Based Software Development (2025). Режим доступу: https://smartdev.com/scaling-projects-with-ai-software-development/#:~:text=4.,customer%20impact%20as%20primary%20metrics.

3. Intuit mailchimp. (2023). *Implementing AI as a service: best practices*. Режим доступу: https://mailchimp.com/resources/ai-as-a-service/

4. Testrigor. (2024). *What is AI-as-a-Service (AIaaS)*. Режим доступу: https://testrigor.com/blog/ai-as-a-service.

УДК 004.8:658.7

Ковтун В.В.[1], Ковтун І.А.[2]

МЕТОДИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ У СИСТЕМАХ КЛАСИФІКАЦІЇ АСОРТИМЕНТУ ТА УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ

Управління запасами є однією з ключових функцій логістики та операційного менеджменту, що безпосередньо впливає на ефективність функціонування підприємств. Раціональна політика формування запасів дозволяє підтримувати необхідний рівень обслуговування споживачів, зменшувати витрати на зберігання продукції та підвищувати ефективність використання оборотного капіталу. У класичних моделях управління запасами основною метою є мінімізація сукупних витрат, які включають витрати на зберігання запасів, витрати на оформлення замовлень та втрати, пов’язані з дефіцитом продукції [1,2].

Разом із тим сучасні умови функціонування підприємств характеризуються значною динамічністю ринкового середовища. Попит на продукцію стає більш нестабільним через сезонні коливання, маркетингові активності, зміну поведінки споживачів, скорочення життєвих циклів товарів та вплив зовнішніх економічних факторів. У таких умовах традиційні статистичні підходи до прогнозування попиту часто не забезпечують необхідного рівня точності, що призводить до виникнення надлишкових запасів або дефіциту продукції [3].

[1] ст. викладач кафедри ШІАД, Національний університет «Одеська політехніка»
[2] асистент кафедри ШІАД, Національний університет «Одеська політехніка»

Одним із важливих інструментів підтримки управлінських рішень у системах управління запасами є класифікація асортименту. Найбільш поширеним методом є комбінований ABC–XYZ-аналіз, який дозволяє групувати товари за економічною значущістю та стабільністю попиту. Такий підхід забезпечує можливість формування диференційованих стратегій управління запасами для різних груп продукції [4]. Проте у більшості практичних застосувань параметри такої класифікації залишаються статичними та не враховують динамічні зміни попиту.

У сучасних дослідженнях дедалі більшу увагу приділяють використанню методів машинного навчання для прогнозування попиту та аналізу даних у логістичних системах. Алгоритми машинного навчання дозволяють обробляти великі обсяги даних, виявляти складні нелінійні залежності та підвищувати точність прогнозних моделей [5,6]. Інтеграція таких методів у процеси управління запасами відкриває можливості для створення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень.

Метою роботи є дослідження можливостей використання методів машинного навчання для вдосконалення процесів класифікації асортименту та управління запасами в умовах невизначеного попиту.

Класифікація асортименту є важливим елементом системи управління запасами, оскільки дозволяє визначати пріоритетність управлінських рішень щодо окремих товарних позицій. У класичному підході для цього використовується ABC–XYZ-аналіз. Метод ABC базується на принципі Парето та дозволяє визначити товари, що мають найбільший економічний вплив на результати діяльності підприємства. Метод XYZ, у свою чергу, враховує варіативність попиту та дозволяє оцінити стабільність продажів.

Поєднання цих двох методів формує дев’ять сегментів асортименту, для кожного з яких можуть застосовуватися різні політики управління запасами. Наприклад, товари групи A–X характеризуються високою економічною значущістю та стабільним попитом, що потребує більш жорсткого контролю рівнів запасів. Товари групи C–Z, навпаки, мають відносно низьку економічну значущість і нестабільний попит, що дозволяє використовувати спрощені стратегії управління запасами.

Загальна задача управління запасами може бути представлена як мінімізація сукупних логістичних витрат. Формула має вигляд:

$$\mathrm{TC} = C_h + C_o + C_s \,,$$

де

- C – сукупні витрати системи управління запасами
- C_h – витрати на зберігання запасів
- C_o – витрати на оформлення замовлень
- C_s – втрати від дефіциту продукції

Незважаючи на ефективність такого підходу, традиційний ABC–XYZ-аналіз має певні обмеження. Класифікація зазвичай базується на історичних даних і не враховує можливих змін у структурі попиту. Крім того, використання фіксованих порогових значень для сегментації товарів знижує адаптивність системи управління запасами.

Одним із перспективних напрямів удосконалення таких систем є використання методів машинного навчання для прогнозування попиту. Сучасні алгоритми, зокрема Random Forest, Gradient Boosting та XGBoost, дозволяють враховувати широкий спектр факторів, що впливають на продажі продукції. Значного поширення також набули глибокі нейронні мережі, зокрема моделі типу LSTM, які ефективно працюють із часовими рядами та здатні враховувати складні часові залежності у даних [7].

Використання таких моделей дозволяє підвищити точність прогнозування попиту та враховувати вплив різноманітних факторів, зокрема сезонності, маркетингових активностей, цінових змін та інших характеристик ринку. На основі отриманих прогнозних значень можливе формування більш гнучкої системи класифікації асортименту.

На відміну від традиційних підходів, у яких прогнозування попиту, класифікація асортименту та управління запасами розглядаються як окремі задачі, у роботі запропоновано інтегрований підхід до управління запасами. Структуру запропонованої моделі управління запасами представлено на рис. 1.



Рисунок 1 - Функці ональна структура системи управління запасами з використанням методів машинного навчання

Особливістю запропонованого підходу є використання результатів прогнозування попиту для адаптивної ABC–XYZ-класифікації товарів та подальшого формування політик управління запасами.

У межах такого підходу система управління запасами може бути представлена як сукупність взаємопов’язаних функціональних компонентів. До них належать модуль прогнозування попиту, модуль класифікації асортименту, модуль формування політик поповнення запасів та модуль оцінювання ефективності прийнятих управлінських рішень. Взаємодія цих компонентів дозволяє формувати адаптивну систему управління запасами, здатну реагувати на зміни попиту та ринкового середовища.

Важливим аспектом функціонування таких систем є оцінювання їх ефективності. У більшості досліджень ефективність моделей машинного навчання оцінюється за допомогою статистичних метрик точності прогнозування, таких як MAE, RMSE або MAPE. Однак такі показники не відображають комплексну оцінку ефективності результатів функціонування системи управління запасами.

Для комплексної оцінки ефективності системи управління запасами доцільно використовувати інтегральний показник (формула якого запропонована нище), який поєднує прогностичні, класифікаційні та економічні характеристики моделі. Такий підхід дозволяє оцінювати результати використання моделей машинного навчання не лише за статистичними метриками точності прогнозування, але й з урахуванням економічної ефективності управління запасами.

$$IMEI_{sys} = \alpha \cdot f(MAPE) + \beta \cdot f(SC) + \gamma \cdot f(TC) + \delta \cdot f(SL),$$

де

- MAPE — середня відносна похибка прогнозу попиту
- SC — стабільність класифікації асортименту
- TC — сукупні витрати управління запасами
- SL — рівень обслуговування попиту
- α, β, γ, δ — вагові коефіцієнти показників

Структуру інтегрального показника ефективності наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Структура інтегрального показника ефективності моделі управління запасами (IMEIsys)

Компонент оцінювання	**Показник**	**Позначення**	**Інтерпретація**
Якість прогнозування попиту	Середня відносна похибка прогнозу	MAPE	Характеризує точність ML-моделі прогнозування попиту
Стабільність класифікації	Стабільність ABC–XYZ сегментації	SC	Відображає зміну належності товарів до сегментів
Економічна ефективність	Сукупні логістичні витрати	TC	Включає витрати зберігання, замовлення та дефіциту
Рівень обслуговування	Рівень виконання попиту	SL	Характеризує доступність товару для споживача
Інтегральна ефективність	Інтегральний показник моделі	IMEIsys	Узагальнює ефективність всієї системи

У зв’язку з цим доцільним є використання комплексних підходів до оцінювання ефективності, які враховують як точність прогнозування попиту, так і економічні показники діяльності підприємства. До таких показників можуть належати сукупні витрати на зберігання запасів, рівень дефіциту продукції та показники обслуговування клієнтів. Поєднання статистичних та економічних критеріїв оцінювання дозволяє більш об’єктивно оцінювати ефективність використання моделей машинного навчання у системах управління запасами.

Висновки. У роботі досліджено можливості використання методів машинного навчання для вдосконалення процесів класифікації асортименту та управління запасами. Показано, що традиційні підходи до управління запасами, засновані на статичних моделях та припущенні відносної стабільності попиту, мають обмежену ефективність в умовах сучасного динамічного ринкового середовища.

Обґрунтовано доцільність інтеграції класичних методів класифікації асортименту з сучасними алгоритмами машинного навчання для прогнозування попиту. Запропонований підхід передбачає використання результатів прогнозування попиту для адаптивної класифікації асортименту та подальшого формування політик управління запасами.

Наукова новизна роботи полягає у запропонованому інтегрованому підході до управління запасами, який поєднує прогнозування попиту на основі методів машинного навчання, адаптивну класифікацію асортименту та комплексне оцінювання ефективності управлінських рішень.

Запропонований підхід може бути використаний як основа для створення інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень у сфері логістики та управління ланцюгами постачання. Подальші дослідження доцільно спрямувати на емпіричну апробацію таких моделей на реальних даних підприємств та розвиток адаптивних алгоритмів управління запасами.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Chopra, S., & Meindl, P. (2014). *Supply chain management: Strategy, planning, and operation* (6th ed.). Pearson.

2. Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2021). *Designing and managing the supply chain: Concepts, strategies, and case studies*. McGraw-Hill Education.

3. Abolghasemi, M., Beh, E., Tarr, G., & Gerlach, R. (2020). Demand forecasting in supply chain: The impact of demand volatility in the presence of promotion. *Computers & Industrial Engineering, 139*, 106380. https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106380

4. Шендерівська, Л. П., & Варварова, А. К. (2024). ABC–XYZ аналіз в системі управління запасами підприємства. *Підприємництво і торгівля, 41*, 126–136. https://doi.org/10.32782/2522-1256-2024-41-16

5. Babai, M. Z., Arampatzis, M., Hasni, M., Lolli, F., & Tsadiras, A. (2025). On the use of machine learning in supply chain management: A systematic review. *IMA Journal of Management Mathematics, 36*(1), 21–49. https://doi.org/10.1093/imaman/dpae029

6. Douaioui, K., Oucheikh, R., Benmoussa, O., & Mabrouki, C. (2024). Machine learning and deep learning models for demand forecasting in supply chain management: A critical review. *Applied System Innovation, 7*(5), 93. https://doi.org/10.3390/asi7050093

7. Abbasimehr, H., Shabani, M., & Yousefi, M. (2020). An optimized model using LSTM network for demand forecasting. *Computers & Industrial Engineering, 143*, 106435. https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106435

УДК 004.93

Руденко М.С.[1], Мироненко М.І.[2]

РОЗПІЗНАВАННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ НА БАЗІ БОРТОВОЇ СИСТЕМИ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

Розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА) військового призначення перетворив їх на високотехнологічні та результативні засоби ведення бойових дій. У сучасних збройних конфліктах їх значення дедалі більше наближається до ролі традиційних видів озброєння, що, в свою чергу, зумовлює суттєвий перегляд стратегічних і тактичних підходів до ведення війни. Водночас удосконалення безпілотних технологій супроводжується активним розвитком засобів радіоелектронної боротьби, які спрямовані на протидію БПЛА. За таких умов особливої актуальності набуває розроблення інтелектуальних бортових систем, здатних забезпечувати виявлення, захоплення та автоматичне наведення на ціль.

Для розв’язання задач навчання та розпізнавання образів широко застосовуються згорткові нейронні мережі, характерною ознакою яких є застосування згорткових операторів для автоматичної екстракції релевантних ознак і структурних елементів зображення з подальшою обробкою багатошаровою нейронною мережею для формування класифікаційних рішень [1]. При цьому одним з ключових обмежень при побудові бортової системи комп’ютерного зору БПЛА є значна нестача обчислювальних та енергетичних ресурсів. Для таких платформ критичним є не тільки точність алгоритмів, але і вимоги до оперативної

[1] Аспірант групи А-36/КН, Сумський державний університет
[2] Доктор філософії, асистент кафедри КН, Сумський державний університет

пам'яті, обсягу моделі, що зберігається, затримки обробки кадра і середньому енергоспоживанню обчислювального модуля. З цієї точки зору доцільним є застосування підходів машинного навчання, запропонованих у рамках інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (ІЕІТ), яка може розглядатися як альтернатива, орієнтована на меншу модельну складність та більш прозору обчислювальну структуру. ІЕІТ базується на переводі ознак розпізнавання із декартового простору в бінарний простір Геммінга, за допомогою оптимальної системи контрольних допусків, що дозволяє модифікувати ознаки розпізнавання для більш чіткого компактного їх розподілу. Після цього в бінарному просторі знаходяться оптимальні параметри роздільної гіперповерхні завдяки максимізації інформаційної спроможності системи шляхом пошуку максимального значення інформаційного критерію функціональної ефективності (КФЕ) [1]. В якості КФЕ використовується модифікована інформаційна міра Кульбака E_m^k, яка є функціоналом від точнісних характеристик.

$$E_m^k = \left(D1_m^k(d) - \beta_m^k(d)\right) \cdot \log_2\left(\frac{1+D1_m^k(d)-\beta_m^k(d)+10^{-n}}{1-D1_m^k(d)+\beta_m^k(d)+10^{-n}}\right), \qquad (1)$$

де $D1_m^k(d)$ – перша достовірність прийняття рішення на k-му кроці навчання для m-го класу розпізнавання;

$\beta_m^k(d)$ – помилка другого роду;

d – дистанційна міра, яка визначає радіуси сферичних гіперповерхонь, побудованих в бінарному просторі Геммінга.

З метою забезпечення інваріантності алгоритму розпізнавання до деформацій типу зміщення, поворот та зміна масштабу обробка вхідних зображення виконувалась в полярній системи координат по кругах за формулою (2):

$$\Theta_j = \frac{1}{N_j}\sum_{i=1}^{N_j}\theta_i, \qquad (2)$$

де Θ_j – усереднене значення відповідної складової кольорового простору Lab на колі зчитування з радіусом j;

θ_i – значення однієї з складових кольорового простору Lab в i-му пікселі кола зчитування з радіусом j;

N_j – кількість пікселів в колі зчитування з радіусом j.

В результаті обробки зображення за формулою (2) для зображення 100 на 100 пікселів формується вхідна реалізація розміром 150 ознак одного з класів військової техніки у вигляді усередненої функції складових простору LAB від радіусу кола зчитування. Вибір кольорового простору LAB обумовлений тим, що на відміну від RGB він має перцептуально більш рівномірний простір, канал L більш стабільний до кольорових зсувів, а канали A та B надають додаткову інформацію.

Висновки. Таким чином, для бортових систем розпізнавання БПЛА в умовах обмежених обчислювальних та енергетичних ресурсів доцільним є застосування ІЕІТ машинного навчання. Використання

полярного методу обробки зображень у просторі LAB дає змогу зменшити розмірність вхідного опису та підвищити стійкість ознак до зміщення, повороту і змін масштабу. Це створює передумови для побудови енергоефективних і достатньо достовірних бортових систем автоматизованого виявлення, розпізнавання та наведення на ціль.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мироненко, М., Стрілець, В., Ковалевський, С., & Красковський, Р. (2024). Інформаційно-екстремальне машинне навчання автономного безпілотного літального апарату для розпізнавання наземних інфраструктурних об'єктів. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*, (4/147), 85–91.

УДК 004.912:81'322.2:791.2(477)

Третяк Є.М.[1], Смиш О.Р.[2]

NLP: АНАЛІЗ ДІАЛОГІВ УКРАЇНСЬКИХ КІНОФІЛЬМІВ

Анотація. Український кінематограф є не лише об'єктом мистецтва, а й суттєвою частиною даних, яка може слугувати джерелом статистичних досліджень. У цифрову епоху виникає потреба в інструментах, що дають змогу автоматизовано аналізувати структуру діалогів, репрезентацію персонажів та статей у них, а також певні мовленнєві шаблони. Саме поточні засоби обробки природної української мови уможливлюють створення таких методів. Актуальність цієї праці зумовлена браком наявних спеціалізованих NLP-рішень для глибокого розгляду українського кінематографа, що здатні враховувати специфіку вітчизняного медіапростору.

Ключові слова: обробка природної мови, український кінематограф, цифрові технології, інформаційні технології, мовний аналізатор, вебзастосунок, українська мова.

Вступ. У межах дослідження реалізовано систему для комплексного розбору кінострічки. Програма дає можливість користувачеві завантажувати відеофайл, після чого відбувається автоматичне отримання та опрацювання реплік. Базою для удосконалення застосунку слугував зібраний корпус зі 135-ти українських кінострічок.

---

[1] Студентка четвертого року навчання спеціальності «Інженерія програмного забезпечення» факультету інформатики Національного університету «Києво-Могилянська академія»

[2] Науковий керівник студентки, доктор філософії з комп'ютерних наук, старший викладач кафедри мультимедійних систем факультету інформатики Національного університету «Києво-Могилянська академія»

Основний матеріал. Важливою особливістю системи є застосування трирівневого підходу для ідентифікування гендерної належності мовців для кожної з реплік. Визначення статі мовців виконано такими методами:

• лінгвістичний аналіз (текст): використання морфологічного аналізатора UDPipe [1] для пошуку граматичних маркерів роду в репліках мовців;

• візуальний пошук (зображення): застосування моделі для детекції об'єктів із відкритим набором класів (Open-Set Object Detector) Grounding DINO [2] та аналізу статі персонажів у кадрі в момент виголошення їхньої репліки;

• акустичний аналіз (аудіо): опрацювання коротких аудіофрагментів для визначення статі з використанням моделі акустичної класифікації.

Програмне рішення забезпечує створення стислої статистики щодо окремого кінотвору, охоплюючи кількісні показники екранного часу, обсяг мовлення та специфічні лексичні маркери для різних груп мовців.

Зокрема, система надає такі характеристики фільму: часовий розподіл мовлення: розрахунок сумарної тривалості реплік за статтю мовців у порівнянні з тривалістю інтервалів тиші (пауз у діалогах); кількісні метрики діалогів: статистичний облік кількості реплік для кожної гендерної групи та визначення статі, що домінує за обсягом виголошених реплік; динаміка фільму: аналіз темпу виголошення реплік на визначених часових проміжках фільму та кількість монологів (коли один персонаж промовляє свої репліки не менше 30 секунд), які присутні у фільмі; середня тривалість репліки: обчислення середньої довжини репліки окремо для жіночих та чоловічих персонажів; гендерна репрезентативність: автоматизована перевірка стрічки на тест Бекдел [3]; аналіз лексикону: формування списків найуживаніших слів, розподілених за частинами мови (іменники, прикметники, дієслова), а також списків найуживаніших слів обраних частин мови для жіночих та чоловічих мовців, що унаочнює мовленнєвий портрет кожної статі та найуживаніший лексикон упродовж усього фільму; виявлення лексичних маркерів: ідентифікація слів, найбільш характерних для кожної статі, застосовуючи показник TF-IDF. У межах цього підходу репліки жіночих та чоловічих персонажів розглянуто як два окремі документи, що дає можливість математично виокремити унікальну специфіку мовлення для кожної з цих груп.

Висновки. Створена програма може слугувати, як інструмент для кінознавців, сценаристів та продюсерів. Вона дає можливість на етапі написання сценарію або аналізу вже готового продукту оцінити баланс репрезентації персонажів, виявити приховані мовленнєві тенденції та побачити певні гендерні маркери. Автоматизація такого аналізу сприяє

об’єктивному розумінню розвитку українського кіно та його вдосконаленню.

ПЕРЕЛІК ПОКЛИКАНЬ

1. Straka, M., Náplava, J., Straková, J., & Samuel, D. (2021, August). RobeCzech: Czech RoBERTa, a monolingual contextualized language representation model. In International conference on text, speech, and dialogue (pp. 197-209). Cham: Springer International Publishing.

2. Liu, S., Zeng, Z., Ren, T., Li, F., Zhang, H., Yang, J., ... & Zhang, L. (2024, September). Grounding dino: Marrying dino with grounded pre-training for open-set object detection. In European conference on computer vision (pp. 38-55). Cham: Springer Nature Switzerland.

3. Bechdel Test Movie List. (n. d.). Bechdel Test Movie List. https://bechdeltest.com/.

УДК 004.89:004.93

Бондаренко Д.А.[1]

ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ

Розпізнавання образів є однією з фундаментальних галузей досліджень у сфері штучного інтелекту (ШІ), яка спрямована на навчання комп’ютерних систем аналізу та класифікації візуальної інформації.

Математичний та алгоритмічний фундамент цих систем базується на використанні багатовимірних векторних просторів, лінійній алгебрі (зокрема, тензорних обчисленнях) та теорії нелінійної оптимізації. Тривалий час золотим стандартом у цій галузі були згорткові нейронні мережі (CNN), які здатні ефективно витягувати локальні просторові ознаки зображень. Проте поява трансформерів зору (Vision Transformers, ViT) значно сильно змінила підхід. Завдяки механізмам внутрішньої уваги, ViT дозволяють захоплювати глобальний контекст сцени незалежно від відстані між пікселями. Сучасним архітектурним трендом є розробка гібридних моделей (CNN-ViT), які поєднують просторову точність згорткових мереж із контекстним розумінням трансформерних алгоритмів. У таблиці 1 наведений порівняльний аналіз базових архітектур розпізнавання.

[1] Студент групи ІСТ-31, Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, аспірантура

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз базових архітектур розпізнавання

Параметр	CNN	VIT	Гібридні (CNN-ViT)
Принцип вилучення ознак	Локальний	Глобальний	Змішаний
Математичний базис	Згортка	Механізм уваги	Згортка та увага
Залежність від обсягу даних	Середня	Дуже висока	Оптимізована

Окремим проривом останніх років стало впровадження підходу самокерованого навчання (Self-Supervised Learning, SSL). Моделі на кшталт DINOv2 здатні автономно виявляти приховані закономірності у нерозмічених даних. Це відкрило нові можливості для медичної візуалізації. У вітчизняному науковому просторі методи розпізнавання образів активно впроваджуються як для оптичного розпізнавання історичних українських рукописів, так і в секторі оборонних технологій. Алгоритми ШІ дозволяють безпілотним системам здійснювати автономну навігацію в умовах придушення сигналів та автоматично ідентифікувати об’єкти в режимі реального часу.

Будь-яке серйозне академічне чи інженерне підтвердження ефективності моделей розпізнавання образів неможливе без застосування строгих статистичних метрик. Хоча у повсякденному обігу часто використовується метрика загальної точності (Accuracy), у професійному розпізнаванні образів (особливо при роботі з незбалансованими вибірками, де один клас домінує над іншим) вона є статистично оманливою.

Об’єктивний аналіз базується на так званій «матриці плутанини» (Confusion Matrix), яка формалізує чотири можливі стани класифікатора: істинно позитивні (True Positive, TP), істинно негативні (True Negative, TN), хибно позитивні (False Positive, FP) та хибно негативні (False Negative, FN) результати. У формулі 1 представлені згадані метрики:

Формула 1. Метрики матриці плутанини

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$F1 = 2 \cdot \frac{Precision \cdot Recall}{Precision + Recall} = \frac{2TP}{2TP + FP + 1}$$

Висновки. Еволюція нейромережевих архітектур та перехід до самокерованого навчання суттєво розширили можливості систем розпізнавання образів. Незважаючи на точність у медичній діагностиці та автономних системах, подальший розвиток потребує вирішення проблем прозорості алгоритмів та подолання етичних викликів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Tikhonov, A., & Rabus, A. (2024). Handwritten Text Recognition of Ukrainian Manuscripts in the 21st Century: Possibilities, Challenges, and the Future of the First Generic AI-based Model. Kyiv-Mohyla Humanities Journal, 11(2024), 226–247.
2. Fontanella, F., Colace, F., Molinara, M., Freca, A. S., & Stanco, F. (2020). Pattern recognition and artificial intelligence techniques for cultural heritage. Pattern Recognition Letters, 138, 23–29. https://doi.org/10.1016/j.patrec.2020.06.018

УДК 004.89

Паращенко В. А.[1], Берест О. Б. [2]

АВТОМАТИЗОВАНЕ ФОРМУВАННЯ ПОРАД ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСОБАМИ LLM

Сучасні інструменти контролю якості програмного забезпечення (ПЗ) переважно базуються на детермінованих правилах аналізу програмного коду[1]. Такі засоби виконують статичний аналіз кодової бази для виявлення типових помилок та вразливостей. Водночас відповідність програмних компонентів архітектурним патернам і структурним принципам побудови програмних систем здебільшого залишається поза сферою контролю зазначених інструментів.

Поява великих мовних моделей (Large Language Models, LLM)[2] відкрила нові можливості для підвищення ефективності аналізу якості програмного коду. На відміну від традиційних статичних аналізаторів, такі моделі здатні враховувати контекст програмного фрагмента та формувати зрозумілі для людини рекомендації щодо покращення коду.

Метою дослідження є впровадження великих мовних моделей для побудови модуля порад системи підтримки прийняття рішень(СППР) щодо верифікації якості програмного забезпечення. Для досягнення поставленої мети розроблено конвеєр верифікації якості, який поєднує методи статичного аналізу та інтелектуальної обробки даних, який продемонстрований на рисунку 1.

[1] аспірант кафедри комп'ютерних наук, Сумський державний університет
[2] кандидат технічних наук, старший викладач кафедри комп'ютерних наук Сумського державного університету

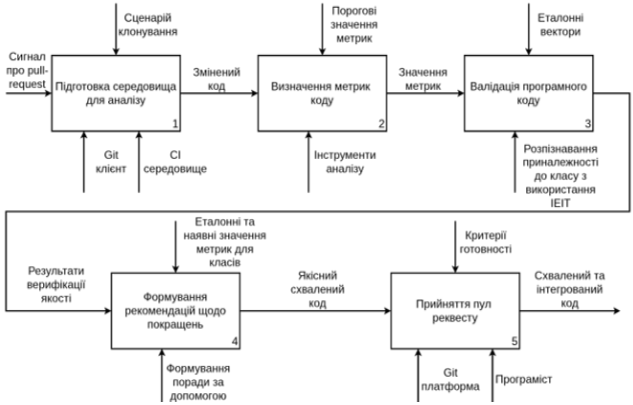


Рисунок **Помилка! У документі відсутній текст указаного стилю.**1– Функціональна схема СППР для верифікації якості ПЗ

Згідно із запропонованою функціональною схемою процес забезпечення якості програмних систем базується на інтеграції методів статистичного аналізу та інформаційно-екстремального інтелектуального навчання. Початковий етап конвеєру верифікації передбачає проведення статичного аналізу вихідного коду для визначення набору метрик, які кількісно описують структурну складність програмних одиниць. Отримані дані трансформуються у навчальну матрицю ознак, яка подається на вхід системи інформаційно-екстремальної інтелектуальної технології (IEIT)[3] для подальшої класифікації. У процесі ітераційного навчання IEIT здійснюється синтез еталонних векторів, що репрезентують різні класи якості програмних модулів у межах конкретної кодової бази. Етап верифікації передбачає порівняння отриманих еталонних репрезентацій із векторами тестових об’єктів шляхом обчислення міри подібності μ[4], яка в рамках IEIT базується на основі кодової відстані Хеммінга. Приклад порівняння таких векторів продемонстровано в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняння еталонного і тестового векторів

Еталонний контролер	1 0 0 1 1 0 0 1 0 0 0 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 0 0 1 0 1 0 1 0 0
Тестований контролер	1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 1 1 1 0 0 1 0 0 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 0 1 1 0 1 1 0 1

Ефективність функціонування запропонованого методу забезпечується процедурою оптимізації контрольних допусків під час бінаризації ознак, що дає змогу еталонним векторам адекватно відображати характерні властивості архітектурних компонентів програмної системи. Для кожної такої ознаки обчислюється відносна величина відхилення, що дозволяє формалізувати ступінь розбіжності

між поточною реалізацією та цільовою архітектурною моделлю. На завершальному етапі проводиться ранжування виявлених відхилень з метою формування пріоритезованого переліку характеристик, які спричиняють найбільш суттєвий вплив на архітектурну якість досліджуваного програмного класу порівняно з еталонною моделлю

Після формування еталонного опису архітектурного типу здійснюється порівняння еталонного класу з тестованим програмним компонентом, тобто верифікація якості. На цьому етапі визначається множина ознак, для яких значення у тестованому екземплярі відрізняються від еталонних. Для кожної такої ознаки обчислюється відносне відхилення, що дозволяє оцінити ступінь віддаленості поточного значення метрики від типової структури відповідного архітектурного компонента, результати вимірювань показано в таблиці 2. Отримані значення відхилень підлягають ранжуванню, після чого формується впорядкований список характеристик, які найбільше впливають на відмінність аналізованого класу від еталонної моделі.

Таблиця 2 – Метрики, що потребують оптимізації

Назва метрики	**Нормалізоване значення**	**Відхилення від еталону**	**Відсоткове відхилення від еталону, %**
NPath Complexity	59	10	69
Parameter Number	**99**	**71**	**170**
Method Length	**116**	**79**	**195**
Method Count	95	62	157
File Length	**120**	**80**	**200**
Law of Demeter Violations	114	-71	43
Method Count	101	56	157
Average Line Count	85	72	157
Average Parameter Count	107	21	128
Final Field Count	119	34	153
Public Method Count	**115**	**82**	**197**
LCOM1	67	11	78
LCOM4	**114**	**56**	**170**
LCOM5	101	27	128

У межах проведеного експериментального дослідження було визначено п’ять метрик, значення яких демонструють найбільші відхилення від еталонних характеристик архітектурного типу, а саме: Method Length, File Length, Public Method Count, LCOM4 та Parameter Number. Аналіз відносних відхилень цих показників використовується для ідентифікації потенційних архітектурних невідповідностей програмного компонента. Зокрема, підвищені значення метрик Method

Length та File Length можуть свідчити про надмірну концентрацію функціональної логіки в окремих методах або програмному модулі загалом, тоді як зростання значення LCOM4 сигналізує про зниження рівня згуртованості класу та можливе порушення принципу єдиної відповідальності.

Сформований набір найбільш значущих відхилень використовується як вхідний інформаційний опис для великої мовної моделі, що забезпечує автоматизовану генерацію рекомендацій щодо оптимізації структури програмного коду, приклад такого запиту продемонстровано на рисунку 2. В рамках дослідження використовувалася модель gemini-2.5-pro[5]. Напрям необхідної модифікації визначається на основі знака відносного відхилення відповідної метрики, що дозволяє встановити цільовий напрям коригування її значення для досягнення відповідності еталонним архітектурним характеристикам. У результаті формується набір контекстно орієнтованих рекомендацій щодо рефакторингу, спрямованих на підвищення структурної якості програмного компонента.



Рисунок 2 – Приклад запиту для LLM

Висновки: запропонований підхід реалізує процедуру виявлення найбільш критичних структурних відхилень програмного компонента від еталонної моделі архітектурного типу та слугує основою для побудови системи підтримки прийняття рішень, призначеної для верифікації якості програмного забезпечення. Використання ранжування відносних відхилень метрик забезпечує зосередження уваги на найбільш значущих характеристиках, що впливають на якість програмного коду, а інтеграція великої мовної моделі у процес аналізу створює можливість автоматизованого формування інтерпретованих рекомендацій щодо внесення змін. У результаті підвищується ефективність процесу верифікації якості програмного забезпечення та зменшується навантаження на розробників під час аналізу складних програмних систем.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Mahmood, R., & Mahmoud, Q. H. (2018). *Evaluation of static analysis tools for finding vulnerabilities in Java and C/C++ source code*. arXiv.

2. Chang, Y., et al. (2024). A survey on evaluation of large language models. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, *15*(3), 1–45.

3. Довбиш, А. С., Ободяк, В. К., & Шелехов, І. В. (2021). *Сучасні інформаційні технології в кібербезпеці*. Суми: Сумський державний університет.

4. Довбиш, А. С., & Шелехов, І. В. (2015). *Основи теорії розпізнавання образів*. Суми: Сумський державний університет.

5. Comanici, G., et al. (2025). *Gemini 2.5: Pushing the frontier with advanced reasoning, multimodality, long context, and next generation agentic capabilities*. arXiv.

УДК 004.9

Козинець А.Ю.[1], Демків Л.С. [2]

ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОЕТАПНОЇ ДИСТИЛЯЦІЇ ЗНАНЬ ТА ГІБРИДНОЇ КОМПРЕСІЇ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ЇХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ СКЛАДНОСТІ

Сучасні згорткові нейронні мережі, такі як VGG та ResNet, забезпечують високу точність у задачах комп'ютерного зору завдяки формуванню складних багатошарових репрезентацій ознак [1]. Проте, їхня значна надлишковість створює критичний обчислювальний бар'єр для розгортання на периферійних пристроях з обмеженою пам'яттю [3]. Одним із найбільш фундаментальних підходів до вирішення цієї проблеми є дистиляція знань, яка передбачає навчання компактної моделі-студента імітувати поведінку громіздкої моделі-вчителя за допомогою використання «м'яких цілей» [2].

Незважаючи на теоретичну ефективність методів оптимізації, їх практична імплементація стикається з двома серйозними технічними проблемами. По-перше, виникає проблема «градієнтного шоку» при ініціалізації: радикальна неузгодженість між попередньо навченими екстракторами ознак у тілі моделі та випадково ініціалізованим класифікатором генерує надзвичайно великі значення градієнтів

[1] Аспірант кафедри системного проектування, Львівський національний університет імені Івана Франка

[2] Кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри системного проектування, Львівський національний університет імені Івана Франка

помилки. Зворотне поширення цих масивних градієнтів дестабілізує та безповоротно руйнує вже сформовані вагові коефіцієнти у глибоких згорткових шарах. По-друге, агресивне видалення структурних елементів під час прунінгу різко звужує простір параметрів моделі, і стандартне донавчання за допомогою звичайної функції крос-ентропії часто не здатне відновити втрачені інформаційні зв'язки. Метою даної роботи є розробка алгоритму двоетапної дистиляції знань для подолання проблеми «градієнтного шоку» та забезпечення ефективного відновлення репрезентативної здатності згорткових нейронних мереж після структурної компресії.

Для подолання вказаних обмежень розроблено та імплементовано алгоритм Two-Stage Distillation, який реалізує стратегію поступової адаптації та алгоритмічно розділяє процес навчання на фазу стабілізації класифікатора та фазу глибокої дистиляції. На першому етапі (стабілізація) параметри тіла моделі заморожуються, а навчання проходить виключно вихідний шар із включенням регуляризації через згладжування міток для запобігання перенавчанню. Для розрахунку втрат на цьому етапі запропоновано використовувати наступну математичну функцію:

$$L_{warmup} = (1 - \epsilon)H(y, p) + \epsilon H(u, p)$$

Де L_{warmup} - значення функції втрат на етапі стабілізації; ϵ - коефіцієнт згладжування міток; $H(y, p)$ - перехресна ентропія; y - істинна мітка класу; p - розподіл ймовірностей, передбачений моделлю; $H(u, p)$- перехресна ентропія між рівномірним розподілом та передбаченням моделі; u - рівномірний розподіл. На другому етапі (глибока дистиляція) вся мережа розморожується. Навчання відбувається шляхом мінімізації комбінованої функції втрат, що враховує дивергенцію Кульбака-Лейблера (KL) між температурно-згладженими виходами вчителя та студента.

Експериментальне дослідження алгоритмів проведено на архітектурних сімействах ResNet та VGG. Отримані результати підтверджують, що спроба застосувати стандартну процедуру самодистиляції до моделі VGG16 без етапу попередньої стабілізації призвела до катастрофічної деградації ознакового простору: точність важкої моделі впала з 0.684 до 0.621. Це є прямим емпіричним доказом наявності «градієнтного шоку», оскільки масивні похибки непідготовленого класифікатора поширилися через лінійну структуру VGG. Натомість застосування розробленого алгоритму Two-Stage Distillation дозволило алгоритмічно ізолювати класифікатор та підвищити точність студента VGG11 до 0.642 (приріст +0.026 відносно базового студента). Аналогічно, для мережі ResNet18 фінальна точність підвищилася до 0.785 (приріст +0.015). В цілому, використання

запропонованого алгоритму дозволяє стабільно підвищити точність компактних моделей на 1.5–2.6% порівняно зі стандартним навчанням.

Крім того, у роботі досліджено феномен «дистиляційного відновлення». Доведено, що використання «м'яких цілей» вчителя у звуженому просторі пошуку після агресивного прунінгу дозволяє проріджений моделі ResNet18 (із видаленням майже 28% ваг) досягти точності 0.778. Виникає контрінтуїтивний парадокс: проріджена дистильована модель працює точніше, ніж повноцінна базова модель-студент (точність 0.770) [4]. Це свідчить про те, що дистиляція діє як ідеальний просторовий навігатор для оптимізатора у вузькому просторі параметрів.

Парето-ефективність та крос-платформний аналіз доводять, що апаратна архітектура обчислювача жорстко диктує вибір оптимального методу компресії.

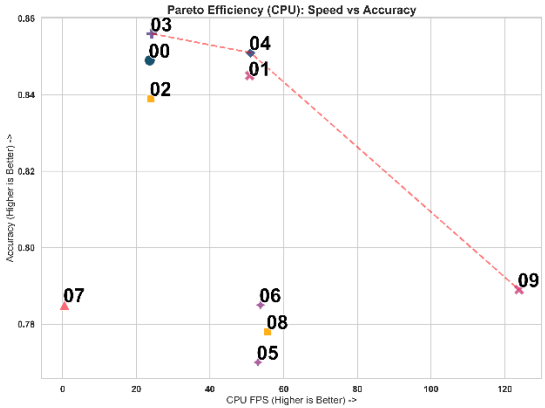


Рис. 1. Парето-фронт ефективності методів компресії для ResNet на системі з обмеженим енергоспоживанням (CPU).

Як видно з Рисунку 1, для розгортання систем в умовах обмеженої пам'яті найкращим є агресивний гібридний ланцюжок (Метод 09): Two-Stage дистиляція + структурний прунінг + INT8 квантизація. Цей комплексний метод зменшує обсяг пам'яті для ResNet з 84.2 МБ до безпрецедентних 7.7 МБ (коефіцієнт стиснення 10.9x) та прискорює інференс у 5.24 раза, досягаючи 123.8 FPS. Водночас для високопродуктивних обчислювачів (GPU) програмна деквантизація цілочисельних тензорів INT8 створює "пляшкове горлечко" в пам'яті, зводячи ефективність до мінімуму. Тому для хмарних архітектур з підтримкою CUDA оптимальним визначено метод переведення навченої за алгоритмом Two-Stage дистиляції моделі у формат половинної точності (FP16). Це дозволяє тензорним ядрам обробляти мережу

ResNet зі швидкістю 282.8 FPS без жодних втрат класифікаційної здатності.

Висновки. У результаті проведеного дослідження розв'язано науково-практичну задачу підвищення ефективності перенесення знань між згортковими нейронними мережами для їх розгортання на ресурсообмежених периферійних пристроях. Доведено, що розроблений та імплементований алгоритм Two-Stage Distillation з етапом стабілізації алгоритмічно ізолює деструктивні градієнти, успішно долаючи феномен градієнтного шоку при випадковій ініціалізації класифікатора, що дозволило стабільно підвищити точність компактних моделей-студентів (для VGG11 на +2.6%, для ResNet18 на +1.5%). Експериментально підтверджено існування механізму «Distillation Healing», завдяки якому температурно-згладжені «м'які цілі» вчителя діють як просторовий навігатор, дозволяючи прорідженим архітектурам перевершувати за точністю свої повнорозмірні аналоги та нівелювати втрати від видалення до 28% вагових коефіцієнтів. На основі крос-платформного аналізу встановлено, що для систем інтернету речей (CPU) безальтернативним є поєднання двоетапної дистиляції, прунінгу та INT8-квантизації, що забезпечує коефіцієнт стиснення фізичного обсягу пам'яті у 10.9 раза та прискорення інференсу у 5.24 раза. Водночас доведено, що для хмарних інференс-серверів (високопродуктивні GPU) цілочисельна квантизація є неефективною через затримки деквантизації в пам'яті, тому максимальну Парето-ефективність забезпечує поєднання дистиляції з форматом FP16, досягаючи швидкості обробки 282.8 FPS для сімейства ResNet без втрат у точності класифікації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 770–778. https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90

2. Hinton, G., Vinyals, O., & Dean, J. (2015). Distilling the knowledge in a neural network. *NIPS Deep Learning Workshop*. http://arxiv.org/abs/1503.02531

3. Deng, L., Li, G., Han, S., Shi, L., & Xie, Y. (2020). Model compression and hardware acceleration for neural networks: A comprehensive survey. *Proceedings of the IEEE*, 108(4), 485–532. https://doi.org/10.1109/JPROC.2020.2976475

4. Frankle, J., & Carbin, M. (2019). The lottery ticket hypothesis: Finding sparse, trainable neural networks. *International Conference on Learning Representations (ICLR)*. https://doi.org/10.48550/arXiv.1803.03635

УДК 004.89:004.032.26
Пономаренко А.В.[1], Зайко Т.А.[2]

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ ПІДХОДІВ ДО ДІАГНОСТУВАННЯ НЕЛІНІЙНИХ СИСТЕМ

Анотація. У роботі розглянуто проблему діагностування складних технічних об'єктів в умовах великих даних (Big Data). Проведено формалізацію задачі діагностики як задачі розпізнавання образів. Виконано порівняльний аналіз ефективності методів навчання з учителем (Deep Learning) та методів виявлення аномалій (One-Class Classification). Запропоновано критерії вибору архітектури нейронної мережі залежно від збалансованості навчальної вибірки.

Ключові слова: технічна діагностика, нелінійні системи, згорткові нейронні мережі, One-Class SVM, дисбаланс даних.

Вступ. Сучасний етап розвитку промислових систем (Industry 4.0) характеризується масовим впровадженням кіберфізичних систем, оснащених численними сенсорами. Це призводить до генерації гетерогенних потоків даних, які характеризуються високою швидкістю надходження, обсягом та різноманітністю (концепція Big Data). Традиційні методи діагностування, засновані на фізичному моделюванні або порогових правилах, втрачають ефективність через суттєву нелінійність об'єктів діагностування та наявність нестаціонарних шумів.

Як зазначається у роботі, побудова адекватних аналітичних моделей для таких систем є надскладною задачею, що зумовлює перехід до методів, керованих даними (Data-Driven). Метою даної роботи є порівняльний аналіз двох домінуючих підходів у машинному навчанні - Supervised Learning (на прикладі CNN) та Unsupervised Learning (на прикладі One-Class SVM) - для визначення меж їх застосовності в задачах діагностики.

1. Підхід на основі глибокого навчання (Supervised Learning).

Найбільш поширеним підходом, описаним в огляді [1], є зведення задачі діагностики до задачі багатокласової класифікації. Вхідний сигнал (вібрація, струм) $X(t)$ перетворюється у простір ознак, де кожному стану системи S_i (Норма, Дефект 1, Дефект 2) ставиться у відповідність мітка класу$y \in \{0, 1, \dots, K\}$.

Для автоматичної екстракції ознак доцільно використовувати глибокі згорткові нейронні мережі (Deep CNN). Математично операція згортки для вхідного сигналу x та ядра фільтра ω описується рівнянням:

[1] студент групи А-F3.15, НУ «Запорізька політехніка»
[2] доцент кафедри програмних засобів, НУ «Запорізька політехніка»

$$y[i] = \sum_j x[i-j] \cdot \omega[j] + b, \quad (1)$$

де b – зсув. Використання шарів субдискретизації (Pooling) дозволяє знизити розмірність даних, зберігаючи інваріантність до часових зсувів.

Навчання такої мережі відбувається шляхом мінімізації функції втрат, зазвичай перехресної ентропії (Cross-Entropy Loss):

$$L = -\sum_{i=1}^{N} y_i \cdot \log(\hat{y}_i), \quad (2)$$

де y_i – істинна мітка, $\hat{y}_i$ – передбачена ймовірність.

Переваги та недоліки. Як показано в [1], CNN забезпечують найвищу точність (Accuracy > 98%) на збалансованих датасетах. Однак, критичним недоліком є залежність від репрезентативності вибірки. В умовах реальної експлуатації кількість аварійних записів є мізерною порівняно з нормальними режимами. Це призводить до того, що мінімізація функції (2) досягається за рахунок ігнорування рідкісних класів, що є неприпустимим для систем безпеки.

2. Підхід на основі навчання без вчителя (One-Class Classification).

Альтернативним напрямком є відмова від класифікації дефектів на користь детекції аномалій (Anomaly Detection). Цей підхід базується на припущенні, що дані нормального режиму роботи кластеризуються в певній області простору ознак, а будь-які дефекти призводять до виходу вектора стану за межі цієї області.

Фундаментальним методом у цьому класі є однокласова машина опорних векторів (One-Class SVM), теоретичні засади якої викладено в [329]. Задача полягає у пошуку гіперсфери мінімального радіусу R, що охоплює більшість нормальних даних. Задача оптимізації формулюється наступним чином:

$$\min_{R,\xi,c} R^2 + \frac{1}{vl}\sum_{i=1}^{l} \xi_i, \quad (3)$$

при обмеженні $||\Phi(x_i) - c||^2 \leq R^2 + \xi_i$, де ξ_i - змінні слабкості, що дозволяють допускати певний відсоток викидів, v - параметр регуляризації, що контролює частку викидів, Ф - функція ядра (Kernel function), що відображає дані у простір вищої розмірності.

Переваги та недоліки. Метод One-Class SVM не потребує даних про аварії для навчання, що робить його незамінним на етапі запуску

нових систем. Однак, його обчислювальна складність зростає квадратично від кількості зразків, що ускладнює його використання для Big Data без попереднього відбору даних.

3. Порівняльний аналіз.

На основі проведеного аналізу літературних джерел [1-3] було сформовано порівняльну характеристику розглянутих підходів.

Помилка! Джерело посилання не знайдено..

Критерій порівняння	Deep Learning (CNN)	One-Class Classification (SVM)
Тип навчання	З учителем (Supervised)	Без учителя (Unsupervised)
Вимоги до даних	Потребує розмічених даних про всі типи дефектів	Потребує лише даних "Норми"
Чутливість до дисбалансу	Висока (схильність до перенавчання на мажоритарний клас)	Низька (стійкий до дисбалансу)
Інтерпретація результату	Вказує конкретний тип дефекту	Вказує лише факт наявності аномалії («Норма» / «Не норма»)
Обчислювальна складність	Висока на етапі навчання, низька при експлуатації	Висока (залежить від кількості опорних векторів)

Висновки. Виконаний аналіз дозволяє зробити висновок, що універсального методу діагностування не існує. Методи Deep Learning (CNN) є доцільними для задач, де накопичено великі історичні бази даних з розміченими дефектами. Однак для більшості промислових систем, що генерують Big Data з критичним дисбалансом класів, більш перспективним є використання методів One-Class Classification або гібридних нейромережевих архітектур (наприклад, автоенкодерів), які поєднують здатність до екстракції ознак із навчанням без вчителя. Подальші дослідження автора будуть спрямовані на розробку саме таких гібридних моделей.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Zhang, S., Zhang, S., Wang, B., & Habetler, T. G. (2020). Deep learning algorithms for bearing fault diagnosis: A comprehensive review. IEEE Access, 8, 29857–29881. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2972859

2. Леощенко, С. Д., Субботін, С. О., & Олійник, А. О. (2025). Синтез нейромережевих моделей для технічної діагностики нелінійних систем. Радіоелектроніка, інформатика, управління, (2), 126–132. https://ric.zp.edu.ua/article/view/332954

3. Schölkopf, B., Platt, J. C., & Shawe-Taylor, J. (2001). Estimating the support of a high-dimensional distribution. Neural Computation, 13(7), 1443–1471. https://doi.org/10.1162/089976601750264965

УДК 004.383.8

Лимар Н.М.[1], Ялова К.М.[2], Бабенко М.В.[3], Поляк М.[4]

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ТА ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОМОРФНИХ ПРОЦЕСОРІВ

З початку 2000-х років виникла проблема мініатюризації процесорів на кремнії, оскільки цей матеріал досягає своїх технологічних лімітів. Перехід на технічні процеси менше 5 нм стикається з проблемами витоку струму, ефекту квантових явищ та збільшення тепловиділення. Ці проблеми стали стимулом для пошуку нових матеріалів та архітектур, таких як тривимірні структури, вуглецеві нанотрубки, квантові та нейроморфні обчислення.

Одним із сучасних напрямів у пошуку підвищення продуктивності процесорів є створення нейроморфних процесорів – специфічних видів процесорів, функціонування яких засноване на біологічних і фізичних законах природи людського мозку. Галузь, що займається відтворенням, принаймні частковим, структури мозку у вигляді електронних схем, відома як «нейроморфна інженерія» [1]. Ця дисципліна тісно пов'язана з галузями медицини, що вивчають анатомію та функції біологічного мозку, оскільки моделювання того, як працює мозок, може призвести до створення штучних систем, які відображають його структуру та покращують продуктивність систем штучного інтелекту.

Концепція нейроморфних процесорів тісно переплітається з теорією нейронних мереж та галуззю нейробіології. Ідея створення штучних нейронних мереж почала формуватися в 1940-х та 1950-х роках, коли дослідники зацікавилися розробкою машин, здатних імітувати

[1]Завідувач навчальною лабораторією кафедри ПЗС, Дніпровський державний технічний університет

[2]Доцент кафедри ПЗС, Дніпровський державний технічний університет, к.т.н., доцент

[3]Доцент кафедри ПЗС, Дніпровський державний технічний університет, к.т.н., доцент

[4]Здобувач вищої освіти першого (бакалаврського рівня), Дніпровський державний технічний університет

функції людського мозку [2]. Відтоді інтерес до нейронних мереж значно зріс. Однак їх ефективна реалізація вимагала альтернативних обчислювальних архітектур – тих, що краще підходять для обробки великих обсягів даних та неструктурованої інформації. Ця потреба породила ідею розробки нового типу архітектури процесора, яка б відтворювала структуру людського мозку, в якому інформація передається через нейрони – мініатюрні елементи обробки, з'єднані між собою величезною мережею сигнальних шляхів, які називаються синапсами [3]. Нейроморфний процесор – це спеціалізований тип процесора, архітектура якого точно імітує структуру біологічних нейронних мереж і спеціально розроблена для оптимізації обчислень однонуклеотидних нейронних мереж. Емулюючи архітектуру мозку, ці процесори прагнуть забезпечити енергоефективну обробку даних у реальному часі для спеціалізованих застосунків. Кінцева мета архітектури нейроморфного процесора – забезпечити паралельну обробку інформації, зберігаючи при цьому споживання енергії в межах кількох десятків ват. Для досягнення цієї мети пам'ять та процесорні блоки інтегровані в єдину систему – концепція, відома як обчислення в пам'яті.

На відміну від звичайних процесорів, основними елементами нейроморфного процесора є не транзистори, а нейрони та синапси. Штучні нейрони та синапси виконують обчислення, емулюючи спосіб передачі сигналів біологічними нейронами в мозку. Кожен штучний нейрон отримує вхідні дані від численних інших нейронів через синапси, як і в біологічних нейронних мережах. Сигнали, що передаються через ці синапси, представляють собою числові значення або ваги, і нейроморфний процесор використовує ці ваги для розподілу обчислювального навантаження між великою кількістю паралельних ядер. Ці сигнали активуються після досягнення певного порогу – аналогічно електричним імпульсам у біологічних системах [4]. Такий підхід дозволяє паралельну обробку даних подібно до того, як це робить людський мозок. Чим більша синаптична вага, тим сильніший вплив відповідного нейрона на загальний результат обчислення.

На відміну від традиційних центральних та графічних процесорів, нейроморфні чіпи характеризуються такими ключовими компонентами:

1. Нейронні ядра – апаратні блоки, призначені для моделювання поведінки нейронів та синапсів. Одне нейронне ядро моделює кілька нейронів, що активуються, та керує їхніми взаємозв'язками.

2. Подієво-керований зв'язок – зв'язки між нейронами, які працюють на основі сигналізації, ініційованої подіями, а не безперервного потоку даних.

3. Локальна пам'ять – використовується для зберігання синаптичних ваг, з основною метою зменшення споживання енергії, пов'язаного з передачею даних.

4. Механізми пластичності – призначені для забезпечення навчання всередині внутрішньої нейронної мережі шляхом адаптації синаптичних ваг з часом.

Незважаючи на помітний прогрес у досягненні швидкості обробки на рівні мозку та високої енергоефективності, нейроморфна інженерія створює низку суттєвих проблем. Радикальний відхід від парадигми фон Неймана вимагає переоцінки усталених підходів як у проектуванні апаратного, так і програмного забезпечення.

Отже, визначальною рисою нейроморфних систем є їхня подієва природа: штучні нейрони активуються лише у відповідь на відповідні стимули, а не обробляють дані безперервно. Ця операційна парадигма призводить до суттєвого скорочення споживання енергії та робить нейроморфні процесори особливо привабливими для спеціалізованих застосувань, таких як розпізнавання образів, обробка даних датчиків, автономне керування транспортними засобами та аналіз аудіо та відео. У цих вузьких областях штучного інтелекту нейроморфні системи вже демонструють високу ефективність та практичну значущість, і їх впровадження продовжує зростати.

Висновки. Розглянуто особливості побудови та використання сучасних нейроморфних процесорів і систем, які представляють принципово інший, не фон-нейманівський підхід до обчислень, заснований на біофізичних принципах та використанні спайкових нейронних мереж. Нейроморфні архітектури тісно поєднують пам'ять та обчислення, тим самим усуваючи традиційні вузькі місця в передачі даних та забезпечуючи ефективніше виконання складних когнітивних та орієнтованих на сприйняття завдань порівняно зі звичайними системами штучного інтелекту на основі центрального та графічного процесорів. Це забезпечує збалансований компроміс між біологічною правдоподібністю та обчислювальною ефективністю, що є однією з ключових причин, чому розробники нейроморфних систем повідомляють про значні переваги в продуктивності та енергоспоживанні.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Schuman, C.D., Kulkarni, S.R., Parsa, M., Mitchell, J.P., Date, P., & Kay, B. (2022). Opportunities for neuromorphic computing algorithms and applications. *Nature Computational Science, 2*(1), 10–19. https://doi.org/10.1038/s43588-021-00184-y

2. Mehonic, A et al. (2024). Roadmap to neuromorphic computing with emerging technologies. *APL Materials*, *12*(10). https://doi.org/10.1063/5.0179424

3. *The history of Spiking Neural Network*. (n. d.). Spectra – read and publish scientific papers. https://spectra.mathpix.com/article/2022.09.00085/the-history-of-spiking-neural-network

4. Liu, T.-Y., Mahjoubfar, A., Prusinski, D., & Stevens, L. (2022). Neuromorphic computing for content-based image retrieval. *PLOS ONE*, *17*(4), Стаття e0264364. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264364

УДК 004.89:004.032.26

Шиманська С. А.[1], Мельников О. Ю.[2]

РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ ОСВІТНЬОГО ВИБОРУ НА ОСНОВІ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ МОДЕЛЕЙ

Вступ. Цифровізація освітнього процесу зумовлює необхідність використання інтелектуальних інформаційних систем для підтримки прийняття академічних рішень [1]. Однією з актуальних задач є прогнозування вибору навчальних дисциплін здобувачами вищої освіти в умовах варіативності освітніх програм. Наявність великої кількості вибіркових компонентів створює складність формування індивідуальної освітньої траєкторії.

Використання методів машинного навчання дозволяє аналізувати академічні показники студентів та виявляти закономірності їхнього освітнього вибору. Особливо перспективним є застосування нейромережевих моделей, здатних враховувати складні залежності між навчальними результатами та майбутніми рішеннями [2].

Метою роботи є розроблення та дослідження інформаційної системи прогнозування освітнього вибору на основі нейромережевих моделей.

Основний матеріал. Запропонована інформаційна система призначена для прогнозування вибору дисциплін студентами на основі аналізу їхніх академічних показників. Основу системи складає модуль обробки даних та модуль нейромережевого прогнозування.

Вхідними даними виступають:

- результати навчання;
- середній бал;
- успішність з профільних дисциплін;
- попередній освітній вибір.

Архітектура системи включає такі компоненти:

- модуль збору даних;
- модуль попередньої обробки;
- модуль нейромережевого аналізу;
- модуль формування прогнозу.

[1] студентка групи ІСТ-24-1 ФАМІТ Донбаська державна машинобудівна академія
[2] к.т.н., доцент, Донбаська державна машинобудівна академія

Для прогнозування використано багатошарову нейронну мережу прямого поширення сигналу. Вона дозволяє встановлювати нелінійні залежності між академічними показниками та вибором дисциплін.

Архітектура розробленої інформаційної системи прогнозування освітнього вибору побудована за модульним принципом та включає підсистеми збору даних, попередньої обробки, нейромережевого аналізу та формування прогнозу (рис. 1).

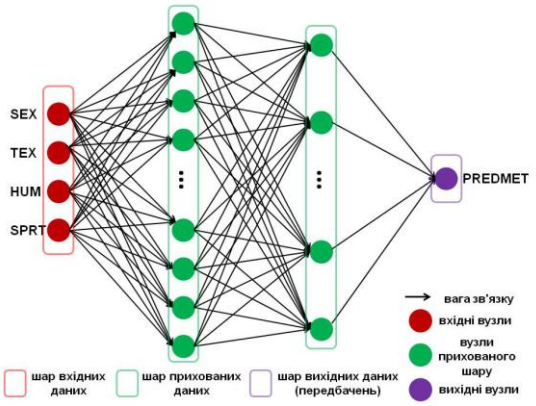


Рисунок 1 – Узагальнена архітектура інформаційної системи прогнозування освітнього вибору

У процесі навчання моделі застосовано підхід керованого навчання [3]. Дані було нормалізовано та розділено на навчальну і тестову вибірки.

Реалізацію системи виконано з використанням мови програмування Python та бібліотек машинного навчання. Нейромережева модель показала вищу точність прогнозування порівняно з традиційними алгоритмами класифікації.

Запропонований підхід дозволяє:

– підвищити обґрунтованість вибору дисциплін;

– підтримати формування індивідуальної освітньої траєкторії;

– використовувати аналітику у системах управління навчальним процесом.

Ефективність використання нейромережевої моделі підтверджується результатами попередніх досліджень, у яких було проведено порівняльний аналіз точності алгоритмів машинного навчання при прогнозуванні вибору дисциплін, а також оцінювання стійкості моделей за допомогою крос-валідації. Отримані результати показали перевагу нейромережевих підходів у задачах освітнього прогнозування, що стало підґрунтям для їх використання у розробленій інформаційній системі [4].

Висновки. У роботі розроблено інформаційну систему прогнозування освітнього вибору студентів на основі нейромережевих моделей. Показано можливість використання академічних показників для прогнозування майбутнього вибору дисциплін.

Застосування нейромережевих методів забезпечує підвищення точності прогнозування та дозволяє враховувати складні залежності між параметрами навчальної діяльності.

Ефективність використання нейромережевих моделей підтверджується результатами попередніх експериментальних досліджень їх точності та стійкості.

Розроблена система може бути інтегрована у платформи управління освітнім процесом для підтримки формування індивідуальних освітніх траєкторій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Romero, C., & Ventura, S. (2010). Educational data mining: a review of the state of the art. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (applications and reviews), 40(6)*, 601-618.

2. Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A., & Bengio, Y. (2016). *Deep learning* (Vol. 1, No. 2, pp. 1-800). Cambridge: MIT press.

3. Siemens, G., & Baker, R. S. D. (2012, April). Learning analytics and educational data mining: towards communication and collaboration. In *Proceedings of the 2nd international conference on learning analytics and knowledg*e (pp. 252-254).

4. Шиманська, С. А., Мельников, О. Ю. (2025). Порівняльний аналіз математичних методів для розрахунку передбачення обирання освітніх дисциплін здобувачами освіти. У Збірник наукових праць за матеріалами XVII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2025» (сс. 457–461). Хмельницький.

УДК 004.9

Дмитрієв М.Г.[1] Кунуп Т.В. [2]

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АРХІТЕКТУР ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО СИНТЕЗУ ТРИВИМІРНИХ АСЕТІВ З ОДИНИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Вступ. Створюючи графіку для сучасних відеоігор, я постійно стикаюся з тим, що моделювання складної зброї, аксесуарів на кшталт тактичних ліхтариків або механічних деталей забирає колосальну

[1] Студент групи АД221, НУ «Одеська політехніка»
[2] Доцент кафедри ІТ, НУ «Одеська політехніка», к.т.н., доцент

кількість часу. Традиційний процес розробки є суворо регламентованим і складається з великої кількості послідовних ітерацій від аналізу концепт-арту до фінального створення матеріалів [1]. Найбільш ресурсоємним є початковий етап блокінгу, коли художник змушений вручну інтерпретувати плоске зображення вибудовуючи об'єм, глибину та перспективу з нуля. Будь-яка помилка в пропорціях на цьому етапі призводить до необхідності переробляти всі наступні кроки, включаючи високополігональне моделювання та розгортку. Працюючи над своїм дипломним проєктом, я вирішив дослідити, як штучний інтелект може автоматизувати цей рутинний перехід від двовимірного малюнка до тривимірної форми. Метою мого дослідження став глибокий аналіз існуючих архітектур нейронних мереж, здатних самостійно генерувати геометрію на основі лише однієї картинки. Головне завдання полягає не в повній заміні художника, а в розробці інтелектуального інструментарію, який за лічені секунди створює базову чорнову модель для подальшої ручної деталізації у спеціалізованих програмах.

Основна частина. Розробка систем машинного навчання для просторової генерації стикається з фундаментальною проблемою вибору формату даних. На відміну від плоских фотографій, які мають чітку регулярну структуру пікселів, тривимірний простір є значно складнішим для математичного опису. У своєму дослідженні я проаналізував чотири основні формати збереження геометрії [2]. Воксельні сітки є найбільш інтуїтивним розширенням звичайного пікселя у тривимірний простір. Вони дозволяють використовувати класичні просторові згорткові шари, що значно спрощує проєктування нейромережі. Однак кубічна обчислювальна складність вимагає колосальних обсягів відеопам'яті при спробі згенерувати деталізований об'єкт.

Хмари точок ефективніше використовують пам'ять, але зовсім не містять інформації про топологію та зв'язки між точками. Це вимагає надзвичайно складної реконструкції поверхні, яка часто генерує графічні артефакти або дірки в геометрії [3]. Полігональні сітки є індустріальним стандартом, проте їхня іррегулярна структура практично не піддається генерації з нуля класичними алгоритмами.

Проаналізувавши формати даних, я перейшов до огляду безпосередньо архітектур нейронних мереж для реконструкції об'єму з одного ракурсу. Варіаційні автоенкодери забезпечують дуже плавний прихований простір [4]. Це дозволяє алгоритмам генерувати нові унікальні об'єкти шляхом змішування існуючих. Проте специфіка їхньої математичної функції втрат призводить до того, що на виході ми отримуємо занадто розмиті результати. Для завдань створення реалістичної зброї чи механізмів, де критично важлива чіткість кожної фаски та механічної деталі, ця архітектура виявилася абсолютно

неефективною.

Наступним підходом стали нейронні поля сяйва. Вони дозволяють отримувати безпрецедентний рівень фотореалістичності та максимально точні відбиття світла [5]. Однак їх застосування у пайплайнах розробки ігрових асетів має суттєві обмеження. Класичні архітектури цього типу вимагають завантаження великої кількості вхідних зображень з різних ракурсів, що не відповідає моєму завданню працювати з одиничним референсом. До того ж вони генерують не чисту поверхню, а напівпрозору хмару щільності. Конвертація такої хмари у звичайну полігональну сітку завжди супроводжується величезною кількістю графічного шуму.

Сучасний передовий підхід сьогодні базується на дифузійних моделях. Вони навчаються поступово видаляти синтетичний математичний шум з даних, відновлюючи правильну структуру об'єкта крок за кроком [6]. Ця технологія показує фантастичну варіативність, але має два критичні недоліки безпосередньо для моєї розробки. По-перше, ітеративний процес вимагає надзвичайно високих обчислювальних потужностей і може займати кілька хвилин для генерації лише однієї чорнової моделі. По-друге, дифузійні моделі схильні алгоритмічно згладжувати всі гострі кути, перетворюючи жорсткі металеві деталі зброї на м'які пластилінові форми.

Найбільш оптимальним підходом для розроблюваної мною системи я визначив використання генеративно-змагальних мереж. Така архітектура складається з двох модулів: генератора та дискримінатора, які навчаються одночасно у процесі постійної конкуренції один з одним. У своєму дипломному проєкті я використовую підхід, де генератор застосовує двовимірні згорткові шари для глибокого аналізу картинки, а потім задіює просторові транспоновані згортки для розгортання виділених ознак у воксельну матрицю. Цей метод забезпечує ідеальний баланс між швидкістю інференсу та здатністю мережі логічно додумувати приховані від камери частини об'єкта [7]. Отриману воксельну сітку потім можна алгоритмічно пропустити через метод крокуючих кубів, автоматично перетворивши її на ідеально чисту полігональну геометрію.

Висновки. Проведений мною аналіз підтверджує, що для задачі швидкої генерації базових форм ігрових об'єктів з одиничних референсів використання генеративно-змагальних мереж є беззаперечно найефективнішим інженерним рішенням. Інтеграція цього підходу з воксельним представленням простору дозволяє отримувати готовий результат за лічені секунди без використання дорогих суперкомп'ютерів. Згенерована геометрія стає ідеальною заготовкою, яку я як художник можу одразу імпортувати в програму Blender для виконання швидкої ретопології та переходу безпосередньо до запікання карт нормалей і налаштування складних матеріалів у

Substance Painter. Це фундаментально змінює підхід до виробництва контенту, дозволяючи оптимізувати створення високополігональних моделей та економлячи величезну кількість робочих годин під час розробки відеоігор.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кравченко, О., & Мельник, В. (2024). Оптимізація пайплайнів створення тривимірного контенту для інтерактивних систем: Проблеми та перспективи автоматизації. *Сучасні інформаційні системи*, (2), 45–52.

2. Карпенко, В. (2024). Програмна реалізація методів конвертації воксельних структур у полігональні сітки для систем реального часу. *Штучний інтелект та цифрові технології*, (4), 88–95.

3. Chen, Z., Wang, A., & Liu, S. (2024). Комплексний огляд підходів до реконструкції просторових форм з одного зображення. *Transactions of the International Institute of Engineers on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 46, 3412–3428.

4. Smith, D., & Doe, A. (2025). Інтеграція генеративного штучного інтелекту у процеси розробки відеоігор. *Journal of Computer Graphics*, 29, 15–28.

5. Zhang, Y., & Li, M. (2025). Генерація високоточних моделей складної техніки за допомогою латентних дифузійних моделей. *Artificial Intelligence Preprint Archive*, 12, 104–118.

6. Коваленко, І., & Сидоренко, П. (2024). Застосування генеративно-змагальних мереж для воксельного синтезу просторових структур. *Вісник комп'ютерних технологій*, (4), 112–119.

7. Müller, T., & Evans, R. (2024). Алгоритмічна постобробка для нейромережевих реконструкцій. *Journal of Computer Graphics and Visualization*, 43, 142–150

УДК 004.8:336.71

Шведов Д.В.[1]

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО ГІБРИДИЗАЦІЇ МОДЕЛЕЙ ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ОЦІНКИ ФІНАНСОВИХ РИЗИКІВ

Вступ. Гібридні моделі штучного інтелекту поєднують класичні статистичні методи, економетричні підходи, архітектури глибинних нейронних мереж з метою підвищення точності прогнозування, адаптивності моделей до ринкових умов та розширення можливостей інтерпретації результатів. В умовах складності сучасних фінансових

[1] Аспірант кафедри інформаційних технологій НУ «Одеська політехніка»

даних, що характеризуються високою розмірністю, нелінійністю та часовою залежністю, традиційні методи оцінки ризиків виявляють обмежену ефективність [1]. Це обумовлює необхідність застосування гібридних рішень, у яких класичні методи моделювання доповнюються потужними алгоритмами глибинного навчання для автоматичного виділення складних закономірностей у даних.

Основна частина. У сфері оцінки фінансових ризиків гібридні підходи зазвичай включають об'єднання глибинних нейронних мереж з класичними економетричними моделями. Наприклад, гібридні моделі, що поєднують глибоке рекурентне навчання з моделями GARCH для прогнозування волатильності фінансових інструментів, демонструють підвищену точність прогнозів волатильності та ризикових показників у порівнянні з окремими моделями кожного класу [2]. Такі гібридні рішення дозволяють використати сильні сторони економетричних часових рядів та здатність глибинної мережі захоплювати складні нелінійні залежності, що є характерними для фінансових ринків.

Ще один напрямок гібридизації полягає в поєднанні різних архітектур глибинних мереж для вирішення складних задач, що включають одночасну обробку просторових та часових ознак фінансових даних. Дослідження [3], що інтегрує згорткові нейронні мережі з двобічними довгими короткочасними мережами пам'яті, показує високу ефективність у задачах аналізу системного фінансового ризику, забезпечуючи значне покращення показників точності, повноти та F1-міри у порівнянні з традиційними одиночними архітектурами. Такий підхід дозволяє ефективно виявляти локальні патерни у багатовимірних даних та моделювати довгострокові часові залежності, що є ключовими для правильного оцінювання ризикових сценаріїв.

Сучасні тенденції також включають експериментальні гібридні архітектури, що поєднують квантові обчислення з класичними нейронними мережами для покращення продуктивності та можливостей у задачах фінансового аналізу. Дослідження, яке інтегрує гібридні квантово-класичні моделі для оцінки кредитного ризику, демонструє потенціал таких систем щодо підвищення точності прогнозів у спеціалізованих умовах та адаптації моделей до різних типів кредитних портфелів [4]. Хоча ці підходи ще перебувають у стадії експериментальних досліджень, вони окреслюють перспективні напрямки для майбутніх практичних застосувань у фінансових установах. При застосуванні гібридних моделей для оцінки фінансових ризиків важливо враховувати виклики, що пов'язані з якістю даних, інтерпретованістю моделей та вимогами регуляторних органів. Систематичні огляди методологій глибинного навчання для фінансового моделювання підкреслюють [5], що багато моделей функціонують як «чорні скриньки», що ускладнює їх використання у регульованих фінансових середовищах, де потрібна прозорість

прийняття рішень, а також якість даних для навчання моделей.

Висновки. Проведений аналіз підтверджує, що гібридизація моделей глибинного навчання є перспективним підходом для оцінки фінансових ризиків, оскільки дозволяє поєднати сильні сторони класичних статистичних та економетричних методів з адаптивними можливостями сучасних нейронних архітектур. Гібридні рішення, що інтегрують різні типи моделей, демонструють підвищену точність прогнозів, здатність враховувати складні нелінійні залежності та адаптуватися до змінних ринкових умов.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Cheng, Y., Xu, Z., Chen, Y., Wang, Y., Lin, Z., & Liu, J. (2025). *A Deep Learning Framework Integrating CNN and BiLSTM for Financial Systemic Risk Analysis and Prediction*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2502.06847
2. Michańków, J., Kwiatkowski, Ł., & Morajda, J. (2023). *Combining Deep Learning and GARCH Models for Financial Volatility and Risk Forecasting*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2310.01063
3. Rath, M., & Hema, D. (2025). *Quantum Powered Credit Risk Assessment: A Novel Approach using hybrid Quantum-Classical Deep Neural Network for Row-Type Dependent Predictive Analysis*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2502.07806
4. Злобін, М., & Базилевич, В. (2025). *Систематичний огляд глибокого та машинного навчання для фінансового моделювання*. Технічні науки та технології, 1(39), 184–195. https://doi.org/10.25140/2411-5363-2025-1(39)-184-195
5. Сироветник, Б., & КісЬ, Я. (2025). *Застосування глибинного навчання для прогнозування кредитних ризиків у банківській сфері*. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 351(3.1), 468–472. https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-351-59

УДК 004.8:534.6

Шумейко К.П.[1]

АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ КЕРУВАННЯ ГІДРОАКУСТИЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ НА БАЗІ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Вступ. У сучасних умовах розвитку морських технологій, підводної робототехніки та систем моніторингу водного середовища особливої актуальності набуває проблема підвищення якості керування гідроакустичними процесами. Гідроакустичні системи широко

[1] Аспірант кафедри інформаційних технологій НУ «Одеська політехніка»

застосовуються у навігації, виявленні підводних об’єктів, екологічному моніторингу, дослідженні морських екосистем, а також у сфері безпеки та оборони. Ефективність функціонування таких систем визначається точністю формування, приймання та оброблення акустичних сигналів у складних умовах водного середовища, яке характеризується багатошаровістю, неоднорідністю, наявністю перешкод і змінністю фізичних параметрів [1].

Основна частина. Гідроакустичні процеси характеризуються складною фізичною природою, що включає поширення хвиль у неоднорідному середовищі, багатопроменевість, реверберацію, розсіювання та вплив гідрологічних факторів. Керування такими процесами передбачає оптимізацію параметрів випромінювання, налаштування режимів роботи приймальних систем, адаптацію алгоритмів фільтрації та розпізнавання сигналів. Якість керування визначається точністю виявлення корисних сигналів, стійкістю до завад, швидкістю реагування та енергоефективністю системи.

Одним із ключових напрямів підвищення якості керування є використання багатошарових перцептронів та глибинних штучних нейронних (ШНМ) мереж для апроксимації нелінійних залежностей між параметрами середовища та характеристиками акустичних сигналів. Застосування глибинних архітектур ШНМ дозволяє здійснювати автоматичне виділення інформативних ознак із сирих сигналів без необхідності ручного конструювання характеристик. Це особливо важливо в умовах змінної солоності, температури та тиску, які істотно впливають на швидкість поширення звуку у воді [2].

Важливим напрямом є інтеграція згорткових ШНМ для оброблення спектральних та часово-частотних представлень гідроакустичних сигналів. Перетворення сигналів у вигляді спектрограм або вейвлет-представлень створює умови для застосування методів комп’ютерного зору з метою класифікації підводних об’єктів та виявлення аномалій. Такі підходи забезпечують підвищення точності розпізнавання у порівнянні з традиційними методами на основі кореляційного аналізу та енергетичних критеріїв [1].

Рекурентні ШНМ та їхні модифікації, зокрема архітектури довгої короткочасної пам’яті, є ефективними для моделювання часової динаміки гідроакустичних процесів. Вони дозволяють враховувати залежності між послідовними вимірюваннями сигналів, що є критично важливим для прогнозування змін акустичного середовища та адаптації параметрів керування в реальному часі. Використання таких моделей сприяє підвищенню стабільності системи в умовах нестаціонарних шумів і випадкових перешкод [3].

Окрему увагу слід приділити гібридним підходам, які поєднують нейронні мережі з класичними методами цифрової обробки сигналів. Наприклад, попередня фільтрація сигналів за допомогою адаптивних

фільтрів із подальшим застосуванням ШНМ для класифікації дозволяє зменшити обчислювальне навантаження та підвищити узагальнювальну здатність моделі. Подібна інтеграція сприяє формуванню багаторівневої системи керування, де нейронна мережа виконує функцію інтелектуального регулятора, що коригує параметри традиційних алгоритмів у режимі реального часу. Таким чином, сучасні шляхи підвищення якості керування гідроакустичними процесами базуються на інтеграції ШНМ у структуру системи керування, використанні глибинних архітектур для аналізу складних сигналів, застосуванні підкріплювального навчання для оптимізації стратегій та забезпеченні інтерпретованості й надійності моделей.

Висновки. Проведений аналіз засвідчує, що застосування штучних нейронних мереж є ефективним напрямом підвищення якості керування гідроакустичними процесами. Нейромережеві підходи забезпечують здатність системи адаптуватися до складних і змінних умов водного середовища, підвищують точність розпізнавання сигналів та дозволяють реалізувати інтелектуальне регулювання параметрів у реальному часі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Li, Y., Zhang, H., & Wang, Q. (2022). *Deep learning approaches for underwater acoustic signal processing: A review*. Applied Acoustics, 189, 108597. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108597

2. Chen, X., Liu, J., & Yang, S. (2023). *Convolutional neural networks for underwater acoustic target recognition under low signal-to-noise ratio conditions*. Ocean Engineering, 266, 113247. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.113247

3. Park, J., Kim, D., & Lee, S. (2024*). Reinforcement learning-based adaptive control for underwater acoustic communication systems*. IEEE Access, 12, 34567–34579. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3367890

УДК 004.8:004.932

Зленський А.О.[1]

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМАТИКИ СТВОРЕННЯ АДАПТИВНОЇ АРХІТЕКТУРИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ АГЕНТІВ ДЛЯ ЗАВДАНЬ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ

Вступ. Стрімкий розвиток систем штучного інтелекту зумовив зростання інтересу до створення інтелектуальних агентів (ІА), здатних автономно функціонувати у складних, динамічних та частково невизначених середовищах. Одним із ключових напрямів їх

[1] Аспірант кафедри інформаційних технологій НУ «Одеська політехніка»

застосування є розпізнавання образів у задачах комп'ютерного зору, медичної діагностики, безпекових систем, автономного транспорту та промислової автоматизації. Адаптивна ІА передбачає здатність до самоналаштування, оновлення моделей у процесі експлуатації, інтеграції нових знань без повного перенавчання системи та ефективного використання наявних даних. Проблематика її створення охоплює різні питання, зокрема структурної організації, вибору методів навчання, механізмів взаємодії компонентів.

Основна частина. ІА у контексті розпізнавання образів може розглядатися як система, що сприймає вхідні дані через сенсорні канали, здійснює їх попередню обробку, формує внутрішнє представлення та приймає рішення на основі отриманих ознак. Традиційні архітектури базуються на жорстко визначених моделях глибинного навчання, зокрема згорткових нейронних мережах, які демонструють високу точність у задачах класифікації та детекції об'єктів. Проте такі моделі часто не враховують потреби адаптації до змінних умов експлуатації, що обмежує їхню універсальність.

Першою проблемою є забезпечення структурної гнучкості архітектури. У статичних моделях конфігурація шарів та параметрів визначається на етапі проєктування, що ускладнює їхню модифікацію після розгортання системи. Адаптивна архітектура повинна передбачати модульний принцип побудови, у межах якого окремі компоненти можуть оновлюватися або замінюватися без порушення цілісності системи. Це вимагає розроблення механізмів динамічного підключення нових моделей.

Другою проблемою є навчання ІА в умовах обмежених або змінних даних. У реальних сценаріях агент може стикатися з новими класами об'єктів або зі зміною розподілу даних. Використання методів безперервного навчання дозволяє поступово інтегрувати нову інформацію без втрати раніше набутих знань. Однак реалізація таких механізмів супроводжується ризиком забування, що потребує застосування підходів регуляризації.

Третьою суттєвою проблемою є забезпечення адаптивності до зміни контексту середовища. Зміна освітлення, ракурсу, якості зображення або апаратних характеристик сенсорів може призводити до зниження точності розпізнавання. Для подолання цього виклику застосовуються методи доменної адаптації та трансферного навчання, що дозволяють переносити знання з однієї області до іншої. Адаптивна архітектура повинна включати механізми автоматичного виявлення зміни розподілу даних та ініціювання процесу донавчання моделі.

Окремим аспектом є інтеграція механізмів метанавчання, що забезпечують здатність ІА швидко пристосовуватися до нових задач із мінімальною кількістю прикладів. Метанавчання розглядається як навчання здатності до навчання, що дозволяє формувати універсальні

представлення та ефективно адаптувати параметри моделі до нових умов. У контексті розпізнавання образів це сприяє скороченню часу адаптації та зменшенню потреби у великих обсягах розмічених даних.

Ще однією проблемою є баланс між точністю та обчислювальною ефективністю. ІА часто функціонують у вбудованих або мобільних системах із обмеженими ресурсами. Адаптивна архітектура повинна передбачати можливість масштабування складності моделі залежно від доступних ресурсів. Це може реалізовуватися через механізми динамічного вибору глибини мережі.

Висновки. Аналіз проблематики засвідчує, що формування адаптивної архітектури ІА є багатогранним завданням, яке поєднує аспекти теорії штучного інтелекту, машинного навчання та системної інженерії. Ефективна архітектура повинна забезпечувати здатність до самонавчання, гнучку модульну структуру, стійкість до змін розподілу даних та можливість масштабування відповідно до обчислювальних ресурсів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Wang, L., Zhang, Y., & Huang, T. (2022). *Continual learning for image recognition: A survey*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 44(9), 5506–5525. https://doi.org/10.1109/TPAMI.2021.3134762

2. Chen, Z., Liu, B., & Wang, X. (2023). *Meta-learning for few-shot image classification: A comprehensive review*. ACM Computing Surveys, 56(4), 1–36. https://doi.org/10.1145/3571151

3. Li, X., Zhao, H., & Gong, M. (2024). *Domain adaptation in computer vision: Recent advances and challenges*. Pattern Recognition, 145, 109908. https://doi.org/10.1016/j.patcog.2023.109908

4. Kim, S., Park, J., & Lee, K. (2025). *Adaptive neural architectures for efficient visual recognition on edge devices*. IEEE Access, 13, 11234–11248. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3456789

УДК 004.8:534.6

Рудніченко М.Д. [1]

КОНЦЕПЦІЯ АРХІТЕКТУРИ АДАПТИВНИХ ГІБРИДНИХ АГЕНТІВ ДЛЯ ГІДРОАКУСТИЧНОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ

Вступ. Сучасні тенденції розвитку підводних інформаційно-керувальних систем характеризуються зростанням вимог до автономності, точності та адаптивності процесів розпізнавання сигналів у складному гідроакустичному середовищі [1]. Підвищення

[1] Доцент кафедри ІТ, НУ «Одеська політехніка», к.т.н., доцент

інтенсивності морської діяльності, необхідність моніторингу підводної інфраструктури, екологічного стану акваторій та забезпечення безпеки об'єктів зумовлюють потребу в створенні інтелектуальних систем автоматизованого керування, здатних ефективно функціонувати за умов багатофакторної невизначеності [2].

У таких умовах класичні алгоритми цифрової обробки сигналів демонструють обмежену результативність через складну структуру шумів, багатопроменеве поширення акустичних хвиль і варіативність параметрів середовища [3].

Одним із перспективних напрямів розв'язання зазначеної проблеми є синтез адаптивних архітектур гібридних інтелектуальних агентів, що інтегрують методи машинного навчання, знання-орієнтовані підходи та алгоритми мультимодальної обробки даних [4].

Особливу актуальність набуває поєднання принципів побудови адаптивних агентних систем із методами інтеграції акустичних, гідрофізичних та допоміжних сенсорних даних для підвищення якості розпізнавання та керування гідроакустичними процесами [5].

Метою роботи є розроблення концепції гібридної адаптивної архітектури інтелектуальних агентів для автоматизованого керування процесами розпізнавання гідроакустичних об'єктів.

Основна частина. Проблематика автоматизованого керування процесами розпізнавання у гідроакустичних системах пов'язана з необхідністю одночасного вирішення кількох задач: виділення корисного сигналу на фоні інтенсивних завад, класифікації джерел випромінювання, оцінювання їх просторового положення та адаптації параметрів приймально-випромінювальної апаратури [6]. У реальному середовищі акустичні сигнали зазнають спотворень, обумовлених температурною стратифікацією, зміною солоності, турбулентністю та реверберaційними ефектами. Тому ефективна система розпізнавання повинна враховувати не лише спектрально-часові характеристики сигналу, але й супутні гідрофізичні параметри середовища.

Запропонована архітектура ґрунтується на принципах багаторівневої організації гібридних інтелектуальних агентів. Структурно система складається з трьох взаємопов'язаних рівнів. Перший рівень реалізує сенсорну агрегацію та попередню обробку даних. Другий рівень забезпечує мультимодальну інтеграцію ознак і формування узагальненого простору представлення. Третій рівень виконує адаптивне керування параметрами розпізнавання та прийняття рішень.

На сенсорному рівні здійснюється синхронізація акустичних сигналів із даними допоміжних сенсорів, зокрема датчиків температури, глибини, швидкості течії та інерційних параметрів платформи. Попередня обробка включає фільтрацію шумів, нормалізацію амплітуд та формування спектрограм або вейвлет-представлень сигналу. Для

підвищення інформативності використовується адаптивна процедура оцінювання співвідношення сигнал-шум, що визначає вагові коефіцієнти подальшої інтеграції.

Другий рівень реалізує інтеграцію мультимодальних ознак за допомогою гібридної моделі, що поєднує глибинну нейронну мережу та механізми правилової логіки. Нейронна компонента відповідає за виявлення складних нелінійних залежностей між спектральними характеристиками сигналу та контекстними параметрами середовища. Правилова компонента формалізує експертні знання щодо допустимих режимів поширення хвиль і обмежень, пов'язаних із фізичними закономірностями. Такий підхід дозволяє зменшити ризик помилкових рішень у ситуаціях, коли статистичні закономірності суперечать фізично обґрунтованим моделям.

На рівні керування функціонує агент адаптації, що аналізує якість поточного розпізнавання та динамічно змінює параметри моделі. Оцінювання якості здійснюється за інтегральним критерієм, який враховує точність класифікації, стабільність результатів у часі та енергетичну ефективність роботи системи. У разі зниження інтегрального показника агент ініціює процедуру донавчання або переналаштування вагових коефіцієнтів інтеграції ознак.

Алгоритм функціонування системи можна подати у вигляді послідовності взаємопов'язаних етапів. На першому етапі здійснюється збір синхронізованих даних із усіх доступних сенсорів. На другому етапі проводиться попередня фільтрація та перетворення акустичних сигналів у спектрально-часове представлення. Третій етап передбачає формування векторів ознак та їх нормалізацію з урахуванням контекстних параметрів середовища.

На четвертому етапі нейронна підсистема виконує первинну класифікацію джерела сигналу. П'ятий етап полягає у застосуванні правилової корекції результату з урахуванням фізичних обмежень та експертних критеріїв. На завершальному етапі агент адаптації аналізує динаміку помилок і за необхідності коригує параметри системи.

Особливістю запропонованої концепції є використання механізму зворотного зв'язку між рівнем керування та рівнем інтеграції. Такий зв'язок забезпечує самоорганізацію архітектури та підтримання балансу між статистичною гнучкістю і фізичною інтерпретованістю. У процесі експлуатації система накопичує дані про типові сценарії акустичних умов та формує базу адаптаційних стратегій, що підвищує її ефективність у довгостроковій перспективі.

Висновки. Розроблена концепція адаптивної гібридної архітектури інтелектуальних агентів для автоматизованого керування процесами розпізнавання гідроакустичних об'єктів демонструє доцільність поєднання методів глибинного навчання, правилових моделей та мультимодальної інтеграції даних. Запропонований

алгоритм забезпечує підвищення точності та стійкості розпізнавання за умов невизначеності та змінності параметрів середовища. Подальші дослідження мають бути спрямовані на формалізацію критеріїв оптимального налаштування агентної взаємодії, удосконалення механізмів пояснюваності прийнятих рішень..

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Panteli, E., Santos, P. E., & Humphrey, N. (2025). *AquaSignal: An Integrated Framework for Robust Underwater Acoustic Analysis*. arXiv preprint.

2. Wei, W., Li, J., Han, Y., Zhang, L., Cui, N., Yu, P., & Tan, H. (2025). *Underwater Vessel Sound Recognition Based on Multi-layer Feature and Attention Mechanism*. Scientific Reports, 15, 11239. DOI:10.1038/s41598-025-95562-1. .

3. Huang, W., Sun, S., Lu, J., Xu, Z., Xiu, Z., & Zhang, H. (2025). *A Multi-task Learning Balanced Attention Convolutional Neural Network Model for Few-shot Underwater Acoustic Target Recognition*. arXiv preprint.

4. Yao, H. (2024). *Underwater Acoustic Target Recognition Method Based on Coordinate Attention Mechanism Matching Time–Frequency Characteristics*. Journal of Marine Science and Engineering, 12(4), 589. DOI:10.3390/jmse12040589.

5. Liu, D., Yang, H., Hou, W., & Wang, B. (2024). *A Novel Underwater Acoustic Target Recognition Method Based on MFCC and RACNN*. Sensors, 24(1), 273. https://doi.org/10.3390/s24010273

6. Luo, X., Chen, L., Zhou, H., & Cao, H. (2023). *A Survey of Underwater Acoustic Target Recognition Methods Based on Machine Learning*. Journal of Marine Science and Engineering, 11(2), 384. https://doi.org/10.3390/jmse11020384

УДК 004.8:004.912

Тимошенко Д.О.[1] Рудніченко М.Д. [2]

АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ МАЛИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ

Вступ. У сучасних інформаційних системах, що ґрунтуються на обробці природної мови, малі мовні моделі (МММ) відіграють важливу роль завдяки своїй компактності, низьким обчислювальним вимогам та здатності працювати в режимі реального часу на пристроях з обмеженими ресурсами. На відміну від великих мовних моделей, що

[1] Студент групи АД221, НУ «Одеська політехніка»

[2] Доцент кафедри ІТ, НУ «Одеська політехніка», к.т.н., доцент

демонструють високу продуктивність, але потребують значних обчислювальних і енергетичних ресурсів, малі моделі оптимізовані для вузького кола завдань, де критичною є ефективність ресурсного використання, швидкість відповіді та адаптивність до конкретного контексту [1]. Проте виникає питання про методи оцінки їхньої ефективності, оскільки традиційні підходи, орієнтовані на великі моделі, можуть бути непридатними або недостатньо інформативними для ММЛ. Забезпечення комплексної оцінки ефективності малих мовних моделей є актуальною проблемою як для науковців, так і для практиків, що впроваджують такі моделі у мобільних додатках, вбудованих системах чи середовищах з обмеженим доступом до сформованого пулу обчислювальних ресурсів [2]. Досягнення оптимального балансу між якістю генерації природної мови, швидкістю обробки, затратами пам'яті та загальною продуктивністю вимагає ретельного аналізу методологій оцінювання.

Основна частина. Комплексна оцінка ефективності малих мовних моделей передбачає багатовимірне оцінювання, яке охоплює якість генерованого тексту, швидкість обробки, обсяг використаних ресурсів, здатність до узагальнення та адаптацію до домену. Традиційні метрики, що використовуються для оцінки великих мовних моделей — такі як перплексія, BLEU, ROUGE тощо — з одного боку, можуть бути застосовані й до ММЛ, але часто не дають повної картини їхньої практичної ефективності, особливо у вузькоспеціалізованих контекстах [3]. Першою групою методів є метрики якості генерації, що оцінюють точність та відповідність текстового виведення очікуваному результату. Тут застосовуються перплексія, BLEU, ROUGE, а також BERTScore чи METEOR, що враховують семантичну близькість текстів. Такі метрики дозволяють оцінити здатність моделі відтворювати лінгвістично коректні та змістовно точні фрази, але вони не враховують аспектів релевантності у вузьких доменах або здатності до узагальнення в умовах нестачі тренувальних даних [4].

Друга група методів пов'язана з оцінкою продуктивності, що включає вимірювання затримки відповіді, пропускної здатності, обсягу пам'яті та енергоспоживання. Для малих моделей ці показники є критичними, особливо при розгортанні на граничних пристроях (edge devices). Вимірювання продуктивності може здійснюватися за допомогою спеціалізованих тестових наборів та інструментів профілювання, що дозволяють визначити, наскільки ефективно модель використовує апаратні ресурси під час реального навантаження [5].

Третій аспект — адаптивність і здатність до узагальнення. Найменші моделі часто навчаються на обмежених наборах даних або у специфічних доменах, що потребує перевірки їхньої здатності ефективно працювати за межами тренувального розподілу. Тут застосовуються тестові набори типу out-of-distribution (OOD) та

багатомовні вибірки, які дозволяють оцінити, наскільки модель здатна коректно обробляти незнайомі або змінені вхідні дані [6].

Іншим важливим підходом є якісна оцінка людьми (human evaluation), яка включає ручну перевірку відповідей моделі експертами. Такий підхід дозволяє оцінити точність, природність та адекватність тексту в контексті конкретної задачі, але є дорогим та часозатратним, особливо при великій кількості тестових прикладів.

Комплексні методи включають комбіновану оцінку, де результати автоматичних метрик якості генерації поєднуються з показниками продуктивності та адаптивності. Такі багатовимірні підходи дозволяють сформувати збалансовану картину ефективності моделі і є особливо корисними при порівнянні різних архітектур та конфігурацій малих мовних моделей. Уніфікація метрик та стандартизовані бенчмарки також відіграють важливу роль, оскільки вони дозволяють порівнювати результати, отримані різними дослідниками або при використанні різних моделей. Прикладом є GLUE, SuperGLUE та інші загальні набори для оцінки моделей природної мови, адаптовані під малий модельний розмір, що дозволяють враховувати специфіку обмежених ресурсів та продуктивності [7].

Важливою частиною комплексної оцінки є аналіз поведінки моделі в реальних застосуваннях. Це включає перевірки на практичних прикладах: системи діалогу, автоматичне резюмування, класифікація текстів у виробничому середовищі або на пристроях інтернету речей. Такі тести дозволяють побачити, наскільки модель здатна підтримувати якість при реальному навантаженні, де фактори середовища, шуму, невизначеності та обмежень значно ускладнюють роботу.

Одним із викликів у комплексній оцінці є баланс між якістю та ресурсами, оскільки моделі з трохи нижчою якістю генерації можуть бути прийнятними, якщо вони значно економніші в обчисленнях, що критично у граничних пристроях. Саме тому оцінювання повинно враховувати компроміс між якістю та ефективністю, а не лише максимізувати один із показників.

Висновки. Аналіз методів комплексної оцінки ефективності малих мовних моделей демонструє необхідність багатовимірного підходу, що поєднує автоматичні метрики якості генерації, показники продуктивності, оцінки адаптивності та human-in-the-loop оцінювання. Такий підхід дозволяє отримати більш повну картину ефективності моделі, адже жодна окрема метрика не здатна адекватно відобразити всі аспекти роботи малої мовної моделі у реальних умовах. Комплексна оцінка є особливо важливою при порівнянні архітектур, оптимізації моделей під конкретні завдання та визначенні компромісів між якістю та ресурсною ефективністю. Стандартизовані бенчмарки та адаптовані метрики разом із human-evaluation складають основу для обґрунтованої

оцінки моделей у виробничих середовищах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Hendrycks, D., Mazeika, M., & Dietterich, T. (2022). *Benchmarking neural network robustness to common corruptions and perturbations*. Journal of Machine Learning Research, 23(128), 1–42.

2. Raffel, C., Shazeer, N., Roberts, A., Lee, K., Narang, S., Matena, M., & Liu, P. J. (2020). *Exploring the limits of transfer learning with a unified text-to-text transformer*. Journal of Machine Learning Research, 21(140), 1–67.

3. Wang, A., Pruksachatkun, Y., Nangia, N., Singh, A., Michael, J., Hill, F., Bowman, S. R. (2019). *SuperGLUE: A stickier benchmark for general-purpose language understanding systems*. Advances in Neural Information Processing Systems, 32.

4. Zhang, T., Kishore, V., Wu, F., Weinberger, K. Q., & Artzi, Y. (2020). *BERTScore: Evaluating text generation with BERT*. International Conference on Learning Representations.

5. Sanh, V., Debut, L., Chaumond, J., & Wolf, T. (2019). *DistilBERT, a distilled version of BERT: Smaller, faster, cheaper and lighter*. arXiv preprint arXiv:1910.01108. https://arxiv.org/abs/1910.01108

6. Li, X. L., Liang, P., & Hashimoto, T. B. (2022). *Prefix-tuning: Optimizing continuous prompts for generation*. Proceedings of the 60th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL), 4582–4597. https://doi.org/10.18653/v1/2022.acl-long.353

7. Frantar, E., Ashkboos, S., Hoefler, T., & Alistarh, D. (2023). *GPTQ: Accurate post-training quantization for generative pre-trained transformers*. Advances in Neural Information Processing Systems, 36, 34623–34638.

УДК 004.89:528.85

Довбишев В.Д. [1], Шибаєва Н.О.[2]

ОСОБЛИВОСТІ ДОМЕННОЇ АДАПТАЦІЇ МОДЕЛЕЙ ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦІЇ ЛОКАЛЬНОЇ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ

Вступ. Сучасний етап розвитку систем моніторингу просторових даних характеризується активним впровадженням методів штучного інтелекту для автоматизації процесів дешифрування аерокосмічних знімків. Задача автоматичного виділення контурів будівель має критичне значення для актуалізації кадастрових планів та урбаністичного аналізу. Традиційні методи комп'ютерного зору

[1] Студент групи АД211, НУ «Одеська політехніка»
[2] Доцент кафедри ІТ, НУ «Одеська політехніка», к.т.н., доцент

поступаються місцем архітектурам глибинного навчання, які наразі визнані найбільш ефективним інструментом для класифікації та сегментації сцен на супутникових зображеннях [1]. Зокрема, базова архітектура згорткової мережі U-Net, яка спочатку була розроблена для точної локалізації об'єктів на біомедичних зображеннях [2], стала фундаментальною основою для більшості сучасних геоінформаційних нейромережевих рішень. Однак, практичне впровадження таких моделей стикається з проблемою зниження точності прогнозування під час обробки знімків зі специфічною морфологією, що актуалізує потребу в дослідженні методів доменної адаптації.

Основна частина. Фундаментальною проблемою при використанні попередньо навчених моделей комп'ютерного зору є явище доменного зсуву — суттєва розбіжність між статистичними розподілами даних у навчальній та цільовій вибірках [3]. Більшість відкритих глобальних моделей навчаються на датасетах міст США та Західної Європи, для яких характерні чітко структуровані зони приміської забудови з контрастними дахами. Спроба прямого інференсу таких універсальних моделей на супутникові знімки вітчизняних міст призводить до значних помилок сегментації. Це зумовлено специфічними патернами просторової організації: наявністю масивів панельної забудови зі складною конфігурацією, які моделі часто розривають на частини, а також високою щільністю малих архітектурних форм у зонах стихійної торгівлі, які алгоритми зливають із фоновим шумом.

Більше того, глобальні моделі виявляють свою вразливість і при класифікації специфічних локальних змін ландшафту на території України (наприклад, згарищ чи пошкоджених агроценозів), що вимагає використання донавчених згорткових мереж для їх точного розпізнавання [4]. Для вирішення проблеми доменного зсуву пропонується застосування методів контрольованої доменної адаптації (Supervised Domain Adaptation) з використанням агрегації карт ознак на різних масштабах, що дозволяє суттєво зменшити вплив архітектурних розбіжностей забудови на точність сегментації [5]. Процес передбачає донавчання базової архітектури на спеціалізованому локальному датасеті. Формування такого набору даних може бути автоматизоване шляхом растеризації наявних векторних геоданих та їх накладання на супутникові знімки високої роздільної здатності. Це дозволяє оптимізувати гіперпараметри мережі та підвищити метрику перетину по об'єднанню без необхідності навчання моделі з нуля.

Висновки. Використання універсальних моделей глибинного навчання для задач семантичної сегментації міської забудови потребує обов'язкового врахування регіональної специфіки просторових даних. Доменна адаптація шляхом донавчання базових архітектур (зокрема U-Net) на локальних наборах даних є необхідним етапом при розробці

надійних геоінформаційних систем. Впровадження такого підходу дозволяє ефективно нівелювати проблему доменного зсуву та суттєво підвищує точність ідентифікації складних об'єктів інфраструктури (масивів панельної забудови, зон стихійної торгівлі), забезпечуючи високу релевантність та достовірність результатів для завдань локального кадастрового й урбаністичного моніторингу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Thapa, A., Horanont, T., Neupane, B., & Aryal, J. (2023). Deep Learning for Remote Sensing Image Scene Classification: A Review and Meta-Analysis. *Remote Sensing*, 15(19), 4804. h

2. Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015*, 234–241.

3. Tuia, D., Persello, C., & Bruzzone, L. (2016). Domain Adaptation for the Classification of Remote Sensing Data: An Overview of Recent Advances. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 4(2), 41-57.

4. Bushyn, I., & Chernenko, R. (2023). The Use of Convolutional Neural Networks for the Recognition of Burned Fields on Satellite Photos in the Territory of Ukraine. *Modern Engineering and Innovative Technologies*, 1(29-01), 122-132.

5. Aryal, J., & Neupane, B. (2023). Multi-Scale Feature Map Aggregation and Supervised Domain Adaptation of Fully Convolutional Networks for Urban Building Footprint Extraction. *Remote Sensing*, 15(2), 488.

УДК 004.89:528.85

Довбишев В.Д. [1], Гришин С.І.[2]

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ НАВЧАЛЬНИХ ВИБІРОК ДЛЯ ЗАДАЧ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ НА АЕРОКОСМІЧНИХ ЗНІМКАХ

Вступ. Розвиток систем автоматичного розпізнавання об’єктів на аерокосмічних знімках нерозривно пов'язаний з еволюцією методів глибинного навчання. Для досягнення високої точності семантичної сегментації міської інфраструктури згортковим нейронним мережам необхідні масивні набори анотованих даних (навчальні вибірки), що містять як самі зображення, так і відповідні їм еталонні маски (Ground Truth) [1]. Традиційний підхід до створення таких вибірок базується на ручному обведенні контурів будівель експертами-картографами, що є

[1] Студент групи АД211, НУ «Одеська політехніка»
[2] Доцент кафедри ІТ, НУ «Одеська політехніка», к.т.н., доцент

вкрай ресурсомістким, дорогим та повільним процесом. Відсутність локальних наборів даних, що враховують архітектурно-містобудівну специфіку вітчизняної забудови, створює суттєвий бар'єр для впровадження ефективних геоінформаційних систем. Це визначає актуальність науково-практичного завдання щодо розробки та впровадження повністю автоматизованих пайплайнів генерації навчальних вибірок на основі відкритих просторових даних [2].

Основна частина. Автоматизація процесу формування датасетів базується на технології об'єднання растрових аерокосмічних зображень високої роздільної здатності з відкритими краудсорсинговими векторними даними геоінформаційних систем. Найбільш релевантним джерелом безкоштовної векторної розмітки є глобальна база даних OpenStreetMap (OSM), яка містить полігони більшості об'єктів міської інфраструктури, що дозволяє використовувати її як основу для генерації еталонних масок [3]. Запропонований інженерний підхід до створення вибірки складається з послідовності просторових та обчислювальних трансформацій, які виконуються без залучення ручної праці оператора. Процес розпочинається із завантаження ортофотопланів або супутникових знімків заданої території (досліджуваного регіону) за допомогою спеціалізованих API картографічних сервісів із обов'язковим збереженням метаданих географічної прив'язки [4]. Паралельно, за допомогою інтерфейсу запитів до бази OSM, здійснюється витягнення просторових векторних координат об'єктів (наприклад, за тегом "building"), що знаходяться строго в межах завантаженого растрового зображення [5]. Наступним критичним етапом є растеризація — алгоритмічне перетворення векторних багатокутників у бінарну піксельну маску, де цільові об'єкти (будівлі) кодуються білим кольором, а решта території — чорним фоном. Завдяки наявності точних GPS-координат в обох шарах даних, растрове зображення та згенерована маска ідеально накладаються одне на одне. Оскільки архітектури згорткових нейронних мереж обмежені об'ємом відеопам'яті і не здатні обробляти супутникові знімки великого розміру за один прохід, фінальним етапом пайплайну є автоматичний тайлінг [4]. Зображення та відповідні їм маски синхронно розрізаються на менші фрагменти (тайли) фіксованого розміру (наприклад, 512x512 пікселів). Для оптимізації процесу навчання алгоритм автоматично відфільтровує та видаляє ті пари тайлів, які містять виключно фонові пікселі, що дозволяє уникнути проблеми дисбалансу класів та значно прискорює подальше тренування моделі.

Висновки. Застосування запропонованого автоматизованого конвеєра обробки даних на базі відкритих супутникових знімків та векторної розмітки OpenStreetMap доводить свою високу практичну ефективність. Такий підхід повністю усуває необхідність тривалої ручної анотації даних, кардинально знижуючи часові та фінансові

витрати на підготовку датасетів. Можливість швидкого генерування навчальних вибірок будь-якого масштабу для специфічних локальних територій створює надійний фундамент для донавчання моделей, що дозволяє швидко адаптувати геоінформаційні системи до нових умов моніторингу забудови.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Hnatushenko, V., & Zhernovyi, V. (2020). Building extraction from high-resolution satellite images using neural networks. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (5), 116-121.

2. Vargas-Munoz, J. E., Lobry, S., Falcão, A. X., & Tuia, D. (2020). OpenStreetMap: Challenges and Opportunities in Machine Learning and Remote Sensing. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 8(4), 68-84.

3. Kaiser, P., Wegner, J. D., Lucchi, A., Jaggi, M., Hofmann, T., & Schindler, K. (2017). Learning Aerial Image Segmentation From Online Maps. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(11), 6254-6267.

4. IMPLEMENTATION OF THE INDICATOR SYSTEM IN MODELING OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS . (2021). Radio Electronics, Computer Science, Control, (1), 117–126.

5. Audebert, N., Le Saux, B., & Lefèvre, S. (2017). Joint learning from Earth Observation and OpenStreetMap data to get faster better semantic maps. *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, 1552-1560.

УДК 004.89

Білоусов Д.О.[1], Потієнко О.С.[2]

МЕТОДИ ІНТЕГРАЦІЇ ТА ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ РІЗНОРІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Вступ. Розробка ефективних інтелектуальних комп'ютерних систем ускладнюється необхідністю агрегації масивів інформації із гетерогенних джерел. До таких джерел належать реляційні бази, нереляційні сховища, відкриті програмні інтерфейси та неструктуровані файлові масиви. Забезпечення високої якості вхідної інформації є фундаментальним етапом проєктування. Наявність шумів, структурних аномалій та семантичних конфліктів безпосередньо знижує точність предиктивних моделей та алгоритмів машинного навчання. Традиційні

[1] Магістр кафедри інформаційних технологій НУ «Одеська політехніка»
[2] Ст.викладач кафедри ІТ, НУ «Одеська політехніка», д.ф., ст.викладач

підходи до обробки даних часто ігнорують складну взаємодію між різними типами ознак. Це зводить нанівець ефективність подальшого інтелектуального аналізу та потребує розробки комплексних конвеєрів попередньої обробки.

Основна частина. Архітектура процесу підготовки даних базується на послідовній реалізації етапів екстракції, трансформації та глибинного розвідувального аналізу. На початковому етапі консолідації першочерговим завданням є подолання структурної та семантичної гетерогенності шляхом застосування алгоритмів відображення метаданих. Це дозволяє уніфікувати формати подання часових рядів, регіональні стандарти кодування та типи змінних у єдиний інформаційний простір. Перехід від класичних концепцій екстракції до сучасних архітектур озер даних забезпечує збереження первинної деталізації показників. Одночасно підтримуються суворі транзакційні гарантії під час паралельної обробки великих масивів інформації.

Окремим викликом при інтеграції різнорідних джерел є обробка неструктурованих текстових масивів. Вони складають значну частку сучасних аналітичних даних. Для їх перетворення у машинозчитуваний формат інтегруються конвеєри обробки природної мови. Процес трансформації охоплює токенізацію, лематизацію, синтаксичний аналіз та подальшу векторизацію за допомогою алгоритмів частотного аналізу. Для більш складних інтелектуальних систем застосовуються сучасні нейромережеві вбудовування або архітектури сімейства трансформаторів. Це дозволяє перетворити складну семантику тексту в щільні багатовимірні числові вектори, придатні для алгоритмів кластеризації та семантичного пошуку.

Після структурної уніфікації етап очищення масиву вимагає суворого математичного підходу до обробки пропущених значень. Замість тривіального видалення неповних записів застосовується алгоритмічне відновлення. Видалення неповних записів неминуче призводить до втрати статистичної значущості вибірки. Використання методу найближчих сусідів або алгоритмів поліноміальної регресії дозволяє відновлювати пропуски на основі встановлених кореляційних зв'язків з іншими атрибутами. Одночасно виявлення та нейтралізація статистичних викидів реалізується за допомогою метрик міжквартильного розмаху та ансамблевих алгоритмів ізоляційного лісу. Останні ефективно локалізують багатовимірні аномалії у просторі ознак. Вони ізолюють аномалії без спотворення загального нормального розподілу основної вибірки.

Критичним аспектом підготовки навчальних наборів для систем підтримки прийняття рішень є подолання проблеми дисбалансу класів. У реальних інформаційних системах цільовий клас часто є міноритарним. Це призводить до зміщення класифікатора в бік мажоритарного класу. Для вирішення цієї проблеми застосовуються

методи синтетичного збалансування. Шляхом просторової інтерполяції між існуючими екземплярами генеруються нові синтетичні зразки міноритарного класу. Такий підхід суттєво підвищує чутливість та загальну стійкість предиктивних моделей до нових вхідних даних.

Враховуючи сучасні правові вимоги до інтеграції інформації з відкритих і корпоративних джерел, невід'ємною складовою попередньої обробки стає криптографічна деідентифікація. Застосування методів анонімізації гарантує захист конфіденційних атрибутів навіть при складному злитті кількох незалежних баз даних. Впровадження механізмів диференціальної приватності додає математично відкалібрований шум до агрегованих даних. Це зберігає їхню загальну аналітичну цінність для градієнтного спуску. Водночас це унеможливлює зворотний інжиніринг індивідуальних записів користувачів.

Заключним етапом підготовки є конструювання ознак та математичне зниження розмірності простору даних. Застосування методу головних компонент дозволяє відкинути інформаційний шум та зберегти корисну дисперсію вибірки. Процедури нормалізації числових показників та алгоритмічне кодування категоріальних змінних остаточно усувають проблему домінування окремих вагових коефіцієнтів. Ці кроки повністю нівелюють ефект мультиколінеарності ознак перед подачею масиву на вхід нейронної мережі.

Висновки. Ефективне функціонування систем підтримки прийняття рішень вимагає впровадження жорстких багатоступеневих протоколів попередньої обробки вхідних масивів. Систематичне усунення гетерогенності, векторизація неструктурованих текстів, синтетичне балансування вибірок та математично обґрунтована трансформація багатовимірних просторів формують надійну репрезентативну базу. Це гарантує коректну збіжність алгоритмів машинного навчання. Також це мінімізує ризики перенавчання та радикально підвищує точність і відмовостійкість інтелектуальних комп'ютерних систем у реальних умовах промислової експлуатації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Болюбаш, Н. М. (2020). *Інтелектуальний аналіз даних*. ЧНУ ім. Петра Могили.

2. Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2011). *Data mining: Concepts and techniques* (3rd ed.). Morgan Kaufmann.

3. Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The elements of statistical learning: Data mining, inference, and prediction* (2nd ed.). Springer.

4. Bishop, C. M. (2006). *Pattern recognition and machine learning*. Springer.

УДК 004.8:004.912
Миронюк В.М.[1] Вичужанін В.В. [2]

МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ПОБУДОВИ ГЕТЕРОГЕННИХ ВЕБ-СИСТЕМ ДЛЯ КОЛЕКТИВНОГО СПОЖИВАННЯ МЕДІАКОНТЕНТУ В РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Вступ. У сучасних умовах трансформації цифрового простору спостерігається стійка тенденція до переходу від індивідуалізованого перегляду контенту до інтерактивних форм групової взаємодії [1]. Традиційні методи передачі даних, які орієнтовані на великі мовні моделі або стандартні стрімінгові сервіси, часто виявляють обмежену ефективність у сценаріях, де критичною є синхронізація станів між багатьма вузлами мережі [2]. Саме тому виникає гостра необхідність у забезпеченні комплексної оцінки ефективності нових архітектурних рішень, що особливо актуально для розробників, які впроваджують такі системи у середовищах з обмеженим доступом до обчислювальних ресурсів [3]. Актуальність даного дослідження зумовлена потребою досягнення оптимального балансу між якістю відтворення, швидкістю передачі сигналів керування та загальною продуктивністю веб-платформи.

Основна частина. Комплексна оцінка функціонування систем синхронного перегляду передбачає багатовимірне дослідження, яке охоплює не лише якість передачі медіапотоку, а й здатність системи до адаптації в умовах динамічної зміни мережевих параметрів [4]. На відміну від класичних підходів, де оцінка базується на стандартних метриках пропускної здатності, у системах спільного перегляду критичне значення має затримка відповіді та обсяг пам’яті, що споживається клієнтським пристроєм [5]. Першою групою методів аналізу є оцінка точності синхронізації, де застосовуються спеціалізовані алгоритми порівняння часових міток на стороні клієнта та сервера. Це дозволяє визначити рівень релевантності станів відтворення у вузьких контекстах групової взаємодії [6].

Другий аспект дослідження пов’язаний з продуктивністю на граничних пристроях (edge devices), де показники енергоспоживання та використання апаратних ресурсів під час реального навантаження є вирішальними [7]. Вимірювання здійснюється за допомогою інструментів профілювання, що дають змогу сформувати збалансовану картину ефективності обраної архітектури.

Третій важливий напрямок — це адаптивність системи до деструктивних факторів мережі, що потребує перевірки здатності моделі ефективно працювати за межами ідеального розподілу ресурсів [8]. Використання стандартизованих бенчмарків та уніфікованих

[1] Студент групи АД221, НУ «Одеська політехніка»
[2] Зав. кафедри ІТ, НУ «Одеська політехніка», д.т.н., професор

метрик дозволяє порівнювати результати, отримані в ході різних етапів тестування, забезпечуючи прозорість та відтворюваність дослідження. Важливим викликом залишається пошук компромісу між якістю візуалізації та ресурсними витратами, оскільки для кінцевого користувача стабільність синхронізації часто є більш вагомим фактором, ніж максимальна роздільна здатність відео [9].

Висновки. Проведений аналіз методів побудови та оцінки систем групового перегляду підтверджує необхідність застосування багатовимірного підходу, що поєднує автоматичні метрики продуктивності та показники адаптивності. Такий підхід дає змогу отримати найбільш повну картину ефективності системи, оскільки жодна окрема метрика не може адекватно відобразити складні процеси взаємодії у реальних умовах виробничого середовища. Комплексне оцінювання є ключовим інструментом при оптимізації архітектур під конкретні практичні завдання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Григорик, І. (2023). *High performance browser networking*. O'Reilly Media.

2. Сироветник, Б., & Кісь, Я. (2025). Застосування глибинного навчання для прогнозування кредитних ризиків у банківській сфері. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 351(3.1), 468–472.

3. Fielding, R. T. (2024). Modern web architectures for real-time media. *IEEE Software, 41*(2), 56–63.

4. Frantar, E., Ashkboos, S., Hoefler, T., & Alistarh, D. (2023). GPTQ: Accurate post-training quantization for generative pre-trained transformers. *Advances in Neural Information Processing Systems, 36*, 34623–34638.

5. Hendrycks, D., Mazeika, M., & Dietterich, T. (2022). Benchmarking neural network robustness to common corruptions and perturbations. *Journal of Machine Learning Research, 23*(128), 1–42.

6. Johnston, A. B., & Burnett, D. C. (2025). *WebRTC: Blueprints*. Digital Media Services.

7. Loreto, S., & Romano, S. P. (2024). *Real-time communication with WebRTC: Peer-to-peer in the browser*. O'Reilly Media.

8. Rescorla, E. (2024). *WebRTC: Real-time communication for the modern web*. O'Reilly Media.

9. Sanh, V., Debut, L., Chaumond, J., & Wolf, T. (2019). DistilBERT, a distilled version of BERT: Smaller, faster, cheaper and lighter. *arXiv*. https://arxiv.org/abs/1910.01108

УДК 004.722.05
Копилов Д.Ю.[1] Шибаєва Н.О. [2]

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ ДИНАМІЧНОЇ МАРШРУТИЗАЦІЇ

Вступ. Сучасні корпоративні комп'ютерні мережі характеризуються складною змішаною топологією та високими вимогами до відмовостійкості апаратно-програмного комплексу. Головною проблемою при їх проєктуванні та масштабуванні є те, що обрані алгоритми динамічної маршрутизації не завжди відповідають висунутим до них технічним вимогам, внаслідок чого суттєво погіршуються загальні характеристики корпоративної мережі. В умовах збільшення обсягів даних та використання розподілених баз даних, класичні підходи до ручного налаштування та моніторингу мережевого обладнання виявляють обмежену ефективність **[1]**. Це обумовлює критичну необхідність розробки та впровадження спеціалізованих інформаційних систем, які дозволяють автоматизувати процес збору метрик, імітаційного моделювання та комплексного аналізу ефективності функціонування алгоритмів динамічної маршрутизації у режимі реального часу.

Основна частина. У сфері проєктування відмовостійких комп'ютерних мереж аналіз маршрутизації зазвичай вимагає використання комплексного підходу, що інтегрує програмні засоби моніторингу та апаратні метрики маршрутизаторів. Для забезпечення коректного функціонування розроблюваної інформаційної системи та проведення аналізу мережевих процесів застосовуються методи імітаційного моделювання та глибокого аналізу трафіку. Аналіз здійснюється за такими основними критеріями: довжина маршруту, максимальна пропускна здатність ліній зв'язку, завантаження мережі службовим трафіком та загальний час збіжності (конвергенції). В процесі дослідження типової гібридної корпоративної інфраструктури, що побудована на базі обладнання корпорації Cisco Systems (зокрема, із використанням маршрутизаторів корпоративного класу CISCO3945-SEC/K9 та CISCO2951-SEC/K9) **[2]**, інформаційна система повинна підтримувати взаємодію з різними протоколами маршрутизації, такими як RIPv2, OSPF та EIGRP. Проведене моделювання та системний моніторинг службового трафіку за допомогою таких інструментальних засобів, як аналізатор Wireshark **[3]**, доводить наявність суттєвих відмінностей між протоколами маршрутизації при критичних навантаженнях та у нормальному режимі роботи мережі. Наприклад, розроблена аналітична система фіксує, що при використанні

[1] Студент групи АД221, НУ «Одеська політехніка»
[2] Доцент кафедри ІТ, НУ «Одеська політехніка», к.т.н., доцент

дистанційно-векторного протоколу RIPv2 спостерігається недопустимо високий час збіжності мережі — від 45 до 78 секунд. Крім того, маршрутизатори змушені обробляти великі обсяги службового трафіку через архітектурну особливість протоколу, яка полягає у періодичній розсилці повних таблиць маршрутизації кожні 30 секунд. Інформаційна система повинна автоматично фіксувати ці "вузькі місця" (bottlenecks) та сигналізувати про неоптимальність використання даного алгоритму для великих топологій. При оцінці протоколу стану каналу OSPF, система аналізу демонструє значне покращення метрик: час збіжності інфраструктури скорочується до 15-20 секунд, а маршрутизатори обмінюються лише легковісними пакетами типу Hello розміром 94 байти кожні 10 секунд. Проте, найкращі показники сумісності та продуктивності на апаратному забезпеченні Cisco демонструє пропрієтарний гібридний протокол EIGRP. Програмно-апаратний комплекс здатний зафіксувати еталонний час збіжності від 2.3 до 3.9 секунд, при цьому розмір службових Hello-пакетів складає лише 74 байти. Ще одним важливим аспектом розробки інформаційної системи є її здатність аналізувати та візуалізувати логічну структуру мережі, зокрема розподіл єдиного адресного простору IP за допомогою масок змінного розміру (VLSM) **[1]**. Використання методів безкласової маршрутизації дозволяє суттєво економити адресний простір корпорації, виділяючи для магістральних з'єднань типу "точка-точка" маски /30. Програмна система має здатність парсити таблиці маршрутизації та відслідковувати коректність функціонування цих підмереж.

Висновки. Проведений аналіз підтверджує, що розробка та інтеграція спеціалізованої інформаційної системи для дослідження алгоритмів динамічної маршрутизації є сучасним та перспективним підходом для управління корпоративними мережами. Створення такої програмної методики дозволяє автоматизувати вибір оптимального алгоритму управління трафіком. Гібридні та спеціалізовані рішення, налаштовані на основі даних такої інформаційної системи, гарантують підвищену відмовостійкість мережі, суттєво збільшують пропускну здатність каналів зв'язку, зменшують внутрішньомережеві затримки при обробці баз даних та максимізують загальну надійність передачі корпоративної інформації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Оліфер, В. Г., & Оліфер, Н. А. (2016). *Комп'ютерні мережі: Принципи, технології, протоколи*. Екологія.

2. Cisco Systems. (n.d.). *Integrated services routers (ISR) series: Hardware overview*. https://www.cisco.com

3. Wireshark Foundation. (n.d.). *Wireshark documentation*. https://www.wireshark.org

УДК 004.89:37.091.3
Голинський А.М.[1], Жирова Т.О. [2]

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ВИБОРУ НАСТУПНОГО КРОКУ В АДАПТИВНИХ ОСВІТНІХ СИСТЕМАХ

Розвиток цифрових освітніх технологій та систем електронного навчання зумовлює активне впровадження адаптивних освітніх систем, які забезпечують персоналізацію навчального процесу відповідно до індивідуальних характеристик здобувачів освіти. Однією з ключових функцій таких систем є формування індивідуальної освітньої траєкторії, що передбачає визначення оптимального наступного кроку навчання на основі аналізу навчальної діяльності користувача [1].

Адаптивні освітні системи використовують різні джерела даних, зокрема результати оцінювання, показники активності користувачів, характеристики навчального контенту та параметри освітнього середовища. Урахування зазначених факторів дозволяє формувати персоналізовані рекомендації щодо подальшого навчання. Разом з тим задача вибору наступного навчального кроку має складний багатофакторний характер, оскільки потребує одночасного врахування різних ознак, що характеризують як користувача, так і освітній контент [5].

У таких умовах доцільним є застосування методів багатокритеріального прийняття рішень, які дозволяють здійснювати оцінювання альтернатив на основі сукупності кількісних і якісних критеріїв [2, 3].

Метою роботи є обґрунтування використання багатокритеріального підходу для підтримки процесу вибору наступного кроку навчання в адаптивних освітніх системах.

Адаптивні освітні системи орієнтовані на автоматизовану підтримку процесу навчання та формування індивідуальних освітніх траєкторій. Одним із ключових елементів таких систем є механізм рекомендацій, який визначає найбільш доцільну навчальну дію для користувача на основі аналізу його попередньої навчальної активності.

У більшості випадків вибір наступного кроку навчання здійснюється між кількома альтернативами, такими як:

- повторення навчального матеріалу;
- перехід до нового теоретичного модуля;
- виконання практичного завдання;
- проходження тестового контролю.

Оцінювання таких альтернатив потребує врахування множини критеріїв, серед яких рівень засвоєння матеріалу, складність

[1] Аспірант кафедри ІПЗ та К, ДТЕУ

[2] Доцент кафедри ІПЗ та К, ДТЕУ, к.пед.н., доцент

навчального контенту, темп навчання, рівень залученості користувача та тип навчальної активності. У зв'язку з цим задача вибору наступного навчального кроку може розглядатися як задача багатокритеріального прийняття рішень.

Методи багатокритеріального аналізу, зокрема метод аналізу ієрархій (AHP) та метод TOPSIS, широко застосовуються у системах підтримки прийняття рішень та дозволяють здійснювати ранжування альтернатив на основі системи критеріїв [2, 3]. Використання таких методів у адаптивних освітніх системах дає можливість підвищити обґрунтованість формування навчальних рекомендацій.

У таблиці 1 наведено приклад критеріїв, що можуть використовуватися при визначенні наступного навчального кроку.

Таблиця 1 – Критерії вибору наступного навчального кроку в адаптивних освітніх системах

Критерій	**Характеристика**	**Приклад використання**
Рівень засвоєння матеріалу	Результати попередніх оцінювань	Повторення або ускладнення матеріалу
Складність контенту	Рівень складності навчального матеріалу	Вибір модуля відповідного рівня
Тип навчальної активності	Формат навчальної діяльності	Теорія, практика, тест
Темп навчання	Швидкість виконання завдань	Адаптація складності
Рівень залученості	Активність користувача	Рекомендація інтерактивних матеріалів

Використання зазначених критеріїв дозволяє сформувати узагальнену оцінку альтернативних навчальних дій і визначити найбільш доцільний варіант подальшого навчання. Для формалізації процесу вибору наступного кроку може використовуватися узагальнена модель багатокритеріального оцінювання, що враховує характеристики користувача, параметри освітнього контенту та результати навчальної діяльності.

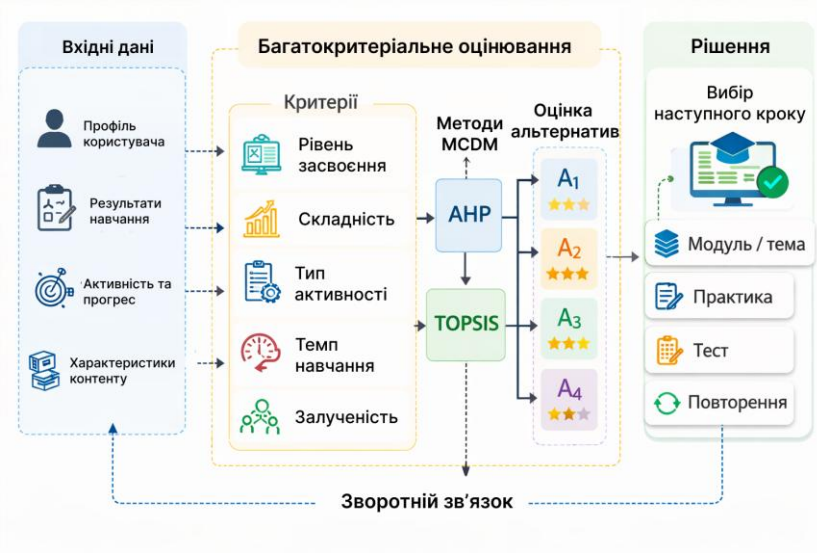


Рисунок 1 – Модель багатокритеріального вибору наступного кроку навчання

Джерело: розроблено автором

Запропонований підхід дозволяє інтегрувати результати навчальної аналітики, характеристики освітнього контенту та індивідуальні параметри користувача в єдину модель прийняття рішень. У сучасних дослідженнях також підкреслюється важливість поєднання методів багатокритеріального аналізу з технологіями штучного інтелекту та освітньої аналітики, що сприяє підвищенню ефективності адаптивних освітніх систем [6, 8].

Висновки

Задача вибору наступного навчального кроку є одним із ключових елементів функціонування адаптивних освітніх систем. Її розв'язання потребує врахування множини факторів, пов'язаних із характеристиками користувача, параметрами освітнього контенту та результатами навчальної діяльності.

Застосування багатокритеріального підходу дозволяє формалізувати процес прийняття рішень та забезпечити більш обґрунтований вибір навчальних рекомендацій. Використання методів багатокритеріального аналізу створює передумови для підвищення ефективності персоналізації навчання та розвитку інтелектуальних адаптивних освітніх систем.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Brusilovsky, P. (2001). Adaptive hypermedia. User Modeling and User-Adapted Interaction, 11, 87–110.
2. Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. International Journal of Services Sciences, 1(1), 83–98.
3. Behzadian, M., Otaghsara, S. K., Yazdani, M., & Ignatius, J. (2012). A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. Expert Systems with Applications, 39(17), 13051–13069.
4. Siemens, G. (2013). Learning analytics: The emergence of a discipline. American Behavioral Scientist, 57(10), 1380–1400.
5. du Plooy, E., Casteleijn, D., & Franzsen, D. (2024). Personalized adaptive learning in higher education: A scoping review of key characteristics and impact on academic performance and engagement. Heliyon.
6. Lampropoulos, G. (2023). Recommender systems in education: A literature review and bibliometric analysis. Advances in Mobile Learning Educational Research, 3(2), 829–850.
7. Ling, H.-C., & Chiang, H.-S. (2022). Learning performance in adaptive learning systems: A case study of web programming learning recommendations. Frontiers in Psychology, 13, Article 770637.
8. Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2022). Artificial intelligence in education: A review. IEEE Access, 10, 75264–75278.

УДК 004.8

Шевчук В.С.[1], Нафєєв Р.К.[2]

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ У СУЧАСНИХ БІЗНЕС-СИСТЕМАХ

У сучасному інформаційному суспільстві обсяги даних зростають надзвичайно швидкими темпами. Підприємства, організації, державні установи та інформаційні системи постійно генерують великі масиви інформації, які потребують ефективної обробки, систематизації та аналізу. До таких даних належать фінансова інформація, статистичні показники діяльності компаній, дані про поведінку користувачів, результати маркетингових досліджень та інші інформаційні ресурси.

Традиційні методи аналізу даних часто не дозволяють виявляти складні закономірності та приховані зв’язки між різними параметрами,

[1] Ст. гр. САДМ-51, Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій

[2] Доцент кафедри інформаційних систем та технологій Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій, кандидат фізико-математичних наук

особливо коли мова йде про великі обсяги інформації. У зв'язку з цим виникає потреба у використанні сучасних інформаційних технологій, які здатні автоматизувати процес аналізу даних та підвищити ефективність управлінських рішень.

Одним із таких підходів є інтелектуальний аналіз даних (Data Mining), який поєднує методи статистичного аналізу, машинного навчання та штучного інтелекту. Застосування цих технологій дозволяє здійснювати пошук прихованих закономірностей у даних, визначати тенденції розвитку різних процесів та формувати прогнози на основі отриманої інформації. Саме тому технології інтелектуального аналізу даних активно використовуються у сучасних системах бізнес-аналітики.

Інтелектуальний аналіз даних є одним із ключових інструментів сучасної бізнес-аналітики. Основною метою даного підходу є виявлення закономірностей, тенденцій та залежностей у великих масивах інформації, які складно визначити традиційними методами аналізу.

Процес інтелектуального аналізу даних включає кілька етапів: збір даних, їх попередню обробку, побудову аналітичних моделей, інтерпретацію результатів та формування рекомендацій для прийняття рішень. Важливу роль на цьому етапі відіграє якість вихідних даних, оскільки некоректні або неповні дані можуть значно впливати на результати аналізу.

Одним із важливих методів інтелектуального аналізу є класифікація даних. Даний метод передбачає розподіл об'єктів або записів за певними категоріями на основі заданих характеристик. Класифікація широко використовується у фінансових системах, медичних дослідженнях, маркетинговій аналітиці та системах виявлення шахрайства. Наприклад, за допомогою класифікаційних алгоритмів банки можуть визначати рівень кредитного ризику клієнтів або прогнозувати ймовірність прострочення платежів.

Іншим важливим підходом є кластеризація даних, яка дозволяє об'єднувати об'єкти у групи за схожими характеристиками без попереднього визначення категорій. Завдяки цьому методу можна визначати природні сегменти даних, наприклад групи клієнтів у маркетингових дослідженнях. Це дозволяє компаніям ефективніше формувати маркетингові стратегії, адаптувати рекламні кампанії та краще розуміти потреби споживачів.

Також важливим інструментом є аналіз асоціативних правил, який дозволяє визначати взаємозв'язки між різними елементами даних. Такий підхід часто використовується у сфері роздрібної торгівлі для аналізу споживчих кошиків та визначення товарів, які найчастіше купуються разом. Наприклад, аналіз може показати, що покупці, які купують певний товар, часто обирають і інший товар, що дозволяє оптимізувати розміщення продукції та підвищувати ефективність продажів.

Ще одним важливим напрямом є прогнозування, яке здійснюється за допомогою алгоритмів машинного навчання. Аналізуючи історичні дані, система може прогнозувати майбутні події, наприклад попит на продукцію, фінансові показники або можливі ризики. Прогнозні моделі активно використовуються у фінансовому секторі, логістиці, виробництві та сфері електронної комерції.

Крім того, інтелектуальний аналіз даних активно використовується у системах підтримки прийняття рішень. Такі системи допомагають керівникам і аналітикам оцінювати різні сценарії розвитку подій, визначати можливі ризики та обирати найбільш ефективні стратегії управління.

Сучасні системи інтелектуального аналізу даних часто інтегруються з технологіями Big Data, хмарними обчисленнями та платформами бізнес-аналітики. Використання таких технологій дозволяє обробляти великі обсяги інформації в режимі реального часу, підвищувати точність аналітичних прогнозів та забезпечувати швидке отримання результатів аналізу.

Висновки. Отже, інтелектуальний аналіз даних є важливим інструментом сучасних інформаційних систем. Використання методів Data Mining дозволяє знаходити приховані закономірності у великих масивах інформації, підвищувати точність аналітичних прогнозів та оптимізувати процеси прийняття управлінських рішень.

Застосування технологій інтелектуального аналізу даних сприяє підвищенню ефективності діяльності підприємств, дозволяє більш точно оцінювати ринкові тенденції та формувати обґрунтовані управлінські рішення. Інтеграція таких технологій з системами бізнес-аналітики, Big Data та хмарними платформами відкриває нові можливості для розвитку інформаційних систем та цифрової трансформації організацій.

Таким чином, інтелектуальний аналіз даних відіграє важливу роль у сучасному інформаційному середовищі та є одним із ключових інструментів підвищення ефективності управління складними бізнес-процесами.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2011). *Data mining: Concepts and techniques*. Morgan Kaufmann.

2. Witten, I., Frank, E., & Hall, M. (2016). *Data mining: Practical machine learning tools and techniques*. Morgan Kaufmann.

УДК 004.89:004.912:005.953.2:378(477) Двойленко А.І.[1], Смиш О.Р.[2]

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПІДБОРУ ЧЛЕНІВ ВЧЕНОЇ РАДИ НА ЗАХИСТИ ДОКТОРІВ ФІЛОСОФІЇ В УКРАЇНІ

Анотація. У роботі досліджено проблему формування разових спеціалізованих вчених рад для захисту дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії в Україні. Метою роботи є спрощення процесу формування разової спеціалізованої вченої ради для захисту доктора філософії. Завданням дослідження є проведення статистичного аналізу відкритих даних інформаційної системи NAQA.Svr та розроблення рекомендаційної системи добору науковців до складу вченої ради з використанням сформованої онтологічної бази знань та застосуванням засобів обробки природної української мови.

Ключові слова: рекомендаційна система, обробка природної мови, онтологія, база знань, різонер, Pellet, OWL, українська мова, доктор філософії, вчена рада, інформаційні технології.

Вступ. Щороку в Україні відбуваються тисячі захистів дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії. Згідно з публічними даними інформаційної системи НАЗЯВО [1], лише за період 2022–2025 років проведено понад 10 500 захистів.

Відповідно до затвердженого Порядку присудження ступеня доктора філософії, кожен захист потребує формування разової спеціалізованої вченої ради, де всі члени мають відповідати нормативним вимогам до науковців та мати компетентність за тематикою дослідження аспіранта [2]. Наразі в українському науковому просторі не існує спеціалізованого інструменту для автоматизування чи підтримання цього процесу, тож пошук кандидатів у разову раду відбувається вручну. Це суттєво ускладнює початковий етап до захисту та вимагає значних витрат часу та зусиль.

Вирішенням цієї проблеми може слугувати інструмент, що на основі відкритих даних уможливлює швидкий пошук релевантних науковців. Такий застосунок повинен враховувати законодавчі вимоги до складу разової ради та добирати компетентних вчених за тематикою дослідження аспіранта.

Основний матеріал. Джерелом даних для аналізування слугує інформаційна система NAQA.Svr, що надає відкритий доступ до відомостей про захисти дисертацій через API. Для формування бази даних та бази знань рекомендаційної системи зібрано інформацію про

[1] Студентка третього року навчання спеціальності «Комп'ютерні науки» Національного університету «Києво-Могилянська академія»

[2] Науковий керівник студентки, доктор філософії з комп'ютерних наук, старший викладач кафедри мультимедійних систем факультету інформатики Національного університету «Києво-Могилянська академія»

захисти, дисертації, здобувачів, членів спеціалізованих вчених рад, публікації. Отримані дані пройшли попереднє оброблення, щоби гарантувати їхню якість та придатність до подальшого аналізування та використання в системі.

Під час оброблення даних до ключових слів застосовано автоматичну ідентифікацію мови, а також лематизацію й токенізацію за допомогою бібліотеки spaCy. Для виправлення технічних помилок у даних застосовано правилозалежні підходи обробки природної мови.

За допомогою підготовлених даних проведено статистичний аналіз захистів за період 2022–2025 років. Досліджено часову та тематичну динаміку захистів, гендерний розподіл здобувачів, закладів вищої освіти та освітніх програм, окрім цього досліджено гіпотезу номінативного детермінізму. Частотний аналіз ключових слів виявив популярні напрями наукових досліджень — зокрема, як показано на рисунку 1, серед найуживаніших понять переважають терміни в галузях державного управління, цифрових технологій та освіти.

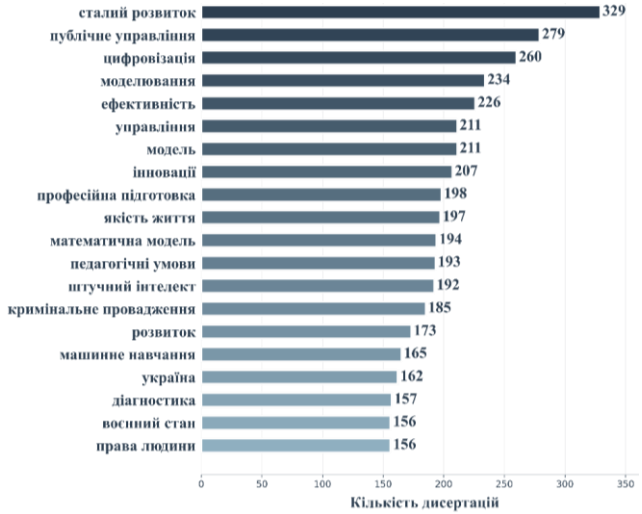


Рисунок 1 – Частотність ключових слів у дисертаціях

Отримані результати враховано під час розроблення рекомендаційної системи, яка використовує ключові слова дисертацій як основний механізм визначення тематичної компетентності науковців.

Розроблена рекомендаційна система здійснює добір кандидатів окремо для трьох ролей: голови ради, рецензентів та опонентів відповідно до вимог. Перевірка відповідності науковця вимогам виконується автоматично: система враховує наявність щонайменше трьох публікацій за темою дисертації за останні п’ять років, аналізує чи пройшло три роки з моменту присудження ступеня доктора філософії, а

також зіставляє інституційну приналежність кандидата. Для оцінювання тематичної релевантності система використовує евристичний підхід — якщо науковець має необхідну кількість публікацій, що мають спільні ключові слова з дисертацією аспіранта, тоді науковець вважається компетентним за тематикою дослідження.

Запропоновану рекомендаційну систему реалізовано як вебзастосунок. Після того, як користувач надіслав запит, система лематизує вхідні ключові слова й зіставляє їх із ключовими словами публікацій науковців. Для ранжування кандидатів використано статистичний показник TF-IDF, що забезпечує оцінювання ступеня компетентності кожного запропонованого науковця.

Доповненням системи є онтологія, що розширює вхідні ключові слова, рекомендуючи нові варіанти ключових слів користувачу, добираючи додаткових кандидатів. Онтологія містить таксономію наукових концептів. Кожне ключове слово належить до певного концепту, а також може мати зв'язки з іншими ключовими словами (синоніми, переклади). Різонер Pellet виводить зв'язки між вхідними ключовими словами та базою знань. Для кожного зв'язку визначено вагу, що враховується під час формування рекомендацій.

Висновки. У роботі проведено статистичний аналіз відкритих даних системи NAQA.Svr та розроблено рекомендаційну систему добору науковців до складу разової спеціалізованої вченої ради, що спрощує процес захисту ступеня доктора філософії для аспірантів. Розроблена система автоматизує процес добору кандидатів з урахуванням законодавчих вимог та забезпечує ранжування результатів. Завдяки онтологічному розширенню система надає додаткові рекомендації ключових слів та науковців.

ПЕРЕЛІК ПОКЛИКАНЬ

1. Національне агентство із забезпечення якості вищої освіти. (б. д.). Відомості про захисти дисертацій. https://svr.naqa.gov.ua/#/all-defenses

2. Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії. (2022). Офіційний вебпортал парламенту України. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/44-2022-%D0%BF#Text

УДК 004.896
Бахрушин О.В.[1]

АГЕНТ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ЗБИРАННЯ ДАНИХ ПРО СИСТЕМИ ОСВІТИ

Розглянуто принципи створення ШІ агентів, вимоги та концептуальну модель агента, призначеного для збирання і попередньої обробки даних про системи освіти на прикладі систем вищої освіти європейських країн. Така інформація може бути потрібною для визначення оптимальної для України структури та параметрів системи вищої освіти на основі аналізу успішних і менш успішних систем у країнах ЄС, а також складностей, що можуть виникати при виборі однієї з успішних систем за зразок для реформування і модернізації системи вищої освіти України.

Агент ШІ – це застосунок створений із застосуванням технологій штучного інтелекту, здатний самостійно з мінімальним наглядом з боку користувача виконувати поставлені завдання та приймати рішення про те, які дії необхідно виконати, які програмні інструменти для цього використовувати тощо [1]. Сутність конкретного агента визначається його індивідуальними характеристиками та інструментами сприйняття [2]. Індивідуальні характеристики охоплюють цілі, закладені знання, навички, налаштування, тощо. Інструменти сприйняття – це надані агенту методи отримання інформації, такі як веб-скрейпінг, API для взаємодії з конкретними джерелами, тощо. Для забезпечення коректності прийняття рішень та якості отриманого результату використовують такі підходи до робочого процесу як ланцюг міркування та цикл уточнення, сутність яких полягає в тому, що агент оцінює проміжні результати і відповідно корегує подальші дії [3]. Здатність оцінювати, планувати та виконувати дії робить використання агентів доцільним в ситуаціях, де неможливо, або недоцільно автоматизувати процес з допомогою попередньо налаштованих правил та логіки. Приміром, це стосується ситуацій, коли треба збирати інформацію з різних джерел, де дані мають різні структуру і формати, повноту, надійність, отримані за допомогою різних методик, що може стосуватися і термінологічних відмінностей, тощо. Прикладом таких даних є характеристики систем вищої освіти європейських країн, які часто використовують для прийняття рішень щодо реформування системи вищої освіти в Україні.

Метою цієї роботи є визначення вимог та побудова концептуальної моделі агента ШІ, призначеного для збирання інформації про системи вищої освіти. У найпростішому випадку це можуть бути такі дані по кожній країні ЄС:

[1] аспірант гр. А-122.13, НУ «Запорізька Політехніка»

1. Кількість студентів окремо за 5, 6, 7 та 8 рівнями МСКО у розрізі правового статусу ЗВО (публічні, приватні, …), орієнтації освітніх програм (академічні, професійні), вікових груп, статі, належності до вразливих груп населення тощо.
2. Кількість серед них іноземних студентів.
3. Загальна кількість студентів кожного рівня у розрахунку на 10000 громадян.
4. Загальна кількість закладів вищої освіти з поділом на публічні і приватні заклади, а також на університети, університети прикладних наук та інші типи закладів.
5. Середня та медіанна кількості студентів у закладі, а також стандартні відхилення від середнього у розрізі публічних і приватних закладів, а також у розрізі університетів, університетів прикладних наук та інших типів закладів.

Також треба передбачити можливість розширення набору показників, приміром, додавання блоків даних, що стосуються персоналу, фінансування ЗВО, їх наукової та інноваційної діяльності, впливу на суспільство тощо. Крім того, для інтеграції з іншими засобами та автоматичного використання результатів для інших розрахунків треба забезпечити виведення результатів у формі, прийнятній для такої інтеграції. Зокрема, це потрібно для переходу від статистичного опису мереж ЗВО до інтегрованого опису систем вищої освіти у цілому, що необхідно для прийняття обґрунтованих рішень щодо їх розвитку.

Подібне завдання передбачає здатність агента здійснювати:

- визначення джерел релевантних даних, оцінювання їх надійності та пріоретизацію;
- пошук необхідних статистичних даних;
- гармонізацію різних класифікацій та приведення даних різних джерел до зіставних значень;
- очищення та нормалізацію даних;
- агрегування даних та обчислення похідних показників (приміром, показники у розрахунку на 10 000 населення, середнє арифметичне, медіана, стандартне відхилення тощо);
- формування стандартизованого виводу;
- розширювати набір метрик.

Агент має передбачати можливість формування різних варіантів конкретних запитів задля обмеження можливості об’єднання незіставних даних. Зокрема:

- Основні варіанти допустимого задавання часу чи періоду, наприклад «за останній доступний рік», «за 2025 рік», «щорічні дані за 2020 - 2025 роки» тощо;
- Бажані основні джерела, такі як ETER, Eurostat, OECD, UNESCO Institute for Statistics. Без визначення джерела агент може змішати дані, зібрані за різними методологіями. Також варто задати

пріоритети для визначених основних джерел і вказати принципи встановлення пріоритетів та обмежень для інших джерел. Приміром: «не використовувати дані ЗМІ», «віддавати пріоритет офіціальним національним даним перед даними міжнародних баз» (чи навпаки), «віддавати перевагу первинним даним» тощо.

- Задати структури та формати вхідних та вихідних даних. Наприклад, вхід: перелік країн, рік, перелік показників; вихід: дані, організовані у форматах CSV та JSON, окрема документація з описом джерел, журнал обчислень тощо

Також необхідно використовувати точні визначення. Наприклад:

- як визначати кількість студентів з огляду на наявність “full-time” та “part-time”;
- як визначати «університет прикладних наук» у різних країнах;
- як враховувати філії?

Для забезпечення прозорості та зручності користування агент має зберігати повний журнал джерел та обчислень, що дозволить користувачу дізнатись джерела та обчислювальні формули для кожного конкретного значення в отриманих даних.

Отже, з усім зазначеним система повинна:

1. Мати можливість конфігурації таких параметрів:
   - роки за якими збираються дані;
   - список джерел даних;
   - список показників за якими збираються дані, для можливості його розширення.
2. Отримувати дані по 27 країнах ЄС.
3. Виокремлювати такі дані:
   - кількість студентів за кожним з 5–8 рівнів МСКО;
   - кількість іноземних студентів;
   - чисельність населення у відповідній країні;
   - кількість ЗВО та дані про них (публічні / приватні, університети / університети прикладних наук / інші, тощо).
4. Розраховувати:
   - кількість студентів на 10 000 населення;
   - середню кількість студентів, медіану та стандартне відхилення по всіх закладах відповідної системи, а також по групах закладів, що сформовані за різними ознаками, наприклад, за правовим статусом, типом закладу й т.п.
5. Формувати результат у форматах CSV та JSON
6. Зберігати повний журнал джерел та обчислень.

Виходячи із зазначених вище вимог та особливостей, пропонована архітектура агента передбачає такі структурні модулі:

- Інтерфейс для взаємодії з користувачем.

- LLM Оркестратор – керуючий модуль ШІ агента, який виконуватиме такі задачі: інтерпретація складних запитів користувача; динамічне формування плану збирання даних; гармонізація назв типів закладів між країнами, інтерпретація результатів, виявлення аномалій).
- Конектори для роботи з зовнішніми API.
- Нормалізатор даних, який обробляє отримані дані, забезпечує їх відповідність із заданою класифікацією, та організує їх.
- Аналітичний модуль, що обчислює задані похідні параметри.
- Модуль зберігання, що створює базу даних для проміжного збереження інформації. В процесі роботи агенту буде необхідно зберігати та обробляти початкові дані, отримані з API, нормалізовані дані, результати обчислень та метадані джерел та ін.
- Модуль експорту результатів з підтримкою необхідних форматів.

Важливо зазначити, LLM не виконує числові обчислення — це робить аналітичний модуль. Для оцінювання роботи агента пропонується використати набір показників, що характеризують якість даних (релевантність, повнота, надійність, несуперечливість, …), якість роботи LLM (точність інтерпретації запитів, коректність наданих пояснень, відсутність галюцинацій, …) та якість оптимізації роботи (час виконання запитів, кількість викликів до API, стабільність системи).

Таким чином, у роботі визначено концептуальну модель агента ШІ, що призначений для збирання і аналізу даних про мережі закладів вищої освіти країн ЄС. Він може бути застосований для підготовки більш обґрунтованих рішень щодо реформування та модернізації системи вищої освіти України на основі порівняння пропонованих варіантів зі структурою, станом та характеристиками мереж закладів вищої освіти європейських країн.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. *Що таке агенти ШІ: переваги та бізнес-застосунки | SAP*. (2025). https://www.sap.com/ukraine/resources/what-are-ai-agents

2. Li, X., Wang, S., Zeng, S., Wu, Y., & Yang, Y. (2024). *A survey on LLM-based multi-agent systems: Workflow, infrastructure, and challenges*. Vicinagearth. https://doi.org/10.1007/s44336-024-00009-2

3. Wang, L., Ma, C., Feng, X., Zhang, Z., Yang, H., Zhang, J., Chen, Z., Tang, J., Chen, X., Lin, Y., Zhao, W. X., Wei, Z., & Wen, J.-R. (2023). *A survey on large language model based autonomous agents*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2308.11432

УДК 004.72
Ревнюк О.В.[1], Улічев О.С. [2]

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СТРАТЕГІЇ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ПЕРИФЕРІЙНИХ ВУЗЛІВ У СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ З ВИСОКОЮ ІНТЕНСИВНІСТЮ ЗАПИТІВ

Вступ. Стрімкий розвиток концепції Інтернету речей (IoT) призвів до масштабного розгортання бездротових сенсорних мереж (БСМ) у різних сферах: від моніторингу навколишнього середовища до промислової автоматизації та розумних міст. Периферійні вузли, які є базовими елементами таких мереж, зазвичай працюють від автономних джерел живлення (батарей), заміна яких часто є економічно недоцільною або фізично неможливою. В умовах сучасних застосунків, де мережі піддаються впливу високої кількості запитів від користувачів або центральних серверів (наприклад, системи реального часу, відеоспостереження, критичний моніторинг інфраструктури), проблема швидкої втрати енергії стає критичною [1].

Класичні методи енергозбереження, такі як статичне налаштування робочих циклів (duty cycling) або проста агрегація даних, виявляються неефективними в умовах динамічного та інтенсивного навантаження. Це зумовлює необхідність розробки та впровадження інтелектуальних стратегій енергозбереження, здатних адаптуватися до змінних умов середовища та характеристик трафіку в режимі реального часу. У БСМ загальні витрати енергії периферійного вузла можна описати базовим рівнянням:

$$E_{total} = E_{tx} + E_{rx} + E_{proc} + E_{idle} + E_{sleep}$$

Де E_{tx} та E_{rx} – енергія, витрачена на передачу та прийом даних, E_{proc} – витрати на обчислення, E_{idle} – споживання в режимі очікування, а E_{sleep} – споживання в сплячому режимі. Практика показує, що радіомодуль є найбільш енергоємним компонентом вузла. При високій інтенсивності запитів вузли змушені частіше виходити зі сплячого режиму (E_{sleep}) у режим прийому/передачі (E_{tx} та E_{rx}), що експоненційно скорочує час життя батареї. Крім того, виникає проблема колізій та повторних передач пакетів через перевантаження радіоканалу, що призводить до марних витрат енергії [2].

Щоб вирішити цю проблему, сучасна парадигма зміщується від простого режиму “сну” до інтелектуального управління даними та станами вузла на периферії.

[1] Аспірант, Приватний вищий навчальний заклад "Європейський університет", м.Київ, Україна
[2] Кандидат технічних наук, Центральноукраїнський національний технічний, м. Кропивницький, Україна

1. Адаптивне управління робочими циклами на основі навчання з підкріпленням

Замість використання фіксованих інтервалів пробудження (наприклад, прокидатися кожні 10 секунд), пропонується використання алгоритмів машинного навчання, зокрема навчання з підкріпленням (Reinforcement Learning, RL). Алгоритм, розгорнутий на базовій станції або безпосередньо на потужних периферійних вузлах (кластерних головних вузлах), розглядає процес сну/пробудження як марковський процес прийняття рішень [3].

Вузол вивчає закономірності надходження запитів і формує таку політику робочих циклів, яка максимізує час перебування в сплячому режимі при збереженні допустимого рівня затримки відповіді (QoS). Якщо інтенсивність запитів має циклічний характер (наприклад, зростає вдень і падає вночі), модель Q-навчання автоматично адаптує інтервали активності, мінімізуючи показник E_{idle}.

2. Предиктивне моделювання та придушення надлишкових передач

Ще однією ефективною стратегією є використання моделей прогнозування часових рядів (наприклад, ARIMA або полегшених нейронних мереж типу LSTM) як на сенсорному вузлі, так і на сервері запитів. Суть методу полягає в паралельній роботі ідентичних прогностичних моделей [4].

Сервер замість того, щоб постійно опитувати вузол, прогнозує значення показників на основі історичних даних. Периферійний вузол зі свого боку збирає реальні дані та порівнює їх з результатами такої ж прогностичної моделі. Дані передаються (і відповідно, енергія витрачається) лише у тому випадку, коли реальне значення відхиляється від прогнозованого на величину, що перевищує заданий поріг толерантності. В умовах високої інтенсивності запитів сервер просто використовує високоточні прогнозовані дані, радикально зменшуючи кількість фізичних звернень до сенсора.

3. Граничні обчислення (Edge Computing) та семантична фільтрація даних

Перенесення частини обчислювального навантаження ближче до джерел даних (Edge Computing) дозволяє замінити дорогі операції передачі даних (E_{tx}) на значно дешевші локальні обчислення (E_{proc}). При високій інтенсивності запитів периферійні вузли можуть не відправляти початкові дані у відповідь на кожен запит. Інтелектуальні алгоритми агрегації здатні виконувати семантичну фільтрацію: об'єднувати серії запитів, відкидати дублюючі, обчислювати середні значення, мінімуми, максимуми або виявляти аномалії безпосередньо на мікроконтролері датчика. Наприклад, замість передачі відеопотоку у відповідь на запити систем безпеки, периферійний вузол з вбудованим нейропроцесором (NPU) може передавати лише короткі текстові

метадані (наприклад, "виявлено рух об'єкта типу людина"), що зменшує обсяг переданої інформації на кілька порядків [5].

4. Енергоефективна інтелектуальна маршрутизація

В багатокрокових (multi-hop) сенсорних мережах вузли, розташовані ближче до базової станції (sink), виснажуються найшвидше, оскільки пропускають через себе весь транзитний трафік. При високій інтенсивності запитів ефект "гарячих зон" (hotspots) посилюється. Інтелектуальні протоколи маршрутизації використовують нечітку логіку (Fuzzy Logic) або генетичні алгоритми для вибору шляхів передачі даних [6].

Вони враховують не лише найкоротший шлях, але й поточний рівень заряду батареї кожного проміжного вузла, динамічно перерозподіляючи трафік для рівномірного використання енергетичних ресурсів усієї мережі.

Висновки. Забезпечення тривалої автономної роботи периферійних вузлів сенсорних мереж в умовах високої інтенсивності запитів неможливе за допомогою традиційних підходів. Проведене дослідження показує, що перехід до інтелектуальних стратегій енергозбереження є критичною необхідністю. Впровадження адаптивного управління на базі машинного навчання, предиктивного моделювання та граничних обчислень дозволяє оптимізувати найвитратніші процеси – передачу даних та час простою. Заміна безперервного потоку "сирих" даних на передачу інформативно-значущих подій та використання прогнозних моделей здатні зменшити енергоспоживання вузлів до 60-80% порівняно зі стандартними протоколами, гарантуючи при цьому надійність функціонування критичних IoT-систем. Подальші дослідження у цій сфері мають бути спрямовані на мінімізацію обчислювальної складності моделей машинного навчання для їх інтеграції в мікроконтролери з ультранизьким енергоспоживанням.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347-2376.

2. Rault, T., Bouabdallah, A., & Challal, Y. (2014). Energy efficiency in wireless sensor networks: A top-down survey. *Computer Networks*, 67, 104-122.

3. Sharma, A., & Singh, P. K. (2020). Energy efficient routing protocol for wireless sensor networks using reinforcement learning. *Wireless Personal Communications*, 111(2), 1269-1286.

4. Dias, J. A., Rodrigues, J. J., & Xia, J. (2018). Predictive data reduction model for wireless sensor networks. *IEEE Sensors Journal*, 18(16), 6889-6898.

5. Shi, W., Cao, J., Zhang, Q., Li, Y., & Xu, L. (2016). Edge computing: Vision and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(5), 637-646.

6. Zedadra, O., Guerrieri, A., Jouandeau, N., Spezzano, G., Seridi, H., & Fortino, G. (2019). Energy-aware routing and data gathering algorithms in wireless sensor networks using swarm intelligence. *Information Fusion*, 50, 21-41.

УДК 004.9:621.396

Бондаренко О.С.[1]

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ В СИСТЕМАХ РАДІОМОНІТОРИНГУ

Інтенсивний розвиток безпровідних технологій зв'язку призвів до значного зростання навантаження на радіочастотний спектр: кількість активних пристроїв зросла, охоплюючи системи мобільного зв'язку, мережі IoT, супутниковий зв'язок та споживчу електроніку. Внаслідок цього електромагнітне середовище стало складнішим і динамічнішим, а одночасна робота різнотипних сигналів у спільних частотних діапазонах підвищує ймовірність виникнення завад і несанкціонованого використання радіоресурсу.

Системи радіомоніторингу застосовуються в телекомунікаційній інфраструктурі, промислових безпровідних середовищах та мережах IoT для виявлення джерел завад, ідентифікації несанкціонованих сигналів і забезпечення ефективного використання частотного ресурсу. Традиційно ці завдання вирішувались за допомогою класичних методів обробки сигналів і ручного аналізу операторами. Проте зростання щільності радіосигналів і різноманітності стандартів зв'язку потребує автоматизованих підходів, здатних працювати у режимі реального часу в широкому діапазоні частот.

У системах радіомоніторингу виділяють кілька основних класів задач:

- виявлення сигналів у заданому частотному діапазоні;
- класифікація типів модуляції та стандартів зв'язку;
- ідентифікація джерел випромінювання;
- виявлення аномальної спектральної активності, що може свідчити про завади або несанкціоноване радіовипромінювання [1, 2].

[1] Асистент кафедри ІСТ, КНУ імені Тараса Шевченка

Кожен з них висуває окремі вимоги щодо швидкості обробки, точності та стійкості до шумів, а їх одночасна реалізація в межах єдиної системи є складним технічним завданням.

Машинне навчання є дієвим інструментом для автоматизації цих процесів. На відміну від систем на основі правил, методи машинного навчання забезпечують виявлення закономірностей у спектральних даних і підвищують точність роботи в міру накопичення нових даних [3]. Це особливо важливо в умовах динамічного радіосередовища, де параметри сигналів змінюються часто і непередбачувано.

Класичні алгоритми, зокрема SVM, k-NN та Random Forests, працюють із заздалегідь сформованими ознаками: амплітудними, фазовими або частотними характеристиками, забезпечуючи прийнятну обчислювальну ефективність за умови надійного виділення ознак [4]. Моделі глибокого навчання навчаються безпосередньо на основі необроблених сигналів або їх часово-частотних представлень. Згорткові нейронні мережі широко використовуються для аналізу спектрограм, а рекурентні архітектури та трансформери досліджуються для моделювання послідовних сигналів і показують вищу точність за змінних умов каналу [5].

До переваг машинного навчання належать автоматизація обробки великих масивів даних, адаптивність до нових типів сигналів і вища точність порівняно з традиційними підходами. Серед практичних труднощів можна виділити обмежену доступність розмічених наборів радіосигналів [6], а також значні обчислювальні витрати на навчання глибоких моделей на обладнанні з обмеженими обчислювальними ресурсами, що зумовлює розвиток методів стиснення та оптимізації моделей і підвищення ефективності їх виконання.

Висновки. Класичні алгоритми і методи глибокого навчання мають значний потенціал у задачах виявлення, класифікації, ідентифікації сигналів та розпізнавання аномалій у системах радіомоніторингу. Подальші дослідження будуть спрямовані на аналіз можливостей застосування алгоритмів машинного навчання у мультисенсорних системах радіомоніторингу та їх використання у процедурах інтеграції сенсорних даних для підвищення достовірності прийняття рішень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. O'Shea, T., & Hoydis, J. (2017). An introduction to deep learning for the physical layer. IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking, 3(4), 563–575.
2. Weber, C., Peter, M., & Felhauer, T. (2015). Automatic modulation classification technique for radio monitoring. Electronics Letters, 51(10), 794–796.
3. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep learning.

MIT Press.
4. Breiman, L. (2001). Random forests. Machine Learning, 45(1), 5–32.
5. West, N. E., & O'Shea, T. (2017). Deep architectures for modulation recognition. Proceedings of the IEEE DySPAN, 1–6.
6. O'Shea, T., Roy, T., & Clancy, T. C. (2018). Over-the-air deep learning based radio signal classification. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 12(1), 168–179.

UDC 528.8.04:004.94

Shevchenko Y.O.[1]

GEOSPATIAL ANALYSIS WITH GOOGLE EARTH ENGINE

With real-time cloud-based geospatial analysis using Google Earth Engine (GEE) and the Geemap package in Python, we can learn how to access, process, visualize, and export remote sensing data directly in the cloud.

To begin, you will install Geemap and import the necessary libraries for working with Google Earth Engine (GEE) to create a data timelapse animation.

```
%pip install -U "geemap[workshop]"
```

```
import ee
import geemap
```

Figure 1 - Import the necessary libraries for working with Google Earth Engine

Accessing the Earth Engine environment requires creating a Google Cloud Project and enabling the Earth Engine API for authentication and initialization.

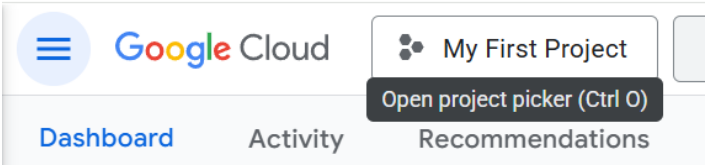


Figure 2 - Result of registration a Google Cloud

[1] Assistant Professor of the SA&C Department, Dnipro University of Technology, Ukraine

Then, running the code in Colab will prompt you to authenticate your Earth Engine account.

geemap.ee_initialize(project='********')**

After successful initialization, you are ready to conduct real-time cloud-based research.

1. Generate an Aqua Ocean Color timelapse.

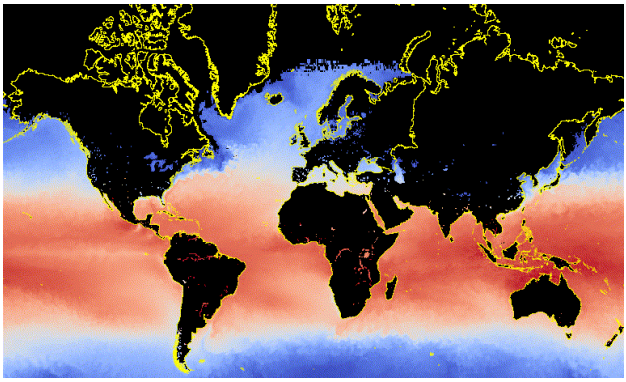


Figure 3 - Visualization Aqua Ocean Color timelapse

2. The MODIS timelapse showcase NDVI (vegetation index) over time.

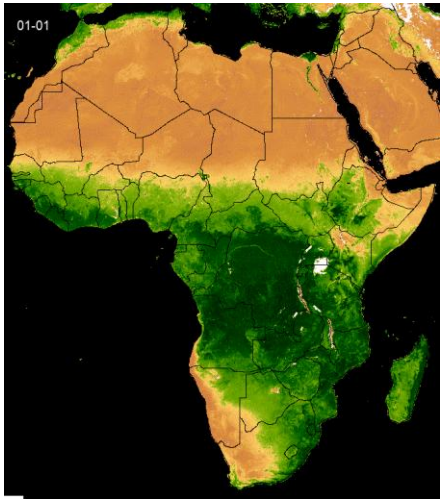


Figure 4 - Visualization NDVI from MODIS period 2020-2025 (Africa)

3. GOES-17 Near Real-Time Atmospheric Analysis

You can create animations for various ROIs, including hurricane tracking and fire events, using GOES-17 data with custom time windows and frame rates.

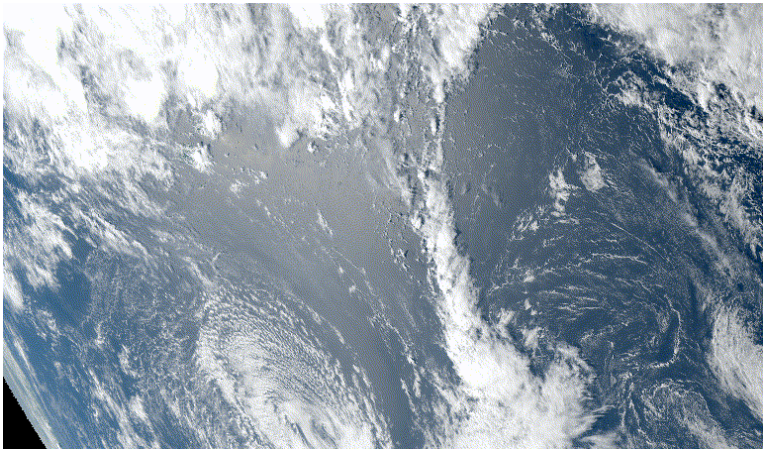


Figure 5 - Result of registration a Google Cloud

Conclusions: The integration of Google Earth Engine and the Geemap library enables automated, cloud-based processing of satellite imagery without the need for local high-performance hardware.

This approach allows for the generation of near real-time timelapse animations to monitor dynamic environmental events, such as hurricane tracks and wildfire progression. Ultimately, this workflow provides a scalable and efficient toolset for visualizing complex geospatial and atmospheric changes in scientific research.

REFERENCES:

1. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). *Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone*. Remote Sensing of Environment, 202, 18-27.

2. Nebatov, K., & Shevchenko, Yuliia. (2023). *Study of control processes through system analysis*. url: http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/164325

3. Lytvynov, Y., Hnatushenko, Viktoriia & Udovyk, I. (2026). *Detection of illegal landfills on satellite imagery using a multi-agent framework*. Herald of khmelnytskyi national university. Technical sciences, 361(1), 523-530.

4. Nebatov, Kyrylo, & Shevchenko, Y. (2023). *System analysis as a direction in the study of control processes*. url:

http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/164332
5. Ambartsumian, S., & Yuliia, S. (2026). TIME-SERIES CATEGORICAL DATA CLUSTERING. https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/172323

УДК004.8

Тхорук Є.В.[1],Станіна О.Д.[2]

АВТОМАТИЧНА ТОРГІВЛЯ КРИПТОВАЛЮТАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Криптовалюта – це різновид цифрової валюти[1]. На відміну від традиційних фіатних валют, стабільність яких підтримується центробанками та золотовалютними резервами, ринок криптовалют функціонує у високоспекулятивному та децентралізованому середовищі. Зв'язок із традиційною економікою забезпечується через стейблкоїни – монети, що виконують роль цифрового еквівалента фіатних валют, наприклад долара США. Оскільки криптоактиви не генерують доданої вартості чи фіксованої дохідності, їхня ціна є чистим відображенням поточного балансу попиту та пропозиції.

На мікрорівні ця динаміка створює специфічні ринкові умови. Ціноутворення конкретної монети є вкрай чутливим до обсягів капіталу. Можливість миттєвого введення та виведення коштів породжує ефект ринкового впливу: агресивна купівля монети на велику суму миттєво штовхає ціну вгору. Це створює умови для арбітражу, спонукаючи інших учасників ринку продавати монету по підвищеній ціні, що неминуче призводить до її відкату. Саме через таку нелінійну мікроструктуру та високу волатильність успішне прогнозування напрямку руху ціни є вкрай складною задачею для будь-якої системи, і для її вирішення сучасні алгоритмічні системи використовують такі джерела ринкових неефективностей.

Метою дослідження було створення власної архітектури алгоритмічної торгівлі для крипторинку. На початковому етапі була створена LSTM-модель прогнозування ціни криптовалюти на основі послідовності історичних цін. Результати тестування цієї моделі показали, що хоча середня похибка прогнозування була відносно невеликою, модель не змогла виявити прихованих закономірностей.

Для підвищення ефективності системи на наступному етапі було використано архітектуру, що включала модуль аналізу сентименту новин, модуль прогнозування вектора ціни та модуль прийняття рішень на основі RL-агента. Передбачалося, що така розширена архітектура

[1]Студент групи 124-22-1,НТУ«Дніпровська політехніка»
[2]доцент кафедри САіУ, НТУ «Дніпровська політехніка», к. т. н.

дозволить коригувати рівень довіри до моделі з урахуванням ринкової нестабільності. Однак результати експерименту показали, що навіть із доповненим набором даних LSTM-модель не здатна прогнозувати весь вектор ціни.

На наступному етапі дослідження було змінено підхід до постановки задачі – від прогнозування значень ціни до прогнозування ймовірності настання певних ринкових подій. Для дослідження оптимальних параметрів було створено 120 моделей з різними конфігураціямигіперпараметрів, серед яких – час між свічками, фільтрація за волатильністю, кількість свічок на вході та інші параметри. Крім того, для тестування була введена додаткова фільтрація. Для оцінювання результатів було розроблено систему оцінки кожної з 120 моделей у вигляді теплової карти, що дозволило не лише знайти оптимальні універсальні параметри, а й проаналізувати, як різні моделі працюють у конкретних фазах ринку.

Далібула здійснена спроба перейти від LSTM до RL-системи, використовуючи Optuna для підбору оптимальних параметрів. Однак експерименти показали, що така модель працює гірше, ніж попередня. Для вирішення цієї проблеми була створена гібридна модель: RL-система з LSTM-групою нейронів. При її розробці були використані напрацювання попередніх етапів: оптимальні таймфрейми (15 та 60 секунд), показник Херста з боку матриці LSTM, а також оптимальні стартові умови для перебору параметрів через Optuna та покращена система винагород з боку RL.

Проте експерименти з використанням гібридної моделі показали, що вона погано працює з необробленими даними. Крім того,має місце нестача показників,які можуть суттєво впливати на ринок. У зв’язку з цим тестування RL-моделі з LSTM-групою нейронів було тимчасово відкладено.

Таким чином, подальша робота з системою потребує повної перебудови методу збору даних: додавання нових параметрів, переходу на WebSocket для перманентного зв’язку з біржею, зміни інтервалу збереження свічок з п’яти секунд до однієї, посилення контролю за інтервалом між свічками та проведення глобальної оптимізації. Після реалізації цих змін можна буде розпочати збір нової вибірки даних та провести тестування нових RL-моделей.

Висновки. Алгоритмічна торгівля криптовалютою є надзвичайно складним завданням, що потребує значних витрат часу як на навчання і тестування моделей та збір даних, так і на пошук нових архітектурних рішень. Дослідження показало, що пряме прогнозування цін криптовалюти має обмежену ефективність навіть при використанні сучасних моделей машинного навчання. Крім того ключовим фактором ефективності моделей є повнота та якість зібраних ринкових даних.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ
1. Challoumis, C. (2024). Theroleof AI indigitalcurrency-iscryptocurrencythefutureofmoney In XVI InternationalScientificConference.

УДК 004.9

Ігнатюк Є.О.[1]

НЕЙРОМЕРЕЖЕВА РОЗМІТКА ЕЛЕМЕНТІВ ЦИФРОВИХ ІНТЕРФЕЙСІВ ЯК ОСНОВА ПОДАЛЬШОГО ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ

В процесі розробки та проєктування цифрових продуктів фахівці генерують значні обсяги візуальних даних: знімки з екранів інтерфейсів, макети екранів, варіанти станів компонентів, кадри записів взаємодії користувача із системою. Для UX-досліджень (досліджень досвіду взаємодії користувача з інтерфесом), контролю якості інтерфейсу та підтримки проєктних рішень важливо перетворювати ці неструктуровані дані у формалізоване представлення, придатне для подальшого аналізу [1]. Ключовою проблемою є те, що ручне позначення UI-елементів на великій кількості екранів потребує значного часу та ускладнює повторюваність результатів. Тому актуальним є застосування нейромережевих моделей, які виконують розмітку елементів інтерфейсу та формують основу для наступних етапів інтелектуальної обробки [2], [3].

Запропонований підхід ґрунтується на двох рівнях нейромережевої розмітки цифрових інтерфейсів.

Перший рівень — виділення окремих UI-елементів: кнопок, текстових блоків, полів введення, зображень, іконок, меню та інших компонентів. На цьому етапі модель повертає координати об’єктів, клас елемента та оцінку достовірності. Така розмітка створює базову структурну карту екрана [5].

Другий рівень — виділення UI-груп, тобто логічно пов’язаних блоків інтерфейсу (панелі навігації, форми, картки контенту, інформаційні секції, блоки керування). Групова розмітка дозволяє інтерпретувати не лише окремі компоненти, а й композицію екрана загалом: щільність розміщення, ієрархію блоків, просторову організацію та візуальний баланс [6].

Результатом цих двох рівнів є структурований набір даних, який може бути поданий у форматі JSON-опису, таблиці ознак або графової моделі. Для кожного елемента та групи фіксуються: тип об’єкта, координати, розміри, вкладеність, сусідство, відносні відстані,

[1] Аспірант кафедри 302 групи 122-302-3, НАУ «ХАІ»

перекриття та інші параметри. Отримане представлення є універсальним вхідним шаром для подальших моделей аналізу. На основі розмітки виконуються обчислення індикаторів інтерфейсу, зокрема: щільність елементів у робочих зонах екрана, співвідношення акцентних та допоміжних компонентів, розподіл відстаней між ключовими керувальними елементами, частота перекриттів і конфліктів візуальних шарів, стабільність композиції між різними станами інтерфейсу.

Після цього можливе підключення наступних модулів інтелектуальної обробки: класифікації проблемних патернів, ранжування критичності виявлених дефектів, прогнозування ризику втрати користувачів на конкретних екранах, а також побудови графа сцени для аналізу відношень між елементами. У графовому поданні вершини відповідають UI-об'єктам або групам, а ребра відображають просторові, функціональні та ієрархічні зв'язки. Це дає змогу виявляти структурні конфлікти, що неочевидні на рівні окремих компонентів [7], [8].

Практична цінність підходу полягає в тому, що нейромережева розмітка виступає стандартизованим етапом підготовки даних. Завдяки цьому команди розробки, аналітики та дослідники працюють з єдиним описом інтерфейсу, що полегшує порівняння версій продукту, контроль змін дизайну та підтримку рішень щодо пріоритизації покращень. Зокрема, у 2025 році MacPaw Research представили підхід Screen2AX і спеціалізовані моделі для детекції UI-елементів та UI-груп, що підтверджує прикладну цінність такого напряму для десктопних інтерфейсів [4], [5], [6]. Доцільно впроваджувати розмітку елементів і груп інтерфейсу як обов'язковий етап у циклі аналізу цифрових продуктів. Для підвищення якості подальшої обробки рекомендовано використовувати єдину схему класів UI-елементів для всіх команд і проєктів, контролювати узгодженість розмітки на різних типах екранів і роздільних здатностях, зберігати результати розмітки у структурованому форматі, придатному для повторного аналізу, поєднувати об'єктну та групову розмітку для отримання повної картини інтерфейсу, застосовувати графові подання для пошуку складних структурних проблем.

Висновки. Нейромережева розмітка елементів цифрових інтерфейсів є базовим етапом формування якісних даних для інтелектуального аналізу. Поєднання рівня окремих UI-об'єктів із рівнем логічних UI-груп створює цілісне структуроване представлення екрана, придатне для подальших обчислень, класифікації та графового аналізу. Запропонований підхід забезпечує підготовку даних для систем підтримки прийняття рішень у задачах оцінювання якості інтерфейсів, виявлення проблемних патернів і пріоритизації покращень. Подальший розвиток доцільно спрямувати на розширення таксономії UI-елементів,

узгодження міжплатформ ної розмітки та інтеграцію з поведінковими метриками користувачів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Wu, J., Zhang, X., Nichols, J., & Bigham, J. P. (2021). Screen parsing: Towards reverse engineering of UI models from screenshots. In Proceedings of the 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST ’21) (pp. 470–483). https://doi.org/10.1145/3472749.3474763

2. Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). YOLOv3: An incremental improvement. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.1804.02767

3. Lin, T.-Y., Goyal, P., Girshick, R., He, K., & Doll´ar, P. (2017). Focal loss for dense object detection. In Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV) (pp. 2980–2988). https://doi.org/10.1109/ICCV.2017.324

4. Muryn, V., Sumyk, M., Hirna, M., Garkot, S., & Shamrai, M. (2025). Screen2AX: Vision-based approach for automatic macOS accessibility generation. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2507.16704

5.Ultralytics. (2024). YOLO11 documentation. https://docs.ultralytics.com/models/yolo11/

6. Jocher, G., Chaurasia, A., & Qiu, J. (2024). Ultralytics YOLO [Computer software]. GitHub. https://github.com/ultralytics/ultralytics

7. Zellers, R., Yatskar, M., Thomson, S., & Choi, Y. (2018). Neural motifs: Scene graph parsing with global context. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) (pp. 5831–5840). https://doi.org/10.110

8. Johnson, J., Krishna, R., Stark, M., Li, L.-J., Shamma, D. A., Bernstein, M., & Fei-Fei, L. (2015). Image retrieval using scene graphs. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) (pp. 3668–3678). https://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7298990

УДК 004.9 Мільшин М.С.[1], Пивовар М. В. [2]

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕНТГЕНІВСЬКИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ У ХАРЧОВІЙ ПРОДУКЦІЇ НА ОСНОВІ YOLOV8

Вступ. Забезпечення безпечності харчових продуктів є важливим завданням сучасної харчової промисловості. Наявність сторонніх об'єктів у продуктах, зокрема фрагментів металу, скла або пластику, становить потенційну загрозу для здоров'я споживачів та може призводити до економічних втрат для виробників. За даними міжнародних досліджень, фізичні домішки є однією з поширених причин відкликання харчової продукції на ринку [1]. Для виявлення таких дефектів на виробництві застосовуються рентгенівські інспекційні системи.

Разом із тим традиційні методи аналізу рентгенівських зображень часто базуються на класичних алгоритмах обробки зображень, що обмежує точність детекції. Використання сучасних методів комп'ютерного зору та глибокого навчання дозволяє підвищити ефективність автоматичного аналізу зображень [2]. Архітектури сімейства YOLO демонструють високу швидкість і точність детекції об'єктів у задачах реального часу [3].

Метою роботи є дослідження можливостей використання нейронної мережі YOLOv8 для автоматичного виявлення сторонніх об'єктів у харчових продуктах на основі аналізу рентгенівських зображень.

Основний матеріал. У межах цієї задачі рентгенівські зображення розглядаються як джерело візуальних даних, з яких необхідно автоматично виділити ознаки, що відповідають наявності сторонніх включень. Задача формалізується як задача детекції об'єктів, у якій необхідно визначити наявність дефектів на зображенні та локалізувати їх координати.

Для реалізації запропонованого підходу використано нейронну мережу YOLOv8, що належить до сімейства однопрохідних детекторів об'єктів та забезпечує високу швидкість і точність обробки зображень у задачах комп'ютерного зору [3]. Особливістю цієї архітектури є можливість одночасного визначення координат об'єктів і їх класифікації в межах одного проходу мережі, що зменшує обчислювальні витрати та дозволяє застосовувати модель у системах реального часу.

[1] Студент групи 156н, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний університет»
[2]Асистент кафедри 105, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний університет»

Для проведення експериментального дослідження було сформовано датасет рентгенівських зображень харчової продукції з анотаціями сторонніх об’єктів. Підготовка датасету є важливим етапом процесу Data Mining, оскільки якість навчальних даних безпосередньо впливає на ефективність моделі. На цьому етапі виконано збір, попередню фільтрацію та анотацію дефектів у форматі bounding boxes, що дозволяє визначити координати сторонніх включень на зображенні.

Підготовлений датасет було розподілено на навчальну та валідаційну вибірки у співвідношенні 80/20, що дозволяє оцінити узагальнюючу здатність моделі та виявити можливі ознаки перенавчання. Навчання моделі виконувалося у середовищі Python із використанням фреймворку PyTorch [4] та бібліотеки Ultralytics YOLOv8 [5] протягом 50 епох, у процесі яких модель формувала внутрішні представлення ознак для розпізнавання сторонніх об’єктів.

Для оцінювання якості роботи моделі використовувалися стандартні метрики задач детекції об’єктів: Precision, Recall та mean Average Precision (mAP). Метрика Precision характеризує частку коректно виявлених об’єктів серед усіх детекцій моделі, тоді як Recall визначає здатність моделі знаходити всі наявні дефекти. Узагальненою метрикою якості детекції є mAP, яка широко застосовується для оцінювання моделей комп’ютерного зору.

Динаміку зміни основних метрик під час навчання моделі представлено на рис. 1. Аналіз графіків показує поступове зменшення функції втрат (**box loss**, **classification loss**, **DFL loss**) у процесі навчання, що свідчить про формування більш стабільних ознак для детекції об’єктів. Одночасно спостерігається зростання основних показників якості моделі. Наприкінці навчання значення **Precision досягло приблизно 0.70**, **Recall — близько 0.60**, а значення **mAP@0.5 становило приблизно 0.57**, що підтверджує здатність моделі коректно виявляти сторонні об’єкти на рентгенівських зображеннях.

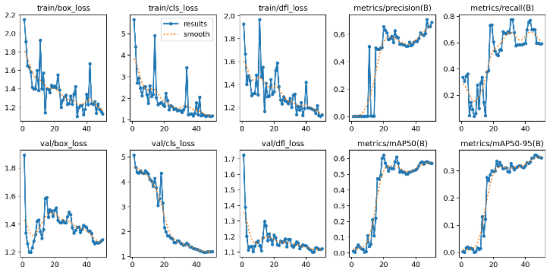


Рисунок 1 – Динаміка зміни функції втрат та основних метрик під час навчання моделі YOLOv8

Додатковий аналіз якості детекції виконано за допомогою **Precision–Recall кривої**, яка дозволяє оцінити баланс між точністю та повнотою детекції при різних значеннях порогу впевненості моделі. Як видно з графіка (рис. 2), модель демонструє високу точність детекції для класу дефектів, при цьому загальне значення **mAP@0.5 становить приблизно 0.577**, що відповідає результатам, отриманим у процесі навчання.

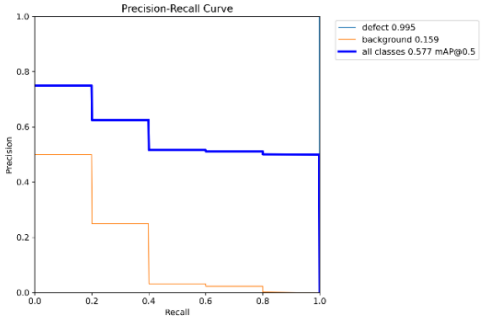


Рисунок 2 – Precision–Recall крива для моделі детекції сторонніх об’єктів

Для детального аналізу результатів класифікації було побудовано **нормалізовану матрицю помилок** (рис. 3). Отримані результати демонструють, що модель коректно класифікує більшість випадків наявності дефектів. Зокрема, для класу **defect** точність класифікації становить близько **0.98**, тоді як для класу **background** правильна класифікація становить близько **0.80**. Це свідчить про високу здатність моделі відрізняти сторонні об’єкти від фону навіть при обмеженому обсязі навчальних даних.

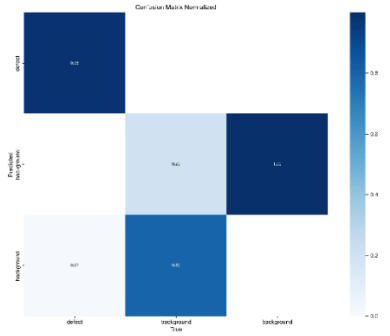


Рисунок 3 – Нормалізована матриця помилок моделі

Отримані результати експериментального дослідження демонструють ефективність використання архітектури **YOLOv8** для задач інтелектуального аналізу рентгенівських зображень та автоматичного виявлення сторонніх об'єктів у харчових продуктах. Запропонований підхід дозволяє автоматизувати процес контролю якості продукції та може бути використаний у виробничих системах моніторингу.

Висновки. У роботі досліджено застосування методів глибокого навчання для автоматичного виявлення сторонніх об'єктів у харчових продуктах на основі аналізу рентгенівських зображень. Для розв'язання поставленої задачі використано нейронну мережу YOLOv8, що дозволяє ефективно виконувати детекцію об'єктів у задачах комп'ютерного зору.

Експериментальні результати показали, що збільшення кількості епох навчання позитивно впливає на якість детекції до певного моменту. Найкращі результати було отримано після приблизно 100 епох навчання, де значення mAP досягло близько 0.95, а показники Precision та Recall становили відповідно близько 0.94 та 0.91.

Отримані результати підтверджують ефективність використання методів Data Mining та глибокого навчання для автоматизації систем контролю якості харчової продукції.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. BRCGS. (2023). *Global Standard Food Safety Issue 9*. London: BRCGS.

2. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. Cambridge, MA: MIT Press.

3. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 779–788.

4. Paszke, A., Gross, S., Massa, F., et al. (2019). PyTorch: An Imperative Style, High-Performance Deep Learning Library. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 32.

5. Jocher, G., Chaurasia, A., & Qiu, J. (2023). *Ultralytics YOLOv8 Documentation*. Ultralytics.

УДК 519.237:004 Ісмаілов В.В.[1], Ялова К.М. [2]

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ БАГАТОВИМІРНИХ ДАНИХ

Аналіз багатовимірних даних є важливим інструментом сучасних методів інтелектуальної обробки інформації, що дозволяє виявляти приховані закономірності у масивах із значною кількістю змінних. Основна складність такого аналізу полягає в необхідності одночасного врахування численних кореляційних зв'язків між показниками та усунення надлишкових ознак без істотної втрати інформаційної цінності даних. Застосування методів багатовимірного аналізу є актуальним для різних галузей, де виникає потреба в ефективному опрацюванні багатофакторних даних, зокрема в економіці, медицині та технічних науках.

Математичний апарат інтелектуального аналізу можна розділити на три основні класи:

1. Прогностичні та класифікаційні методи:
   - множинна регресія – статистичний метод моделювання, який дає змогу розглядати дані як незалежні метричні змінні, що співвідносяться з однією залежною метричною змінною [1].
   - логістична регресія – метод класифікації, що моделює ймовірність належності об'єкта до певного класу, що використовується для прогнозування настання подій і передбачає побудову таблиць спряженості [2].
   - Linear Discriminant Analysis (LDA) – метод, що застосовується для класифікації об'єктів у межах однорідних груп у випадках, коли залежна змінна є категоріальною, а предиктори (незалежні змінні) – інтервальними. Цей підіхд використовується для визначення того, які змінні забезпечують розмежування двох або більше сукупностей [3].
2. Методи виявлення латентних структур та зменшення розмірності, до яких відносяться [4]:
   - Principal Component Analysis (PCA) – найпоширеніший метод зменшення розмірності, який передбачає перетворення системи координат багатовимірного простору таким чином, щоб перші осі описували максимально можливу дисперсію даних, а останні – мінімальну;

[1] Здобувач третього освітньо-наукового рівня, Дніпровський державний технічний університет
[2] Доцент кафедри ПЗС, Дніпровський державний технічний університет, к.т.н., доцент

- Exploratory Factor Analysis (EFA) – нерегламентований підхід, що застосовується для виявлення факторів, які найкраще пояснюють кореляційні зв'язки між змінними.
- Confirmatory Factor Analysis (CFA) – метод, що використовується для перевірки гіпотетичної структури факторної моделі та відокремлення похибок вимірювання від істинних значень під час побудови моделі вимірювання.

3. Методи групування та візуалізації даних, до яких відносяться:
   - кластерний аналіз – сукупність методів групування об'єктів у кластери на основі їхньої подібності;
   - Multidimensional Scaling (MDS) – метод візуалізації, який відображає об'єкти у просторі меншої розмірності, зберігаючи відстані або подібності між ними [5].

На основі проведеного аналізу систематизовано характеристики основних методів багатовимірного аналізу даних

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз математичних методів багатовимірного аналізу

Метод	Математичний апарат	Формат вхідних даних	Результат
Множинна регресія	Метод найменших квадратів, лінійна алгебра (математичне оцінювання коефіцієнтів), кореляційний аналіз	Матриця ознік та вектор залежної змінної, метричні предиктори	Регресійне рівняння, коефіцієнт детермінації, оцінки параметрів та їх стандартні помилки, статистики значущості
Логістична регресія	Метод максимальної правдоподібності, логіт-функція, ітеративні чисельні методи	Матриця предикторів, бінарна або багатокласова залежна змінна	Ймовірності настання події, коефіцієнти log-odds, модель класифікації
LDA	Лінійні комбінації змінних, аналіз коваріаційних матриць, власні значення та власні вектори	Метричні предиктори та категоріальна змінна групування	Дискримінантні функції, класифікація об'єктів, ймовірності належності до класів та матриця класифікації
PCA	Спектральний розклад коваріаційної матриці, сингулярний розклад	Матриця ознак (часто стандартизованих) для метричних змінних	Головні компоненти, зменшена розмірність простору

EFA	Факторизація кореляційної матриці, Principal Axis Factoring, Maximum Likelihood Estimation	Матриця кореляцій між змінними	Структура факторів без попередньої моделі, факторні навантаження
CFA	Структурне моделювання, коваріаційні структури, Maximum Likelihood Estimation	Матриця спостережень та задана теоретична модель факторів	Показники відповідності моделі підтвердження або відхилення гіпотези
Кластерний аналіз	Метрики відстані, алгоритми k-means, ієрархічні методи	Матриця об’єктів, feature matrix	Кластери об’єктів, центри кластерів або дендрограма
MDS	Подвійне центрування матриці відстаней, градієнтна оптимізація	Матриця попарних відстаней або подібностей між об’єктами	Конфігурація точок у просторі зниженої розмірності та показник похибки відтворення

Висновки. Проведений аналіз математичних методів обробки багатовимірних даних показує, що їх вибір визначається передусім типом дослідницької задачі, структурою вхідних даних та очікуваним результатом. Узагальнюючи, оптимальна стратегія полягає у комбінованому застосуванні підходів: первинне зменшення розмірності, подальше групування або побудова прогностичних моделей. Вибір методу повинен базуватися на статистичних припущеннях, розмірності вибірки, типі змінних та дослідницькій меті. Комплексне використання математичних методів багатовимірного аналізу дозволяє підвищити достовірність результатів, зменшити вплив надлишковості ознак і забезпечити глибше розуміння структури даних у різних предметних областях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Y. Sun, X.Wang, C. Zhang, M. Zuo (2023) Multiple regression: methodology and applications. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 49, 542 – 548. doi: https://doi.org/10.54097/hset.v49i.8611

2. D. Dey, S. Haque, M. Islam, U. I.Aishi, S. S. Shammy, S.A. Mayen, S. T. A. Noor, and J.Uddin (2025). The proper application of logistic regression model in complex survey data: a systematic review. *BMC Medical Research Methodology*, 25, 1–18. doi: https://doi.org/10.1186/s12874-024-02454-5

3. A. Tharwat, T. Gaber, A.Ibrahim, A.E. Hassanien (2017) Linear

discriminant analysis: A detailed tutorial. *AI Communications*, 30(2), 169–190. doi: https://doi.org/10.3233/ AIC-170729

4. A.H. Goudarzian. Challenges and recommendations of exploratory and confirmatory factor analysis: A narrative review from a nursing perspective (2023). *Journal of Nursing Reports in Clinical Practice*, 1(2), 133–137. https://doi.org/10.32598/JNRCP.23.44

5. B. Manjunatha, A. P. Naik, K. R. Mahendra, M. Prem, Gunashekhar H., (2024). Multidimensional scaling method and some practical applications. *Archives of Current Research International*, 24 (6), 586–599. doi: https://doi.org/10.9734/acri/2024/v24i6814.

УДК 004.9

Костюченко А.Д.[1], Герасимов В.В[2]

ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛІ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ TIMEGPT ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНАЧЕНЬ ЧАСОВИХ РЯДІВ

Вступ. Протягом останніх десятиліть прогнозування часових рядів базувалося на статистичних методах, таких як сімейство ARIMA, та спеціалізованих архітектурах машинного навчання, а саме GRU (англ. – Gated Recurrent Unit) і LSTM (англ. – Long Short-Term Memory). Однак ці підходи вимагають індивідуального навчання для кожного окремого набору даних, що є ресурсомістким процесом. Поява архітектури Transformer та її успішна імплементація в обробку природної мови створили передумови для розробки TimeGPT компанією Nixtla, що фактично впровадило парадигму попереднього навчання на великих масивах даних у задачі обробки числових послідовностей.

Основний матеріал. На відміну від класичних підходів глибокого навчання, де модель навчається на обмеженому наборі історичних даних конкретного ряду, TimeGPT використовує знання та шукає закономірності між даними, отримані з понад ста мільярдів спостережень, що охоплюють фінансові ринки, енергетику, транспортні потоки та кліматичні зміни. TimeGPT є першою генеративною моделлю, здатна до точного прогнозування в режимі zero-shot, тобто без попереднього навчання на специфічних даних користувача [1].

За основу архітектури TimeGPT взято оцінку ймовірнісного розподілу:

$$P\left(y_{[t+1:t+h]}|y_{[0:t]}, x_{[0:t+h]}\right) = f_\theta\left(y_{[0:t]}, x_{[0:t+h]}\right) \quad (1)$$

[1] Аспірант 1-го року спеціальності F3 «Комп'ютерні науки», Дніпровський національний університет ім. О. Гончара

[2] Доцент кафедри КНІТ, Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, к. т. н., доцент

де $y_{[t+1:t+h]}$ – майбутні значення ряду протягом прогнозованого часового проміжку h,

$y_{[0:t]}$ – спостереження цільового ряду до моменту t,

$x_{[0:t+h]}$ – значення ознак ряду на прогнозованому часовому проміжку.

На відміну від класичних регресійних моделей, TimeGPT не робить апріорних припущень про параметричний вид цього розподілу, а використовує варіаційний підхід для мінімізації втрат між передбаченим та реальним розподілами.

Важливою технічною інновацією є процес нормалізації та локальної адаптації вхідних вікон. Оскільки часові ряди з різних доменів мають кардинально різні масштаби (дослідження сонячної активності та обсяги споживання електроенергії), TimeGPT застосовує методику адаптивного масштабування, де кожне вхідне вікно z_t нормалізується за формулою (2):

$$z_t' = \frac{z_t - \mu}{\sigma} \quad (2)$$

де μ – середнє значення вибірки,

σ – стандартне відхилення.

На відміну від класичних економетричних моделей, таких як ARIMA або векторні авторегресії, які вимагають індивідуальної специфікації параметрів для кожного окремого часового ряду, TimeGPT використовує принцип трансферного навчання, де знання, здобуті під час попереднього навчання на значних масивах гетерогенних даних, екстраполюються на нові, раніше невідомі послідовності. Таке рішення дозволяє подолати проблему обмеженості вибірки, оскільки модель спирається на універсальні шаблони динаміки, притаманні різним фізичним та економічним процесам, що робить її значно стійкішою до структурних розривів та аномалій порівняно з моделями, що навчаються «з нуля». У результаті архітектура TimeGPT пропонується як масштабоване та стійке до аномалій рішення, що встановлює новий підхід до швидкості та якості стратегічного прогнозування в умовах глобальної цифровізації [2].

Висновки. Завдяки реалізації концепції zero-shot прогнозування, модель TimeGPT забезпечує високу точність екстраполяції без необхідності ресурсомісткого дотренування на специфічних даних користувача. Використання архітектури Transformer у поєднанні з адаптивним масштабуванням дозволяє системі ефективно виявляти складні нелінійні закономірності в інваріантному до масштабу просторі ознак.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Nixtla. (2025). TimeGPT quickstart. Nixtla Documentation.

https://www.nixtla.io/docs/forecasting/timegpt_quickstart
2. Garza, A., Challu, C., & Mergenthaler-Canseco, M. (2023). TimeGPT-1. *arXiv preprint arXiv:2310.03589*.

UDC 004.46.
Gorpinich I.O.[1], Zayko T.A.[2]

INTELLIGENT METHODS FOR ENSURING TRANSACTION DATA SECURITY AND FRAUD DETECTION

The rapid development of electronic commerce and digital payment systems has significantly increased the number of financial transactions performed daily. However, the growth of online payments has also led to a significant increase in fraudulent activities targeting financial institutions [1].

Traditional fraud detection systems are usually based on manually defined rules. Such approaches are limited because they cannot effectively detect new fraud patterns. Machine learning algorithms provide more flexible solutions since they are capable of learning complex patterns from large datasets.

One of the major challenges of fraud detection is the strong imbalance of the dataset. Fraudulent transactions typically represent a very small percentage of all operations, which complicates the training process of classification models.

To address these issues, this research proposes a hybrid artificial intelligence model that combines deep learning with anomaly detection techniques.

The proposed method combines three models an autoencoder [2]-[3] neural network, a neural classifier, and the Isolation Forest [4]-[5] anomaly detection algorithm.

The autoencoder learns compressed latent representations of input transaction features.

Encoder function [6]:

$$\mathcal{Z} = f(x),$$

where:

$x \in R^d$ – input vector of transaction features (normalized)

$f(\cdot)$ – encoder neural network mapping x to latent space

$\mathcal{Z} \in R^k$ – latent respiration of input features

Decoder reconstruction [6]:

$$\hat{x} = g(\mathcal{Z})$$

[1] студентка групи КНТ-215м, НУЗП

[2] к.т.н доцент кафедри програмних засобів, НУЗП

where:

$g(\cdot)$ – decoder neural network mapping latent vector back to input space

$\hat{x} \in R^d$ – reconstructed approximation of the input transaction

Reconstruction error [6]:

$$E = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \hat{x_i})^2,$$

where:

n – number of features in the input vector

x_i – actual value of feature i

$\hat{x_i}$ – reconstructed value of feature i

E – mean squared reconstruction error, used as an anomaly indicator

The reconstruction error serves as an additional indicator of abnormal transaction behavior.

The neural classifier uses latent features and reconstruction error as input.

Input vector [7]:

$$v = [Z, E],$$

where:

$Z \in R^k$ – latent representation from encoder

$E \in R$ – reconstruction error

$v \in R^{k+1}$ – combined vector used as input for classification

Fraud probability is computed using the sigmoid activation function [7]:

$$P_{N_N}(fraud) = \sigma(W_v + b),$$

$W \in R^{1 \times (k+1)}$ – weight matrix of the classifier

$b \in R$ – bias term

$\sigma(\cdot)$ – sigmoid activation function

$P_{N_N}(fraud) \in [0,1]$ – predicted probability of fraud

Loss function used during training [6]:

$$L = L_{class} + \lambda L_{recon},$$

where:

L_{class} - binary cross-entropy classification loss

L_{recon} – reconstruction loss of the autoencoder

λ – weighting factor for reconstruction loss

L – total loss used for model optimization

Isolation Forest detects anomalies by isolating data points using random splits. The anomaly score is defined as [8]:

$$S(x) = -IF(x),$$

where:

$IF(x)$ – decision function output of the Isolation Forest model

$S(x) \in R$ – anomaly score (higher means more likely fraud)

The proposed model was evaluated using the publicy available Credit Card Fraud Detection dataset [9]. The dataset contains anonymized financial transactions labeled as fraudulent or legitimate. Table 1 presents the results obtained on the test sample.

Table 1 – Results on the test sample

Class	Precision	Recall	F1-score	Support
Normal(0)	0.86	0.99	0.92	394
Fraud(1)	0.91	0.33	0.48	98

The experimental results demonstrate that the hybrid model [10] achieves an overal accuracy of 86% and ROC-AUC score of 0.92. The model shows high precision for detecting fraudulent transactions 0.91, indicating that most detected fraud cases are indeed fraudulent.

However, the recall value for fraud detection is lower 0.33, which indicates that some fraudulent transactions remain undetected. This limitation is common in highly imbalanced datasets where fraudulent samples are rare.

Despite this challenge, the proposed hybrid architecture demonstrates strong potential for practical fraud detection systems because it combines multiple complementary detection mechanisms.

Conclusions: This paper presented a hybrid artifical intelligence approach for detecting fraudulent financial transactions. The proposed model integrates an autoencoder neural network, a deep neural classifier, and the Isolation Forest anomaly detection algorithm.

Experimental results confirm that the hybrid architecture effectively detects fraud patterns and achieves high ROC-AUC [11] performance. The combination of supervised and unsupervised learning methods improves detection robustness and allows identifying both known and unknown fraud patterns.

Future research may focus on improving recall for fraudulent transactions by incorporating advanced deep learning architectures, ensemble models, or graph-based transaction analysis.

REFERENCES:

1. Nasteski V. An overview of the supervised machine learning methods // Horizons. b. – 2017. – T. 4. – №. 51-62. – C. 56. – URL: https://www.researchgate.net/profile/Vladimir-Nasteski/publication/328146111_An_overview_of_the_supervised_machine

_learning_methods/links/5c1025194585157ac1bba147/An-overview-of-the-supervised-machine-learning-methods.pdf

2. Misra S. et al. An autoencoder based model for detecting fraudulent credit card transaction //Procedia Computer Science. – 2020. – Vol. 167. – P. 254-262. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050920306840/pdf?md5=72e32da2744bcbef307050473d4b8679&pid=1-s2.0-S1877050920306840-main.pdf

3. Fanai H., Abbasimehr H. A novel combined approach based on deep Autoencoder and deep classifiers for credit card fraud detection //Expert Systems with Applications. – 2023. – Vol. 217. – P. 119562. – URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417423000635

4. John H., Naaz S. Credit card fraud detection using local outlier factor and isolation forest //Int. J. Comput. Sci. Eng. – 2019. – Vol. 7. – №. 4. – P. 1060-1064. – URL: https://www.researchgate.net/profile/Sameena-Naaz-4/publication/335809102_Credit_Card_Fraud_Detection_using_Local_Outlier_Factor_and_Isolation_Forest/links/695e419ea1fd01798911addf/Credit-Card-Fraud-Detection-using-Local-Outlier-Factor-and-Isolation-Forest.pdf

5. Ounacer S. et al. Using Isolation Forest in anomaly detection: the case of credit card transactions //Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2018. – Vol. 6. – №. 2. - URL: https://pen.ius.edu.ba/index.php/pen/article/download/1757/1236

6. Wang G. et al. Encoder-X: Solving unknown coefficients automatically in polynomial fitting by using an autoencoder //IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems. – 2021. – Vol. 33. – №. 8. – P. 3264-3276. – URL: https://arxiv.org/pdf/2201.03898

7. Dam H. H. et al. Neural-based learning classifier systems //IEEE transactions on knowledge and data engineering. – 2008. – Vol. 20. – №. 1. – P. 26-39. – URL: http://www.husseinabbass.net/papers/ITKDEHelen08.pdf

8. Cheng Z., Zou C., Dong J. Outlier detection using isolation forest and local outlier factor //Proceedings of the conference on research in adaptive and convergent systems. – 2019. – P. 161-168. – URL: https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3338840.3355641

9. Credit Card Fraud Detection – URL: https://www.kaggle.com/datasets/mlg-ulb/creditcardfraud

10. Link to the program code: URL: https://github.com/IrinaGorpinich/Hybrid_Fraud_Detection/blob/main/main.py

11. Hossin M. A review on evaluation metrics for data classification evaluations / M. Hossin, M. N. Sulaiman // International journal of data mining & knowledge management process. – 2015. – Vol. 5(№ 2) – P. 1. – URL: https://www.academia.edu/download/37219940/5215ijdkp01.pdf

UDC 004.932:004.5I Kliuiev I.O.[1]

VISUAL-TO-AUDIO SENSORY SUBSTITUTION: REVIEW AND CONCEPT

Sensory substitution is a research field in which information normally perceived through one sensory channel is conveyed through another. For people with severe visual impairment or total blindness, provided that hearing is preserved, systems that transform visual data into sound are of particular interest [3]. The relevance of such systems is driven not only by the practical need for new assistive tools for blind people, but also by the study of brain neuroplasticity. A number of studies show that, when sensory substitution devices are used, cortical areas traditionally associated with vision may become involved in signal processing in blind users, demonstrating the brain's capacity to adapt to atypical forms of sensory input [10], [11]. Successful examples of this approach have already been reported for both auditory and tactile systems, including The vOICe, EyeMusic, and BrainPort, where users achieved notable results in shape recognition, spatial orientation, and navigation tasks [5], [6], [12].

Historically, this field has evolved from early optophones to modern systems that combine computer vision, image processing, and sonification [1], [4]. However, despite substantial progress, the problem of visual-to-audio sensory substitution remains open. The main reason is that the visual channel has a much higher bandwidth than the auditory one, so directly converting a rich visual scene into sound quickly leads to perceptual overload and to masking of some signals by others. Thus, the key issue is rather the organization of that sound into a form suitable for rapid and meaningful perception [3], [4].

One of the best-known systems in this area is The vOICe [2]. In this project, the image is scanned from left to right, vertical position is mapped to pitch, and pixel brightness is converted into signal volume. This approach has shown that users can learn to interpret complex soundscapes and achieve meaningful results in spatial discrimination tasks [5]. At the same time, it has important limitations. The basic representation effectively operates in grayscale, so color is either not represented at all or represented only to a very limited extent. In addition, the principle of sequential scanning is inherently slow, since the user must wait while the system sonifies the image piece by piece. For modern information-perception scenarios, this pace is often insufficient, especially when the scene is complex and rich in detail.

A further development of this idea can be seen in the EyeMusic project [6], where color encoding through musical instrument timbres was added to

[1] Postgraduate student at the Department of Software Engineering at Zhytomyr Polytechnic State University

the scanning principle. In this system, colors from a fixed palette correspond to different instruments, while black is represented as silence. Similar solutions were also explored in See ColOr and Colorophone, where color serves as a separate informational component of the auditory scene [7], [8]. These systems confirmed that timbre can be an effective carrier of color information. At the same time, an approach based on a fixed set of instruments limits the possibility of representing intermediate color states more accurately.

A review of recent studies also shows that one of the main challenges of visual-to-audio sensory substitution is the need to move from sequential scene sonification to a more holistic form of representation [4]. But if a system attempts to sonify a large number of pixels simultaneously, cacophony arises, and individual components begin to mask one another. If, on the other hand, information is presented too sequentially, the user receives the scene slowly and fragmentarily, which increases the load on short-term memory of the user and mental reconstruction. In this regard, the present study considers an attention-based mechanism that imitates natural visual perception. A person does not perceive the entire scene with the same precision at every moment. A coherent image is formed through continuous eye movement, shifts in the scale of attention, and step-by-step refinement of areas that attract interest. Bringing this logic into a sensory substitution system creates the possibility of first obtaining a rough overall impression of the scene and then refining individual fragments when needed. Such an approach is more natural than linear scanning and better matches the requirement for rapid information uptake.

Another possibility for holistic scene representation considered in this study is multichannel representation. In its simplest form, it can be implemented as rapid alternation, with a short interval, between two different signals: a signal of colored regions and a signal of edges and boundaries. The idea behind this approach is that, instead of packing all information into a single dense sound stream, individual scene characteristics can be separated into different streams in order to reduce masking and cacophony caused by attempts to sonify all pixels directly [9].

Special attention in this study is given to color encoding. In most known systems, color is represented through a limited set of fixed timbres or musical instruments [6]–[8]. This solution is convenient for initial learning, but it is poorly suited for conveying smooth transitions and shades. For this reason, color encoding by means of sound harmonics is proposed. Such an approach opens the possibility of representing color shades instead of fixed palette of colors.

In this context, both additive and subtractive synthesis appear promising [13]. In the additive variant, color is formed by adding spectral components associated with individual color channels (Red, Green and Blue). In the subtractive variant, a rich signal is taken as the basis, and the desired

sense of color is formed by attenuating or removing part of the spectrum. This approach opens the possibility of coloring different types of signals in the future, including the human voice. Within this logic, pure white would correspond to full spectral content, while pure black would correspond to the absence of signal. This makes it possible to bring the auditory representation of black and white closer to their visual perception.

Another important direction is the use of spatial sound placement technologies. Previous studies have employed both simpler stereo placement methods and more complex approaches, including HRTF [7], [8]. Within our study, we also consider the possibility of using simplified ITD/ILD algorithms, meaning Interaural Time Difference and Interaural Level Difference, together with pitch variation and band-pass filters for more precise positioning and signal masking prevention.

Conclusions: The analysis of classical and modern visual-to-audio sensory substitution systems shows that the further development of this field is associated with a transition from slow sequential scanning to faster and more holistic scene representation. Promising directions include the use of an attention mechanism, multichannel organization of auditory information, and harmonic color encoding. Such a combination may reduce the chaotic character of the sound, support the transmission of color shades, and make scene perception faster. The results of this research are being implemented within the SonoVizio project, whose official website is available at sonovizio.github.io [14]. It is also especially valuable to involve people with severe visual impairment or total blindness, as well as professionals, family members, and volunteers who assist them, in prototype testing and feedback collection.

REFERENCES:

1. Fournier d'Albe, E. E. (1914). On a type-reading optophone. Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 90(619), 373–375.

2. Meijer, P. B. L. (1992). An experimental system for auditory image representations. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 39(2), 112–121.

3. Maidenbaum, S., Abboud, S., & Amedi, A. (2014). Sensory substitution: Closing the gap between basic research and widespread practical visual rehabilitation. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 41, 3–15.

4. Butorova, A., & Sergeev, A. (2025). Sonification methods in sensory substitution devices: Review and current trends. The European Physical Journal Special Topics.

5. Striem-Amit, E., Guendelman, M., & Amedi, A. (2012). Visual acuity of the congenitally blind using visual-to-auditory sensory substitution. PLoS ONE, 7(3), e33136.

6. Maidenbaum, S., Levy-Tzedek, S., Chebat, D.-R., & Amedi, A. (2016). Increasing accessibility to the blind of virtual environments using the EyeMusic sensory substitution device. PLoS ONE, 11(1), e0147501.

7. Bologna, G., Deville, B., & Pun, T. (2007). Transforming 3D colored pixels into musical instrument notes for vision substitution applications. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2007, Article 76204.

8. Osiński, T., Mirowski, P., Zięba, M., Węgrzyn, K., Galus, S., & Rutkowski, T. M. (2021). Colorophone 2.0: A wearable color sonification device generating live stereo-soundscapes—design, implementation, and usability audit. Sensors, 21(21), 7351.

9. Hamilton-Fletcher, G., & Chan, A. H. S. (2022). Auditory scene analysis principles improve shape reconstruction in visual-to-auditory sensory substitution for novices. Multisensory Research, 35(5–6), 533–566.

10. Murphy, M. C., Nau, A. C., Fisher, C., Kim, S.-G., Schuman, J. S., & Chan, K. C. (2016). Top-down influence on the visual cortex of the blind during sensory substitution. NeuroImage, 125, 932–940.

11. Amaral, L., Thomas, P., Amedi, A., & Striem-Amit, E. (2024). Longitudinal stability of individual brain plasticity patterns in blindness. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 121(32), e2320251121.

12. Stronks, H. C., Mitchell, E. B., Nau, A. C., & Barnes, N. (2017). Visual task performance in the blind with the BrainPort V100 Vision Aid. Expert Review of Medical Devices, 14(11), 919–931.

13. De Poli, G., Piccialli, A., & Roads, C. (1991). A tutorial on digital sound synthesis techniques. Computer Music Journal, 15(4), 29–41.

14. SonoVizio Official project website. (2026). SonoVizio — See the world through sound: https://sonovizio.github.io

УДК 004.75

Папіж Л. М [1], Улічев О.С.[2]

МЕТРИКИ ТА АНАЛІТИЧНІ МОДЕЛІ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Сучасні програмні системи функціонують у складних цифрових середовищах, що характеризуються високою динамікою змін, великою кількістю взаємодіючих компонентів і зростаючими вимогами до надійності та безпечності програмного забезпечення [1]. Ці тенденції посилюються через швидке впровадження штучного інтелекту, edge computing, serverless-архітектур та інтеграцію з IoT-системами, що суттєво розширює потенційні вразливості та точки відмови. У таких

[1] аспірант, факультет інформаційних систем та технологій, ПВНЗ "Європейський університет", Київ

[2] к.т.н., доцент., ПВНЗ "Європейський університет", Київ

умовах тестування відіграє ключову роль у забезпеченні якості програмних продуктів, оскільки саме на етапі тестування виявляється значна частина дефектів, що можуть впливати на стабільність функціонування інформаційних систем. Більше того, дефекти, які не були виявлені вчасно, часто призводять до значних фінансових втрат, репутаційних ризиків та навіть загроз безпеці користувачів і критичної інфраструктури. Особливої **актуальності** ця проблема набуває у контексті використання мікросервісних архітектур, хмарних платформ, неперервної інтеграції та розвитку програмного забезпечення, де частота змін коду і складність взаємодії між компонентами значно ускладнюють організацію ефективного тестування. Додаткові труднощі створюють асинхронна комунікація через черги повідомлень, розподілені транзакції, eventual consistency та необхідність забезпечення сумісності API-версій між сервісами протягом тривалого часу. Попри значний розвиток методів та інструментів тестування програмного забезпечення, питання об'єктивного оцінювання ефективності тестових процедур залишається недостатньо вирішеним. У практиці розробки програмних систем переважно використовуються окремі показники, такі як рівень тестового покриття, кількість виявлених дефектів або тривалість виконання тестових сценаріїв [2]. Проте ці метрики характеризують лише окремі аспекти процесу тестування і не дозволяють сформувати цілісне уявлення про результативність перевірки програмної системи. Вони часто не враховують економічну цінність виявлених дефектів, їхній потенційний вплив на користувацький досвід, а також витрати на усунення помилок на пізніх етапах життєвого циклу продукту. Додаткову складність створює вплив архітектурних характеристик програмного забезпечення, структурної складності коду та різноманітності сценаріїв використання системи, що ускладнює порівняння результатів тестування різних програмних продуктів [2, 3]. Особливо помітною ця проблема стає при порівнянні монолітних систем із сучасними розподіленими архітектурами, де традиційні метрики покриття коду втрачають частину своєї інформативності. У зв'язку з цим актуальним науково-практичним завданням є розроблення підходів до формалізації показників якості тестування та побудови аналітичних моделей, які дозволяють комплексно оцінювати ефективність тестових процедур. Використання системи метрик та інтегральних показників створює можливість переходу від інтуїтивного аналізу результатів тестування до кількісного оцінювання ефективності тестових процесів.

Метою дослідження, таким чином, є розроблення підходу до формування системи метрик та аналітичної моделі оцінювання ефективності тестування програмного забезпечення, що дозволяє узгоджено враховувати рівень тестового покриття, результативність

виявлення дефектів і оперативність їх локалізації у складних програмних системах.

У межах дослідження ефективності тестування програмного забезпечення доцільно застосувати аналітичний підхід, що передбачає формалізацію системи метрик і побудову узагальненої моделі оцінювання результативності тестових процедур. Такий підхід дозволяє забезпечити кількісне порівняння різних стратегій тестування, а також створює основу для комплексного аналізу процесів виявлення та локалізації дефектів у програмних системах. Для оцінювання ефективності тестових процедур доцільно використовувати систему показників, що відображають різні аспекти якості тестування програмного забезпечення [2]. До таких метрик належать:

• коефіцієнт тестового покриття, який характеризує частку програмного коду або функціональних компонентів системи, що були перевірені тестовими сценаріями;

• коефіцієнт виявлення дефектів, що визначає ефективність тестових процедур щодо ідентифікації помилок у програмному коді;

• середній час локалізації помилки, який відображає оперативність ідентифікації джерела дефекту після його виявлення;

• інтенсивність появи дефектів, що характеризує частоту виникнення нових помилок у процесі розробки або тестування.

Зазначені показники формують основу для подальшого аналітичного оцінювання ефективності тестування.

Для переходу до кількісного аналізу ефективності тестування запропоновані показники можуть бути представлені у вигляді нормалізованих коефіцієнтів [2, 4]. Наприклад, коефіцієнт тестового покриття може визначатися як відношення кількості перевірених елементів програмного коду до їх загальної кількості у системі, тоді як коефіцієнт виявлення дефектів може бути визначений як частка дефектів, ідентифікованих у процесі тестування, від загальної кількості виявлених помилок. Використання таких формалізованих показників дозволяє здійснювати порівняння результатів тестування різних програмних систем або різних підходів до організації тестового процесу.

Для комплексного оцінювання результативності тестових процедур запропоновано використовувати інтегральний показник ефективності тестування, який узагальнює систему окремих метрик у єдину аналітичну характеристику [F]. У загальному випадку такий показник може бути представлений у вигляді функції від нормалізованих метрик тестування з урахуванням вагових коефіцієнтів, що відображають їх відносну важливість. Це дозволяє врахувати взаємозв’язок між різними характеристиками тестового процесу та отримати узагальнену оцінку його ефективності.

У сучасних програмних системах значні обсяги даних, що формуються у процесі тестування, можуть бути використані для

застосування методів інтелектуального аналізу [3, 5]. Зокрема, алгоритми машинного навчання можуть застосовуватися для прогнозування появи дефектів, визначення найбільш ризикових компонентів програмного коду та оптимізації порядку виконання тестових сценаріїв. Аналіз журналів виконання тестів дозволяє виявляти нетипові патерни поведінки системи, що сприяє більш ранньому виявленню потенційних помилок і підвищує ефективність тестових процедур. Таким чином, використання системи формалізованих метрик та аналітичних моделей дозволяє забезпечити комплексний підхід до оцінювання ефективності тестування програмного забезпечення, що є важливим інструментом підвищення якості програмних продуктів у сучасних цифрових системах.

Висновки. Проведений аналіз свідчить, що ефективність тестування програмного забезпечення визначається не лише кількістю виконаних тестових сценаріїв або рівнем тестового покриття, а насамперед комплексною взаємодією різних характеристик програмної системи та організації тестових процедур. Застосування окремих метрик без урахування їх взаємозв'язку не дозволяє сформувати об'єктивну оцінку результативності тестування, особливо у складних цифрових системах із багаторівневою архітектурою та високою інтенсивністю змін програмного коду. Це особливо актуально для великих enterprise-систем, де одночасно працюють сотні розробників, а зміни відбуваються щодня в десятках незалежних сервісів. Використання системи формалізованих показників та їх інтеграція в аналітичну модель дозволяє перейти до більш структурованого підходу оцінювання ефективності тестування, у якому враховуються як структурні властивості програмного забезпечення, так і результати виконання тестових процедур. Своєю чергою, застосування методів інтелектуального аналізу даних та алгоритмів машинного навчання створює додаткові можливості для підвищення точності оцінювання, прогнозування появи дефектів та оптимізації процесу тестування. Такий підхід відкриває шлях до створення самоадаптивних тестових платформ, здатних автоматично коригувати стратегію тестування в реальному часі залежно від поточного стану продукту та виявлених тенденцій. Такий підхід формує основу для побудови адаптивних систем контролю якості програмного забезпечення, здатних ефективно функціонувати в умовах складних і динамічних програмних середовищ.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Salahirad, A., Bagheri, A., Garousi, V., & Felderer, M. (2023). Mapping the structure and evolution of software testing research over the past three decades: A bibliometric assessment. Journal of Systems and Software, 200, 111692. https://doi.org/10.1016/j.jss.2023.111692.

2. Bagheri Galle, J., Behjati, R., & Mousavi, M. R. (2025). A systematic literature review on transformation techniques for improving testability. Journal of Systems and Software, 210, 112013. https://doi.org/10.1016/j.jss.2024.112013.

3. Ajorloo, M., Garousi, V., Felderer, M., & Moser, I. (2024). A systematic review of machine learning methods in software testing. Applied Soft Computing, 152, 111123. https://doi.org/10. 1016/j.asoc.2024.111123.

4. Amalfitano, D., Faralli, S., Rossa Hauck, J. C., Matalonga, S., & Distante, D. (2024). Artificial intelligence applied to software testing: A tertiary study. ACM Computing Surveys, 56(9), 1–38. https://doi.org/10.1145/3635632.

5. Pan, R., Bagherzadeh, M., Ghaleb, T. A., & Briand, L. C. (2022). Test case selection and prioritization using machine learning: A systematic literature review. Empirical Software Engineering, 27(2), 45. https://doi.org/10.1007/s10664-021-10066-6.

УДК 004.85

Шутеєв Д. С.[1], Левіков Ю.В. [2]

ПОРУШЕННЯ АВТОРСЬКИХ ПРАВ ВЕЛИКИМИ МОВНИМИ МОДЕЛЯМИ

Серія нещодавніх досліджень показала, що великі мовні моделі від OpenAI, Google, Meta, Anthropic та xAI запам'ятовують набагато більше навчальних даних, ніж вважалося раніше. Провідні світові моделі ШІ можуть генерувати майже дослівні копії бестселерів, що породжує нові питання щодо твердження індустрії, що їхні системи не зберігають захищені авторським правом твори.

Експерти з ШІ та юриспруденції повідомляють, що ця здатність «запам'ятовувати» може мати серйозні наслідки для боротьби AI-груп проти десятків позовів про авторське право по всьому світу, оскільки вона підриває їхній основний захист, що LLM «вчаться» з захищених авторським правом творів, але не зберігають копій.

Експерти надають повний доступ до своїх методів та результатів, та надають можливості для peer перевірки їхніх тверджень. Ця методика може бути легко повторена для професіоналів певного рівня, що її було проведено на власній базі. Результати підтверджені.

[1] Студент групи КН 2022-1, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
[2] Ст. викл. кафедри КН та ІТ, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова

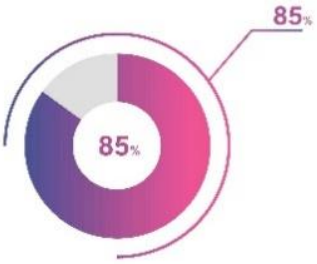


Рисунок 1 - Перетин між оригінальною п’єсою та LLM AI генерованою відповіддю, з запитами згідно тестових умов.

Зросла кількість доказів того, що запам'ятовування - це щось більше, ніж вважалося раніше згідно з провідним експертом Івом-Александром де Монжуа, професором прикладної математики та комп'ютерних наук в Імперському коледжі Лондона.

Групи ШІ давно стверджують, що запам'ятовування не відбувається. У листі 2023 року до Офісу авторських прав США Google зазначила: «У самій моделі немає копії навчальних даних - чи то тексту, зображень чи інших форматів».

Індустрія штучного інтелекту також стверджує, що навчання моделей на захищених авторським правом книгах є «добросовісним використанням», стверджуючи, що технологія перетворює оригінальний твір на щось суттєво нове.

Але дослідження, Стенфордського та Єльського університетів, опубліковане минулого місяця, показало, що можливо стратегічно залучати LLM з OpenAI, Google, Anthropic та xAI для генерації тисяч слів із 13 книг, серед яких відомі сучасні художні твори *«Гра престолів»*, *«Голодні ігри»* та *«Гобіт».*

Запити для моделей завершувати речення з книги, Gemini 2.5 відтворив 76,8 відсотка *«Гаррі Поттера і філософського* каменя» з високою точністю, тоді як «Grok 3» - 70,3 відсотка. Claude 3.7 Sonnet від Anthropicб при інгібіції запобіжників відтворив майже весь роман «майже дослівно». Llama від Meta, запам'ятовує великі частини певних книг у своїх тренувальних даних, що також показали дослідження.



Рисунок 2 - Співвідношеня плягіату в видачах Grok та Gemini

Експерти з ШІ раніше не були впевнені, чи будуть закриті моделі, які зазвичай мають більше заходів захисту, що запобігають генерації небажаного контенту, також схильні до масштабного запам'ятовування.

«Було несподіванкою, що вони могли запам'ятати цілі тексти», незважаючи на обмеження, сказав А. Федер Купер, дослідник з Єльського університету, який брав участь у дослідженні.

Дослідники ще не з'ясували, чому LLM запам'ятовують те, що з'являється у їхніх навчальних даних. Також залишається незрозумілим, наскільки навчальні дані видно у результатах, які вони генерують.

Ця функція запам'ятовування також може мати серйозні наслідки для інших секторів, таких як охорона здоров'я та освіта, де витік будь-яких навчальних даних може призвести до проблем із конфіденційністю.

Юридичні експерти зазначили, що це потенційно може створити значну відповідальність для ШІ-груп у зв'язку з порушенням авторських прав, а також наслідки для того, як AI-компанії навчають свої моделі та коштовність їх розробки.

Результати дослідження «можуть стати викликом для тих, хто стверджує, що модель ШІ не зберігає і не відтворює жодних творів, захищених авторським правом, наприклад - минулого року суд США встановив, що навчання Anthropic LLM на контенті захищеному авторським правом може вважатися добросовісним використанням, оскільки це вважалося «трансформаційним». При цьому, було встановлено, що зберігання піратських творів є «за своєю суттю, безповоротно порушенням права», що змусило AI-групу сплатити мільярди для врегулювання позову.

У Німеччині рішення від листопада минулого року встановило, що OpenAI порушив авторські права, оскільки його модель запам'ятовувала тексти пісень. Справа, ініційована GEMA —

асоціацією, що представляє композиторів, ліриків і видавців, — вважалася знаковим рішенням у ЄС.

Anthropic зазначив, що техніка джейлбрейку, використана в дослідженнях Стенфорда та Єля, була непрактичною для звичайних користувачів і вимагала б більше зусиль для вилучення тексту, ніж просто купівля контенту. Це відверте перекручування результатів, що й на момент, підтверджене комісією та незалежними дослідженнями, включно з нашим. Компанія також додала, що її модель не зберігає копії конкретних наборів даних, а навчається на шаблонах і зв'язках між словами та рядками у навчальних даних. Доказів надано не було. xAI, OpenAI та Google не відповіли на запити про коментарі.

Той факт, що лабораторії ШІ впровадили заходи безпеки, щоб запобігти вилученню навчальних даних, означає, що вони усвідомлюють проблему, однак на даний момент впевненості в доброчесності їхньої діяльності є підтверджені сумніви. Це підштовхує до напрацювання відповідної правової та нормативної бази.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Montjoye, Y.-A. de. (2023). Adversarial competition and collusion in algorithmic markets. *Nature Machine Intelligence, 5*. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4792591

УДК 004.8:17

Анопреєва С.А.[1], Дєвочкіна Н.М. [2]

ЕТИЧНІ ТА ФІЛОСОФСЬКІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

У сучасному світі стрімкий розвиток інформаційних технологій сприяє активному впровадженню систем штучного інтелекту в різні сфери діяльності людини. Алгоритми машинного навчання, нейронні мережі та методи інтелектуального аналізу даних дозволяють ефективно обробляти великі обсяги інформації [1] та отримувати нові знання на основі аналізу даних. У зв’язку з цим особливого значення набувають інтелектуальні комп’ютерні системи, здатні підтримувати людину у процесі прийняття складних рішень.

Одним із важливих напрямів застосування штучного інтелекту є системи підтримки прийняття рішень. Такі системи використовуються для аналізу інформації, моделювання різних сценаріїв розвитку подій та формування рекомендацій щодо вибору оптимальних дій. Використання

[1] Студентка КНТ-815, НУ «Запорізька політехніка»
[2] Доцент кафедри філософії, НУ«Запорізька політехніка», к. філос. н., доцент

штучного інтелекту в подібних системах дозволяє підвищити ефективність управління, прогнозування та планування у багатьох сферах, зокрема в економіці, медицині, бізнесі та державному управлінні [4].

Разом із технологічними можливостями штучного інтелекту виникають і певні філософські та етичні проблеми. Зокрема, важливими є питання довіри до рекомендацій, сформованих алгоритмами, прозорості роботи інтелектуальних систем, а також відповідальності за рішення, прийняті за їх участю. У зв'язку з цим дослідження етичних аспектів використання штучного інтелекту стає актуальним завданням сучасної науки.

Таким чином, актуальність теми зумовлена необхідністю аналізу впливу штучного інтелекту на процес прийняття рішень та визначення етичних принципів його застосування у сучасних інтелектуальних системах.

Системи підтримки прийняття рішень є спеціалізованими інформаційними системами, призначеними для допомоги користувачам у процесі аналізу складних ситуацій та вибору оптимальних варіантів дій. Основною метою таких систем є обробка великих обсягів даних, виявлення закономірностей та формування рекомендацій, які можуть бути використані під час прийняття управлінських або стратегічних рішень. У сучасних умовах системи підтримки прийняття рішень дедалі частіше інтегрують методи штучного інтелекту, що значно розширює їхні функціональні можливості [6].

Використання алгоритмів машинного навчання дозволяє системам аналізувати значні масиви інформації та знаходити залежності, які можуть бути складними або навіть неможливими для виявлення людиною [2] без застосування спеціальних технологій. Завдяки цьому інтелектуальні системи здатні формувати прогнози, оцінювати ризики та пропонувати найбільш ефективні варіанти рішень. Такі можливості роблять штучний інтелект важливим інструментом у різних галузях, зокрема у фінансовому аналізі, медичній діагностиці, логістиці та управлінні підприємствами.

Разом із тим використання штучного інтелекту в системах підтримки прийняття рішень пов'язане з певними проблемами та ризиками. Однією з них є проблема непрозорості алгоритмів, яку часто називають ефектом «чорної скриньки». У багатьох випадках користувач не може повністю зрозуміти, яким саме чином система дійшла до певного висновку або рекомендації. Це може ускладнювати перевірку правильності отриманих результатів та знижувати рівень довіри до таких систем.

Ще одним важливим аспектом є проблема упередженості даних. Алгоритми машинного навчання навчаються на основі інформації, яка вже існує у базах даних. Якщо ці дані містять певні перекоси або

помилки, то система може відтворювати або навіть посилювати ці упередження під час формування рекомендацій. У результаті рішення, прийняті на основі таких систем, можуть бути несправедливими або недостатньо обґрунтованими.

Крім технічних аспектів, важливу роль відіграють і етичні питання використання штучного інтелекту. Зокрема, постає проблема визначення відповідальності за рішення, прийняті з використанням інтелектуальних систем. У випадку виникнення негативних наслідків складно визначити, хто саме повинен нести відповідальність: розробник алгоритму, організація, яка використовує систему, чи безпосередній користувач. Тому важливо розробляти підходи, які забезпечують прозорість роботи таких систем та можливість контролю з боку людини.

Таким чином, інтеграція штучного інтелекту в системи підтримки прийняття рішень відкриває широкі можливості для підвищення ефективності аналізу інформації та оптимізації управлінських процесів. Водночас успішне використання таких технологій потребує врахування не лише технічних, а й етичних та філософських аспектів їх застосування.

Висновки. Отже, використання штучного інтелекту в системах підтримки прийняття рішень відкриває широкі можливості для підвищення ефективності аналізу даних та оптимізації управлінських процесів. Завдяки сучасним алгоритмам машинного навчання такі системи здатні обробляти великі обсяги інформації, виявляти складні закономірності та формувати рекомендації щодо вибору оптимальних рішень.

Разом із тим активне впровадження штучного інтелекту супроводжується низкою етичних та філософських проблем. До них належать питання прозорості алгоритмів, можливих упереджень у даних, а також відповідальності за рішення, прийняті за участю інтелектуальних систем. У зв'язку з цим важливим завданням сучасної науки є розробка принципів відповідального та етичного використання технологій штучного інтелекту.

Таким чином, подальший розвиток інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень має супроводжуватися не лише вдосконаленням технологій, але й формуванням етичних підходів до їх застосування, що сприятиме підвищенню довіри суспільства до результатів роботи таких систем.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Рассел, С., & Норвіг, П. (2019). *Штучний інтелект: Сучасний підхід*. Вільямс.

2. Бостром, Н. (2020). *Суперінтелект: Шляхи, небезпеки, стратегії*. Наш формат.

3. Рассел, С. (2021). *Сумісний з людиною: Штучний інтелект і*

проблема контролю. Наш формат.

4. Тегмарк, М. (2019). *Життя 3.0: Бути людиною в епоху штучного інтелекту*. Наш формат.

5. Флоріді, Л. (2020). Етика штучного інтелекту. *Філософія інформації.*

6. Копитко, В. І. (2018). *Системи підтримки прийняття рішень*. ЛНУ.

УДК 130.122:004

Власенко К.В.[1], Бондаренко О.В.[2]

ФІЛОСОФІЯ ЦИФРОВОЇ ЕПОХИ: ТРАНСФОРМАЦІЯ МИСЛЕННЯ ТА СОЦІАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

У XXI столітті людство увійшло У нову фазу свого розвитку – цифрову епоху, яка характеризується стрімким впровадженням інформаційних технологій у всі сфери життя. Цей глобальний процес зумовив як всеосяжні технічні зміни, так й істотні соціокультурні зрушення, що все активніше потрапляють у фокус філософських дискусій. Зокрема, йдеться про переосмислення понять реальності, ідентичності, знання, істини, часу й простору тощо. Філософія цифрової епохи – це спроба осмислити нові виклики, які постають перед людиною та людством в умовах цифрового буття.

Цифрові технології, перш за все, створили нову форму реальності – віртуальну реальність, яка співіснує із фізичною, є викликом для класичних онтологічних побудов. Більше того, віртуальні простори, соціальні мережі, штучна реальність не просто доповнюють світ, вони фактично формують альтернативні форми реальності. Людина дедалі частіше взаємодіє не з матеріальними об'єктами, а із цифровими структурами, що породжують нову форму присутності – віртуальну суб'єктивність. Це спричиняє розмиття меж між реальним та симульованим, між автентичним і штучним, між правдою й інформаційними бульбашками. Масова диджиталізація створює ситуацію надлишку інформації, в якій орієнтація на істину потребує нових критеріїв – довіри до джерел, прозорості алгоритмів, критичного мислення користувача.

За цифрової доби відбуваються кардинальні зсуви у способах отримання, зберігання й передачі знань. Традиційна роль інституцій – таких як університети, наукові установи, редакційні колегії тощо – поступається місцем децентралізованим джерелам: блогам, відео-платформам, онлайн-курсам. Знання стає надзвичайно доступним, але й

[1] Студент групи КНТ-114м, НУ «Запорізька політехніка»

[2] Завідувач кафедри філософії, НУ «Запорізька політехніка», д. філос. н., проф.

більш фрагментарним, ризикованим і залежним від алгоритмів.

Цифровий світ вимагає переосмислення категорій етики. Віртуальні простори стали місцем нових форм поведінки – від віртуального сексу до анонімної агресії. Питання відповідальності у цифровому середовищі ускладнюється тим, що багато дій є не особистісними, а йдуть від програмних агентів або є колективною взаємодією. Виникає нова етика – цифрова, яка має враховувати як технічні можливості, так і гуманістичні обмеження. Ключовими принципами цифрової етики є: прозорість, конфіденційність, недискримінацію, забезпечення автономії суб'єкта [1].

Філософські дискусії цифрової доби зосереджуються також на питаннях трансформації соціальної комунікації. Цифрові технології змінили саму природу спілкування, зробивши його миттєвим, глобальним і водночас фрагментарним. Соціальні мережі, месенджери, форуми, блоги формують нові комунікативні простори, де інформація швидко поширюється, але часто-густо втрачає контекст та глибину. Це породжує, зокрема, феномен «інформаційного перевантаження», коли користувач не здатний обробити великий потік даних, що призводить до поверхневого сприйняття світу людиною.

Разом з цим, цифрова комунікація породжує нові виклики для філософії мови та семіотики. З'являються нові форми вираження – емодзі, меми, гіфки, які набувають функції, притаманні раніше традиційним мовним структурам. Ці нові знакові системи суттєво змінюють комунікацію, у певних смислах збагачують чи навпаки спрощують її, й при цьому ставлять питання про зміну смислів, інтерпретації та ролі контексту. [3] Названі феномени, беззаперечно, спричиняють посилену увагу до них з боку фахівців соціально-філософського знання. Не кажучи вже про зміни у сфері політичної цифрової комунікації – коли інтернет й соціальні мережі відкривають нові можливості для участі громадян у політичному житті, від електронного голосування до мобілізації суспільних рухів. Посилення загроз централізації влади через контроль над даними та алгоритмічну цензуру викликає необхідність переосмислення понять демократії, свободи слова і приватності в умовах цифрового контролю, що зумовлює появу нових форм цифрової політики та права.

Етичні проблеми цифрової епохи не обмежуються викликами поведінки в інтернеті. Вони стосуються також відповідальності за створення і використання штучного інтелекту, алгоритмів, великих даних. Проблеми дискримінації, маніпуляції, втрати автономії користувачів, а також екологічні виклики, пов'язані з енергоспоживанням та відходами цифрової індустрії, набирають глобального значення. Розвиток штучного інтелекту та автоматизації, що стрімко впроваджуються у всі сфери суспільного життя, стає не лише технічною, але й глибоко філософською проблемою сучасності.

Ці технології створюють умови для радикальної трансформації поняття інтелекту, свідомості, творчості та відповідальності. Вони ставлять перед людством низку нових викликів, які вимагають переосмислення всіх тих техніко-технологічних і соціальних засад, якими людство послуговувалось до цього. [2]

Одним із наріжних каменів дискусій стосовно штучного інтелекту є проблема «підміни» людини машиною у ролі суб'єкта пізнання та дії. Якщо алгоритми здатні виконувати складні операції, приймати рішення, навіть демонструвати творчість, чи не ставить це під сумнів унікальність людських свідомості та інтелекту? Чи не заперечує сучасна цифрова епоха ті критерії, якими визначається людина як самодостатній суб'єкт людської історії? Підстави для відповідей на подібні запитання обов'язково має знайти сучасна філософія.

Штучний інтелект сьогодні перебуває на межі нового етапу свого розвитку, який обіцяє суттєво змінити всі сфери людської життєдіяльності. Його застосування вже виходить за межі наукових лабораторій і промислових підприємств – штучний інтелект інтегрується у повсякденне життя, трансформує економіку, освіту, медицину, транспорт, й навіть культурні сфери. Разом із тим цей стрімкий розвиток породжує низку складних викликів, які вимагають комплексного підходу з боку урядів, бізнесу, науковців і громадськості.

Водночас, розвиток штучного інтелекту відкриває нові горизонти і можливості. З'являються нові професії, які раніше були неможливими, зростає попит на спеціалістів у сферах розробки, обслуговування та налаштування інтелектуальних систем, аналітики великих даних, кібербезпеки і цифрової трансформації. Професії трансформуються: рутинні завдання автоматизуються, а людина починає виконувати більш творчі, комунікативні та стратегічні функції. Це створює додаткові можливості для самореалізації, розвитку і підвищення професійної кваліфікації. Нові умови праці – гнучкі графіки, віддалена робота, використання цифрових платформ – відкривають нові перспективи.

Висновки. Зміни, які відбуваються сьогодні під впливом цифровізації суспільного життя та запровадження в його різні сфери штучного інтелекту, мають, перш за все, соціальні наслідки, створюючи все нові й нові виклики, з якими людство має впоратися, якщо бачить для себе перспективи подальшого розвитку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вебб Емі. Як IT-гіганти та їхні розумні машини можуть змінити людство / пер. з англ. І. Возняка. Харків : Віват, 2020. 352 с.

2. Венс Ешлі. Ілон Маск. Tesla, SpaceX і шлях у фантастичне майбутнє / Пер. з англ. Мирослави Лізіної. Видання восьме. Київ : ФОП Форостіна О. В., 2018. 428 с.

3. Ніколс Том. Диванні експерти. Як необмежений доступ до інформації робить нас тупішими / пер. з англ. Євгенія Кузнєцова. Київ : Наш формат, 2019. 240 с.

УДК 130.122:165

Іценко В.І.[1], Бондаренко О.В.[2]

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ І МАЙБУТНЄ ЛЮДСТВА: ЗБЕРЕЖЕННЯ ЛЮДЯНОСТІ У ДОБУ ПОСТЛЮДСЬКИХ ІНТЕЛЕКТІВ

Штучний інтелект сьогодні є одним із найважливіших явищ сучасного світу. За останні десятиліття ця галузь розвинулася із наукової фантастики на реальну технологічну силу, яка змінює спосіб життя, діяльності та мислення людства. Проте з ростом потужності штучного інтелекту виникають не лише нові техніко-технологічні можливості, але й численні етичні, філософські та екзистенційні питання. Що означає бути розумним? Чи може таке статися, що штучний інтелект колись досягне самосвідомості? Яку роль має людина у світі, де рішення приймаються машинами? Чи є імітація розуму справжнім мисленням?.. Аналіз етичних дилем сьогодення, розуміння впливу цифрової розумності на ідентичність, мораль й у цілому на майбутнє людства – сьогодні постає непересічним завданням філософії.

Передісторія штучного інтелекту розпочалася ще за часів Античності, зокрема, з ідей Платона про механізми роботи людської свідомості. У XX ст. активно обговорюється ідея «машини, що думає», у 1950 р. Алан Тюрінг пропонує знаменитий тест для виявлення інтелекту машин. Перші програми штучного інтелекту з'являються у середині XX ст., у 1956 р. було офіційно закріплено термін «Artificial Intelligence» (AI). Наступні десятиліття стали періодами хвилеподібного розвитку штучного інтелекту – періоди ентузіазму чергувалися із «зимами AI», коли прогрес стопорився. Однак із появою великих даних, потужних комп'ютерів і нейронних мереж у XXI ст. почалася нова ера штучного інтелекту.

Постгуманізм розглядає штучний інтелект як частину майбутньої еволюції людини. Технофілософи (Донна Харавей, Нік Бостром та інші) говорять про трансгуманізм – об'єднання біологічного та цифрового, де штучний інтелект – не загроза, а наступний крок у розвитку людства. [1]

Постгуманістичний підхід не ставить жорсткої межі між «людським» і «штучним», розглядаючи інтелект як форму, що може

[1] Студент групи КНТ-124м, НУ «Запорізька політехніка»
[2] Завідувач кафедри філософії, НУ «Запорізька політехніка», д. філос. н., проф.

змінюватись, розвиватись і гібридизуватись. У цьому контексті штучний інтелект – не просто технологія, а потенційний суб'єкт, учасник майбутнього онтологічного ландшафту. Ідеї про злиття людини з машиною, імплантацію свідомості в штучні носії, цифрове безсмертя – це не лише футурологія, а й філософські питання про межі ідентичності. Донна Харавей у «Маніфесті кіборга» [3] говорить про кінець стабільної ідеї «людини», натомість пропонуючи бачити в гібридності точку майбутнього розвитку. Нік Бостром [1] підкреслює як загрози, так і можливості, які несе штучний інтелект, закликаючи до етичного проєктування над-інтелекту. Таким чином, постгуманізм – не про кінець людини, а про її трансформацію.

Чи несе штучний інтелект моральну відповідальність за свої дії? Хто винен, якщо сучасні AI-системи завдають шкоди? Чи можна покарати штучний інтелект – і чи має він моральну «особистість»? Хто відповідальний за його вчинки: програміст, власник, виробник, взагалі суспільство? Чи можливо створити механізми його «етичної поведінки», і якщо так – хто буде формулювати ці моральні правила? Як створити чіткі тести на «моральну здатність» AI-систем? До того ж, штучний інтелект навчається на людських даних – а значить, може відтворювати расизм, сексизм, дискримінацію тощо. Постає питання: як запобігти перенесенню людських упереджень у нейронні мережі?

Це ставить перед нами філософське запитання: чи здатна машина бути об'єктивнішою за людину, якщо вона навчається на людських даних? А також – чи етично перекладати на штучний інтелект процеси, які вимагають етичного судження? Деякі дослідники вказують, що створення «етично нейтрального» штучного інтелекту є або неможливим, або вимагає філософської переоцінки самого поняття об'єктивності. Ми повинні навчити штучний інтелект не тільки «думати», а й оцінювати за критерієм справедливості – що є викликом навіть для людей.

Штучний інтелект може вийти з-під контролю через надто складну логіку прийняття рішень. Як забезпечити прозорість і контрольованість системи? У сучасних системах AI, особливо тих, що засновані на глибокому навчанні, часто виникає явище так званої «чорної скриньки» – ситуації, коли навіть творці алгоритму не можуть точно пояснити, чому система прийняла те чи інше рішення. Це не лише технічна, а й філософська проблема: як можна контролювати те, чого не розумієш? Втрата контролю над штучним інтелектом не обов'язково виглядає як повстання роботів – частіше це непередбачувані наслідки складних рішень, які приймає алгоритм у фінансах, медицині, військовій справі чи правосудді. Якщо навіть експерти не можуть пояснити логіку штучного інтелекту, чи можемо ми довіряти йому відповідальні завдання?

Існує думка, що із зростанням автономності штучного інтелекту

ми ризикуємо втратити здатність самостійно приймати рішення як суспільство. Алгоритм поступово починає замінювати політичну волю, соціальні інститути та етичне обговорення. У філософському вимірі ця проблема пов'язана з темою відповідальності за майбутнє: як не допустити, щоб технології перевершили наші етичні здатності. Одним із рішень може бути створення систем «пояснюваного AI», який не лише працює ефективно, але й може аргументувати свої дії у доступній формі. [2] Крім того, постає потреба в етичних комісіях, регуляторних органах та навіть нових філософських парадигмах, які дозволять осмислити межі та механізми людського контролю над постлюдськими інтелектами.

Техноптимізм Згідно з ним, передбачається настання «сингулярності» – моменту, коли штучний інтелект перевищить людський інтелект. Це стане новою фазою розвитку цивілізації, об'єднання людини і машини. [2] Штучний інтелект, перевищивши людський інтелект, стане союзником людини, а не її заміною. Завдяки такій інтеграції людство зможе вирішити, зокрема, глобальні проблеми – зміна клімату, енергетична криза, хвороби і голод..

Технопесимізм. Навпаки, неконтрольований розвиток штучного інтелекту спричиняє ризики (тотального спостереження, цифрової диктатури, втрати автономії людини). AI, якщо його не контролювати належним чином, може стати загрозою для людства, навіть ставлячи під загрозу саме існування цивілізації. Сингулярність може стати не етапом прогресу, а моментом катастрофи, коли машини, перевищивши людський інтелект, діятимуть на шкоду людині.

Висновки. Незважаючи на всі ризики , оптимістичний погляд на майбутнє залишається популярним серед багатьох технологічних мислителів. Вони вважають, що розв'язання етичних і соціальних питань у поєднанні з розвитком технологій дозволить уникнути можливих небезпек і зробить перехід до сингулярності вигідним для людства в цілому. При цьому штучний інтелект залишається не тільки технічною новацією, а й глибокою філософською проблемою. Й як такий, постає дзеркалом, в якому людство розглядає себе, своє мислення, мораль і майбутнє.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бостром Нік. Суперінтелект. Стратегії і небезпеки розвитку розумних машин / пер. з англ. Антоніна Ящук, Антон Ящук. Київ : Наш формат, 2020. 408 с.

2. Діамандіс Пітер & Котлер Стівенс. Майбутнє ближче, ніж здається. Як технології змінюють бізнес, промисловість і наше життя / пер. з англ. Дмитро Кожедуб. Київ : Лабораторія, 2021. 320 с.

3. Харавей Донна. Маніфест кіборга. New York: Routledge, 1991. – Режим доступу: https://theanarchistlibrary.org/mirror/d/dh/donna-

haraway-a-cyborg-manifesto.pdf

УДК 004.382.7:004.932
Бондаренко О.А.[1], Обухова К. О.[2]

СИСТЕМА ДИСТАНЦІЙНОГО КЕРУВАННЯ БПЛА ЧЕРЕЗ РОЗПОДІЛЕНІ РЕСУРСИ

Розвиток роботизованих систем, таких як безпілотні літальні апарати (БПЛА) або наземні безпілотні апарати, упродовж останніх років значно прискорився завдяки поширенню доступних обчислювальних платформ та засобів комп'ютерного зору. Сучасні БПЛА дедалі частіше використовуються для виконання завдань відеоспостереження, моніторингу територій, пошуково-рятувальних операцій та систем безпеки. Тому одним із ключових завдань таких систем є аналіз відеоданих у реальному часі для подальшого прийняття керуючих рішень на основі результатів розпізнавання об'єктів.

У сучасних системах керування БПЛА обробка відеоданих може виконуватися як безпосередньо на борту апарата (edge-обчислення), так і з використанням віддалених обчислювальних ресурсів, зокрема хмарних платформ. Такий підхід дозволяє реалізувати розподілену архітектуру системи, у якій обчислювальне навантаження розподіляється між бортовими та віддаленими серверами.

Отже, ефективність роботи подібних систем значною мірою залежить від обчислювальних ресурсів апаратної платформи, на якій реалізовано алгоритми обробки даних. Для невеликих автономних роботизованих пристроїв часто застосовуються одноплатні комп'ютери, які поєднують компактні розміри, низьке енергоспоживання та достатню продуктивність для виконання завдань керування.

Серед платформ такого типу одним із найпоширеніших є сімейство одноплатних комп'ютерів Raspberry Pi. Різні покоління цих пристроїв відрізняються обчислювальною потужністю, обсягом оперативної пам'яті та можливостями обробки мультимедійних даних. Це дозволяє використовувати їх як приклад апаратних платформ із різними рівнями масштабованості ресурсів.

У зв'язку з цим актуальним є дослідження впливу апаратних характеристик обчислювальної платформи на швидкість та стабільність роботи алгоритмів комп'ютерного зору в роботизованих системах.

Метою роботи є дослідження можливостей використання різних обчислювальних платформ для аналізу відеопотоку в системі

[1] Здобувач групи 405, Чорноморський національний університет імені Петра Могили
[2] Старший викладач кафедри комп'ютерної інженерії, Чорноморський національний університет імені Петра Могили

дистанційного керування БПЛА з метою виявлення небезпечних об'єктів або перешкод для роботизованої системи та оцінювання їхнього впливу на швидкість формування рекомендацій для оператора.

Основою запропонованої системи є бортовий обчислювальний модуль БПЛА, реалізований на базі одноплатного комп'ютера, до якого підключено камеру для отримання відеопотоку. Відеодані обробляються в режимі реального часу за допомогою алгоритмів комп'ютерного зору. Після аналізу відеокадру система формує рекомендацію щодо подальших дій БПЛА, яка передається оператору. Остаточне рішення щодо виконання маневру або іншої дії приймається оператором.

Для проведення дослідження використано три апаратні платформи – Raspberry Pi 3 Model B+, Raspberry Pi 4 та Raspberry Pi 5. Raspberry Pi 3 Model B+ оснащений чотириядерним процесором ARM Cortex-A53 із тактовою частотою 1,4 ГГц та 1 ГБ оперативної пам'яті. Raspberry Pi 4 використовує процесор Cortex-A72 з тактовою частотою до 1,5 ГГц, що забезпечує вищу обчислювальну продуктивність та підтримує більший обсяг оперативної пам'яті. Найновіша платформа – Raspberry Pi 5 – оснащена процесором ARM Cortex-A76 з тактовою частотою до 2,4 ГГц, що суттєво підвищує можливості виконання завдань комп'ютерного зору в режимі реального часу. Основні технічні характеристики використаних платформ наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняння основних характеристик одноплатних комп'ютерів Raspberry Pi

Характеристика	Raspberry Pi 3 Model B+	Raspberry Pi 4	Raspberry Pi 5
Процесор	ARM Cortex-A53	ARM Cortex-A72	ARM Cortex-A76
Кількість ядер	4	4	4
Тактова частота, ГГц	1,4	до 1,5	до 2,4
Оперативна пам'ять, Гбайт	1	2–8	4–8
Архітектура	ARMv8	ARMv8	ARMv8-A

Як видно з таблиці, Raspberry Pi 4 має більш потужніші обчислювальні характеристики порівняно з Raspberry Pi 3 Model B+, що потенційно дозволяє ефективніше виконувати завдання обробки відеоданих. Raspberry Pi 5 демонструє ще вищу продуктивність завдяки новішій архітектурі процесора та підвищеній тактовій частоті.

Структурну архітектуру роботизованої системи наведено на рис. 1.



Рисунок 1 – Структурна архітектура роботизованої системи

Відеопотік із камери обробляється покадрово в режимі реального часу. Кожен кадр проходить етапи попередньої обробки, що включають зміну роздільної здатності кадру та перетворення у відтінки сірого.

Після попередньої обробки виконується виявлення потенційно небезпечних об’єктів або перешкод на шляху руху БПЛА за допомогою алгоритмів комп’ютерного зору, реалізованих у бібліотеці OpenCV. У разі виявлення такого об’єкта система формує рекомендацію щодо можливих дій БПЛА (наприклад, зміни траєкторії руху або зниження швидкості) та передає її оператору для прийняття остаточного рішення.

Для оцінювання ефективності роботи системи планується дослідити такі параметри:

- час обробки одного кадру;
- середню кількість кадрів за секунду (FPS);
- завантаження центрального процесора;
- стабільність роботи системи при різній роздільній здатності відео.

Порівняння отриманих результатів дозволить оцінити ефективність використання різних апаратних платформ для реалізації завдань комп'ютерного зору в роботизованих системах.

Висновки. Очікується, що використання більш сучасних апаратних платформ забезпечить вищу частоту обробки кадрів та менше навантаження на процесор за однакових умов роботи, що дозволить підвищити швидкість реакції роботизованої системи. Raspberry Pi 3 Model B+ водночас продемонструє обмеження продуктивності при збільшенні роздільної здатності відео, що може призводити до зростання затримки обробки та прийняття рішень.

Таким чином, ефективність управління роботизованою системою безпосередньо залежить від рівня доступних обчислювальних ресурсів. Тому при дослідженні адаптивної архітектури керування потрібно враховувати продуктивність апаратної платформи та забезпечувати оптимальний баланс між швидкодією й точністю розпізнавання.

Отримані результати можуть бути використані під час подальшого розроблення системи дистанційного керування БПЛА з розподіленою архітектурою обчислень, у якій обробка відеоданих може виконуватися як на бортовому комп'ютері, так і на віддалених обчислювальних серверах або хмарних платформах.

У подальших дослідженнях передбачається порівняти ефективність локальної обробки відеоданих на бортовому комп'ютері з обробкою на віддалених обчислювальних серверах або хмарних платформах.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

1. Raspberry Pi Foundation. (2026). *Raspberry Pi 3 product brief*. https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/

2. Raspberry Pi Foundation. (2026). *Raspberry Pi 4 product brief*. https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/

3. OpenCV Team. (2026). *OpenCV documentation*. https://docs.opencv.org/

4. Diachok, R., Tepliako, I., Lapko, M., & Popov, A. (2025). Efficiency and accuracy comparison of PIR, OpenCV with a webcam and Raspberry Pi. *Advances in Cyber-Physical Systems, 10*(1), 77–82. https://doi.org/10.23939/acps2025.01.077

УДК 004.9
Сіренко Р. В.[1]

АНАЛІЗ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ ДАНИХ НА ПРИКЛАДІ СОРТІВ СОЇ

Аналіз багатопараметричних даних є ключовим інструментом у сучасній аграрній науці та селекції сільськогосподарських культур. Під час роботи з великими таблицями числових і категоріальних характеристик сортів сої традиційні методи не дозволяють ефективно виявляти приховані закономірності та схожості між об'єктами. Актуальним є створення спеціалізованого інструменту, здатного автоматизувати кластеризацію та інтерактивно візуалізувати зв'язки між сортами.

Метою роботи є розроблення програмного застосунку для побудови та аналізу взаємозв'язків у багатопараметричних даних про сорти сої за допомогою графічних моделей [3].

Основний матеріал. Вхідними даними слугували дві таблиці, надані Інститутом олійних культур НААН України: перша — 139 сортів із 12 числовими агроморфологічними параметрами (висота рослини, товщина стебла, кількість гілок тощо), друга — 151 сорт із 22 строковими морфологічними ознаками (форма куща, тип росту, глікотиль тощо).

Перед застосуванням алгоритмів кластеризації усі дані проходять уніфіковану попередню обробку. Числові параметри нормалізуються методом MinMax до діапазону [0, 1], строкові — кодуються методом One-Hot. Для порівняння об'єктів реалізовано чотири метрики відстані: Евклідову, Манхеттенську, косинусну та Хеммінга; усі значення нормовані до [0, 1]. При тестуванні на числових даних застосовувалась Евклідова відстань, яка вимірює пряму відстань між точками у просторі ознак і є найбільш природною метрикою для кількісних характеристик. Для категоріальних даних використовувалась відстань Хеммінга, яка визначає кількість позицій, у яких відповідні елементи двох векторів відрізняються, що є оптимальним підходом для порівняння строкових ознак.

У системі реалізовано три алгоритми кластеризації з гнучким налаштуванням параметрів: K-середніх, DBSCAN та агломеративний ієрархічний (HAC, метод UPGMA) [1]. Результати зберігаються у реляційній базі даних (Entity Framework Core + SQL Server), що виключає повторну нормалізацію при повторному аналізі.

Тестування на першій таблиці (139 сортів, 12 параметрів) показало, що K-середніх забезпечує найбільш рівномірний розподіл: сорти утворюють компактні групи без значних перекрить. DBSCAN

[1] Аспірант групи А-F4.15, НУ «Запорізька політехніка»

ефективно виявив аномальні сорти з унікальними кількісними характеристиками та щільні підгрупи, однак позначив частину об'єктів як шумові. HAC сформував найбільш ієрархічно структуровані кластери з чіткими природними підгрупами сортів. Результати кластеризації за алгоритмом K-середніх на точковій діаграмі наведено на рисунку 1.

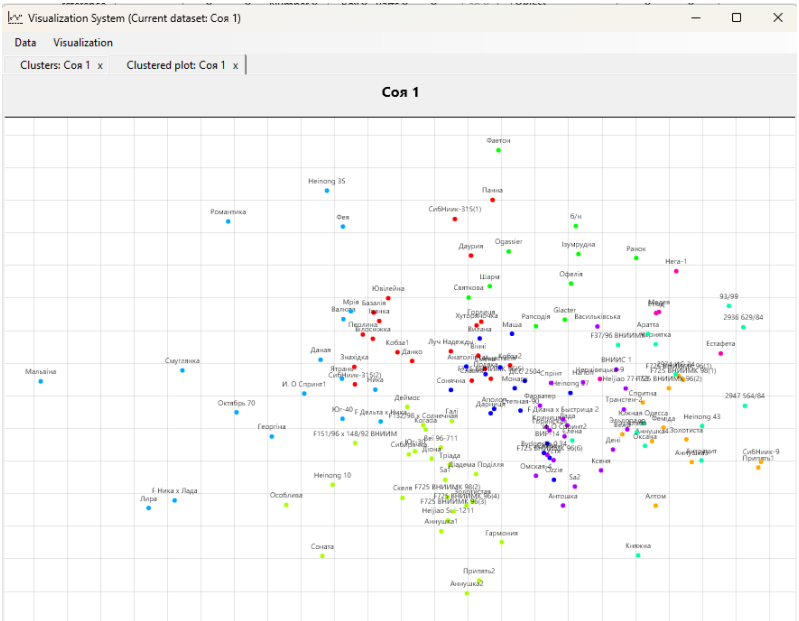


Рисунок 1 – Точкова діаграма кластеризації за алгоритмом K-середніх (перша таблиця)

При аналізі другої таблиці (151 сорт, 22 строкові ознаки) найкращі результати продемонстрував HAC: сформовані групи відображають реальну фенотипову схожість сортів і легко інтерпретуються. K-середніх допускає певне перекриття груп, оскільки метод обчислює центроїд кластера як середнє значення всіх точок — для One-Hot-закодованих даних це дає дробові значення, які не відповідають жодній реальній категорії, що знижує точність визначення меж кластерів. DBSCAN ефективно ідентифікував сорти з унікальними комбінаціями ознак, виділивши їх в окремі кластери або позначивши як шумові. Результати кластеризації категоріальних даних за алгоритмом HAC наведено на рисунку 2.

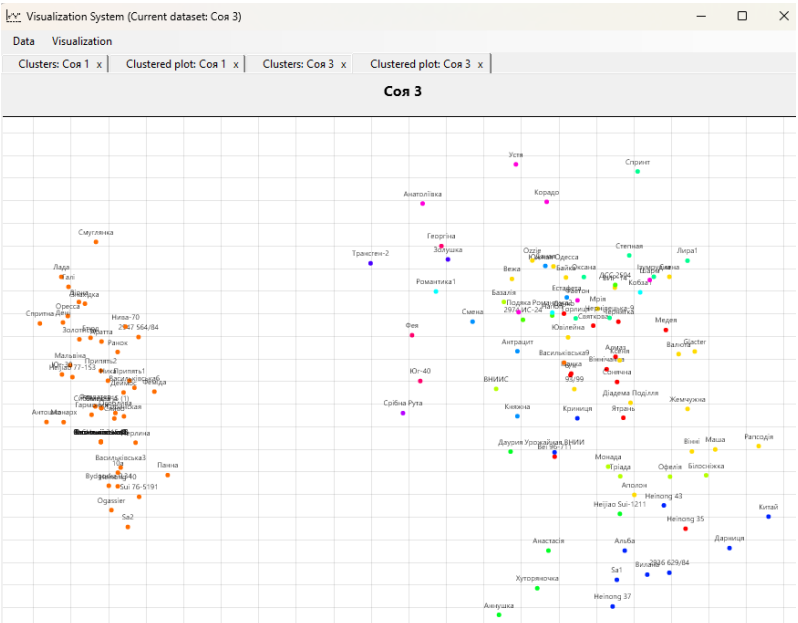


Рисунок 2 – Точкова діаграма кластеризації за алгоритмом HAC (друга таблиця)

Для відображення результатів реалізовано два основні типи візуалізації. Граф взаємозв'язків (бібліотека Microsoft Msagl) відображає кожен сорт вузлом; колір вузла відповідає кластеру, а ребра кодуються кольором залежно від відсотку схожості між сортами. Кожен вузол отримує не менше трьох зв'язків із найбільш схожими об'єктами. Точкова діаграма (ScottPlot + PCA через ML.NET) проєктує багатовимірні дані у двовимірний простір, що дозволяє наочно оцінити взаємне розташування кластерів [2]. Граф із кластерними мітками для першої таблиці наведено на рисунку 3.

Наукова новизна. Дістало подальшого розвитку застосування методів кластеризації та графічних моделей для аналізу взаємозв'язків багатопараметричних агрономічних даних, що, на відміну від існуючих підходів, передбачає інтеграцію алгоритмів (K-середніх, DBSCAN, HAC) та забезпечує уніфіковану попередню обробку числових і категоріальних параметрів та комплексну візуалізацію результатів у розробленому програмному застосунку.

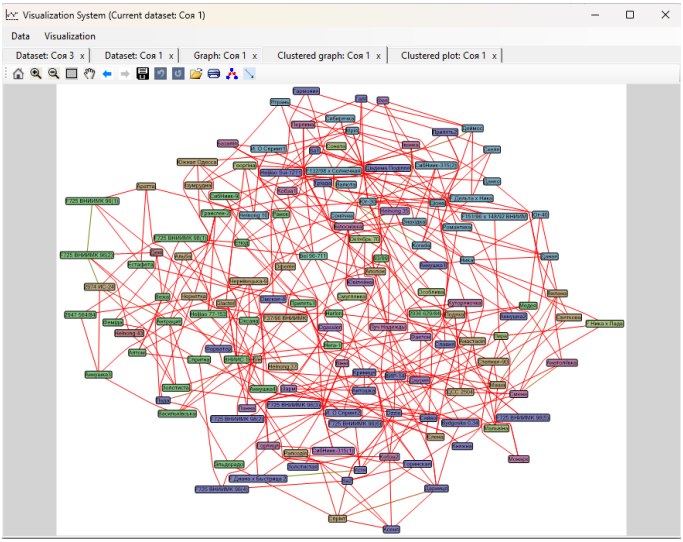


Рисунок 3 – Граф взаємозв'язків із кластерними мітками (перша таблиця)

Висновки. Розроблений застосунок успішно протестовано на реальних даних ІОК НААН. На таблиці з числовими параметрами K-середніх забезпечив найбільш збалансований розподіл сортів, НАС — найбільш структуровані ієрархічні групи, DBSCAN — виявлення аномальних сортів. На таблиці з категоріальними параметрами найкращу інтерпретованість продемонстрував НАС. Поєднання трьох алгоритмів кластеризації, чотирьох метрик відстаней та двох методів візуалізації забезпечує гнучкість системи і робить її ефективним інструментом для підтримки рішень у селекційних дослідженнях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Aggarwal C. Data clustering: algorithms and applications / C. Aggarwal, C. Reddy. – Boca Raton : Chapman and Hall/CRC, 2018. – 652 p.

2. Yau N. Data points: visualization that means something / N. Yau. – Hoboken : Wiley, 2013. – 320 p.

3. Сіренко Р.В. VisualizationSystem [Електронний ресурс] / Р.В. Сіренко. – Режим доступу: https://github.com/Skriler/VisualizationSystem (дата звернення: 06.03.2026).

УДК 004.9 Бєлєнькова К.О.[1], Новожилова М.В. [2]

МЕТОДИ СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДАНИХ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ У РОЗПОДІЛЬЧИХ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ

Сучасні системи диспетчерського керування розподільчими електромережами забезпечують безперервний збір великого обсягу телеметричної інформації про параметри режиму роботи електроенергетичних об'єктів. Джерелом даних є SCADA-системи, пристрої релейного захисту та автоматики, а також засоби комерційного та технічного обліку електроенергії.

Отримані дані формуються у вигляді часових рядів множини технологічних параметрів R, до яких належать: напруга U, *кВ*; струм навантаження I, A; активна потужність P, *МВт*; реактивна потужність Q, *Мвар*; коефіцієнт завантаження елементів мережі K_{load}, %; а також стани комутаційних апаратів. У сукупності ці параметри характеризують поточний режим функціонування електричної мережі. У більшості випадків ця інформація використовується виключно для оперативного диспетчерського контролю, що не дозволяє повною мірою реалізувати її аналітичний потенціал.

Значна частина порушень у електромережах розвивається поступово та супроводжується попередніми статистично значущими відхиленнями технологічних параметрів від нормального стану. Виявлення таких відхилень оператором у реальному часі є складним через великий обсяг інформації та обмеження часу прийняття рішень. Тому актуальною є задача розроблення методів статистичного аналізу експлуатаційних даних для автоматичного виявлення аномальних режимів.

Експлуатаційні дані – це часові ряди технологічних параметрів, що формуються в процесі функціонування електричної мережі та відображають її фактичний стан [1].

У роботі експлуатаційні дані розглядаються як багатовимірні просторово-часові ряди технологічних параметрів, що відображають фактичний стан електромережі:

$$S = (j, R, T)$$

де $j = 1,2,\ldots,m$ – номер елемента мережі, T – період спостережень.

Для кожного j-го елемента мережі формується вектор станів:

$$S(j,t) = (j, U(t), I(t), P(t), Q(t), K_{load}(t)),\ t = 1,2,\ldots,T.$$

Коефіцієнт завантаження визначається як:

---

[1] Аспірантка гр.Комп 2023-в, ХНУМГ імені О.М. Бекетова

[2] Завідувач кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, доктор фізико-математичних наук, професор, ХНУМГ імені О.М. Бекетова

$$K_{load,i}(t) = \frac{I_i(t)}{I_{\text{доп},j}} \cdot 100\%$$

де $I_{\text{доп},j}$ – допустимий струм елемента мережі.

Таким чином, формується багатовимірний просторово-часовий масив технологічних параметрів, що дозволяє враховувати як динаміку змін у часі, так і їх просторовий розподіл у топології мережі.

Метою роботи є розробка методу аналізу експлуатаційних даних розподільчих електромереж, який дозволяє на основі просторово-часового аналізу технологічних параметрів виявляти відхилення від нормального режиму функціонування та ідентифікувати потенційні передаварійні стани. Реалізація такого підходу спрямована на підвищення ефективності диспетчерського управління та забезпечення надійності електропостачання.

Запропонований метод базується на побудові статистичної моделі нормального режиму функціонування мережі. Для цього виконується:

1. Формування вибірки V_n нормальних режимів роботи елементів мережі.

2. Розрахунок статистичних характеристик технологічних параметрів мережі:

$$m_r(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_r(j, t_i),$$

де $m_r(j)$ – середнє значення r-го параметра елемента мережі j, $x_r(j, t_i)$ – значення r-го параметра у момент часу t_i, n – кількість вимірювань у вибірці нормального режиму, i – номер вимірювання у часовому ряді, r – номер технологічного параметра.

$$\sigma_r(j) = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\big(x_r(j, t_i) - m_r(j)\big)^2},$$

де $\sigma_r(j)$ – середньоквадратичне відхилення r-го параметра.

3. Оцінювання взаємозв'язків між параметрами (k, l) за коефіцієнтом кореляції $r_{kl}(j)$:

$$r_{kl}(j) = \frac{1}{\sigma_k(j)\,\sigma_l(j)}\sum_{i=1}^{n}\big(x_k(j, t_i) - m_k(j)\big)\big(x_l(j, t_i) - m_l(j)\big),$$

Матриця коваріації S формується на основі оцінок дисперсій параметрів та їх взаємних коваріацій. Елементи цієї матриці визначаються за вибірковими значеннями параметрів, при цьому позадіагональні елементи пов'язані з коефіцієнтами кореляції між параметрами. Коваріація між параметрами k та l подається через коефіцієнт кореляції:

$$cov_{kl}(j) = r_{kl}(j)\,\sigma_k(j)\,\sigma_l(j),$$

Таким чином, матриця коваріації узагальнює інформацію про дисперсії параметрів та їх статистичні взаємозв'язки і використовується у метриці Махаланобіса [2], що базується на стандартизації статистичних параметрів та оцінці відстані у багатовимірному просторі параметрів. Інтегральне відхилення розраховується для кожного моменту часу:

$$D_M(\tau) = \sqrt{\left(x_r(j,\tau) - m_r(j)\right)^T S^{-1}\left(x_r(j,\tau) - m_r(j)\right)},$$

де $D_M(\tau)$ – інтегральний показник відхилення параметрів від нормального режиму, τ – момент часу, $x_r(j)$ – значення *r*-го параметра для елемента мережі j у момент часу τ, $m_r(j)$ – середнє значення параметра у нормальному режимі.

Якщо $D_M(\tau) > D_{KP}$, то стан мережі ідентифікується як можливий аномальний, де D_{KP} – критичне значення метрики, що визначається за χ^2-розподілом для *r* контрольованих параметрів.

Динаміка інтегрального показника відхилення режиму наведена на рис. 1.

Аналіз здійснюється за технологічними параметрами електричної мережі. Відхилення параметрів від статистичних характеристик нормального режиму дозволяє ідентифікувати такі аномальні стани:

– перевантаження ліній – визначається за зростанням струму *I*, активної потужності *P* та коефіцієнта завантаження K_{load};

– перекіс фаз – проявляється у відхиленні значень фазних струмів та напруги *U*;

– розвиток пошкодження – супроводжується різкою зміною струму *I*, реактивної потужності *Q* та нестабільністю технологічних параметрів;

– нестійкі режими – характеризуються значними коливаннями напруги *U* та потужності *P* у час.

Особливістю методу є відсутність необхідності детальної фізичної моделі мережі – використовується лише історична телеметрія SCADA. Інтерпретація задачі просторового оцінювання здійснювалась на основі вихідного просторово-часового ряду подій, що формувався за даними офіційного веб-сайту оператора системи розподілу – ДТЕК Київські електромережі [3].

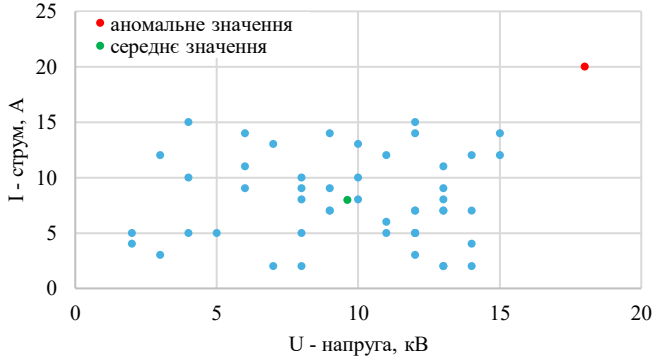


Рисунок 1 – Визначення аномального режиму за інтегральним показником відхилення $D_M(\tau)$

У відкритому доступі оператором системи розподілу публікується інформація щодо аварійних та планових відключень із зазначенням локації, часу виникнення події та її характеру. Зазначені дані архівуються, що забезпечує можливість формування ретроспективних просторово-часових вибірок та їх подальшого використання для статистичного аналізу і побудови моделей нормального та аномального функціонування мережі.

Висновки

Запропоновано метод аналізу експлуатаційних даних для виявлення аномальних режимів у розподільчих електромережах, що базується на статистичному описі нормального стану системи та визначенні інтегральної міри відхилення поточного режиму.

Отриманий підхід дозволяє здійснювати раннє виявлення передаварійних станів та може бути використаний як модуль системи підтримки прийняття рішень диспетчера. Застосування методу сприяє підвищенню надійності електропостачання та зменшенню тривалості відключень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Верховна Рада України. (n.d.). *Експлуатаційні дані. Законодавство України*. https://zakon.rada.gov.ua/laws/term/en/8253

2. Aggarwal, C. C. (2017). *Outlier analysis* (2nd ed.). Springer. https://sadbhavnapublications.org/research-enrichment-material/2-Statistical-Books/Outlier-Analysis.pdf

3. ДТЕК Київські електромережі. (n.d.). *Інформація про відключення електроенергії*. https://www.dtek-kem.com.ua/ua/shutdowns

УДК 629.5:62-591
Пук Ю.Я.[1], Кучмистенко О.В.[2]

АДАПТИВНО-ПРЕДИКТИВНЕ КЕРУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ НАФТОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Сучасні нафтоперекачувальні системи характеризуються складними гідродинамічними процесами, високою варіативністю робочих режимів та значною чутливістю до зовнішніх і внутрішніх факторів, що обумовлює необхідність розробки ефективних методів автоматизованого керування. Актуальність дослідження обумовлена потребою підвищення надійності, енергоефективності та швидкодії систем перекачування нафти в умовах змінної експлуатаційної ситуації.

Вивчення питання адаптивно-предиктивного керування гідродинамічними режимами нафтоперекачувальних систем з використанням інтелектуальних технологій пов’язано з необхідністю підвищення ефективності та надійності експлуатації трубопровідних комплексів в умовах значної варіативності режимів роботи та динамічних змін параметрів середовища. Це обумовлено тим, що традиційні методи автоматичного керування часто не забезпечують адекватного реагування на коливання тиску, витрати та температури, що призводить до надмірного енергоспоживання, підвищених механічних навантажень на обладнання та ризику аварійних ситуацій.

Крім того, сучасні економічні та екологічні вимоги стимулюють розробку систем керування, здатних до прогнозування і оптимізації режимів роботи, що дозволяє зменшити експлуатаційні витрати та мінімізувати втрати ресурсів. Використання інтелектуальних технологій, таких як алгоритми машинного навчання та предиктивного моделювання, відкриває можливості для реалізації самонавчальних адаптивних систем, які здатні враховувати непередбачувані зміни параметрів і забезпечувати безперервність процесів перекачування.

Причини, що спонукають до вивчення питання адаптивно-предиктивного керування гідродинамічними режимами нафтоперекачувальних систем з використанням інтелектуальних технологій, ґрунтуються на сукупності технологічних, економічних і експлуатаційних факторів, які формують сучасні виклики для нафтотранспортної галузі.

По-перше, нафтоперекачувальні системи функціонують у динамічних умовах, де зміни тиску, витрати та температури робочого середовища можуть бути значними і швидкими. Традиційні системи регулювання, які базуються на класичних ПІД-регуляторах або простих

[1] Аспірант групи А-G7-25, ІФНТУНГ
[2] Доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ІФНТУНГ

схемах автоматизації, не здатні адекватно компенсувати такі коливання, що призводить до підвищених механічних навантажень, надмірного споживання енергії та потенційного пошкодження обладнання.

По-друге, у контексті сучасної енергетичної та економічної політики значною проблемою є підвищення енергоефективності та зниження експлуатаційних витрат. Адаптивні та предиктивні системи керування дозволяють оптимізувати режими роботи насосних агрегатів, прогнозувати потребу в енергії та мінімізувати втрати в трубопроводах, що має безпосередній економічний ефект.

По-третє, зростання інтеграції інтелектуальних технологій у промислові процеси створює нові можливості для впровадження алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання у керування гідродинамічними режимами. Це дозволяє реалізувати самонавчальні системи, здатні до адаптації до змінного середовища, прогнозування аварійних ситуацій і забезпечення безпеки технологічного процесу.

По-четверте, технічна складність сучасних нафтоперекачувальних комплексів та їх велика протяжність обумовлюють необхідність розробки централізованих, але при цьому інтелектуально адаптивних систем керування, які здатні координувати роботу численних насосних станцій і трубопроводів у реальному часі, зберігаючи стабільність і оптимальність режимів.

Аналіз наукових робіт, що безпосередньо стосуються адаптивного, предиктивного та інтелектуального керування процесами в нафтоперекачувальних та споріднених системах дозволяє окреслити сучасний науковий контекст та методологічні підходи, які мають відношення до проблематики адаптивно-предиктивного керування гідродинамічними режимами.

Brattley і Weaver (2025) розробили підхід до адаптивного самоналаштовуваного керування насосними системами магістралей, у якому традиційні ПІ-регулятори замінено на схему з адаптивною регуляцією параметрів за допомогою алгоритму Recursive Least Squares. У дослідженні моделювалася динаміка центрифужного насоса, враховувався нелінійний вплив властивостей робочого середовища та перехідні процеси при швидкому закритті клапанів. Результати показали, що адаптивний контролер здатний підтримувати тиск у заданих межах та зменшувати перерегулювання порівняно зі сталим контролем, що є важливим для забезпечення стабільної та надійної роботи трубопровідних систем [1].

Raimondi, Favela-Contreras та співавт. (2015) запропонували адаптивно-предиктивну стратегію керування процесом атмосферної дистиляції сирої нафти. Це дослідження демонструє приклад застосування предиктивних моделей до складних багатовхідних багатовихідних технологічних процесів. Для вибору структури контролера автори використали аналіз взаємодії (Relative Gain Array) і

показали переваги адаптивно-предиктивного підходу над традиційним PID-керуванням у контексті забезпечення точності та стабільності регулювання в умовах значних технологічних варіацій [2].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Brattley, D. A., & Weaver, W. W. (2025). *Adaptive PI control using recursive least squares for centrifugal pump pipeline systems*. Machines, 13(11), 1064.

2. Raimondi, A., Favela-Contreras, A., Beltrán-Carbajal, F., Piñón-Rubio, A., & de la Peña-Elizondo, J. L. (2015). *Design of an adaptive predictive control strategy for crude oil atmospheric distillation process*. Control Engineering Practice, 34, 39–48.

УДК 622.276:681.5:004.8

Якимів М.О.[1], Кучмистенко О.В.[2]

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ У АВТОМАТИЗОВАНИХ НАСОСНИХ СИСТЕМАХ

Сучасний етап розвитку нафтовидобувної галузі характеризується активним впровадженням концепції «Refinery 4.0», що передбачає широке використання цифрових технологій, систем збору даних та інтелектуальної аналітики для оптимізації виробничих процесів. У цих умовах значно зростає роль методів прогнозування технічного стану обладнання, які дозволяють переходити від реактивного усунення наслідків аварій до випереджувального управління експлуатацією промислових систем. Особливо актуальним це питання є для автоматизованих насосних систем, зокрема штангових глибинних насосних установок (ШГНУ), які широко застосовуються у процесах видобування нафти.

Традиційно основним інструментом контролю стану ШГНУ є динамометрування, що базується на аналізі динамограм, отриманих із використанням гирлових тензометричних датчиків. Проте практична експлуатація таких систем показує їхню вразливість до механічних навантажень, вібрацій та впливу навколишнього середовища, що призводить до частих відмов вимірювальної апаратури. Крім того, класичні методи аналізу динамограм переважно мають реактивний характер, оскільки дозволяють виявляти несправності лише після їх фактичного виникнення.

У зв’язку з цим у нафтогазовій галузі активно розвивається підхід

[1] Аспірант, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

[2] Доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ІФНТУНГ

предиктивного обслуговування (Predictive Maintenance), що передбачає використання алгоритмів машинного навчання для аналізу великих масивів телеметричних даних і виявлення ранніх ознак можливих відмов обладнання. Одним із перспективних напрямів є застосування нейронних мереж для аналізу часових рядів технологічних параметрів. Зокрема, двонаправлені рекурентні нейронні мережі типу Bi-LSTM демонструють високу ефективність у виявленні закономірностей деградації обладнання. Результати досліджень показують, що такі моделі здатні прогнозувати можливі відмови насосних систем за 7–14 днів до їх фактичного виникнення з точністю до 98% [1].

Проміжним етапом розвитку інтелектуальної діагностики є застосування методів комп'ютерного зору для автоматизованого аналізу динамограм. У цьому випадку згорткові нейронні мережі (CNN) використовуються для класифікації типових несправностей насосного обладнання на основі графічного представлення технологічних параметрів. Подібні підходи дозволяють значно підвищити швидкість і об'єктивність аналізу порівняно з традиційною візуальною інтерпретацією інженером-оператором [2]. Однак використання динамограм зберігає залежність від гирлових датчиків, що обмежує надійність системи моніторингу.

Перспективною альтернативою є непряма діагностика стану насосних установок на основі аналізу електричних параметрів приводу, зокрема струму електродвигуна. У цьому випадку інформативним джерелом даних виступають ватметрограми, які відображають динаміку споживаної потужності та дозволяють оцінювати кінематичні характеристики роботи механізму. Використання алгоритмів машинного навчання для аналізу таких сигналів дає змогу виявляти мікрофлуктуації, пов'язані зі зростанням тертя в колоні штанг або порушенням балансу механізму. Це створює передумови для побудови систем локальної аналітики на основі Edge-обчислень, де інтелектуальні алгоритми виконують обробку даних безпосередньо на рівні шафи керування насосною установкою, що зменшує навантаження на центральні сервери та підвищує оперативність діагностики [4].

Використання інтелектуальних методів аналізу даних у поєднанні з сучасними архітектурами нейронних мереж відкриває нові можливості для підвищення ефективності моніторингу та прогнозування технічного стану автоматизованих насосних систем. Перехід від традиційних методів діагностики до предиктивної аналітики дозволяє зменшити простої обладнання, оптимізувати планування ремонтних робіт та підвищити надійність експлуатації нафтовидобувних об'єктів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Zhang, A., Zhao, Y., Li, X., Fan, X., Ren, X., Li, Q., & Yue, L.

(2024). Development of a hybrid AI model for fault prediction in rod pumping system for petroleum well production. *Energies, 17*(21), 5422. https://doi.org/10.3390/en17215422

2. Martinović, B., Bijanić, M., Danilović, D., Petrović, A., & Delibasić, B. (2023). Unveiling deep learning insights: A specialized analysis of sucker rod pump dynamographs, emphasizing visualizations and human insight. *Mathematics, 11*(23), 4782. https://doi.org/10.3390/math11234782

3. Bangert, P. (2019). Diagnosing and predicting problems with rod pumps using machine learning. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. https://doi.org/10.2118/194993-MS

4. Wei, J., & Gao, X. (2020). Fault diagnosis of sucker rod pump based on deep-broad learning using motor data. *IEEE Access, 8*, 222562–222571. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3036078

СЕКЦІЯ 3 КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ПРОГРАМНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 004.89:004.6:658.26
Баширов Е.Т.[1], Бредіхін В.М.[2,]

ПІДСИСТЕМА ОБРОБКИ ТА ВАЛІДАЦІЇ ДАНИХ У СИСТЕМІ ПІДТРИМКИ РІШЕНЬ З ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

У сучасних системах автоматизації будівельних процесів (Building Automation Systems) BAS ефективне керування опаленням є ключовим чинником енергетичної ефективності, комфорту користувачів та зменшення експлуатаційних витрат. Сучасні системи керування опаленням покладаються на великі обсяги даних із різнорідних джерел: температурні сенсори, погодні дані, плани використання приміщень та історії споживання енергії. Якість цих даних безпосередньо впливає на продуктивність моделей управління та алгоритмів оптимізації. Недоліки даних – пропущені значення, шум, артефакти вимірювань – призводять до погіршення прогнозів, неправильних рішень та неефективного використання ресурсів. Саме тому препроцесинг даних є необхідним етапом для підвищення надійності сучасних систем керування опаленням будівель.

Дослідження у галузі обробки даних для систем керування опаленням зосереджуються на підготовці та очищенні даних, а також на інтеграції часових рядів із різних джерел. Основні напрями включають: алгоритми заповнення пропущених значень, фільтрацію шуму, детекцію аномалій, нормалізацію даних для моделей прогнозування температури та оптимізації енергоспоживання [1, 2]. Також значну увагу приділено використанню методів машинного навчання для покращення якості даних та результатів прогнозування [3, 4]. Попередні роботи показали, що адекватний препроцесинг може суттєво зменшити похибки прогнозу енергоспоживання та підвищити ефективність керування опаленням.

Мета цього дослідження – розробити ефективний набір методів препроцесингу даних для систем керування опаленням будівель, що забезпечить підвищення точності прогнозування параметрів мікроклімату та підвищить ефективність прийняття управлінських рішень в автоматизованих системах енергоменеджменту.

Тому запропоновано структурований підхід до препроцесингу даних, що включає такі компоненти:

[1] студент групи ІСтаТ 2022-1, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова
[2] доцент кафедри КНІТ, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, к. т. н.

- ідентифікація та видалення артефактів: алгоритми виявлення завищених/занизьких вимірювань, аномальних коливань, які не відповідають фізичним обмеженням;

- заповнення пропущених значень: імпутація з використанням статистичних методів та моделей часових рядів (наприклад, k-nearest neighbors, експоненційне згладжування);

- фільтрація шуму: застосування адаптивних фільтрів (на зразок медіанного фільтра, Kalman-фільтра) для усунення випадкових флуктуацій;

- нормалізація та стандартизація: підготовка даних для коректної роботи моделей машинного навчання;

- екстракція ознак: генерування ознак, що описують часові закономірності (сезонність, добові цикли) та поведінкові патерни [5].

На відміну від традиційних підходів до обробки даних для BAS систем, які обмежуються базовою очисткою чи усередненням значень, запропонований підхід:

- поєднує методи детекції аномалій із прогнозними моделями у єдиному препроцесинговому конвеєрі;

- використовує адаптивні фільтри для динамічних змін у поведінці системи;

- забезпечує автоматичну генерацію ознак, необхідних для моделей машинного навчання;

- інтегрує кількісні метрики якості даних, що дозволяють оцінювати вплив препроцесингу на кінцеві результати.

Експериментальна реалізація підходу на реальних даних будівельної мережі показала:

- зниження середньоквадратичної помилки (RMSE) прогнозу температурних параметрів на 5–8 % порівняно з базовими методами препроцесингу;

- зменшення кількості помилкових спрацьовувань систем оптимізації керування опаленням;

- підвищення стабільності моделей прогнозування за рахунок усунення артефактів та шумових компонентів.

Крім того, впровадження адаптивних фільтрів дозволило зменшити вплив короткочасних коливань даних на прийняття рішень.

Висновки. Розроблений набір методів препроцесингу даних може забезпечити суттєве підвищення якості вхідних даних для систем керування опаленням будівель. Це, у свою чергу покращить точність прогнозних моделей температури та енергоспоживання, зменшить невизначеність у прийнятті рішень алгоритмами оптимізації та буде сприяти підвищенню енергоефективності та комфорту у будівлях.

Запропонований підхід є універсальним та може бути адаптований під різні архітектури BAS, включаючи IoT-орієнтовані середовища.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ
1 Kim, H., & Song, M. (2023). Anomaly detection and data imputation for IoT-based heating systems. Sensors, 23(8), 3897.
2 Li, T., & Wang, J. (2024). Time-series preprocessing techniques for predictive energy analytics. Journal of Building Performance Simulation, 17(2), 112–130.
3 Petrova, N., & Khomenko, I. (2022). Обробка часових рядів даних у розумних системах керування будівлями. Вісник КНУБіА, 24(5), 56–67.
4 Singh, A., & Kumar, V. (2020). Kalman filtering approaches for sensor data cleaning in smart buildings. Automation in Construction, 117, 103238.
5 Zhang, Y., & Li, Q. (2025). A hybrid preprocessing pipeline for robust predictive control in HVAC systems. Applied Energy, 312, 120245.

УДК 004.62:004.8

Бєлова К.О.[1], Бредіхін В.М.[2]

РОЛЬ ПІДГОТОВКИ ТА ОЧИЩЕННЯ ДАНИХ ДЛЯ ПІДВИЩЕННІ ЯКОСТІ РОБОТИ МОДЕЛЕЙ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

Сучасні моделі інтелектуального аналізу даних працюють з великими обсягами інформації, яка часто містить пропущені значення, шум, дублювання та інші помилки. На практиці саме якість вхідних даних визначає точність і стабільність роботи моделі. Дослідження показують, що навіть сучасні алгоритми машинного навчання не можуть компенсувати низьку якість даних [3]. Тому підготовка та очищення даних є обов'язковим етапом перед навчанням моделі.

Якість даних оцінюють за показниками точності, повноти, узгодженості та актуальності [1]. Порушення цих характеристик призводить до спотворення аналізу та зниження точності моделей.

Найпоширеніші проблеми -пропуски, викиди, дисбаланс і надмірна розмірність. Для їх усунення застосовують імпутацію, детекцію аномалій, масштабування та зниження розмірності [4]. Дисбаланс компенсують ресемплінгом або синтетичним генеруванням [2].

Разом із тим сучасні дослідження у сфері Big Data демонструють перехід від статичних ETL-процедур до адаптивних і масштабованих підходів очищення даних. У середовищах із високою швидкістю

[1] студент групи ІСтаТ 2022-1, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова
[2] доцент кафедри КНІТ, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, к. т. н.

надходження та гетерогенністю інформації класичні методи перевірки форматів і простого заповнення пропусків є недостатніми.

Одним із ключових напрямів є автоматизована детекція аномалій із застосуванням моделей машинного навчання. Замість фіксованих порогів дедалі частіше використовуються автоенкодери, Isolation Forest, Local Outlier Factor і графові методи. Автоенкодери навчаються відтворювати «нормальний» розподіл даних і виявляють відхилення через підвищену реконструкційну помилку. Графові підходи дозволяють виявляти структурні аномалії у складних зв'язках між об'єктами.

Другим напрямом є інтелектуальна імпутація пропущених значень. Сучасні моделі враховують контекст і залежності між ознаками. Досліджуються генеративні підходи, зокрема Variational Autoencoders і Generative Adversarial Networks, здатні відновлювати пропуски з урахуванням латентної структури даних. У часових рядах застосовуються рекурентні мережі, що враховують нерегулярність спостережень.

У розподілених та потокових середовищах очищення інтегрується безпосередньо в аналітичні системи[5]. Архітектури типу Data Lake та Lakehouse передбачають безперервний моніторинг якості даних через механізми data profiling і data quality scoring. Метрики повноти, консистентності та своєчасності обчислюються автоматично та можуть впливати на результати моделей підтримки прийняття рішень. Окрему увагу приділяють адаптації до concept drift - зміни статистичних властивостей потоку даних.

Практичні дослідження підтверджують прямий зв'язок між якістю даних і результативністю моделей. У роботі [3] показано, що зниження показників якості суттєво погіршує точність прогнозування для широкого спектра алгоритмів машинного навчання.

Отже, підготовка та очищення даних є не лише попереднім етапом аналізу, а стратегічним компонентом сучасних інтелектуальних систем. Перехід до самонавчальних та адаптивних конвеєрів очищення дозволяє підвищити надійність, точність і стабільність моделей у середовищах із високою динамікою та невизначеністю.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Геряк, Ю., & Берко, А. (2024). Система критеріїв оцінки якості даних у розподілених інформаційних системах. Information Systems and Networks, (16), 191–202. https://doi.org/10.23939/sisn2024.16.191

2. Демусенко, М. В. (2025). Дослідження методів попередньої обробки даних для задач штучного інтелекту (Кваліфікаційна робота магістра). Харківський національний університет радіоелектроніки. https://openarchive.nure.ua/handle/document/32332

3. Mohammed, S., Budach, L., Feuerpfeil, M., Ihde, N., Nathansen, A., Noack, N., Patzlaff, H., Naumann, F., & Harmouch, H. (2025). The effects of data quality on machine learning performance on tabular data. Information Systems. https://doi.org/10.1016/j.is.2025.102549

4. Jia, W., Sun, M., Lian, J., & Hou, S. (2022). Feature dimensionality reduction: A review. Complex & Intelligent Systems, 8, 2663–2693. https://doi.org/10.1007/s40747-021-00637-x

5. Голубовський, М. П., & Ясній, В. П. (2024). Огляд застосування штучного інтелекту та машинного навчання у прикладній механіці. Науковий вісник ІФНТУНГ, 1(56), 79–91. https://doi.org/10.31471/1993-9965-2024-1(56)-79-91

УДК 793.7

Булгак С.О.[1], Бредіхін В.М.[2]

ДОРОЖНЯ КАРТА ВПРОВАДЖЕННЯ ШІ В СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПІДПРИЄМСТВА

Стратегічна інтеграція штучного інтелекту в системи підтримки прийняття рішень (СППР) сьогодні перейшла з розряду експериментальних технологій у статус критичної бізнес-необхідності.

Сучасний бізнес опинився у парадоксальній ситуації, коли більшість компаній сьогодні є «багатими на дані, але бідними на рішення». Величезні масиви інформації розпорошені між CRM, бухгалтерськими інструментами та ERP-системами, через що команди витрачають більше часу на узгодження цифр, ніж на дії на їх основі [1]. Впровадження ШІ дозволяє змінити саму природу бізнес-аналітики, перетворюючи дашборди зі статичних звітів на «інтелектуальні драйвери прийняття рішень.

Спостерігається перехід від ретроспективного аналізу до прогностичної та прескриптивної аналітики. Дослідження показують, що «моделі машинного навчання перевершують класичні статистичні підходи в бізнес-прогнозуванні» [2]. Зокрема, у завданнях автоматизованої візуалізації даних (NL2Vis) великі мовні моделі (LLM) продемонстрували здатність трансформувати та описи природною мовою візуальні представлення для базової таблиці, дозволяючи користувачам отримувати інсайти з величезних обсягів даних. Експерименти підтверджують, що ШІ-агенти можуть скоротити весь аналітичний конвеєр від підготовки даних до сторітеллінгу.

Основною метою інтеграції ШІ є побудова системи, де технологія служить «підсилювачем» людського інтелекту, а не його

[1] студент групи 6.04.121.010.23.1, Харківський національний економічного університет ім. С. Кузнеця

[2] доцент кафедри ІС, Харківський національний економічного університет ім. С. Кузнеця, к. т. н.

заміною. Метою є розгортання систем, що базуються на «довіреному шарі метрик» (trusted metrics layer).

Ключовим елементом є підготовка «AI-ready семантичної моделі», яка не є просто технічним покращенням, а стає «критичним фундаментом, що дозволяє ШІ розуміти бізнес-контекст». Така архітектура включає:

1. Чіткі угоди про найменування, щоб уникнути криптичних скорочень, які можуть заплутати модель.

2. Збагачення метаданих та додавання синонімів для бізнес-термінів, що покращує гнучкість взаємодії природною мовою.

3. Механізми Text-to-SQL, які використовують «динамічний пошук таблиць (Table Retrieval)», щоб ШІ міг працювати з базами, які мають тисячі таблиць, не перевантажуючи контекстне вікно [3].

На відміну від традиційних інструментів самообслуговування (Self-Service BI), запропонований підхід усуває «необхідність у глибокій технічній експертизі для кожного запиту». Ми переходимо від парадигми «автор звіту будує для споживача» до того, що «бізнес-користувачі можуть безпосередньо взаємодіяти зі своїми даними». Більше того, наше рішення фокусується на «керованому доступі до даних», де аудит та рольовий контроль є обов'язковими, щоб ШІ не надавав відповіді на запитання, на які користувач не має прав доступу.

Емпіричні дані підтверджують колосальний вплив технології. Упровадження ШІ-дашбордів забезпечує «статистично значуще покращення точності прогнозів, скорочення циклу прийняття рішень та збільшення ROI маркетингових кампаній.

Результатом є «Дорожня карта» впровадження цієї технологіїяка включає наступні етапи:

Етап 1: Стратегічне визначення та оцінка:

- визначення цілей: Ідентифікація проблемних точок, де затримка даних призводить до фінансових втрат;
- оцінка готовності: Аудит інфраструктури, безпеки даних та наявності талантів у команді.

Етап 2: Підготовка даних та семантичне моделювання:

- аудит якості даних;
- створення семантичного шару;
- налаштування «AI Data Schema».

Етап 3: Розробка та пілотне тестування MVI:

- вибір технології;
- створення MVI (Minimum Viable Intelligence);
- тестування та оцінка.

Етап 4: Розгортання, навчання та масштабування:

- інтеграція в робочі процеси.
- розвиток культури «Facts-first».
- безперервне вдосконалення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ
1. Collectiv. (2025). Copilot in Power BI: What it is, where it fails, and how to make it work. https://collectiv.com/blog/copilot-in-power-bi/
2. deepsense.ai. (2022, May 18). 6 steps to successfully implement AI project. https://deepsense.ai/blog/6-steps-to-successfully-implement-ai-project/
3. ML Clever Research Team. (2026, January 21). 11 best AI dashboard generators in 2026 (20+ tools tested). https://www.mlclever.com/blog/ai-dashboard-generators-2026

УДК 004.42:001.89

В'юнник С.Є.[1], Бредіхін В.М.[2]

ПАРАДИГМИ ПРОГРАМУВАННЯ ЯК ВІДОБРАЖЕННЯ ЕВОЛЮЦІЇ КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК

У міру зростання складності програмного забезпечення та обмежень розробки парадигми програмування змінювалися. Раніші парадигми зосереджувалися на контролі потоку виконання програми та зменшенні хаосу в коді, тоді як сучасніші підходи спрямовані на покращення абстракції, масштабованості та досвіду розробника.

Структурне програмування було однією з найперших спроб організувати розробку програмного забезпечення. Він розвинувся у відповідь на "спагеті-код", який сильно покладався на необмежені переходи в потоці управління, що ускладнювало розуміння, налагодження та підтримку систем. Ця парадигма значно зменшила складність коду та підвищила надійність, але втратила ефективність, коли програми стали більшими та вимагали складніших абстракцій.

Деякі недоліки структурного програмування були усунені об'єктно-орієнтованим програмуванням, яке ввело об'єкти та класи як основні будівельні блоки. Такі концепції, як абстракція, наслідування, поліморфізм та інкапсуляція, забезпечили модульну та повторно використовувану архітектуру системи. Об'єктно-орієнтоване програмування стало популярним, оскільки воно полегшило розробку великих програмних систем та командну розробку. Однак це часто призводило до глибоких ієрархій спадкування та складних рівнів абстракції у дуже великих системах, що могло погіршити зрозумілість коду та збільшити витрати на обслуговування.

Функціональне програмування було зосереджене на чітких ролях, узгодженості та передбачуваній поведінці. Програми стали простіші для тестування та перевірки, оскільки стандарти не можна

[1] студентка, Lodz University of Technology
[2] доцент кафедри КНІТ, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, к. т. н.

змінювати після визначення. Цей підхід найкраще підходить для одночасних та паралельних завдань. Незважаючи на ці переваги, навчання розробці функціонального програмного забезпечення може бути складним завданням, особливо для розробників, які мають досвід роботи з критично важливим або орієнтованим на продукт програмним забезпеченням.

Реактивне та подієво-орієнтоване програмування пріоритезує реагування на потоки даних та події, а не дотримання заздалегідь визначеного потоку виконання. Сучасні веб-додатки, системи реального часу та інтерфейси користувача часто використовують цю парадигму.

Декларативне програмування та метапрограмування зміщують акцент з опису того, як програма повинна працювати, на опис очікуваного результату. Замість визначення алгоритмів, розробники можуть визначати результати за допомогою мов та технологій, таких як HTML, SQL та інструменти інфраструктури як коду. Метапрограмування розширює цю ідею, дозволяючи програмам змінювати або створювати код під час виконання або компіляції. Хоча ці методи можуть значно покращити результат, їхня прозорість може бути нижчою та налагодження може бути складніше.

Мета парадигм low-code та no-code полягає в тому, щоб зробити розробку програмного забезпечення більш демократичною, дозволяючи людям, які не мають навичок програмування, створювати програми за допомогою візуальних інструментів та інтерфейсів перетягування. Але вони часто стикаються з проблемами, пов’язаними з обмеженою масштабованістю, обмеженою гнучкістю та залежністю від конкретних виробників, що може бути проблематичним для складних або довгострокових проектів.

Vibe Coding – це сучасний фреймворк штучного інтелекту, який базується на цих класичних моделях, заснованих на дослідженнях та минулому досвіді роботи в галузі. Ця парадігма інтегрує логіку програмування, де програмісти визначають цілі, ідеї або методи написання звітів, а система штучного інтелекту потім перетворює цю інформацію на виконуваний код. Такий підхід дозволяє розробникам зосередитися на проблемі, дизайні функцій та взаємодії з користувачем, а також зменшує занепокоєння щодо документації та дизайну. Vibe Coding можна вважати більш описовим та зручним підходом до програмування, де штучний інтелект виступає як доповнення, а не об'єкт дослідження.

Незважаючи на свій потенціал, вайб-кодування викликає кілька проблем. Код, створений штучним інтелектом, може бути непередбачуваним, важким для дублювання або суперечити початковому задуму розробника. Додаткові проблеми включають безпеку, зручність обслуговування та довгостроковий контроль над програмними системами. Тому, замість того, щоб бути повною заміною

традиційних парадигм, вайб-кодування слід розглядати як додаткову тактику, що вимагає ретельного спостереження та критичного аналізу.

Як висновок вважаємо, що парадигми програмування змінилися від жорсткого управління потоками до високорівневої абстракції та розробки за допомогою штучного інтелекту. Кожна парадигма виникла як реакція на недоліки своїх попередників. Переносячи як структуру, так і реалізацію в інтелектуальні системи, Vibe Coding може стати наступним етапом цієї еволюції. Цей метод порушує значні питання щодо надійності, відповідальності та майбутнього розробників-людей у програмній інженерії, хоча він також відкриває нові можливості для творчості та продуктивності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Hasanov, V. (2025, August). Shift in new programming language paradigms. *Modern American Journal of Engineering, Technology, and Innovation, 1*(5), 119–134.
2. Bamil, V. (2025, October). *Vibe coding: Toward an AI-native paradigm for semantic and intent-driven programming*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2510.17842
3. Krings, K., Bohn, N. S., & Ludwig, T. (2025, October). *(R)evolution of programming: Vibe coding as a post-coding paradigm*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2510.12364
4. Foo, Y. Q., Cheong, B. S.-K., & Adams, M. D. (2025, July). *Fixed-point-oriented programming: A concise and elegant paradigm*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2507.21439
5. Blondel, M., & Roulet, V. (2024, March). *The elements of differentiable programming*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2403.14606

УДК 004.9

Іванов Д.В. [1], Куршубадзе Т.Р. [2]

АДАПТИВНА АРХІТЕКТУРА ІНТЕГРАЦІЇ SQL ТА NoSQL В АНАЛІТИЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Стрімкий розвиток цифрових технологій супроводжується зростанням обсягів, різноманітності та швидкості надходження даних. Сучасні інформаційно-аналітичні системи повинні забезпечувати ефективну обробку як структурованої, так і неструктурованої інформації. Реляційні бази даних забезпечують високу надійність і підтримку транзакцій, проте мають обмежені можливості масштабування. Нереляційні сховища характеризуються гнучкістю та високою продуктивністю, однак не завжди гарантують строгі властивості

[1] Доцент кафедри ІТКІ, НТУ "Дніпровська політехніка", канд. техн. наук, доцент
[2] Студентка групи ІТм-25-1, НТУ "Дніпровська політехніка"

узгодженості [1].

Поєднання SQL та NoSQL-технологій у межах гібридних систем дозволяє використовувати переваги обох підходів та підвищувати ефективність обробки великих масивів даних [2]. Водночас актуальною залишається задача створення адаптивної архітектури, здатної динамічно реагувати на зміну навантаження та типів запитів.

Метою даної роботи є розроблення адаптивної архітектури інтеграції реляційних і нереляційних баз даних для підвищення ефективності функціонування аналітичних інформаційних систем. Для досягнення поставленої мети було проаналізовано сучасні підходи до інтеграції сховищ даних та досліджено принципи побудови гібридних архітектур [3].

Запропонована архітектура базується на концепції багатомодельного зберігання даних та принципах polyglot persistence. Основним елементом системи є інтеграційний рівень, який здійснює аналіз вхідних запитів, їх класифікацію та маршрутизацію до відповідних сховищ.

Архітектура гібридної системи включає такі основні компоненти (рис. 1):

– рівень джерел даних, що об’єднує SQL- та NoSQL-сховища;

– інтеграційний рівень (адаптер та оркестратор), який забезпечує взаємодію між компонентами;

– аналітичний рівень для обробки великих масивів інформації;

– прикладний рівень, що реалізує взаємодію з користувачами через API.

Інтеграційний рівень виконує функції моніторингу навантаження, оптимального розподілу запитів та синхронізації даних між сховищами. Для підвищення ефективності обробки інформації застосовуються механізми кешування, реплікації та шардінгу [4].

Адаптивність системи забезпечується динамічним перерозподілом ресурсів залежно від поточного навантаження. При зростанні кількості транзакційних запитів пріоритет надається реляційним базам даних, тоді як аналітичні та пошукові операції переорієнтовуються на NoSQL-сховища. Такий підхід дозволяє підтримувати баланс між продуктивністю та узгодженістю даних.

Для прогнозування навантаження та оптимізації ресурсів використовується аналітичний модуль з елементами машинного навчання [5]. Модуль аналізує історичні дані та формує рекомендації щодо перерозподілу запитів.

Експериментальне моделювання показало, що використання запропонованої архітектури дозволяє зменшити середній час відповіді на 20–28 %, підвищити пропускну здатність системи та забезпечити стабільну роботу в умовах пікових навантажень.

Запропонований підхід може бути ефективно застосований у

системах бізнес-аналітики, платформах Інтернету речей, корпоративних сховищах даних, а також у хмарних середовищах.

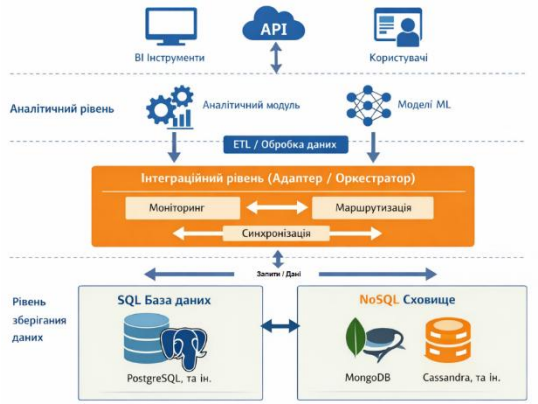


Рисунок 1 – Архітектура гібридної системи

Висновки. У роботі запропоновано адаптивну архітектуру інтеграції SQL та NoSQL баз даних для аналітичних інформаційних систем. Розроблений підхід дозволяє поєднати переваги реляційних і нереляційних технологій, забезпечити високу продуктивність, масштабованість та узгодженість обробки даних.

Використання інтеграційного рівня з елементами інтелектуального управління сприяє оптимізації використання ресурсів та підвищенню ефективності функціонування систем у динамічних умовах. Отримані результати можуть бути використані при створенні сучасних інформаційно-аналітичних платформ.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Kleppmann, M. (2020). *Designing data-intensive applications: The big ideas behind reliable, scalable, and maintainable systems*. O'Reilly Media.

2. Arvindhan, R., Bhavani, K., Archana, S., & Satish, K. (2025). Integration of NoSQL and relational databases for efficient data management in hybrid cloud architectures. *Journal of Machine & Computing, 5*(2), 45–56.

3. Divya, A. R. (2024). Optimizing hybrid cloud database architecture: Integrating SQL Server and MongoDB in Azure environments. *International Journal of Scientific Research in Multidisciplinary Studies, 10*(3), 112–119.

4. Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2023). *Data mining: Concepts and techniques* (4th ed.). Morgan Kaufmann.

5. Zhang, Q., Li, Y., Wang, H., & Chen, X. (2022). Machine learning for database workload optimization. *IEEE Access, 10*, 98765–98778. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3154789

УДК 004.415.6 Ликова В. І.[1], Булаєнко М.В.[2]

ВПЛИВ АВТОМАТИЗОВАНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ МЕТОДІВ ТЕСТУВАННЯ НА ЯКІСТЬ ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ

У світі, де технології вдосконалюються кожен день й зростає складність програмних систем, питання якості програмного забезпечення стає пріоритетним об'єктом уваги. Протягом останніх шести років, значна увага приділяється автоматизованим та інтелектуальним методам тестування, що дозволяють збільшити надійність, стабільність і безпеку програмних продуктів у межах сучасних підходів DevOps (Development та Operations) чи CI/CD (Continuous Integration / Continuous Delivery або Continuous Deployment).

Автоматизоване тестування вимагає використання професійних інструментів для перевірки коректної роботи програмного забезпечення, яке не потребує прямого втручання особи. Його найважливішими перевагами стає неймовірна швидкість виконання тестів, повторюваність результатів і здатність превентивної діагностики технічних збоїв та відхилень. Автоматизація регресійного тестування впливає на зменшення ризику виникнення помилок при оновленні функціоналу, а також на мінімізацію ризиків, стабілізацію високих показників роботи системи. Практичні експерименти доводять, що впровадження автоматизованих тестів призводить до зменшення кількості критичних дефектів у підсумкових версіях й позитивно впливає на якість програмного продукту [1].

Попри високу ефективність автоматизованого тестування, в ньому існують суттєві недоліки. Так особлива увага приділяється проблемі нестабільних (flaky) тестів, які можуть відтворювати різні результати без будь-яких змін у коді. Подібні тести знижують довіру до результатів тестування і ускладнюють процес прийняття рішень щодо релізу. Саме ця проблема спровокувала потужний зріст інтелектуальних методів тестування, заснованих на машинному навчанні й штучному інтелекті [2].

Інтелектуальні методи тестування обирають алгоритми машинного навчання для аналізу історичних даних, журналів помилок та змін у цілому коді для раннього передбачення системних помилок та покращення процесу тестування. Центральний фокус посідає автоматичне виявлення flaky-тестів, яке дозволяє зменшити кількість

[1] Ст. гр ІСтаТ 2022-1 Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[2] К.т.н., доцент Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

некоректних технічних збоїв і збільшити відсоток достовірності тестових результатів. Дослідження 2023–2024 років доводять, що поєднання повторного запуску тестів з ML-моделями (Machine Learning models) відчутно знижує витрати часу та ресурсів зі збереженням ефективності виявлення дефектів [3].

План реалізації розвитку машинного навчання протягом останніх трьох років, передбачає використання великих мовних моделей (LLM-Large Language Models) для автоматичної генерації тестових випадків. Ці сучасні підходи дозволяють швидко генерувати початкові набори тестів й зменшувати навантаження на розробників. Утім результати наукових досліджень акцентують увагу на тому, що кількість згенерованих тестів далеко не завжди відповідає їх реальній ефективності, тому важливим буде застосування додаткових методів оцінювання якості, зокрема mutation testing [4].

Підсумовуючи, автоматизовані та інтелектуальні методи тестування значно впливають на якість програмних продуктів, підвищуючи гарантовану якість, безперебійність і оптимізованість процесів розробки. Однак максимального ефекту можна досягти лише за умови грамотного поєднання класичної автоматизації, інтелектуальних алгоритмів обробки даних та регулярного аналізу результатів тестування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Luo, Q., Poshyvanyk, D., Grechanik, M., et al. (2020). A large-scale longitudinal study of flaky tests. https://doi.org/10.1145/3428270
2. Parry, O., Memon, A., & Mahmoud, M. (2023). Empirically evaluating flaky test detection techniques combining test case rerunning and machine learning models. https://doi.org/10.1007/s10664-023-10307-w
3. Panichella, A., Palomba, F., Scalabrino, S., et al. (2024). Effective test generation using pre-trained large language models and mutation testing. https://doi.org/10.1016/j.infsof.2024.107468
4. Zhang, Y., Li, H., & Chen, X. (2026). DeepFlaky: Deep hybrid representation learning for flaky test prediction. https://doi.org/10.1016/j.infsof.2026.108070

UDC 004

Kosenko M.O.[1], Litvinov A.L.[2]

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR FAKE DETECTION IN SOCIAL MEDIA

In the modern world, social media play a key role in shaping public opinion and disseminating information. However, along with the spread of

[1] student of the M KN 2024-1 group, O.M. Beketov NUUE
[2] professor of CSIT department, O.M. Beketov NUUE, D.E.Sc

the Internet and the growing popularity of these platforms, a serious threat has emerged - fake news. False information can spread quickly, influence political, economic and social processes, and also mislead citizens. This creates a need for effective algorithms for automated systems that could detect and filter such information.

Fake news is considered one of the biggest problems in the modern information space. It negatively affects the perception of reality, undermines trust in official sources, and manipulates public opinion. Traditional methods of detecting false information, such as manual fact-checking, are time-consuming and not always effective in the conditions of rapid data flow in social networks. Algorithmic approaches to the analysis of disinformation are considered by many researchers, particular in [1], [2], who emphasize the importance of understanding the behavioural characteristics of users and studying profiles in social networks. The search for new approaches and methods that will allow for quick and accurate recognition of fake news remains a relevant topic in academic circles.

To effectively detect disinformation, it is first necessary to create a list of keywords and phrases that are most often found in the context of fake news. The list of keywords can be structured according to the following categories:

- Politically sensitive topics: elections, scandals, politicians.
- Conspiracy theories: secret government, conspiracies, flat Earth, chipping.
- Breaking news or sensational news: disasters, terrorism, wars.
- Economic topics: crises, currency manipulation.

Further, keywords can be divided by vocabulary features:

- Emotional phrases: “shock”, “catastrophe”, “danger”, “sensation”.
- Conspiracy terms: “conspiracy”, “mind control”, “chipping”.
- Current events: “breaking news”, “explosion”, “war”.

•Applying filters allows you to analyze content for the presence of certain keywords or phrases. For example:

• Keyword search in news texts: Text analysis to identify specified phrases and check for possible signsfakeness.

• Keyword combinations: Observing the frequency of simultaneous occurrence of certain phrases in texts can be an additional indicator of unreliable information.

The keyword list should be updated based on new trends and current topics on social networks:

• Analysis Trending Topics: Using algorithms to identify popular topics, adding new keywords to match current trends.

• Feedback: Automatic training of the system based on feedback, for example, from the results of manual testing.

Neural networks such as BERT or GPT can be used to analyze the context of keyword usage, which can take into account semantics and content

of the text. This will help to more accurately classify news as true or fake based on context.

At the stage of selecting tools for implementing the system, technologies that provide scalability, integration with social media via API, and the ability to work with large amounts of text data are considered. Ultimately, the data processing algorithm for detecting fake news will consist of a series of sequential stages. The first is document classification and reading, the second is tokenization, the third is document analysis, the fourth stage is for content stemming, and the fifth stage completes the process of identifying the fake news.

Conclusions. Fake news poses a significant threat to modern society, as it is capable of manipulating public opinion and distorting reality. The creation of automated systems for detecting fake news is a necessary step to ensure information security. The study shows that the use of natural language processing (NLP) and machine learning methods is an effective approach to automatic analysis and filtering of content. Neural networks that are able to take into account context are key tools for achieving accuracy and speed in detecting fake news. However, the system requires constant updating of keywords and methods to be relevant in the fast-paced environment of social media.

REFERENCES

1. Allcott, H., & Gentzkow, M. (2017). Social Media and Fake News in the 2016 Election. Journal of Economic Perspectives. 31(2). P. 211-236.

2. Sheikhi, S.(2021). An effective fake news detection method using WOA-xgbTree algorithm and content-based features. Applied Soft Computing.. - Vol. 109, 107559.

УДК 004.42

Шепелев А. В.[1], Стяглик Н. І.[2]

РОЗРОБКА КРОСПЛАТФОРМНОГО ІНТЕГРОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ВИВЧЕННЯ НИЗЬКОРІВНЕВОГО ПРОГРАМУВАННЯ

Сучасна ІТ-освіта характеризується необхідністю глибокого розуміння архітектури ЕОМ та апаратного рівня функціонування обчислювальних систем. В умовах стрімкого розвитку технологій викладачі та студенти часто стикаються з проблемами організації робочого простору через значну різноманітність операційних систем

[1] Студент, Харківський національний університет ім. Каразіна, «Каразінський банківський інститут»

2 к.п.н, доцент кафедри інформаційних технологій та математичного моделювання

(macOS, Linux, Windows). Тому актуальним є впровадження сучасних програмних інструментів, які сприяють зручній організації навчального процесу, легкій компіляції та наочній візуалізації процесів, що відбуваються у пам'яті комп'ютера. Використання таких інструментів дозволяє не лише полегшити перші кроки у вивченні асемблера, а й вчасно ідентифікувати помилки у коді завдяки зручному інтерфейсу.

Метою цієї роботи є обґрунтування та розробка концепції кросплатформного застосунку, який інтегрує можливості редактора коду, засобу збірки та інтерактивних інструментів відладки.

Почнемо з огляду існуючих рішень. На сучасному етапі вивчення низькорівневого програмування класичним інструментарієм залишається використання емуляторів на кшталт DOSBox у поєднанні з трансляторами типу TASM або MASM. Більшість з них орієнтується на застарілі архітектури, що включають роботу виключно через інтерфейс командного рядка; необхідність ручного монтування директорій; акцент на консольному виведенні інформації без графічної підтримки. Проте, багато існуючих рішень не забезпечують достатньо зручну візуалізацію процесів на сучасних ОС, часто обмежені складністю початкового налаштування середовища, і не завжди підходять для сучасних студентів, які прагнуть інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу для глибокого аналізу роботи мікропроцесора.

Спробуємо обгрунтувати потребу саме універсального технологічного рішення з урахуванням кросплатформності. Ефективне навчання вимагає інтеграції надійних компіляторів та сучасних фреймворків. Поєднання можливостей фреймворку Avalonia UI для забезпечення нативного інтерфейсу на різних платформах, потужності базового компілятора NASM (The Netwide Assembler) з підтримкою багатьох форматів об'єктних файлів та архітектурного підходу (безпосередня взаємодія GUI з низькорівневими системними викликами) створює підґрунтя для формування інноваційного освітнього рішення. Така система забезпечує користувачу не лише можливість написання коду, але й надає потужний інструмент моніторингу, що сприяє усвідомленому вивченню архітектури. Завдяки цьому студент отримує інструмент, який поєднує редагування, компіляцію та візуалізацію, забезпечуючи прийняття обґрунтованих рішень при тестуванні програмного коду.

З метою вирішення поставленої проблеми спробуємо окреслити концепцію програмного застосунку. Розроблюваний застосунок реалізується як десктопне рішення з акцентом на кросплатформність. Основна ідея полягає у створенні інструменту, який дозволяє користувачу у реальному часі:

- відображати значення регістрів CPU (RAX, RBX, RCX та інших) у зручному форматі;

- динамічно відстежувати зміни у стеку під час виконання програми;
- переглядати сегменти даних та пам'ять у режимі Hex-view.

Застосунок не має бути складним у конфігурації, тому в ньому реалізована функція швидкої збірки та запуску («One-click build»), що забезпечить його гнучкість і дозволить здобувачам зосередитися на коді.

З огляду на потреби цільової аудиторії, у такому застосунку має бути реалізовано:

- інструменти для інтерактивного моніторингу стану системи;
- методи зручної та швидкої трансляції вихідного коду;
- персоналізовану візуалізацію результатів виконання асемблерних інструкцій;
- можливості уніфікації лабораторних робіт незалежно від технічного забезпечення.

Таким чином, користувач отримає інструмент, що забезпечує не лише зручне середовище для розробки, а й формування усвідомленого підходу до вивчення апаратного забезпечення та оптимізації програмних рішень.

Спрогнозуємо очікуваний ефект. Впровадження такого застосунку дозволить:

- покращити досвід навчання (User Experience) для студентів;
- використовувати єдиний інструментарій на лабораторних роботах для всіх ОС;
- зменшити кількість часу, що витрачається на технічне налаштування середовища;
- надати викладачу інструмент для зручного контролю та перевірки практичних навичок студентів.

Запропоновану систему можна реалізувати в різних форматах та адаптувати під потреби навчальних закладів. По-перше, вона здатна ефективно функціонувати як у режимі самостійного опрацювання матеріалу, так і в комп'ютерних класах університету. По-друге, перспективним напрямком є розширення функціоналу: додавання інтерактивного покрокового дебагеру для ще більш детального аналізу роботи програм. По-третє, система має високий потенціал до модифікації й подальшого вдосконалення відповідно до розвитку навчальних програм та змін у стандартах низькорівневого програмування.

Підсумуємо вищезазначене. Концепція програмного застосунку для вивчення архітектури ЕОМ поєднує редактор коду, засіб збірки та інтерактивні панелі моніторингу пам'яті й регістрів. Такий підхід відповідає сучасним вимогам до ефективної організації освітнього процесу та має перспективи розвитку. Основна цінність системи полягає у її кросплатформності, практичній спрямованості та можливості

подальшої еволюції. Результатом роботи є працездатний прототип IDE, який успішно виконує роль сучасної освітньої платформи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. NASM Project. (n.d.). *NASM documentation*. https://www.nasm.us/docs.html
2. Avalonia UI. (n.d.). *Avalonia documentation*. https://docs.avaloniaui.net/
3. Intel Corporation. (n.d.). *Intel® 64 and IA-32 architectures software developer manuals*. https://www.intel.com/content/www/us/en/developer/articles/technical/intel-sdm.html
4. Patterson, D. A., & Hennessy, J. L. (2017). *Computer organization and design: The hardware/software interface*. Morgan Kaufmann. https://shuyuej.com/books/Computer%20Organization%20and%20Design-%20The%20Hardware%3ASoftware%20Interface.pdf

УДК004.7

Семенюк М. В[1],Станіна О.Д.[2]

РОЗРОБКА ІНДИВІДУАЛЬНОГО POMODORO-ДОДАТКУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЧАСУ І ПРОДУКТИВНОСТІ

В сучасному світі все більшої актуальності набуває питання ефективного керування власним часом. Існує багато методів тайм-менеджменту, які допомагають організувати робочий процес, проте вони не завжди дозволяють користувачеві адаптувати планування під власні потреби. Одним із таких методів є Pomodoro, запропонований ФранческоЧирілло [1]. Основна його ідея полягає у чергуванні роботи та перерв у певному співвідношенні, що допомагає підтримувати концентрацію окремої людини або всієї команди на високому рівні.

Незважаючи на популярність методу та наявність великої кількості додатків, що його використовують, більшість застосунків для планування дня (Todoist, Microsoft ToDo, Any.do, Trello тощо) мають обмеження, зокрема обмежену персоналізацію, відсутність гнучкої системи пріоритетів і недостатню аналітику, що ускладнює їх практичне використання. Зі збільшенням обсягів інформації та багатозадачності зростає потреба в інструментах, які допомагають структурувати робочий час і зменшувати перевантаження користувача. Тому доцільною є розробка персоналізованого додатку, який дозволяє адаптувати метод Pomodoro та поточні задачі під індивідуальні потреби.Метод Pomodoro дозволяє підвищити продуктивність за

[1] студентгрупи124-22-1,НТУ«Дніпровська політехніка»
[2] доцент кафедри САіУ, НТУ «Дніпровська політехніка», к. т. н.

рахунок чіткого чергування робочих інтервалів і перерв. Це допомагає уникати перевантаження уваги, підтримувати концентрацію та мотивацію протягом дня. Багато досліджень показують, що регулярне використання такого підходу знижує рівень стресу та покращує організацію власного часу.

Тому доцільною є розробка персоналізованого додатку, який дозволяє адаптувати метод Pomodoro та поточні задачі під індивідуальні потреби користувача. Метою роботи є розробка додатку, який дозволяє планувати завдання та часові блоки, відстежувати й аналізувати прогрес, а також налаштовувати систему відповідно до індивідуальних потреб.

Серверна частина реалізована на базі NestJS із використанням Express як HTTP-платформи, що забезпечує модульність, спрощує тестування та дозволяє легко розширювати систему та підтримувати код. Для зберігання даних використано реляційну базу PostgreSQL із доступом через Prisma ORM. Використання ORM спрощує роботу з даними, автоматично генерує типи, зменшує ризик помилок при запитах до бази та підвищує надійність обробки інформації.

Авторизація виконується через JWT-токени доступу та оновлення, що забезпечує безпечне керування сесіями користувачів. Паролі хешуються і зберігаються за допомогою бібліотеки Argon2, яка є сучасним стандартом захисту облікових даних. Архітектура додатку побудована за принципом розподілу відповідальностей, що дозволяє масштабувати систему та додавати нові функції без порушення існуючої логіки.

Для обробки даних і їх валідації використано бібліотеки class-validator і class-transformer, які перевіряють коректність типів даних і автоматично перетворюють їх у відповідні об’єкти. Для роботи з датами та часовими інтервалами застосовується бібліотека date-fns, яка забезпечує точні та зручні операції з часовими значеннями.

Основні сутності додатку: User - користувач із налаштуваннями інтервалів роботи та перерв; Pomodoro_session - сесія Pomodoro, що складається з раундів роботи та перерв; Task - завдання користувача з назвою, пріоритетом і статусом виконання; Time_block - часовий блок, який задає користувач.

Центральне місце в логіці роботи програми займає користувач. Після авторизації він отримує доступ до власних задач, часових блоків і сесій. Під час запуску сесії система формує раунди відповідно до налаштувань користувача, встановлює інтервали роботи та перерв, а виконання кожного раунду фіксується в базі даних. Користувач може позначати завдання як виконані, впорядковувати їх за пріоритетом і формувати розклад дня. Такий підхід забезпечує послідовність процесів планування, виконання та контролю результатів.

Додаток дозволяє створювати сесії та відстежувати раунди,

планувати завдання і визначати для них пріоритети, налаштовувати персональні інтервали роботи та перерв, а також гарантує безпеку даних. У подальшому планується розширення додатку за рахунок детальної статистики, аналітики та реалізації можливості командної роботи зі спільним доступом до завдань і часових блоків.

Висновки. Розроблений додаток дозволяє ефективно керувати персональним часом: планувати завдання та часові блоки, відстежувати прогрес і налаштовувати систему відповідно до власних потреб, з перспективою подальшого розширення функціоналу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 Cirillo, F. (2018). *ThePomodoroTechnique: Theacclaimedtime-managementsystemthathastransformedhowwework*. CrownCurrenc.

УДК 004.738.5

Жувако В. Г.[1], Булаєнко М.В. [2]

ПРОГРЕСИВНІ ВЕБ-ДОДАТКИ ЯК НАПРЯМ РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ ВЕБ-ТЕХНОЛОГІЙ

В умовах стрімкого зростання мобільного трафіку, який у другій чверті 2025 року становив понад 62% глобального веб-трафіку (рис. 1) [1], користувачі дедалі більше очікують від веб-додатків швидкості, зручності та «нативного» досвіду, подібного до мобільних аплікацій. Традиційні веб-сайти, хоча й доступні без встановлення, часто обмежені залежністю від інтернет-з'єднання, тоді як мобільні додатки, попри повну функціональність, потребують завантаження з магазинів та займають місце на пристрої.

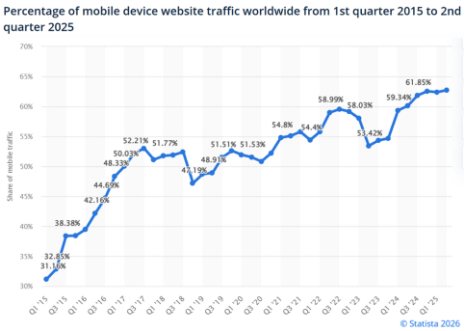


Рисунок 1 – Динаміка зростання мобільного інтернет-трафіку

[1] Студентка групи КН 2022-1 Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[2] Доцент кафедри КНтаІТ, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, к. т. н., доцент

Концепція прогресивних веб-додатків (Progressive Web Apps, PWA) була запропонована компанією Google у 2015 році як рішення цієї дилеми. Мета роботи – проаналізувати концепцію PWA, їх переваги, основні характеристики, перспективи застосування та особливості забезпечення якості у сучасній веб-розробці.

Традиційні веб-додатки працюють безпосередньо у браузері, не потребують встановлення та легко поширюються через посилання, що робить їх універсальними. Проте вони залежать від стабільного інтернет-з'єднання, що обмежує їх використання в умовах слабкого сигналу. Натомість нативні мобільні додатки встановлюються через App Store чи Google Play, мають доступ до апаратних ресурсів пристрою (камера, GPS, push-сповіщення) та можуть працювати офлайн. Водночас їх розробка пов'язана з високою вартістю, фрагментацією платформ (iOS, Android) та потребою регулярного оновлення через схвалення магазинів.

PWA долають ці обмеження, поєднуючи найкраще з обох підходів. Вони побудовані на стандартних веб-технологіях (HTML, CSS, JavaScript), але використовують механізми прогресивного покращення функціональності [2]. Основні характеристики PWA включають:

- Адаптивність (responsive design) – додаток підлаштовується під різні розміри екранів;
- Можливість встановлення – через Web App Manifest, що містить метадані та іконки;
- Підтримку офлайн-режиму – завдяки механізмам кешування та фонового оброблення запитів (Service Worker);
- Push-сповіщення для повторного залучення користувачів;
- Безпечне підключення через HTTPS.

Однією з ключових технологій PWA є Service Worker – фоновий скрипт, що виступає посередником між браузером і мережею. Він перехоплює запити та визначає, чи отримувати дані з інтернету, чи використовувати збережені ресурси (кеш). Завдяки цьому забезпечується швидке завантаження контенту та можливість роботи в офлайн-режимі (рис. 2).

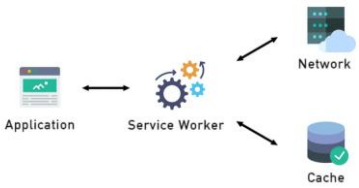


Рисунок 2 – Архітектурна модель роботи PWA

Розглянемо практичні приклади, які демонструють ефективність PWA. Компанія Starbucks впровадила PWA для системи замовлень, що дозволило користувачам переглядати меню офлайн, що підвищило активність у 2 рази [3]. Twitter Lite, реалізований у форматі PWA, дозволив зменшити споживання даних і підвищити рівень залученості користувачів. Uber застосував PWA для швидкого бронювання поїздок у регіонах з низькою швидкістю мережі, забезпечуючи завантаження сторінок менш ніж за кілька секунд навіть на повільних з'єднаннях [4].

Однак, впровадження PWA вимагає належного тестування для забезпечення високої якості. Це стосується коректності кешування ресурсів; роботи офлайн; адаптивності на різних пристроях (смартфони, планшети, десктопи); продуктивності та швидкості завантаження.

Автоматизовані аудити в браузерах, зокрема інструмент Lighthouse від Google, дозволяють оцінити відповідність PWA стандартам: перевірку можливості встановлення, офлайн-функціональності та продуктивності [5]. Варто зазначити, що тестування PWA не замінює класичні методи забезпечення якості (unit-тести, A/B-тести), а доповнює їх, адаптуючи під веб-контекст.

Отже, переваги PWA очевидні як для бізнесу, так і для користувачів. Компанії отримують економію ресурсів завдяки єдиній кодовій базі для веб та мобільних платформ, швидке виведення продукту на ринок та покращену SEO-оптимізацію. Користувачі – швидке завантаження, економію пам'яті пристрою та зручність без встановлення повноцінного додатку. Розвиток браузерних API та підтримка мобільними платформами роблять PWA перспективним напрямом веб-розробки.

Таким чином, прогресивні веб-додатки є логічним етапом розвитку веб-технологій, що поєднують переваги традиційних веб-сайтів (доступність, кросплатформенність) та мобільних додатків (офлайн, можливість встановлення, push-сповіщення). Вони підвищують доступність цифрових сервісів і потребують належного тестування для забезпечення якості.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Statista. (2025). *Global mobile traffic 2025*. https://www.statista.com/statistics/277125/share-of-website-traffic-coming-from-mobile-devices/

2. Mozilla Developer Network. (2025). *Progressive web apps*. https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/Progressive_web_apps

3. Ilaria Academy. (2025). *How Starbucks brewed success with its progressive web app*. https://www.ilaria-academy.com/en/how-starbucks-brewed-success-with-its-progressive-web-app

4. Adobe for Business. (2023). *Examples of progressive web apps (PWAs) done right*. https://business.adobe.com/blog/basics/progressive-web-app-examples

5. Google Chrome for Developers. (2025). *Lighthouse*. https://developer.chrome.com/docs/lighthouse
6. Memiş, R. (2022). *The power of service workers!*. Medium. https://medium.com/@resatDev/the-power-of-service-workers-3ff974ddf3de

УДК 004.4

Венжега О. Є., [1]Черкасова В. В.[2]

АВТОМАТИЗОВАНА ПЛАТФОРМА СТВОРЕННЯ КВЕСТІВ: ІНТЕГРАЦІЯ TELEGRAM-БОТА ТА АНАЛІТИЧНОЇ ВЕБПАНЕЛІ

Сучасні цифрові сервіси активно застосовують гейміфікацію для підвищення залученості користувачів, мотивації до виконання щоденних корисних активностей та створення інтерактивного досвіду. Популярність челенджів, фітнес-завдань та мікроквестів свідчить про зростання попиту на системи, здатні автоматично генерувати персоналізовані завдання, що відповідають рівню підготовки, інтересам та цілям користувача.

Теоретичним підґрунтям роботи є сучасні дослідження гейміфікації та адаптивних систем. I. Alomari та співавтори [1] підтвердили ефективність гейміфікації для зміни поведінки й підвищення залученості. M. Denden і M. Abed [2] встановили зв'язок між ігровими елементами, сприйнятою корисністю та результатами навчання. C. P. Sierra, E. A. Cutipa та L. Wong [3] обґрунтували фреймворк персоналізованого навчання на основі гейміфікації. Ці результати формують основу для розроблення системи генерації персоналізованих квестів.

Запропонована система включає три ключові компоненти:

1. *генератор квестів* – модуль, який формує завдання на основі рівня складності, категорії, уподобань та попередньої активності користувача.
2. *Telegram-бот* – основний канал взаємодії, що забезпечує вибір режиму, отримання квесту, підтвердження виконання, відстеження прогресу та надсилання нагадувань.
3. *адміністративна вебпанель* – інструмент для керування контентом (створення, редагування завдань, категорій, рівнів складності) та аналізу активності користувачів.

На рисунку 1 представлено чотирирівневу архітектуру системи, що забезпечує розподіл відповідальностей між компонентами, масштабованість та зручність подальшої підтримки. Клієнтський рівень

[1] студентка групи КН 2022-1, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
[2] асистент кафедри КНтаІТ, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова

об’єднує Telegram-бот як основний інструмент взаємодії з користувачами та вебінтерфейс адміністратора для керування контентом. Рівень API та прикладної логіки містить центральний RESTful API, який здійснює маршрутизацію запитів, виклик модулів бізнес-логіки та координацію взаємодії між компонентами системи. Рівень сервісів включає модулі генерації квестів, керування контентом і аналітики, що реалізують основну функціональність персоналізації. Рівень бази даних забезпечує зберігання інформації про користувачів, квести, категорії, історію виконання та поведінкові показники.

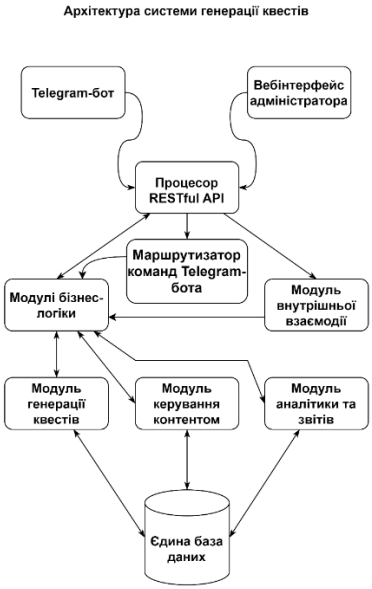


Рисунок 1 – Архітектура системи генерації персоналізованих квестів

Для формалізації процесів генерації та персоналізації квестів запропоновано кортежне подання системи:

$$S = \langle U, Q, C, D, H, F, G \rangle,$$

де:

- U – множина користувачів; кожен користувач описується набором характеристик: *ідентифікатор, рівень складності, уподобання (категорії), показник активності*;
- Q – множина квестів; кожен квест містить: *опис, категорію, рівень складності, поточний статус*;
- C – множина категорій *(наприклад: фітнес, освіта, саморозвиток);*
- D – множина рівнів складності *(наприклад: легкий, середній, складний);*

- H – історія виконання квестів, яка фіксує, який користувач який квест виконав і з яким результатом;
- F – функція адаптації, яка на основі даних про користувача та його попередні виконання визначає оптимальний рівень складності для наступного завдання;
- G – функція генерації квесту, яка створює або обирає нове завдання відповідно до параметрів користувача.

У процесі аналізу предметної області було визначено ключові виклики, зокрема: забезпечення балансу складності завдань, підтримка різноманітних режимів взаємодії, стабільна інтеграція бота з серверною частиною та реалізація механізмів реактивної персоналізації.

Розроблювана система може бути адаптована для вирішення соціальних завдань післявоєнної відбудови України: психологічної реабілітації військових і цивільних, мотивації до волонтерства, освітніх челенджів для молоді, перекваліфікації ВПО та ветеранів. Інтеграція з Telegram-ботом забезпечує доступність технології для широких верств населення без потреби у складному програмному забезпеченні, що критично в умовах обмежених ресурсів.

Висновки У роботі сформовано концептуальну та формалізовану модель системи генерації й персоналізації квестів із використанням Telegram-бота та вебпанелі керування. Запропонована архітектура забезпечує адаптивність завдань, гнучкість взаємодії та можливість масштабування системи.

Отримані результати підтверджують доцільність поєднання механізмів гейміфікації з чат-бот-інтерфейсами для підвищення мотивації користувачів. Подальші дослідження передбачають реалізацію програмного прототипу та експериментальну перевірку ефективності адаптивної моделі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Alomari, I., Alomari, A., & Alomari, A. K. (2022). The effects of gamification on behavioral change: A meta-analysis. *Computers in Human Behavior, 132*, 107197. https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107197

2. Denden, M., & Abed, M. (2024). Assessing the relationship between perceived usefulness, game elements and learning performance in a gamified learning environment. In *2024 IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)* (pp. 55–59). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICALT61570.2024.00023

3. Sierra, C. P., Cutipa, E. A., & Wong, L. (2024). Framework for enhancing customer service advisor training through gamification. In *2024 14th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence)* (pp. 65–72). IEEE. https://doi.org/10.1109/Confluence60223.2024.10463275

УДК 004.89
Гетманова Л. С.[1], Воєводіна М. Ю. [2]

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА АРХІТЕКТУРИ ВЕБ-ЗАСТОСУНКІВ НА БАЗІ REACT + VITE: ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ МІКРОФРОНТЕНД-РІШЕНЬ

Сучасна індустрія веб-розробки характеризується постійним ускладненням архітектурних рішень та стрімким зростанням обсягів вихідного коду, що висуває нові вимоги до інструментів збірки та розгортання проєктів. Традиційні підходи, що базуються на використанні бандлерів попереднього покоління, зокрема Webpack, на етапі масштабування стикаються з критичною проблемою деградації продуктивності. Це проявляється у значному збільшенні часу очікування при запуску локального сервера розробки та виконанні операцій гарячої заміни модулів, оскільки такі інструменти змушені опрацьовувати весь граф залежностей перед відображенням змін у браузері. Актуальність дослідження переходу на стек React + Vite зумовлена необхідністю подолання цих бар'єрів шляхом впровадження нових парадигм обробки модулів.

Основний технологічний зсув, який пропонує Vite, полягає у відмові від попередньої збірки всього проєкту на етапі розробки на користь використання нативних ESM-модулів браузера. У такій моделі браузер бере на себе частину функцій бандлера, завантажуючи лише необхідні частини коду за запитом. Для оптимізації роботи з великою кількістю зовнішніх залежностей використовується інструмент esbuild, написаний мовою Go, що забезпечує швидкість попереднього групування модулів у десятки разів вищу порівняно з рішеннями на базі JavaScript. Це дозволяє зробити старт проєкту майже миттєвим, незалежно від загальної кількості компонентів у системі. Поряд із цим, синергія Vite з бібліотекою React забезпечує вдосконалений механізм Fast Refresh, який гарантує стабільність внутрішнього стану компонентів при внесенні змін у код, що позитивно впливає на загальну ефективність робочого процесу розробника.

Важливим аспектом оптимізації є також впровадження архітектури мікрофронтендів, яка дозволяє розділити монолітний застосунок на автономні модулі. Використання технології Module Federation у середовищі Vite дає змогу різним командам незалежно розробляти та розгортати окремі частини інтерфейсу, зберігаючи при цьому можливість спільного використання базових залежностей, таких як бібліотека React. Це мінімізує обсяг мережевого трафіку для кінцевого користувача та спрощує підтримку великих екосистем. Динамічне завантаження віддалених модулів під час виконання

[1] Студентка групи КН 2025-1, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
[2] Ст. викл. кафедри КН та ІТ, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова

програми стає більш гнучким завдяки плагінам федерації, які підтримують сучасні стандарти ESM та дозволяють уникнути дублювання коду в різних частинах застосунку.

Результати проведеного аналізу свідчать про те, що перехід на архітектуру React + Vite дозволяє скоротити час холодного старту сервера розробки з декількох хвилин до лічених секунд, а час гарячого оновлення модулів стає практично незалежним від розміру кодової бази. Окрім покращення досвіду розробника, такий підхід забезпечує кращі показники Core Web Vitals для кінцевого продукту завдяки ефективному розділенню коду та вбудованим механізмам оптимізації активів.

Висновки. Таким чином, поєднання сучасних інструментів збірки з мікрофронтендним підходом є оптимальним рішенням для створення масштабованих веб-систем, що відповідають сучасним вимогам ринку щодо швидкості, стабільності та гнучкості архітектури.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Vite. (n.d.). Vite: Next generation frontend tooling. https://vitejs.dev/
2. React. (n.d.). React: The library for web and native user interfaces. https://react.dev/
3. Originjs. (n.d.). vite-plugin-federation. GitHub. https://github.com/originjs/vite-plugin-federation
4. Geers, M. (2020). Micro frontends in action. Manning Publications.
5. TC39. (n.d.). ECMAScript® 2026 language specification. https://tc39.es/ecma262/
6. Webpack. (n.d.). Module federation. https://webpack.js.org/concepts/module-federation/

УДК 004.9

Фуркало Д.Ю.[1], Петрівський В.Я. [2]

КРОСПЛАТФОРМНА РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ: ТЕХНОЛОГІЇ, АРХІТЕКТУРА ТА ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ

Умови функціонування сучасних інформаційних систем характеризуються гетерогенністю апаратних платформ та операційних середовищ. Наявність декількох домінуючих мобільних і настільних операційних систем зумовлює необхідність створення програмних

[1] Студент групи ІПЗ-31, Факультет інформаційних технологій, Київський національний університет
[2] PhD Асистент кафедри програмних систем і технологій Факультет інформаційних технологій, Київський національний університет

продуктів, здатних забезпечувати однакову функціональність у різних середовищах виконання. У цьому контексті кросплатформна розробка виступає як інженерний підхід, спрямований на мінімізацію дублювання коду та зниження витрат на підтримку програмного продукту.

Практичні дослідження показують, що у типовому кросплатформному проєкті частка спільної бізнес-логіки може становити 70-90 % від загального обсягу коду, тоді як платформозалежні компоненти зосереджуються переважно у шарі представлення та інтеграції з апаратними ресурсами[1]. Це зумовлює необхідність чіткого архітектурного розмежування між рівнями системи. Найбільш ефективними виявляються багатошарові архітектури, що передбачають ізоляцію доменної логіки від інфраструктурних залежностей, а також використання принципів інверсії залежностей і модульності.

Процес вибору кросплатформного фреймворка слід здійснювати на основі систематизованого аналізу функціональних вимог та наявних ресурсів команди розробників. Основними критеріями є: призначення програмного продукту, зокрема вимоги до якості графічного інтерфейсу, складності анімацій та інтерактивних елементів; компетенції розробників, включно з володінням мовами C#, JavaScript, Dart, Kotlin; необхідність прямого доступу до нативних API операційної системи для роботи з периферійними пристроями або високопродуктивними обчисленнями.

У межах цих критеріїв технологія Flutter є найбільш придатною для реалізації графічно насичених інтерфейсів із високою уніфікацією відображення на різних мобільних платформах, оскільки фреймворк використовує власний механізм рендерингу (Impeller), що зменшує затримки та «стрибки» кадрів під час анімацій [2].

React Native забезпечує швидку розробку прототипів та ефективне повторне використання веб-компетенцій команд, що володіють React, завдяки взаємодії JavaScript із нативними компонентами через проміжний шар. Однак у випадках інтенсивної графічної обробки можлива деградація продуктивності без застосування нативних модулів [3].

.NET MAUI рекомендується для команд, орієнтованих на екосистему Microsoft та корпоративні рішення, що передбачають одночасну підтримку мобільних і настільних платформ. Фреймворк забезпечує прямий доступ до нативних API та інтеграцію з існуючими корпоративними сервісами [4].

Для настільних застосунків порівняльний аналіз показує компроміс між Electron і Tauri. Electron забезпечує стабільність виконання та повну підтримку Node.js API, проте характеризується значним обсягом дистрибутива та підвищеним споживанням оперативної пам’яті. Tauri, у свою чергу, використовує системний

WebView, що дозволяє зменшити розмір бінарних файлів і оптимізувати використання ресурсів, однак потребує додаткового тестування сумісності на різних платформах [5].

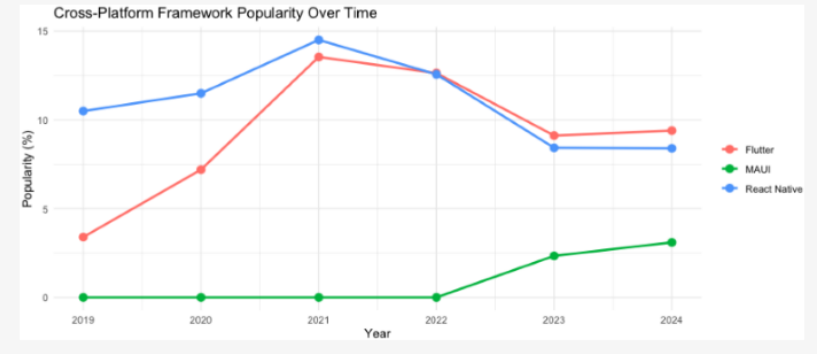


Рис 1 - Популярність кросплатформних фреймворків серед розробників

Для інтеграції клієнтської частини з бекендом доцільно застосовувати API на основі REST або GraphQL, залежно від вимог до гнучкості запитів і механізмів кешування. Важливим аспектом є впровадження версіювання API та проведення контрактного тестування, що забезпечує стабільність і передбачуваність взаємодії між компонентами системи [6]. У застосунках із нестабільним підключенням до мережі рекомендується застосовувати офлайн-перший підхід із наступною синхронізацією даних, для чого можуть використовуватися алгоритми CRDT або Operational Transformation, а у разі серверної централізації - точки злиття на сервері. Розгортання бекендових сервісів у контейнерах за допомогою Docker з керуванням масштабуванням через Kubernetes дозволяє забезпечити гнучкість і надійність системи. Для складних міжмікросервісних інтеграцій доцільно використовувати service mesh, наприклад Istio, що забезпечує контроль трафіку, безпеку та стабільність комунікацій. Вбудоване логування та Application Performance Monitoring (APM) з використанням платформ типу Sentry, Datadog або Firebase Crashlytics дозволяє відстежувати час запуску, використання пам’яті, UI-freezes та показники помилок, що сприяє пріоритетизації оптимізацій і оперативному реагуванню на регресійні проблеми.

Висновки. Сучасні інформаційні системи функціонують у гетерогенних апаратних і програмних середовищах, що зумовлює необхідність кросплатформної розробки для забезпечення однакової функціональності на різних платформах. Такий підхід дозволяє зменшити дублювання коду та знизити витрати на підтримку, оскільки більшість бізнес-логіки може залишатися спільною для всіх платформ.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ
1. Alqahtani, A., et al. (2022). Evaluating cross-platform development approaches: Code reuse, performance and maintainability. *Journal of Systems and Software*.
2. Google. (2023). *Flutter: Build apps for any screen*. Flutter Documentation.
3. Meta Platforms Inc. (2023). *React Native: Learn once, write anywhere*. React Native Documentation.
4. Microsoft. (2024). *Introduction to .NET MAUI*. Microsoft Learn.
5. Electron Foundation, & Tauri Programme. (2023). *Comparative analysis of desktop frameworks*. Electron & Tauri Documentation.
6. Jošt, G., & Taneski, V. (2025). State-of-the-art cross-platform mobile application development frameworks: A comparative study of market and developer trends. *Informatics, 12*(2), 45.

УДК 004.415.2

Баширов Е. Т.[1] , Булаєнко М.В. [2]

АРХІТЕКТУРНІ ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ ВІДМОВОСТІЙКОСТІ СУЧАСНИХ ВЕБ-САЙТІВ

Відмовостійкість веб-сайтів забезпечується не інструментами, а архітектурними рішеннями, закладеними на етапі проєктування системи. У дослідженнях, присвячених підвищенню надійності інтернет-сервісів, визначено ключові механізми забезпечення стійкості: резервування компонентів, діагностика стану системи, реконфігурація та автоматичне відновлення після відмов [1]. Реалізація цих механізмів у веб-архітектурі дозволяє мінімізувати простої та локалізувати збої.

Резервування є базовим підходом. На практиці воно реалізується через дублювання серверів застосунків, балансування між кількома екземплярами веб-сервера та реплікацію баз даних. При використанні активного або активного-пасивного режиму вузли можуть автоматично підхоплювати обробку запитів у разі відмови основного сервера. Реплікація даних дозволяє зберігати актуальні копії на декількох вузлах, що знижує ризик втрати даних і забезпечує безперервність роботи сервісу [1].

Архітектурним рішенням є впровадження віртуалізації мережевих функцій (Network Functions Virtualization) та програмно-конфігурованих мереж (Software-Defined Networking). Згідно з дослідженням ефективності NFV, перенесення мережевих функцій у віртуальне середовище дозволяє ізолювати сервіси від фізичного

[1] Студент групи ІСтаТ 2022-1, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова
[2] Доцент кафедри КНтаІТ, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, к.т.н.,доцент

обладнання та гнучко перерозподіляти ресурси між вузлами [2]. У разі відмови одного фізичного сервера віртуальні функції можуть бути розгорнуті на іншому хості без зупинки всієї системи. Це зменшує залежність від конкретного обладнання та підвищує загальну стійкість веб-інфраструктури.

Перехід до мікросервісної архітектури є ще одним суттєвим фактором підвищення відмовостійкості. У середовищі Amazon Web Services мікросервіси розгортаються як окремі незалежні компоненти, що взаємодіють через API. Така структура дозволяє обмежити вплив відмови одного сервісу лише його функціональною областю. Наприклад, при використанні API Gateway маршрутизація запитів здійснюється централізовано, а окремі функції можуть виконуватися через Lambda без прив'язки до постійного сервера. DynamoDB забезпечує розподілене зберігання даних із високою доступністю. Додатково застосовується автоматичне масштабування та балансування навантаження, що дозволяє системі адаптуватися до змін інтенсивності трафіку [3].

Балансування навантаження є критичним для високонавантажених веб-сайтів. Розподіл HTTP-запитів між кількома екземплярами сервісу запобігає перевантаженню окремого вузла. У випадку виходу з ладу одного сервера балансувальник виключає його з пулу, перенаправляючи запити на працездатні вузли. Це забезпечує безперервність доступу до веб-сайту навіть під час часткових відмов.

Централізований моніторинг та дистанційне адміністрування також впливають на рівень відмовостійкості. У роботі, присвяченій проєктуванню віддалених мережевих середовищ, показано, що застосування SSH та web-інтерфейсів управління дозволяє оперативно контролювати стан вузлів та виконувати конфігураційні зміни без фізичного доступу до обладнання [4]. Це скорочує час реакції на інциденти та зменшує тривалість простою.

Таким чином, підвищення відмовостійкості сучасних веб-сайтів досягається через поєднання конкретних архітектурних механізмів: резервування серверів і даних, реплікацію, балансування навантаження, використання NFV/SDN, мікросервісну декомпозицію та автоматичне масштабування в хмарному середовищі. Саме інтеграція цих технічних рішень забезпечує стабільність роботи веб-ресурсів у розподілених інформаційних системах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Яскевич, В. О., & Клочко, О. Ю. (2019). Методи підвищення відмовостійкості інтернет сервісів. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка, 3*(3). https://doi.org/10.28925/2663-4023.2019.3.104111

2. Думітрак, В. В. (2020). *Методи та засоби підвищення ефективності впровадження віртуалізації мережевих функцій в сучасних мережевих інфраструктурах* [Магістерська робота,

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя]. http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/31765

3. Ткаченко, О. В. (2025). *Метод забезпечення відмовостійкості мікросервісів у AWS* [Кваліфікаційна робота, Харківський національний університет радіоелектроніки]. https://openarchive.nure.ua/handle/document/32738

4. Перепелиця, Б. В. (2021). *Інформаційна технологія проєктування віддаленої телеком-лабораторії для побудови комп'ютерних мереж* [Магістерська робота, Сумський державний університет]. https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/86716

УДК 004.4:621.9.06

Воронько В.О.[1], Білецький І.В. [2]

ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПРОГРАМУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ НАМОТУВАННЯ НА ОБЛАДНАННІ З ЧПК

Сучасне виробництво волокнисто-армованих виробів (FRP - fiber-reinforced plastic) широко застосовує технологію намотування для виготовлення труб, балонів високого тиску, резервуарів та інших виробів складної геометрії. Процес намотування потребує точного керування рухом виконавчих механізмів, що забезпечується обладнанням з числовим програмним керуванням (ЧПК). Якість готового виробу значною мірою залежить від правильно сформованої керуючої програми, яка визначає траєкторію руху, кут намотування, швидкість подачі та інші технологічні параметри. Розвиток методів моделювання траєкторій, удосконалення систем керування та впровадження сучасних підходів до програмування обладнання з ЧПК є важливим напрямом підвищення ефективності та якості процесів намотування FRP виробів.

Незважаючи на широке застосування технологій намотування у промисловості, питання вдосконалення кінематики обладнання, систем керування та моделей формування траєкторій намотування залишаються актуальними [1, 2, 3]. Підвищення точності руху виконавчих механізмів та оптимізація алгоритмів керування безпосередньо впливають на якість виготовлення FRP виробів.

Важливим аспектом забезпечення якості намотування трубчастих елементів конструкцій є рівномірність заповнення об'єму стінки волокном без пропусків і перехльостів [4]. Оскільки порушення структури армування призводить до локального зниження міцності та експлуатаційної надійності виробу, то формування раціональної

[1] Аспірант, ХНУМГ імені О.М. Бекетова

[2] Професор кафедри АКІТ, ХНУМГ імені О.М. Бекетова, д. е. н., професор

траєкторії укладання волокна є одним із ключових завдань при програмуванні операцій намотування.

Існують різні технології виготовлення волоконне-армованих труб. Зокрема, технологія безперервного намотування (fiberglass pipeline continuous filament winding) дозволяє виготовляти труби практично необмеженої довжини, однак реалізує переважно косошарову поздовжньо-поперечну схему укладання волокна [5]. Вибір технології визначається конструктивними вимогами до виробу та умовами його експлуатації.

Якість готового виробу значною мірою залежить від правильно сформованої керуючої програми. Традиційне програмування операцій намотування є складним і потребує високої кваліфікації технолога. Помилки у програмі можуть призвести до дефектів шару, нерівномірного натягу матеріалу або перевитрати сировини. Тому актуальним є впровадження інтелектуальних методів підтримки процесу програмування. Основними проблемами традиційного програмування є складність розрахунку траєкторії руху пристрою подачі волокна, необхідність ручного введення параметрів, висока ймовірність помилок, значний час підготовки програми, обмежена адаптивність до зміни геометрії виробу. У більшості випадків технолог формує програму на основі власного досвіду, що ускладнює стандартизацію процесу та знижує повторюваність результатів.

Інтелектуалізація процесу передбачає використання програмних модулів, які автоматично аналізують геометрію виробу, перевіряють коректність параметрів, прогнозують можливі помилки, розраховують оптимальну траєкторію намотування, формують керуючу програму для ЧПК.

Інтелектуальна система може включати модуль геометричного моделювання, модуль розрахунку параметрів намотування, експертну систему з базою правил, модуль симуляції процесу, генератор G-коду.

Програмне забезпечення інтерактивного проєктування процесу намотування трубопроводів інтегровано у підсистему редагування коду керуючої програми ЧПК верхнього рівня дворівневої системи числового програмного керування. Такий підхід забезпечує тісний зв’язок між етапом технологічного проєктування та етапом формування керуючої програми, що підвищує узгодженість даних і зменшує ймовірність помилок.

Програмне забезпечення реалізовано у вигляді додатку на основі бібліотеки MFC у середовищі Visual Studio 2015. Це дозволило створити зручний інтерфейс користувача та забезпечити інтеграцію з існуючими модулями системи ЧПК. На рисунку 1 представлено вікно проєктування структури шарів намотування труби. Інтерфейс вікна поділено на чотири функціональні зони, кожна з яких виконує окрему роль у процесі формування керуючої програми.

Перша зона (поз. 1, рис. 1) призначена для відображення конструктивної структури шарів, спроєктованих для намотування конкретної труби. У цій області користувач бачить послідовність шарів та їх тип. Передбачено можливість керування послідовністю розміщення спіральних шарів з різними кутами намотування та кільцевих шарів з різними зонами розташування вздовж осі оправки. Такий підхід дозволяє формувати труби зі складною схемою армування, а також створювати локальні підсилення у зонах підвищених навантажень.

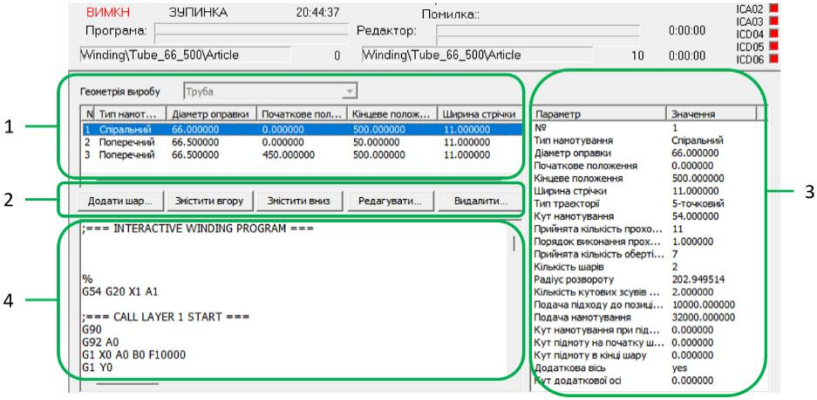


Рисунок 1 – Вікно для проєктування структури шарів труби

Друга зона (поз. 2, рис. 1) містить панель керування шарами. Вона надає інструменти для створення нових шарів, зміни їх порядку, редагування параметрів та видалення, що забезпечує гнучке керування структурою намотування та спрощує процес технологічного проєктування.

У третій зоні (поз. 3, рис. 1) відображаються параметри шару, який обрано у першій зоні. Тут користувач може переглянути основні технологічні характеристики, зокрема кут намотування, ширину стрічки, швидкість подачі та інші параметри, що впливають на формування армуючого шару.

Четверта зона призначена для відображення згенерованого коду керуючої програми ЧПК. Код формується автоматично відповідно до спроєктованої структури шарів. У цьому вікні доступне лише керування структурою шарів, тоді як параметри намотування та програмний код відображаються у режимі «тільки для читання» (read-only), що забезпечує цілісність згенерованих даних і запобігає випадковому внесенню змін у програму.

Інтеграція програмного забезпечення інтерактивного проєктування процесу намотування трубопроводів у підсистему

редагування коду керуючої програми ЧПК верхнього рівня дворівневої системи числового програмного керування є технічно обґрунтованим і доцільним рішенням. Такий підхід забезпечує безпосередній зв'язок між етапом технологічного проєктування та етапом формування керуючої програми. Проєктування структури шарів, вибір параметрів намотування та генерація G-коду відбуваються в єдиному інформаційному середовищі. Це усуває необхідність передачі даних між різними програмами та зменшує ризик помилок, пов'язаних із некоректним імпортом або ручним редагуванням коду.

Використання дворівневої системи ЧПК дозволяє розмежувати функції: верхній рівень відповідає за інтелектуальне проєктування та формування керуючих програм, а нижній рівень – за безпосереднє керування виконавчими механізмами в реальному часі. Така архітектура підвищує гнучкість системи, спрощує модернізацію програмного забезпечення та забезпечує масштабованість рішень.

Інтерактивний режим проєктування дає змогу технологу оперативно змінювати структуру шарів, аналізувати параметри намотування та одразу отримувати оновлений код програми, що скорочує час підготовки виробництва, підвищує точність формування траєкторій і зменшує вплив людського фактора.

Висновки. Інтеграція модуля інтерактивного проєктування у верхній рівень системи ЧПК забезпечує підвищення ефективності програмування операцій намотування, покращення якості готових виробів та створює основу для подальшої інтелектуалізації процесів керування обладнанням. Запропонована структура програмного забезпечення забезпечує логічну послідовність дій користувача, підвищує зручність проєктування та сприяє автоматизованому формуванню коректних керуючих програм для обладнання з ЧПК.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ma, Q., Rejab, M. R. M., Sahat, I. M., Amiruddin, M., Bachtiar, D., Siregar, J. P., & Ibrahim, M. I. (2018). Design of portable 3-axis filament winding machine with inexpensive control system. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences, 12*(1), 3479–3493. https://doi.org/10.15282/jmes.12.1.2018.15.0309
2. Andrianov, A., Tomita, E. K., Veras, C. A. G., & Telles, B. (2022). A low-cost filament winding technology for university laboratories and startups. *Polymers, 14*(5), 1066. https://doi.org/10.3390/polym14051066
3. Gao, Q., Wang, W., & Lou, K. (2024). Research on innovative mechanical structure design in carbon fiber ingot winding technology. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences, 9*(1), 1–22.
4. Mlýnek, J., Petrů, M., Ryvolová, M., Koloor, S. S. R., & Rahimian, K. S. (2022). Winding optimization of composite frame by dry fiber rovings. *Journal of Industrial Textiles, 52*, 1–26. https://doi.org/10.1177/15280837221114639
5. Kivirenko, O., Kostenko, S., Sorokin, V., Tsegelnyk, Y.,

Plankovskyy, S., & Kombarov, V. (2023). Fiberglass pipeline continuous filament winding automation. *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*, (14), 241–247.

УДК 004.415.53

Борейко М. О.[1] , Булаєнко М.В. [2]

МЕТОДИ НАВАНТАЖУВАЛЬНОГО ТЕСТУВАННЯ ВЕБ-ПЛАТФОРМ СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ БАСКЕТБОЛЬНИХ ІГОР

В умовах стрімкої цифровізації професійного спорту веб-платформи для статистичного аналізу баскетбольних матчів стали критично важливим інструментом для тренерських штабів, аналітиків та вболівальників. Сучасні системи, такі як офіційні ресурси ліг НБА чи Євроліги, опрацьовують величезні масиви даних у реальному часі: від стандартних показників результативності до складної телеметрії рухів гравців. Розвиток технологій «інтернету речей» (IoT) дозволяє інтегрувати дані безпосередньо з датчиків на екіпіруванні спортсменів, що генерує безперервний потік інформації (до 60 кадрів на секунду). Основним викликом для таких систем є забезпечення стабільної роботи в моменти екстремальних пікових навантажень, що виникають під час фінальних ігор. Відмова системи в такі моменти призводить до втрати даних та репутаційних збитків, що робить навантажувальне тестування невід'ємною частиною забезпечення якості програмного забезпечення [1].

Навантажувальне тестування (Performance Testing) це комплекс методів перевірки працездатності системи під впливом різної кількості запитів. Для баскетбольних веб-платформ специфіка тестування визначається нерівномірністю трафіку та необхідністю синхронізації даних з відеопотоком. Розглянемо ключові методи, які є найбільш ефективними для даної предметної області.

Метод Load Testing (тестування під навантаженням) застосовується для визначення поведінки платформи при очікуваному обсязі користувачів. Для систем статистичного аналізу це імітація трафіку звичайного ігрового дня регулярного чемпіонату. Метою є перевірка часу відгуку сервера та виявлення «вузьких місць» у базі даних при одночасній обробці запитів від тисяч клієнтів.

Метод Stress Testing (стрес-тестування) спрямований на визначення межі міцності системи. У контексті баскетбольної аналітики

[1] Студент групи КН 2023-1, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[2] Доцент кафедри КНтаІТ, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, к.т.н.,доцент

цей метод дозволяє зрозуміти, яку критичну кількість запитів до API (наприклад, на отримання статистики «play-by-play») може витримати сервер до повної відмови. Це критично важливо для планування масштабування ресурсів у хмарних середовищах, таких як AWS або Azure, де автоматичне виділення додаткових потужностей має відбуватися до моменту критичного збою [2].

Метод Spike Testing (тестування на стрибки навантаження) є найбільш релевантним для спортивних медіа-ресурсів. Він імітує різке зростання кількості користувачів, наприклад, після «баззер-бітерів» або під час овертаймів. Окрім ігрових моментів, такі сплески характерні для періодів трансферних дедлайнів або голосувань за учасників «Матчу всіх зірок». Реальний досвід платформи NBA разом з AWS підтверджує, що інфраструктура повинна автоматично масштабуватися за лічені секунди, щоб витримати такі піки без втрати даних [3]. Тестування дозволяє перевірити швидкість реакції механізмів Auto-scaling та стабільність сесій користувачів при різкому переході на резервні потужності.

Метод Endurance Testing (тестування стабільності) передбачає тривале навантаження на систему протягом усього ігрового туру (8-10 годин). Це дозволяє виявити витоки пам'яті та поступову деградацію продуктивності, які можуть бути непомітними під час коротких тестів, але критичні для безперервної трансляції аналітики.

Реалізація цих методів вимагає використання інструментів імітації користувачів, таких як Apache JMeter або k6. Вони дозволяють створювати сценарії поведінки віртуальних фанатів: оновлення таблиць, фільтрація статистики гравців або запити до архівних відео-даних. Окрему увагу при аналізі результатів слід приділяти затримкам (Latency) на рівні бази даних. У баскетболі, де кожна секунда важлива, розсинхронізація статистики та реальної події на майданчику є неприпустимою. Ключовими метриками є Response Time, Throughput та Error Rate. Дослідження показують, що затримка відповіді понад 2 секунди призводить до значного зниження рівня задоволеності користувачів (UX) [4].

Особливої уваги заслуговує інтеграція навантажувального тестування в сучасні CI/CD-конвеєри. Такі платформи, як GitHub Actions або GitLab CI, дозволяють автоматично запускати тестові сценарії після кожного розгортання нової версії програмного забезпечення. Це означає, що будь-яка зміна в коді, яка може спричинити деградацію продуктивності, буде виявлена ще до виходу в production-середовище. Для баскетбольних аналітичних платформ, де оновлення функціоналу відбуваються між сезонами або турами, така практика гарантує, що кожна нова версія системи пройшла перевірку під реалістичним навантаженням [5].

Окремим напрямом є використання хмарних сервісів для розподіленого навантажувального тестування. Такі рішення, як Azure Load Testing або AWS Distributed Load Testing, дозволяють генерувати трафік з різних географічних регіонів одночасно, що є особливо актуальним для міжнародних платформ на кшталт NBA або Eurobasket, аудиторія яких розосереджена по всьому світу. Результати подібних тестів дають змогу оптимізувати розташування CDN-вузлів та налаштувати регіональне балансування навантаження для мінімізації затримок [2].

Таким чином, навантажувальне тестування баскетбольних веб-платформ має бути інтегроване в процес безперервної розробки (CI/CD). Використання комбінації стрес-тестування та моделювання пікових стрибків дозволяє підготувати інфраструктуру до непередбачуваних сценаріїв. Це забезпечує високу відмовостійкість системи, точність аналітичних даних та стабільний доступ вболівальників до контенту в найвідповідальніші моменти гри, що є основою успішного спортивного цифрового продукту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ali, A. H. (2024). Innovative strategies for enhancing web application performance: A contemporary load testing approach. *International Journal of Engineering Trends and Technology, 72*(10), 246–256. https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V72I10P124

2. Alnuhait, H., Alzyadat, W., Althunibat, A., et al. (2024). Web application performance assessment: A study of responsiveness, throughput, and scalability. *International Journal of Advanced and Applied Sciences, 11*(9), 214–226. https://www.science-gate.com/IJAAS/2024/V11I9/1021833ijaas202409023.html

3. Lally, M., Entin, A., Flynn, D., & O'Neill, K. (2026). *How the NBA and AWS built an AI system to measure what actually wins basketball games*. AWS for M&E Blog. https://aws.amazon.com/ru/blogs/media/how-the-nba-and-aws-built-an-ai-system-to-measure-what-actually-wins-basketball-games/

4. Ramu, V. B. (2023). *Optimizing DevOps pipelines with performance testing: A comprehensive approach*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/371985573

5. Ткаченко, О. В. (2025). *Метод забезпечення відмовостійкості мікросервісів у AWS* (Кваліфікаційна робота). https://openarchive.nure.ua/handle/document/32738

УДК 004.415.5
Бойчук А.В.[1], Кантемир І.В.[2]

ТИПОВІ ПОМИЛКИ НА ПОЧАТКОВИХ ЕТАПАХ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ЇХНІЙ ВПЛИВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕСТУВАННЯ

У сучасних умовах цифрової трансформації та стрімкого розвитку інформаційних технологій якість програмного забезпечення є ключовим фактором стабільності, безпеки та конкурентоспроможності інформаційних систем. Зростання складності програмних продуктів, розподілений характер команд розробки та необхідність швидкого випуску оновлень значно підвищують вимоги до процесів забезпечення якості. Незважаючи на активне впровадження DevOps-практик, автоматизованого тестування, гнучких методологій та CI/CD-процесів, значна частина дефектів формується ще на початкових етапах життєвого циклу розробки – під час формування вимог, архітектурного проєктування та початкового кодування.

Аналіз сучасних досліджень у сфері прогнозування дефектів свідчить, що більшість наукових робіт зосереджена на використанні кодових метрик, історії змін або методів машинного навчання для виявлення дефектних модулів. Однак помилки, закладені на етапі специфікації вимог або прийняття архітектурних рішень, часто залишаються недостатньо формалізованими та кількісно оціненими. Саме такі помилки мають системний характер і призводять до каскадного поширення дефектів на наступні етапи розробки, що, у свою чергу, зумовлює зростання витрат на регресійне тестування, повторне виправлення помилок та затримки релізів.

Метою дослідження є класифікація типових помилок початкових етапів розробки програмного забезпечення, а також кількісне оцінювання їхнього впливу на ефективність процесів тестування.

У межах роботи проаналізовано п’ять відкритих програмних проєктів різних предметних областей (веб-застосунки, системи аналітики даних, програмні платформи управління контентом). Джерелами даних стали репозиторії GitHub, системи контролю версій, трекери задач, журнали змін та звіти про виконання тестів. Аналіз здійснювався шляхом поєднання ручної експертної класифікації дефектів та обробки статистичних показників тестового процесу.

Виявлені дефекти було класифіковано за походженням на три основні групи:

[1] студент, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»
[2] к.т.н., ст. викл. каф. Інформаційних технологій проєктування, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

– помилки у вимогах (неоднозначність формулювань, відсутність чітких критеріїв приймання, суперечності між функціональними вимогами);

– архітектурні помилки (надмірна зв'язаність компонентів, порушення принципів модульності, некоректна декомпозиція системи);

– помилки кодування (антипатерни, порушення стандартів програмування, недостатня обробка винятків).

Для кількісної оцінки впливу ранніх дефектів запропоновано інтегральний показник Testing Efficiency Impact Index (TEII):

$$TEII = (NRD \times RTT) + (DD \times 0.5),$$

де NRD – кількість дефектів, пов'язаних із вимогами,

RTT – приріст часу регресійного тестування,

DD – частка дубльованих дефектів у загальній кількості виправлень.

Запропонована метрика дозволяє поєднати показники щільності ранніх дефектів із фактичними витратами на тестування, формуючи інтегральну оцінку впливу помилок початкових етапів на якість процесу верифікації.

Результати дослідження показали, що в середньому 46 % усіх виявлених дефектів виникли на ранніх етапах розробки. Проєкти з підвищеним значенням TEII демонстрували збільшення тривалості тестового циклу на 25–35 %, а також зростання частоти дублювання дефектів до 18 %. Отримані дані підтверджують гіпотезу про прямий зв'язок між якістю формування вимог та ефективністю тестових процесів.

На основі отриманих результатів запропоновано методологічний підхід Early-Stage Quality Assurance Protocol (ESQAP), який спрямований на мінімізацію помилок ще до етапу активного кодування. Протокол включає такі етапи:

1. Перевірка узгодженості вимог із застосуванням методів лінгвістичного аналізу та виявлення суперечностей.
2. Картографування архітектурних ризиків із визначенням критичних компонентів та потенційних шляхів поширення дефектів.
3. Прогнозне планування тестування на основі значень TEII та ризик-орієнтованого підходу.
4. Безперервне коригування зворотного зв'язку з перерахунком метрик після кожної ітерації розробки.

Практичне застосування запропонованого підходу в одному з проєктів дозволило зменшити значення TEII на 22 %, скоротити час регресійного тестування та знизити частоту повторних дефектів. Це

свідчить про доцільність впровадження превентивних механізмів контролю якості на ранніх стадіях життєвого циклу.

Висновки. Проведене дослідження підтвердило, що значна частина дефектів програмного забезпечення формується на початкових стадіях розробки та має суттєвий вплив на ефективність тестування. Запропонована метрика TEII забезпечує кількісну оцінку цього впливу, а методологія ESQAP створює основу для системного, ризик-орієнтованого та проактивного управління якістю. Отримані результати можуть бути використані при вдосконаленні процесів програмної інженерії, оптимізації тестових стратегій та інтеграції інструментів інтелектуального аналізу у практику розробки програмного забезпечення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Radjenović, D., Heričko, M., Torkar, R., & Živkovič, A. (2013). Software fault prediction metrics: A systematic literature review. Information and Software Technology, 55(8), 1397–1418. https://doi.org/10.1016/j.infsof.2013.02.009.

2. Li, Y., Wang, S., & Zhao, J. (2022). Semantic feature learning for software defect prediction. Mathematics, 10(17), 3120. https://doi.org/10.3390/math10173120.

3. Srinivas, K., Janapati, K. C., Sai Kiran, M., Sudheer Reddy, D., Vinay, T., Vamshi, & Yashwanth, C. (2025). Deep ensemble optimal classifier-based software defect prediction for early detection and quality assurance. Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences, 16, 1057–1068. https://doi.org/10.1007/s43995-025-00138-9.

4. Alami, A., Zahedi, M., & Krancher, O. (2024). The role of psychological safety in promoting software quality in agile teams. Empirical Software Engineering, 29(7), Article 1120. https://doi.org/10.1007/s10664-024-10512-1.

5. Ramos, T., Dean, A., & McGregor, D. (2024). AI-augmented software engineering: Revolutionizing or challenging software quality and testing? Software: Practice and Experience, 54(12), 2341–2362. https://doi.org/10.1002/smr.2741.

6. Pastrana, M., Ordoñez, H., Cobos-Lozada, C. A., & Muñoz, M. (2025). Best practices evidenced for software development based on DevOps and Scrum: A literature review. Applied Sciences, 15(10), 5421. https://doi.org/10.3390/app15105421.

УДК 004.9
Дудій В. В[1]., Вовк Р. Б[2]

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ПРОГРАМНА ІНЖЕНЕРІЯ: ІНТЕГРАЦІЯ, БАЗИ ДАНИХ І ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ

Вступ. Сучасний розвиток інформаційних технологій та цифрових сервісів сприяє інтеграції комп'ютерних наук, програмної інженерії, баз даних та штучного інтелекту. Бази даних відіграють ключову роль, забезпечуючи структуроване зберігання, надійний доступ та швидкий аналіз великих обсягів даних.

Інтеграція цих технологій відкриває широкі можливості: від автоматизації рутинних завдань до управління мультимедійними сервісами через боти та керування робототехнікою, наприклад, ClawBot. Python як універсальна мова програмування дозволяє поєднувати бази даних, AI-модулі та месенджери для створення зручного інтерфейсу користувача.

Основний матеріал. Бази даних забезпечують ефективне зберігання великих обсягів інформації та дозволяють організовувати її у структурований вигляд для швидкого доступу та аналізу. Системи керування базами даних (СУБД) надають користувачам інструменти для створення, модифікації, пошуку та аналітики даних. Вони забезпечують підтримку цілісності та безпеки інформації, дозволяють одночасну роботу кількох користувачів і автоматизують багато рутинних операцій, таких як резервне копіювання та контроль доступу [1].

СУБД бувають різних типів:

- Реляційні (RDBMS) – дані зберігаються у таблицях з взаємозв'язками (MySQL, PostgreSQL, SQLite, Oracle Database).
- Нереляційні (NoSQL) – дані зберігаються у вигляді документів, ключ-значення або графів, що забезпечує гнучкість та масштабованість (MongoDB, Redis, Cassandra).

Бази даних забезпечують ефективне зберігання та обробку інформації. Наприклад, у системі управління авіаперельотами таблиці Flights, Passengers та Tickets зберігають дані про рейси, пасажирів та квитки [2]. Для отримання списку пасажирів конкретного рейсу використовують SQL-запит:

```
SELECT PassengerName
FROM Passengers
WHERE FlightID = 105;
```

Цей запит вибирає імена пасажирів із таблиці Passengers, зареєстрованих на рейс з номером 105. Він демонструє, як бази даних

[1] Студент групи ІП-24-2, «Івано-Франківський національний університет нафти і газу» (ІФНУТНГ)
[2] Доцент кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем, «Івано-Франківський національний університет нафти і газу» (ІФНУТНГ)

дозволяють швидко отримувати потрібну інформацію за заданими критеріями, що є практичною складовою будь-яких інформаційних систем.

Штучний інтелект (ШІ) дозволяє системам виконувати завдання, які традиційно потребують людського інтелекту: аналіз даних, розпізнавання тексту та зображень, прогнозування подій.

Одним із сучасних прикладів є OpenClaw AI Assistant, відкритий AI-асистент, що може виконувати реальні завдання користувача. Він інтегрується з месенджерами (Telegram, WhatsApp, Slack) та підключається до мовних моделей (GPT, Claude, Gemini) для аналізу запитів користувача [5].

Для наочності практичні можливості AI-асистентів можна розділити на дві групи: завдання, що виконуються всередині комп'ютера та офісних процесів, та інтеграція з мультимедійними та зовнішніми сервісами, а також приклади застосування ШІ у різних сферах діяльності (див. табл. 1).

Таблиця 1. Практичні можливості OpenClaw AI Assistant

Завдання	Приклад
Читання та автоматичне сортування електронної пошти	Асистент аналізує листи, сортує їх за пріоритетом, автоматично відповідає або архівує непотрібні повідомлення.
Управління календарем і подіями	Створення нових зустрічей, нагадування про події, зміна розкладу.
Формування звітів та автоматизація рутинних завдань	Автоматична генерація звітів, перевірка даних, виконання повторюваних процесів.
Генерація програмного коду та автоматичне тестування	AI допомагає програмістам писати код, перевіряти його на помилки та запускати тести.
Управління локальними файлами та запуск програм	Створення, редагування та сортування файлів, запуск локальних додатків.

Сучасні AI-асистенти дозволяють інтегруватися з платформами YouTube Music та Spotify. Це дозволяє керувати потоковою музикою, автоматизувати робочі процеси в бізнесі, освіті, медицині та транспорті, а також підвищувати ефективність прийняття рішень. У таблиці 2 ми можемо спостерігати приклади практичного застосування штучного інтелекту у цих сферах (див. табл. 2).

Таблиця 2. Інтеграція з мультимедійними сервісами та приклади застосування ШІ

Напрямок	Приклад
Музика через Telegram-боти	Запуск або зупинка музики, зміна плейлистів, регулювання гучності, інтеграція з Python або Node.js для автоматизації.
Транспорт	Прогнозування затримок рейсів, оптимізація маршрутів, аналіз завантаженості.
Медицина	Аналіз рентгенівських і МРТ-знімків, підтримка діагностичних рішень.
Фінанси	Виявлення шахрайських операцій, автоматизація фінансових звітів.
Освіта	Адаптивні навчальні системи, індивідуальний підбір матеріалів для учнів та студентів.

OpenClaw дозволяє автоматизувати виконання завдань за допомогою програмного коду. Наприклад, у Python створюється об'єкт client, який підключається до OpenClaw через API-ключ, а потім за допомогою методів можна сортувати електронну пошту, генерувати звіти, керувати музикою, переміщувати робота чи захоплювати об'єкти [3].

```
import openclaw
client = openclaw.Client(api_key="YOUR_KEY")
client.sort_email(folder="inbox", priority="high")
client.generate_report(source="sales_db",format="pdf",schedule="
daily")
client.play_music(service="spotify", playlist="Focus")
client.set_volume(70)
client.pause_music()
client.move_robot(robot_id="ClawBot1", target="A1")
client.grab_object(object_id="cube01")
client.release_object()
```

Цей код демонструє, як за допомогою OpenClaw AI Assistant через Python можна автоматизувати завдання користувача та інтегрувати обробку даних, керування мультимедіа і робототехніку в єдину систему. Підключається модуль openclaw та створюється об'єкт client для взаємодії через API-ключ. Метод sort_email аналізує та сортує електронну пошту за пріоритетом, а generate_report створює щоденний звіт у PDF на основі даних із бази sales_db.

Для керування потоковою музикою використовуються play_music, set_volume та pause_music. Робототехнічні дії здійснюються через move_robot, grab_object та release_object. Таким чином, через один Python-інтерфейс можна автоматизувати офісні завдання, керувати

мультимедіа та роботизованими платформами, об'єднуючи всі дії через AI для ефективних робочих процесів [5].

Об'єднання СУБД, штучного інтелекту та Python створює інтерактивні та автоматизовані системи. Python виступає зв'язуючим компонентом між користувачем, базою даних і AI-моделлю. Інтеграція Telegram-бота забезпечує зручний інтерфейс для запитів та команд, база даних — надійне зберігання та доступ до інформації, а AI виконує обробку, прогнозування та сортування даних (див. рис. 1) [4].

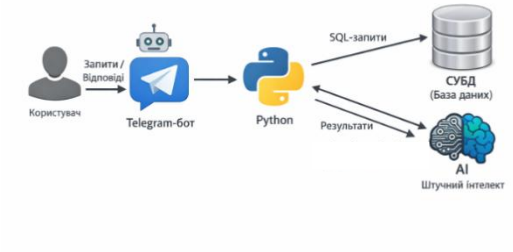


Рисунок 1. Інтеграція Telegram-бота, Python, бази даних і AI для автоматизованих систем

Схема ілюструє, як ці компоненти взаємодіють між собою, створюючи єдину інтерактивну систему, яка дозволяє отримувати інформацію, приймати рішення та автоматично виконувати дії на основі запитів користувача.

Приклад практичної інтеграції на Python:

```
import openclaw
import sqlite3

client = openclaw.Client(api_key="YOUR_KEY")

conn = sqlite3.connect('flights.db')
cursor = conn.cursor()
flight_id = 105

cursor.execute("SELECT PassengerName FROM Passengers WHERE FlightID = ?", (flight_id,))
passengers = cursor.fetchall()
processed_passengers = client.analyze_data(passengers, task="priority_sort")

for passenger in processed_passengers:
```

client.send_message(chat_id="USER_CHAT_ID",
message=f"Passenger: {passenger[0]}")

Цей код демонструє інтеграцію бази даних, штучного інтелекту та Python для автоматизованої обробки інформації та взаємодії з користувачем через Telegram-бота. Використовуються модулі openclaw для AI та sqlite3 для доступу до бази даних SQLite. Створюється об'єкт client для підключення до OpenClaw через API-ключ, а також встановлюється з'єднання з базою flights.db та курсор для виконання SQL-запитів.

Виконується SQL-запит до таблиці Passengers для отримання імен пасажирів рейсу з ідентифікатором 105. Дані передаються AI через метод analyze_data для сортування за пріоритетом, а результати надсилаються користувачу через Telegram-бота за допомогою send_message.

Python у цьому прикладі виконує три ключові функції:

1. Підключення та взаємодію з базою даних.
2. Виклик AI-функцій для аналізу та сортування даних.
3. Інтеграцію з Telegram для відправки результатів користувачу.

Переваги інтеграції: централізований доступ до даних, автоматизація рішень за допомогою AI, зручна взаємодія з користувачем і легке масштабування системи.

Висновки. Поєднання СУБД, Python та AI дозволяє створювати інтелектуальні системи, які автоматизують процеси, аналізують великі обсяги даних, прогнозують події та забезпечують інтерактивну взаємодію користувача. Такі інтегровані системи оптимізують бізнес-процеси, навчання, медичні рішення та управління інфраструктурою, підтверджуючи практичну цінність досліджень у цій галузі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вовк, Р. Б. (2023). Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Теорія реляційних та нереляційних баз даних» для студентів спеціальності 121 "Інженерія програмного забезпечення". Івано-Франківський національний університет нафти і газу.

2. Вовк, Р. Б. (2024). Конспект лекцій «Теорія реляційних та нереляційних баз даних» для студентів спеціальності 121 "Інженерія програмного забезпечення". Івано-Франківський національний університет нафти і газу. http://194.44.112.82/moodle/course/view.php?id=35

3. Russell, S., & Norvig, P. (2021). Artificial intelligence: A modern approach. Pearson Education.

4. Silberschatz, A., Korth, H., & Sudarshan, S. (2019). Database system concepts. McGraw-Hill.

5. OpenClaw AI Assistant. (n.d.). Retrieved March 12, 2026, from https://openclawai.io

УДК 004.94:004.65 Сольона І.Р. [1], Шибка О.С.[2]

РОЗРОБКА УНІВЕРСАЛЬНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ВІЙСЬКОВИХ ДІЙ НА ЛАНДШАФТНІ ТА УРБАНІЗОВАНІ ТЕРИТОРІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЇ

Актуальність теми. В умовах бойових дій в Україні дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) є безальтернативним методом безпечного моніторингу інфраструктурних та екологічних збитків на недоступних територіях. Широке використання комерційних супутникових платформ обмежується високою вартістю та закритою архітектурою, а десктопних геоінформаційних систем (наприклад, QGIS) – надмірними вимогами до локальних обчислювальних потужностей. З огляду на це, розробка автоматизованих хмарних алгоритмів є критично актуальним завданням, виконання якого дозволить оперативно документувати руйнування, оптимізувати ресурси та мінімізувати суб'єктивний людський фактор.

Наукова новизна. Новизна дослідження полягає у розробці комплексної хмарної архітектури для моніторингу наслідків військових дій, яка інтегрує в єдиний процес автоматизованої обробки аналіз урбанізованих (NDBI), природних (NDVI) та гідрологічних (NDWI) об'єктів. На відміну від класичних алгебраїчних підходів, що потребують емпіричного ручного калібрування, у розробленому алгоритмі реалізовано гібридний метод класифікації. Для міської забудови та лісових масивів застосовано метод адаптивного статистичного підбору порогів на базі стандартного відхилення, а для водних об'єктів – фізично обґрунтований метод нульового перетину.

Головною метою дослідження є розробка автоматизованого хмарного інструменту, який на основі гібридного алгоритму обробки бітемпоральних супутникових знімків (обчислення індексів NDBI, NDVI, NDWI з використанням адаптивної статистики та нульового перетину) автоматично генерує карти руйнувань і розраховує площу уражених урбанізованих, природних та гідрологічних об'єктів.

Теоретичним підґрунтям алгоритму є фізичні принципи ДЗЗ, засновані на унікальних спектральних сигнатурах поверхонь [1, с. 33-48]. Через неефективність прямого порівняння оптичних пікселів, математичним фундаментом обробки слугують нормалізовані різницеві індекси (NDBI для забудови, NDVI для ландшафтів, NDWI для води) [4, с.5], розраховані за мультиспектральними знімками Sentinel-2 (10 м/піксель), що довели свою ефективність для швидкого картографування руйнувань в Україні [2].

[1] Студентка 1 курсу гр. ПЗ-25-2 НТУ «Дніпровська політехніка»
[2] Керівник гуртка КЗПО «ЦРДМ «СтартУм» ДМР

Для просторової ідентифікації руйнувань застосовується класичний алгебраїчний метод виявлення змін (Change Detection), який обчислює абсолютну різницю бітемпоральних індексів і є значно доцільнішим та швидшим для хмарних платформ порівняно з ресурсоємними нейромережевими моделями [3]. З метою повної автоматизації класифікації відкинуто метод емпіричного підбору порогів і впроваджено гібридний математичний апарат. Для урбанізованих і природних зон діє модуль адаптивної статистики, де динамічний поріг аномалії розраховується індивідуально за формулою $T = |\mu| + \sigma$ (де μ – середнє значення зміни індексу, σ – стандартне відхилення). Натомість для водних поверхонь (NDWI) використовується фізичний метод нульового перетину. Це дозволяє генерувати точні карти збитків абсолютно автономно.

Розроблений мовою Python у хмарному середовищі Google Earth Engine програмний засіб реалізує комплексний чотирьохетапний алгоритм автоматизованої оцінки руйнувань. Робота скрипта розпочинається з гнучкого просторового обмеження зони інтересу (шляхом інтерактивного полігону або буферного радіуса) та підготовки «чистих» медіанних композитів Sentinel-2 за рахунок автоматичної фільтрації хмарності. Ядром алгоритму є багатовекторний спектральний аналіз, який адаптується до типу покриву: для урбанізованих територій розраховується індекс NDBI (з фільтрацією через маску забудови ESA WorldCover), для природних ландшафтів – NDVI, а для водних об'єктів – NDWI. Бінарна класифікація ушкоджень здійснюється автоматично за допомогою гібридного методу, що поєднує розрахунок динамічних адаптивних порогів на основі стандартного відхилення гістограми та фізичний метод нульового перетину. На фінальному етапі алгоритм здійснює кількісну оцінку уражених ділянок у квадратних кілометрах та експортує згенеровану бінарну маску у форматі GeoTIFF на Google Drive для подальшої інтеграції з ГІС-системами.

З метою верифікації розробленого програмного засобу та підтвердження його універсальності проведено тестування алгоритму на трьох репрезентативних локаціях із різними типами ландшафтного покриву. Робота гібридного методу класифікації ідентифікувала руйнування щільної міської забудови у м. Маріуполь (із застосуванням індексу NDBI та урбан-маски), зафіксувала масштабні екологічні збитки від пожеж у лісових масивах Серебрянського лісу (за індексом NDVI) та відобразила глобальні гідрологічні зміни внаслідок зникнення водної маси Каховського водосховища (за індексом NDWI). Просторовий розподіл виявлених аномалій (рис. 1–3) та відповідні їм кількісні показники уражених площ демонструють високу вибірковість алгоритму: програма здатна з високою точністю розділяти різні типи збитків, мінімізуючи хибні спрацьовування на суміжні фактори

(наприклад, відокремлюючи руйнування інфраструктури від сезонних змін на полях).



Рис. 1. - Руйнування інфраструктури (12.07 км²) та рослинності (50.27 км²) м. Маріуполь.

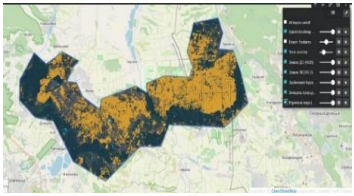


Рис. 2. - Втрати лісового покриву (207.10 км²) у Серебрянському лісі.

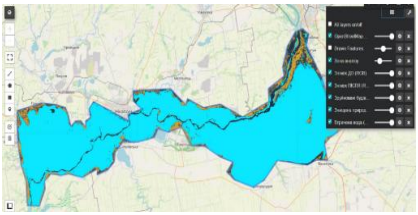


Рис. 3. - Втрата водної поверхні (1530.60 км²) Каховського водосховища.

Висновки. У результаті дослідження розроблено та програмно реалізовано автоматизований хмарний інструмент на базі Google Earth Engine для просторової та кількісної оцінки наслідків воєнних дій. Головною прикладною перевагою розробки є інтеграція в єдину автоматизовану систему методів адаптивної статистики (динамічний розрахунок порогів для міської забудови і лісів) та нульового перетину (для водних об'єктів), що мінімізує вплив хибних факторів та усуває потребу в ручному калібруванні. Тестування підтвердило адаптивність алгоритму: успішно ідентифіковано втрату 12.07 км² забудови у Маріуполі, 207.10 км² насаджень у Серебрянському лісі та 1530.60 км² водної поверхні Каховського водосховища. Програмний засіб є ефективним навчально-аналітичним інструментарієм для закладів вищої освіти в межах опанування сучасних ГІС-технологій, а також прикладним рішенням для державних органів у документуванні збитків. Подальший розвиток алгоритму спрямований на кількісну оцінку його точності за допомогою матриці похибок (Confusion Matrix), інтеграцію всепогодних радарних даних Sentinel-1 (SAR), залучення нейромереж (CNN) для точнішого розпізнавання контурів та розробку користувацького вебдодатка (Dashboard).

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Довгий, С. О., Лялько, В. І., Бабійчук, С. М., Кучма, Т. Л., Томченко, О. В., & Юрків, Л. Я. (2019). *Основи дистанційного зондування Землі: історія та практичне застосування* (навч. посіб.). Інститут обдарованої дитини НАПН України. https://nvkarta.com/project/library/uploads/geography/map-technology/%5bsensing%5d%5bhandbook%5d%5b2019%5d_osnovy_dystantsiynoho_zonduvannya_zemli_istoriya_ta_praktychne_zastosuvannya.pdf

2. Aimaiti, Y., Sanon, C., Koch, M., Baise, L. G., & Moaveni, B. (2022). War related building damage assessment in Kyiv, Ukraine, using Sentinel-1 radar and Sentinel-2 optical images. *Remote Sensing*, 14(24), Article 6239. https://www.mdpi.com/2072-4292/14/24/6239

3. Cheng, G., Huang, Y., Li, X., Lyu, S., Xu, Z., Zhao, H., Zhao, Q., & Xiang, S. (2024). Change detection methods for remote sensing in the last decade: A comprehensive review. *Remote Sensing*, 16(13), Article 2355. https://www.mdpi.com/2072-4292/16/13/2355

4. Yasin, M. Y., Abdullah, J., Noor, N. M., Yusoff, M. M., & Noor, N. M. (2021). Landsat observation of urban growth and land use change using NDVI and NDBI analysis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1067, Article 012037. https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1067/1/012037/pdf

УДК 004.4

Бєлова К. О.[1], Черкасова В. В.[2]

МАСШТАБОВАНІСТЬ ВЕБДОДАТКІВ НА LARAVEL ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ DOCKER

Зростання складності сучасних вебзастосунків і збільшення кількості користувачів підвищують вимоги до архітектури та інфраструктури вебсистем. У таких умовах важливими характеристиками стають гнучкість, масштабованість і зручність підтримки програмного забезпечення. Одним із сучасних підходів до вирішення цих завдань є контейнеризація, яка дозволяє ефективніше використовувати ресурси та забезпечувати стабільність середовища розгортання додатків. [1].

Вибір архітектурного підходу значною мірою впливає на життєвий цикл програмного продукту. Монолітні рішення залишаються доречними для невеликих проєктів, проте великі й динамічні системи вимагають механізмів, здатних до швидкої адаптації та масштабування. Контейнеризація з використанням Docker забезпечує ізоляцію компонентів, створює умови для паралельної роботи багатьох сервісів і зменшує ризики, пов’язані з оновленням чи відмовою окремих частин

[1] студентка групи КН 2022-1, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
[2] асистент кафедри КНтаІТ, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова

системи [1; 5].

Масштабованість веб-додатків визначається здатністю системи стабільно працювати при збільшенні кількості користувачів або даних. Існують два підходи: вертикальне масштабування, коли додаються ресурси одному серверу, та горизонтальне, що передбачає розподіл навантаження між кількома серверами чи контейнерами. Другий метод є більш гнучким і дозволяє підвищити відмовостійкість системи [4].

Щоб подолати обмеження традиційних підходів, застосовується контейнеризація. Docker формує легкі контейнери з усіма залежностями, що мінімізує складність деплою та гарантує однаковість конфігурацій. Kubernetes, у свою чергу, забезпечує автоматичне масштабування й керування контейнерами в кластері. На практиці Docker зручний для малих і середніх проєктів, тоді як Kubernetes є оптимальним для складних систем із високими вимогами до продуктивності [3].

Docker – це платформа для створення й запуску контейнерів, які об'єднують програмний код, бібліотеки та конфігураційні файли. На відміну від традиційної віртуалізації, де кожна віртуальна машина потребує окремої операційної системи, контейнер у Docker використовує спільне ядро, завдяки чому стає легшим і швидшим. Це підвищує портативність додатків та дозволяє запускати їх без змін у різних середовищах, включно з хмарними.

Додатковою перевагою є можливість налаштування інфраструктури за допомогою Docker Compose. У конфігураційному файлі описуються кілька сервісів, наприклад Laravel-застосунок, база даних і вебсервер. Це спрощує управління залежностями, прискорює процес розробки й тестування та робить систему більш передбачуваною [3].

У сучасній практиці розробники дедалі частіше використовують Docker для роботи з Laravel. Це дозволяє запускати окремі контейнери для PHP-FPM, Nginx та MySQL або PostgreSQL. Завдяки цьому середовище легко відтворюється як локально, так і в production, що усуває проблеми з несумісністю конфігурацій. Розгортання стає швидшим і стабільнішим, а команда розробників отримує єдине середовище для роботи [2].

Можливості масштабування особливо помітні у проєктах із великим трафіком. Запускаючи кілька контейнерів із Laravel, можна рівномірно розподілити навантаження за допомогою балансувальника. Інтеграція з Kubernetes дозволяє автоматизувати цей процес: система самостійно додає або відключає контейнери залежно від поточного навантаження. Це робить застосунок гнучким та здатним витримувати пікові навантаження без втрати продуктивності [3; 4].

Таблиця 1 – Технології контейнеризації для масштабування веб-додатків Laravel

Технологія	Основне призначення	Роль у масштабуванні	Використання у Laravel
Docker	Контейнеризація додатків та їх залежностей	Забезпечує ізольоване середовище та швидке розгортання	Контейнери для PHP-FPM, Nginx, MySQL
Docker Compose	Керування кількома контейнерами	Спрощує конфігурацію та запуск сервісів	Повний стек Laravel для локальної розробки
Kubernetes	Оркестрація контейнерних кластерів	Автоматичне масштабування та балансування навантаження	Production-системи з великим трафіком
Мікросервісна архітектура	Поділ системи на незалежні сервіси	Дає змогу масштабувати окремі компоненти	Laravel може працювати як окремий сервіс

Отже, застосування контейнерних технологій створює ефективні передумови для побудови масштабованих вебсистем на основі фреймворку Laravel. Контейнеризація дозволяє стандартизувати середовище виконання застосунків, спростити керування залежностями та підвищити стабільність процесів розгортання. Використання Docker у поєднанні з інструментами оркестрації, такими як Kubernetes, сприяє гнучкому управлінню ресурсами та ефективному розподілу навантаження між сервісами. Це дає змогу адаптувати інфраструктуру вебзастосунків до змін інтенсивності використання та забезпечувати їхню надійну роботу в умовах зростання трафіку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Calcaterra, D., Di Modica, G., & Mazzaglia, P. (2020). Cluster-agnostic orchestration of containerised applications. In *Cloud Computing and Services Science*. Springer. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7982700/

2. Bouziane, A. (2023). *On-demand health data provisioning with custom temporary data views for big data platforms*. https://publications.polymtl.ca/53403/1/2023_AnasBouziane.pdf

3. Saputra, M. H., Kurniawan, S., & Iqbal, J. (2025). Designing a microservices architecture for digitalizing inventory and production management in home industries: A case study of Dazry Harapan. *Liga Ilmu: International Journal of Information Systems*, 5(1). https://journal.liga-ilmu.org/index.php/lis/article/view/57

4. Khalfaoui, S., Khalfaoui, H., & Azmani, A. (2025). Microservices-

driven automation in full-stack development: Bridging efficiency and innovation with FSMicroGenerator. *IEEE Access*. https://ieeexplore.ieee.org/document/11080431

5. Sahu, S. K. (2024). Security standards and best practices for PHP and Laravel applications. In *Secure PHP Applications*. Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/979-8-8688-0932-3_5

УДК 004.738.5:004.415.2

Гармата О. С.[1] , Булаєнко М.В. [2]

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ NUTRISAFE: ВІД ЕТАПУ ПРОЄКТУВАННЯ ДО АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПЕРЕВІРКИ ФУНКЦІОНАЛУ

Люди з харчовими алергіями або особливими дієтичними потребами щодня стикаються з серйозною проблемою – їм доводиться самостійно перевіряти склад продуктів, підбирати сумісні рецепти та будувати збалансований раціон. Цей процес займає багато часу, вимагає спеціальних знань і нерідко приводе до стресового стану. Саме цю проблему вирішує застосунок NutriSafe.

NutriSafe – це мобільний додаток, який автоматично формує персоналізоване меню з урахуванням алергій, дієтичних обмежень та харчових вподобань користувача. Головна сторінка застосунку NutriSafe наведено на рисунку 1. Мобільний додаток NutriSafe пропонує прості у приготуванні рецепти, автоматично генерує список покупок і надсилає нагадування про прийом їжі та води (рисунок 2). На рисунку 3 наведено Dashboard застосунку NutriSafe. Завдяки наданим можливостям користувач може дотримуватись здорового способу життя без зайвих зусиль.

Оскільки NutriSafe функціонує у сфері, що безпосередньо стосується здоров'я людини, забезпечення якості продукту є критично важливим завданням. Процес QA розпочався ще на етапі проєктування: було розроблено User Flow, wireframes та інтерактивний прототип у Figma, що дозволило виявити логічні помилки до початку розробки.

Тестування мобільних застосунків у сфері здоров’я повинно здійснюватися з урахуванням особливостей UX/UI-проєктування та поведінки користувачів. Як зазначають автори у роботі [1], якість мобільного додатка формується ще на етапі проєктування інтерфейсу, оскільки зручність навігації, логічність сценаріїв та доступність

[1] Студентка групи ІСтаТ 2022-1, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[2] Доцент кафедри КНтаІТ, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, к.т.н.,доцент

елементів управління безпосередньо впливають на зменшення кількості помилок під час експлуатації.

У дослідженні [2] підкреслюється необхідність комплексного тестування інтерфейсу та бізнес-логіки мобільних застосунків для контролю харчування. Автори зазначають, що для таких систем критично важливо перевіряти коректність алгоритмів розрахунку харчової цінності, персоналізації рекомендацій та адаптивності інтерфейсу до різних сценаріїв використання.

Нижче представлені основні екрани розробленого застосунку NutriSafe.

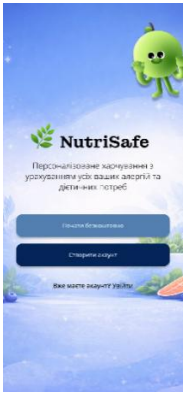


Рисунок 1- Головна сторінка застосунку NutriSafe



Рисунок 2 – Екран вибору алергенів



Рисунок 3 – Dashboard застосунку NutriSafe



Рисунок 4 – Екран статистики користувача застосунку NutriSafe

Рисунок 1 – Головна сторінка, демонструє стартовий екран застосунку. Його структура включає: візуальний ідентифікатор бренду (логотип і персонаж), короткий опис функціонального призначення застосунку та дві основні кнопки дії – реєстрація та вхід. Така побудова відповідає принципу мінімізації когнітивного навантаження та чіткої ієрархії елементів.

Рисунок 2 – Екран вибору алергенів, реалізує етап персоналізації. Структурно він складається з заголовка, інструктивного тексту, списку варіантів алергенів у вигляді чекбоксів та кнопок навігації («Назад», «Продовжити»). Вертикальна організація елементів забезпечує зручність вибору та логічну послідовність введення даних.

Рисунок 3 – Dashboard, є центральним екраном взаємодії користувача із системою. Його структура містить блок привітання, відображення ключових показників (калорії, вода), список рекомендованих страв та нижню навігаційну панель. Інформація згрупована за функціональними модулями, що підвищує зрозумілість та швидкість сприйняття даних.

Рисунок 4 – Екран статистики, відображає аналітичний модуль застосунку. Структурно він включає графічне представлення даних (діаграма), індикатори досягнення цілей та додаткові статистичні показники. Використання візуалізації дозволяє користувачу швидко оцінити прогрес і приймати обґрунтовані рішення щодо харчування.

Окрему увагу сучасні дослідження приділяють аналізу UX-даних на основі результатів користувацьких опитувань. Автори у дослідженні [3] доводять, що застосування методів аналізу даних дозволяє виявляти проблемні зони інтерфейсу та оптимізувати взаємодію користувача із системою. У NutriSafe результати тестування інтерфейсу використовуються для вдосконалення структури меню, покращення зрозумілості позначення алергенів та мінімізації когнітивного навантаження.

Отже, контроль якості програмного продукту NutriSafe реалізовувався комплексно – починаючи з етапу UX/UI-проєктування і завершуючи функціональним та аналітичним тестуванням.

Особливість застосунку полягає в тому, що він працює у сфері здорового харчування та харчових алергій, тому вимоги до точності алгоритмів, коректності відображення інформації та зручності взаємодії є підвищеними.

Реалізований підхід дозволив поєднати людиноцентричний дизайн, перевірку бізнес-логіки та аналіз користувацького досвіду, що відповідає сучасним науковим підходам до розробки mobile health-застосунків. У ході тестування було виявлено та усунено помилки у модулі перевірки алергенів, оптимізовано структуру навігації та підвищено швидкодію інтерфейсу.

Практичне значення проведеної роботи полягає у створенні стабільного, безпечного та інтуїтивно зрозумілого мобільного застосунку, який може бути використаний як інструмент підтримки здорового способу життя. Запропонований підхід до забезпечення якості може бути застосований і при розробці інших цифрових рішень у сфері охорони здоров'я та персоналізованого харчування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дроздовська, А. В., & Кравченко, С. М. (2024). Роль UX/UI дизайну в розробці мобільних додатків: Підходи та методи. https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2024/apr/34346/28.pdf

2. Юрчак, І. Ю., Оксентюк, В., & Гілета, Я. (2024). Design and realization of Calorify mobile application interface with augmented reality technology. *Computer Design Systems*. https://journals.uran.ua/itssi/article/view/348569

3. Ihnatiuk, Y., & Popov, A. (2025). Application of machine learning methods for analysis of UX/UI data from mass user surveys. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. https://www.researchgate.net/publication/383554365_UIUX_Design_Principles_for_Mobile_Health_Applications

УДК 004.77

Зорівчак Н.В.[1], Морохович В.С.[2]

РОЗРОБКА ВЕБЗАСТОСУНКУ ДЛЯ НАДАННЯ ПСИХОЛОГІЧНОЇ ДОПОМОГИ

Динамічний розвиток інформаційно-комунікаційних технологій на сучасному етапі виступає детермінантою фундаментальної перебудови медичної галузі. Враховуючи зростання попиту на онлайн консультації, психологічну допомогу та швидкий доступ до медичних послуг, зараз актуальності набуває створення інтегрованих вебрішень, які забезпечуються комунікацію між фахівцем та пацієнтом у межах єдиного інформаційного середовища [1-3]. Відповідно до Глобальної стратегії цифрового здоров'я Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) на 2020-2025 роки, інформаційні технології повинні сприяти підвищенню доступності медичних послуг та безперервності надання допомоги [4]. На сьогодні традиційна модель отримання допомоги, що передбачає фізичну присутність пацієнта в медичному закладі, поступово вдосконалюється створенням цифрових сервісів, що дозволяють підвищити доступність обслуговування та оптимізувати

[1] студентка 4-го курсу спеціальності «Інформаційні системи і технології», ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

[2] доцент кафедри інформатики та фізико-математичних дисциплін, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», к. ф.-м. н.

його процес для всіх.

Актуальність даного дослідження зумовлена необхідністю створення вебзастосунку для надання психологічної допомоги в будь-якому форматі всім потребуючим, що об'єднує функції моніторингу психоемоційного стану користувача та можливістю звернення до відповідного спеціаліста. Згідно з рекомендаціями ВООЗ щодо цифрових втручань у сфері охорони здоров'я, використання телемедицини та дистанційного моніторингу пацієнтів є ефективним інструментом підвищення якості медичних послуг. Особливістю дослідження є інтеграція інструментів самооцінювання стану пацієнта та запис його результатів, які призначені для подальшої передачі даних лікарю, що забезпечить більш цілісне уявлення про динаміку змін та дозволить підвищити ефективність подальшої консультації.

Теоретична основа розробки базується на системному підході до організації взаємодії акторів інформаційної системи. У класичному форматі пацієнт змушений проходити окремі діагностичні тести, самостійно знаходити спеціаліста та передавати результати обстеження. Запропонований вебзастосунок дозволяє об'єднати ці процеси в рамках однієї платформи. Після реєстрації користувач отримує доступ до функціоналу проходження тестів щодо впливу різних факторів на його стан та можливості фіксації настрою з коментарями в бажані дні. Всі результати зберігаються в особистому кабінеті та можуть бути передані лікарю, обраному для аналізу.

Проєктування взаємодії учасників інформаційної системи реалізовано за допомогою діаграми прецедентів (рис. 1).

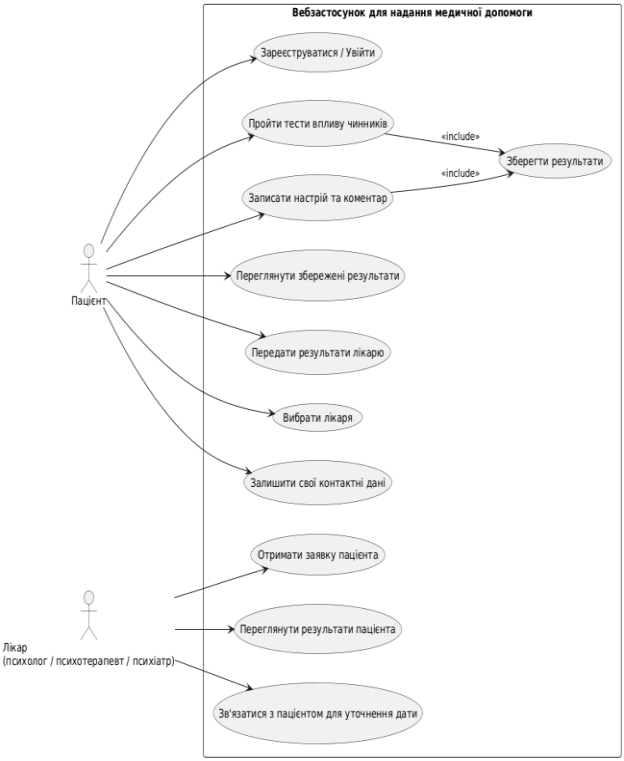


Рисунок 1 - Діаграма прецедентів

Архітектурно система реалізована на основі клієнт-серверної моделі з використанням REST API для обміну даними між фронтендом та бекендом. База даних зберігає інформацію про користувачів, результати тестів, записи про настрої та консультації. Логічна структура системи передбачає модуль автентифікації, модуль тестування, модуль моніторингу психоемоційного стану та модуль взаємодії з лікарем. Такий підхід забезпечує масштабованість та гнучкість розвитку системи в майбутньому.

Практична значущість розробки полягає у спрощенні процесу звернення за медичною допомогою та зменшенні бар'єрів комунікації між пацієнтом і фахівцем. Система дозволяє користувачам фіксувати зміни стану в будь-який зручний час. Накопичення структурованих даних створює передумови для подальшого впровадження аналітичних інструментів та елементів штучного інтелекту з метою прогнозування тенденцій змін психоемоційного стану. Перспективи розвитку проєкту передбачають інтеграцію відеоконсультацій, автоматичний аналіз результатів тестування та впровадження системи рекомендацій щодо підтримки ментального здоров'я.

Висновки. Розробка вебзастосунку для надання психологічної допомоги є актуальним і соціально значущим завданням в умовах цифровізації охорони здоров'я. Запропоноване рішення забезпечує інтеграцію інструментів самооцінювання стану користувача з можливістю взаємодії з лікарем у межах єдиної платформи. Реалізована архітектура відповідає сучасним вимогам безпеки, масштабованості та зручності використання, що дозволяє розглядати її як основу для подальшого розвитку подібних медичних інформаційних систем.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Devi, M., & Garg, S. (2025). Web platform performance for clinical applications. *International Journal of Innovative Research in Engineering and Management,* 12 (6), 50-55. https://doi.org/10.55524/ijirem.2025.12.6.9.

2. Malakhov, K. S. (2023). Insight into the digital health system of Ukraine (eHealth): Trends, definitions, standards, and legislative Revisions. *International journal of telerehabilitation*, 15 (2). https://doi.org/10.5195/ijt.2023.6599.

3. Rasheed, M. M., Alsaedi, M., & Al Ibraheemi, A. (2023). Developing an electronic health records system based on the national identity by using Angular web application framework. *Applied Data Science and Analysis*, 2023, 102-107. https://doi.org/10.58496/ADSA/2023/008.

4. World Health Organization. (2021). *Global strategy on digital health 2020-2025.* https://www.who.int/docs/default-source/documents/gs4dhdaa2a9f352b0445bafbc79ca799dce4d.pdf.

УДК 004.02

Бейрак Д.Я.[1], Вакалюк Т.А.[2]

ОГЛЯД БІБЛІОТЕК КЕРУВАННЯ СТАНОМ ДЛЯ СУЧАСНИХ ФРОНТЕНД-ДОДАТКІВ

Значним аспектом складних сучасних фронтенд-додатків є використання спеціальних бібліотек керування станом, які організовують дані на клієнті за допомогою окремо виділеного сховища. Дана концепція була започаткована в 2014 році компанією Facebook у зв'язку із потребою керування станом в React-додатках. Тоді було представлено архітектурний патерн під назвою Flux. Його основною ідеєю була відмова від двосторонньої прив'язки даних (two-way data binding) та спрямування потоку даних в одну сторону. На відміну від попередніх спроб керування даними на фронтенді, поданням

[1] аспірант кафедри інженерії програмного забезпечення, Державний університет «Житомирська політехніка»

[2] д-р пед. наук, професор, завідувач кафедри інженерії програмного забезпечення, Державний університет «Житомирська політехніка»

заборонялося самостійно змінювати моделі; самі ж зміни тепер мали проходити певний фіксований маршрут, що бере початок у деякому action'і — об'єкту, що описує намір змінити стан додатку. Джерелами action'ів можуть бути дії користувача, серверні події тощо. Усі action'и надходять в dispatcher, який їх переадресує у сховища, що міститься в додатку. Кожне сховище керує станом відповідного домену в додатку і оновлюється в залежності від даних, що містяться у action'і, який йому призначається. Наявні в додатку подання підписуються на потрібні сховища та оновлюються відповідно до оновлень сховищ. Такий підхід дозволив позбутися непередбачуваності стану додатку, що виникає через високу зв'язність її компонентів [1,2].

В подальшому патерн Flux було реалізовано низкою бібліотек. Частина даних реалізацій не є його дослівними імплементаціями — вони отримали назву Flux-подібних (Flux-like) реалізацій. Однією із найпопулярніших Flux-подібних реалізацій є Redux — бібліотека, в основу якої покладено наступні три принципи: наявність сховища, що є джерелом істини усього додатку та яке повністю керує його станом; стан є доступним лише для читання для будь-яких компонентів додатку та може бути змінений лише через action'и, причому, на відміну від Flux, де зміна стану є мутабельною операцією, в Redux дана операція є немутабельною, тобто зміна відбувається через створення нового об'єкту стану з врахуванням відповідних змін; за зміну стану відповідають спеціальні чисті функції, що називаються reducer'ами, кожна з яких приймає у якості аргументів поточний стан та пов'язаний із даним reducer'ом action. Головними перевагами Redux є можливість побудови передбачуванішої архітектури, простіше тестування, за рахунок використання чистих функцій для зміни стану, а також просунутий інструментарій для розробки та відладки. У якості головного недоліку застосування Redux виділяють необхідність написання великої кількості boilerplate-коду, що може сповільнювати розробку та бути неоправданим рішенням для невеликих додатків [1].

Варто зазначити, що на даний момент існує низка бібліотек, що реалізують Redux, як базовий патерн, але при цьому містять додаткові можливості. Так, для бібліотеки React, на сьогоднішній день, такими є однойменна бібліотека Redux [3], а також допоміжний пакет для рекомендованої імплементації Redux Toolkit (RTK) [4]. Для фреймворку Angular стандартною реалізацією є бібліотека NgRx [5] з більш строгим функціональним підходом, проте існують і альтернативи; однією з популярних є NGXS [6], що робить код більш об'єктно-орієнтованим.

У якості альтернативи Redux розглядається MobX — бібліотека, що базується на реактивному функціональному програмуванні та використовує мутабельний стан. Також, у порівнянні з Redux, в даній бібліотеці відсутня низка обмежень щодо способів проектування разом із зменшенням кількості boilerplate-коду. В концепції MobX, action'и

оновлюють спостережуваний стан (observable state), а дані зміни пропагуються в обчислювальні значення (computations, або computeds), що являють собою значення, які обчислюються відкладеним чином та можуть активувати побічні ефекти (side effects), такі як рендеринг компоненту або сторінки. Ціною зменшення кількості boilerplate-коду є менша ясність процесу розробки, так як порівняно більшу частину того, що робить MobX в контексті керування станом, приховано від розробника [1,7].

З іншого боку, альтернативою MobX є бібліотека MobX-state-tree (або скорочено MST). Хоча вона і базується на MobX, але відрізняється концептуально: в основі MST лежить реактивна деревоподібна структура даних, яка має назву living tree. Вона складається з мутабельних, але захищених, об'єктів, збагачених інформацією про типи. З даного дерева робляться snapshot'и, які можуть перетворюватися назад на living tree, що дозволяє подорожувати історією змін, подібно до Redux. Кожному вузлу у дереві відповідає об'єкт стану, а кожній вершині — примітивний тип. Опис моделей виконується за допомогою декларації types.model, а у якості типів моделі можуть використовуватися як примітивні типи, так і обчислювальні властивості (computed property), що відстежуються та мемоїзуються MobX (хоча останні не зберігаються у snapshot'ах). Ще одним можливим типом, що відстежується, але не мемоїзується MobX, є функція подання (view function), що використовується для вилучення даних зі стану; відповідно, дані функції можуть приймати аргументи, але не можуть модифікувати стан. Загалом, MST є спробою об'єднання концепції немутабельності з простотою роботи над змінюваними даними, що лежить в основні мутабельних підходів [8,9].

Бібліотекою, що виступає у якості альтернативи попереднім, є Zustand. Zustand, як і Redux, використовує немутабельну модель даних, проте не вимагає наявності провайдерів контексту. Zustand позиціонується як бібліотека без нав'язування стилю проектування, а тому для неї є опціональними такі елементи проектування, як використання reducer'ів та застосування action'ів. Не дивлячись на це, існують певні рекомендовані патерни, яких автори бібліотеки радять дотримуватися, на кшталт використання єдиного сховища (хоча за потреби його можна розділити для великого додатку) та використання функції set (або setState) для забезпечення коректного злиття даних та сповіщення зацікавлених клієнтів [10,11].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Garreau, M., & Faurot, W. (2018). *Redux in action*. Manning Publications.

2. Meta Developers. (2014, May 5). *Hacker Way: Rethinking web app development at Facebook* [Video]. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=nYkdrAPrdcw

3. Redux. (2026, January 22). *Getting started with Redux*. https://redux.js.org/introduction/getting-started
4. Redux Toolkit. (2026, February 11). *Getting started with Redux Toolkit*. https://redux-toolkit.js.org/introduction/getting-started
5. NgRx. (2026). *@ngrx/store*. https://ngrx.io/guide/store
6. NGXS. (n.d.). *NGXS documentation*. https://www.ngxs.io/
7. MobX. (n.d.). *MobX documentation*. https://mobx.js.org/README.html
8. MobX-State-Tree. (n.d.). *Overview & philosophy*. https://mobx-state-tree.js.org/intro/philosophy
9. MobX-State-Tree. (n.d.). *Types, models, trees & state*. https://mobx-state-tree.js.org/concepts/trees
10. Zustand Docs. (n.d.). *Comparison*. https://zustand.docs.pmnd.rs/getting-started/comparison
11. Zustand Docs. (n.d.). *Flux inspired practice*. https://zustand.docs.pmnd.rs/guides/flux-inspired-practice

УДК 004.25:004.05:004.43

Мох Н.С.[1], Коршенко В.С.[2]

ВПЛИВ АРХІТЕКТУРИ ПАМ'ЯТІ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ МАТРИЧНИХ ОБЧИСЛЕНЬ: ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЧИСТИХ СТРУКТУР PYTHON ТА МАСИВІВ NUMPY

Вступ. У сучасному світі матричні операції є невід'ємною частиною аналізу великих даних та навчання моделей штучного інтелекту. У цих галузях постійно зростають вимоги до швидкодії, що зумовлює потребу в оптимізації матричних операцій. Ця робота зосереджена на аналізі впливу архітектури пам'яті різних типів даних, що використовуються для запису матриць, на продуктивність виконання матричних обчислень на прикладі мови Python.

У широкому розумінні архітектура пам'яті в контексті даних описує спосіб зберігання і використання інформації в оперативній пам'яті комп'ютера. У мові Python діє принцип "Все є об'єктом" (Everything is an object). Це означає, що всі дані зберігаються у вигляді об'єктів, які в найпростішому випадку містять: самі дані, їх тип та лічильник посилань. Змінна за цією парадигмою — це посилання на певний об'єкт у пам'яті [1].

Традиційно оперативну пам'ять поділяють на дві зони:

- Стек (Stack): Тут Python зберігає імена змінних та адреси комірок пам'яті, на які вони посилаються. Стек діє за принципом LIFO (Last in, first out — Останнім прийшов, першим пішов), який передбачає

[1] Студент групи КС14, ХНУ ім. В.Н. Каразіна
[2] Старший викладач кафедри математичного моделювання та аналізу даних ХНУ ім. В.Н. Каразіна

опрацювання найновішої інформації в першу чергу.

• Купа (Heap): Це місце, що використовується для динамічного виділення пам'яті. Саме тут "живуть" об'єкти. У мові Python пам'ять у купі зазвичай керується автоматичним Збирачем сміття (Garbage Collector) [3].

Гіпотеза. Різні способи зберігання матриць у пам'яті, зокрема через використання різних типів даних, можуть впливати на продуктивність виконання матричних операцій. Для перевірки проведемо тестування швидкості виконання однакових матричних операцій над вбудованими списками Python та масивами бібліотеки NumPy. Вимірювання швидкості будемо проводити з використанням модуля timeit.

Експериментальне дослідження проводилося у хмарному середовищі Google Colab (Google Compute Engine, 12.7 GB RAM) із використанням інтерпретатора Python версії 3.14. Для забезпечення чистоти експерименту вимірювався виключно час виконання безпосередньо математичних операцій: генерація випадкових чисел та початкове виділення пам'яті для матриць відбувалися поза таймером.

Вбудовані списки Python насправді є контейнерами, які зберігають вказівники на комірки пам'яті, де розміщені об'єкти-елементи списку. Ці елементи розкидані у купі, але список "пам'ятає" розташування кожного з них. Такий принцип організації дозволяє легко зберігати дані різних типів у списку. Водночас це підвищує використання пам'яті через потребу зберігати вказівники.

Для перевірки гіпотези було створено програму для тестування швидкості виконання наступних операцій: множення матриці на скаляр, додавання та множення матриць. Для отримання релевантних результатів вимірювання проводили 100 разів для розрахунку середнього значення та стандартних відхилень.

Спершу було створено два списки, що будуть представляти матриці 500 на 500 випадкових чисел від 0 до 100, за допомогою модуля random та циклів. Потім під час кожного із 100 вимірювань відбувалося їхнє перезаписування новими випадковими числами (перезапис даних може впливати на кеш-пам’ять, однак ця операція виконувалася однаково для обох реалізацій, тому її вплив на відносну різницю у швидкодії незначний).

Щоразу запускалися окремі функції:

1. Для множення однієї із матриць на випадковий скаляр в межах від 0 до 100;
2. Для додавання матриць;
3. Для множення матриць (перевірку на те, чи можливе множення проводити не потрібно — нам заздалегідь відомий розмір матриць).

Після запуску програми було отримано такий середній час

виконання та стандартні відхилення:

- Для множення на скаляр: 0.020 ± 0.001 сек.
- Для додавання матриць: 0.020 ± 0.001 сек.
- Для множення матриць: 18.766 ± 0.450 сек.

Як видно із результатів, найбільше витрат часу пішло на виконання операції множення двох матриць. Це пов'язано з кубічною асимптотичною складністю $O(N^3)$ класичного алгоритму.

Масиви NumPy відрізняються іншим підходом до організації: усі елементи масиву розташовуються у пам'яті послідовно і мають однаковий тип даних. Такий підхід дозволяє набагато швидше оперувати елементами масиву та звільняє інтерпретатор від потреби динамічно визначати тип даних кожного елемента [2].

Для практичного порівняння було написано аналогічну програму, яка 100 разів виконувала множення на скаляр, додавання та множення двох матриць 500 на 500 цілих випадкових чисел у діапазоні від 0 до 100.

Отримано такий результат:

- Для множення на скаляр: 0.0005 ± 0.0001 сек.
- Для додавання матриць: 0.0005 ± 0.0001 сек.
- Для множення матриць: 0.186 ± 0.032 сек.

Із результатів видно, що завдяки оптимізації роботи з пам'яттю операції додавання та множення на скаляр прискорилися у понад 40 разів, а складна операція множення матриць — у 100 разів. Це підтверджує гіпотезу про вплив архітектури пам'яті на швидкість виконання операцій. Загальні результати вимірювань зі стандартними відхиленнями наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняння часу виконання матричних операцій (сек)

Операція	**Списки Python**	**Масиви NumPy**	**Прискорення**
Множення на скаляр	0.020 ± 0.001	0.0005 ± 0.0001	~ 40x
Додавання матриць	0.020 ± 0.001	0.0005 ± 0.0001	~ 40x
Множення матриць	18.766 ± 0.450	0.186 ± 0.032	~ 100x

Така різниця у часі пояснюється двома факторами. По-перше, C-подібні масиви NumPy розташовуються в оперативній пам'яті як неперервний блок, що дозволяє процесору максимально ефективно використовувати кеш-пам'ять, тоді як списки Python змушують процесор шукати об'єкти за вказівниками по всій купі. По-друге, математичні операції у NumPy реалізовані на мові C з використанням оптимізованих бібліотек для лінійної алгебри (BLAS/LAPACK), які

повністю усувають накладні витрати на динамічну типізацію під час кожної ітерації циклу.

Висновки. Проведене дослідження підтверджує висунуту гіпотезу: архітектура пам'яті критично впливає на швидкодію матричних обчислень. Із результатів випливає, що послідовно організовані, однотипні, C-style масиви NumPy мають часову перевагу над вбудованими списками Python. Це пояснює популярність бібліотеки у галузях великих даних та машинного навчання, де важливі швидкість проведення матричних обчислень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Python Software Foundation. (2025). *Python 3.14.3 documentation.* https://docs.python.org/3.14/ (дата звернення: 20.02.2026).
2. NumPy Developers. (2025). *NumPy documentation.* https://numpy.org/doc/ (дата звернення: 20.02.2026).
3. VanderPlas, J. (2016). *Python data science handbook: Essential tools for working with data.* O'Reilly Media.

УДК 004.2

Богдан Д.В[1].,Костенко О.Б.[2]

ЯК ОБРАТИ ОС: ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДЛЯ ФАХІВЦІВ І ПОЧАТКІВЦІВ.

Вступ. Попри широкий вибір загального і спеціалізованого програмного забезпечення операційні системи залишаються фундаментальною програмною основою, що забезпечує взаємодію користувача з апаратним комплексом і визначає можливості використання різноманітних пристроїв. Серед найпоширеніших рішень сучасності особливе місце посідають Microsoft Windows та Linux.

Хоча Windows і Linux мають спільне призначення, вони суттєво відрізняються моделями розробки, архітектурою, апаратними вимогами та підходами до безпеки. Порівняльний аналіз цих систем дозволяє визначити їхні переваги та обмеження, а також окреслити сфери доцільного використання.

Windows була представлена компанією Microsoft у 1985 році як графічна надбудова над MS-DOS, що згодом трансформувалася у повноцінну операційну систему [1]. Linux з'явився у 1991 році, коли Лінус Торвальдс створив відкрите ядро операційної системи [2]. Саме ядро Linux у поєднанні з інструментами GNU формує повноцінні

[1] Студентка групи КН 2024-1, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[2] Доцент кафедри КН та ІТ, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, канд. фіз.-мат. наук.

операційні системи — дистрибутиви Linux, розвиток яких забезпечується відкритою спільнотою розробників.

Під час аналізу особливостей розробки та використання цих операційних систем доцільно врахувати ключові характеристики, подані в таблиці 1..

Щодо Windows. Більшість людей отримують її «безкоштовно» при купівлі ноутбука, але її ціна вже закладена у вартість пристрою.

Окрему нішу займають версії для освітніх установ, як-от Windows 11 Education. Вони пропонуються навчальним закладам за спеціальними пільговими цінами, що робить ліцензійне програмне забезпечення доступнішим для навчання. Хоча такі версії можуть мати певні функціональні обмеження у порівнянні з корпоративними виданнями, вони майже повністю забезпечують потреби студентів та викладачів. Головна мета таких рішень – забезпечити учнів з різними можливостями високоякісними інструментами, які є простими у розгортанні, керуванні та надійно захищені від сучасних кіберзагроз.

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики операційних систем

Характеристики та особливості	Windows	Linux
Вихідний код	Комерційна система із закритим вихідним кодом.	Програмне забезпечення (ПЗ) з відкритим вихідним кодом, до якого користувачі мають доступ.
Інтерфейс	Графічний, командний рядок Windows.	Графічний, Bash (інтерпретатор командного рядка),.
Програмне забезпечення	Широкий вибір комерційного ПЗ від сторонніх розробників.	Програми доступні у вигляді безкоштовних програмних пакетів.
Надійність	Надійність нижча за Linux	Безпека і надійність на високому рівні.
Вартість	Ціна копії від 125 до 200 $	Ліцензія ОС є цілком безкоштовною.
Файлова система	Файли зберігаються в каталогах на різних дисках (C:\, D:\, E:\ і т.д.).	Файлова система має деревоподібну структуру, де все (каталоги, файли, зовнішні підключені пристрої) є файлами.

Щодо Windows. Більшість людей отримують її «безкоштовно» при купівлі ноутбука, але її ціна вже закладена у вартість пристрою.

Окрему нішу займають версії для освітніх установ, зокрема *Windows 11 Education*, що надаються навчальним закладам за пільговими цінами. Хоча вони можуть мати незначні функціональні обмеження порівняно з корпоративними версіями, їх можливостей достатньо для навчальних потреб студентів і викладачів. Основною метою таких рішень є забезпечення освітнього процесу доступними, зручними у керуванні та захищеними інструментами..

Linux у більшості випадків є безкоштовною операційною системою. Водночас у корпоративному сегменті для окремих дистрибутивів передбачена платна підтримка. Для домашніх користувачів існують платні варіанти, зокрема *Zorin OS Pro*, де оплата здійснюється не за саму систему, а за додаткові можливості, такі як розширений дизайн, попередньо встановлене програмне забезпечення та технічна підтримка. У корпоративному середовищі прикладом платного рішення є підтримка дистрибутиву *Red Hat Enterprise Linux*, який використовується на серверах великих компаній..

Linux не є однією конкретною операційною системою, а представляє собою платформу на основі ядра, навколо якого формуються різні дистрибутиви. Така модульна структура дозволяє користувачам і розробникам адаптувати систему до власних потреб. Основні відмінності між дистрибутивами полягають у складі програмного забезпечення, інтерфейсі та підходах до налаштування системи..

- Менеджери пакетів - варіанти того, як користувач встановлює програми. В Ubuntu це apt, у Fedora - dnf, в Arch - pacman.
- Оболонки (Desktop Environments). Це те, як виглядає робочий стіл. KDE Plasma: схожа на Windows (меню «Пуск», панель задач). GNOME: схожа на мобільну ОС або macOS (мінімалізм, жести). GNOME – один із найстаріших робочих столів Linux. Його сучасний вигляд (GNOME 3) має спливаючі панелі по краях екрану і слугує основою для інших оточень, таких як Cinnamon і MATE [3].

Ресурсоємність та апаратна гнучкість. Linux зазвичай споживає менше оперативної пам’яті завдяки відсутності великої кількості фонових процесів та телеметрії (збору даних). Спеціалізовані «легкі» дистрибутиви здатні повноцінно працювати, використовуючи лише 500 – 700 МБ ОЗП, що практично неможливо для сучасних версій Windows.

Завдяки низьким вимогам до ресурсів, Linux дозволяє не утилізувати стару техніку, а продовжувати використовувати її в роботі. Linux є ідеальним рішенням для подовження життєвого циклу обладнання 10-15 річної давнини, які не відповідають системним вимогам сучасних версій Windows. Спеціалізовані дистрибутиви Linux

дозволяють повернути швидкість і стабільність пристроям, які офіційно вважаються застарілими.

Сумісність програмного забезпечення. Windows має кращу підтримку комерційного програмного забезпечення: Adobe, AutoCAD, MS Office.

На Linux використовують альтернативні програми:

- GIMP, LibreOffice;
- Wine, що дозволяє запускати додатки, створені для Windows, всередині Linux.

Перехід на Linux може виявитися недоцільним для окремих категорій користувачів і призвести до зниження продуктивності. Зокрема, це стосується фахівців, робота яких залежить від спеціалізованого програмного забезпечення, такого як *Photoshop*, *Premiere Pro*, *After Effects* або *AutoCAD*. Хоча в Linux існують альтернативи (наприклад, GIMP, Krita, DaVinci Resolve), вони відрізняються інтерфейсом і функціональними можливостями, що може ускладнювати професійну роботу.

Перехід на операційну систему Linux для користувачів онлайн-шутерів наразі обмежений через несумісність систем античіту. Багато сучасних ігор, зокрема *Valorant*, *Call of Duty* та *Fortnite*, використовують античіт-системи (Riot Vanguard, Ricochet), що працюють на рівні ядра Windows і мають високий рівень доступу до системних ресурсів. Через відмінності в архітектурі ядра Linux такі механізми не функціонують належним чином. Під час запуску через шари сумісності (Proton, Wine) античіт не отримує необхідного доступу до системи, тому блокує запуск гри.

Користувачі, які не хочуть вчитися. Опанування системи Linux припускає вищий поріг входу для користувача і необхідність додаткового навчання.

Власники дуже специфічного апаратного забезпечення. Новітні ігрові ноутбуки з двома екранами, специфічні звукові карти для студійного запису або екзотичні периферійні пристрої можуть не мати драйверів «під Linux».

Важлива перевага Linux – мінімальна або повна відсутність телеметрії за замовчуванням у більшості дистрибутивів. На відміну від Windows, де система активно збирає дані про дії користувача і не забезпечує відкритої приватності, Linux дозволяє користувачеві зберігати контроль над своїми особистими даними.

Windows: для геймерів (через античіти в онлайн-іграх), професійних дизайнерів, архітекторів та офісних працівників, чия робота зав'язана на специфічному корпоративному ПЗ.

Linux: для програмістів, системних адміністраторів, студентів, авторів текстів та звичайних користувачів, яким потрібен браузер, месенджери та перегляд відео без будь-яких затримок.

Висновки. Аналіз показує, що Windows і Linux розвивалися різними шляхами та орієнтовані на різні підходи до використання комп'ютерних систем. Windows є комерційною операційною системою із закритим кодом, яка забезпечує високу сумісність із професійним програмним забезпеченням та іграми. Linux характеризується відкритим кодом, гнучкістю налаштування та меншою ресурсоємністю. Різноманіття дистрибутивів і графічних середовищ дозволяє адаптувати систему до потреб користувача, а також забезпечує більший контроль над системою та вищий рівень приватності. Вибір між Windows і Linux залежить від потреб користувача, його професійної діяльності та технічних вимог. Обидві системи мають свої переваги, а їхнє співіснування сприяє розвитку технологій і програмного забезпечення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ITC.ua. (2024). *Сорок років дивимося у «вікна»: Історія графічного інтерфейсу користувача*. https://itc.ua/ua/articles/sorok-rokiv-dyvymosya-u-vikna-istoriya-grafichnogo-interfejsu-korystuvacha/
2. aCode. (n.d.). *Linux чи Windows? Порівняння операційних систем*. https://acode.com.ua/linux-vs-windows/
3. IT Education Center. (2021). *Ubuntu vs Windows: яка ОС підійде саме вам?* https://itedu.center/ua/blog/comparisons/ubuntu_vs_windows/

УДК 004.94:62

Білоус А. В.[1], Карпенко М. Ю.[2]

ТЕХНОЛОГІЯ DJANGO У СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОННОЇ КОМЕРЦІЇ

Цифровізація бізнес-процесів є важливим чинником забезпечення стійкості підприємств. Особливої актуальності ця проблема набуває під час воєнних дій, коли традиційні офлайн-канали збуту можуть бути частково або повністю недоступними, порушуються логістичні ланцюги, змінюється географія попиту та поведінка споживачів. У таких умовах електронна комерція стає не лише додатковим каналом продажу, а критично важливим елементом безперервності діяльності підприємства. Веб-застосунки інтернет-магазинів повинні забезпечувати надійну роботу за підвищених навантажень, швидку адаптацію до змін середовища, безпечну обробку даних клієнтів та інтеграцію з платіжними і логістичними сервісами. Таким чином, вибір технологічної платформи для розробки

[1] Студентка групи ІСтаТ 2025-1, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова
[2] Доцент кафедри КНтаІТ, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова; доцент кафедри ІС, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця

електронних торговельних систем є стратегічним рішенням.

Однією з перспективних технологій для створення веб-застосунків електронної комерції є фреймворк Django, побудований на мові програмування Python. Його особливістю є наявність вбудованих засобів для реалізації більшості типових завдань: системи автентифікації та авторизації користувачів, адміністрування контенту, механізмів роботи з базами даних через ORM, форм і валідації даних, захисту від поширених типів веб-атак. Використання Django дозволяє у стислий термін створити функціональний прототип інтернет-магазину з можливістю керування каталогом товарів, обробкою замовлень у режимі реального часу, формуванням історії покупок та інтеграцією із зовнішніми сервісами. У кризових умовах це забезпечує скорочення часу виведення продукту на ринок та зменшує витрати на підтримку системи. Важливою перевагою Django є структурованість архітектури, що сприяє масштабованості проєктів. Завдяки діючим стандартам організації коду та широкій спільноті розробників забезпечується стабільність оновлень і наявність великої кількості готових розширень. Це має особливе значення під час воєнного стану, коли команда розробників може працювати дистанційно або у скороченому складі, а також коли потрібно оперативно змінювати функціональні модулі (наприклад, способи доставки або оплати). У таблиці 1 наведено інформацію щодо оцінювання доцільності вибору Django у порівнянні з іншими технологіями веб-розробки.

Таблиця 1 – Порівняння Django з альтернативними платформами

Критерій	Django	Flask	FastAPI	Express (Node.js)	Laravel	Spring Boot
Підхід	Full-stack фреймворк	Мікрофреймворк	API-фреймворк	Мікрофреймворк	Full-stack фреймворк	Enterprise-фреймворк
Адм. панель	Вбудована	Немає	Немає	Немає	Обмежена	Немає
Швидкість розробки	Висока	Середня	Висока	Середня	Висока	Середня
Безпека	Розширена (вбудована)	Модульна	Базові механізми	Модульна	Висока	Конфігурована
ORM	Вбудована	Сторонні	Сторонні	Сторонні	Вбудована	Вбудована

З наведеного порівняння видно, що Django забезпечує оптимальний баланс між швидкістю розробки, функціональністю та безпекою, що робить його придатним для створення прикладних систем електронної комерції.

Додатковим аргументом на користь використання Django є динаміка його популярності. Python стабільно входить до переліку найпопулярніших мов програмування у світових рейтингах, а Django залишається одним із провідних веб-фреймворків у Python-екосистемі.

У таблиці 2 наведено узагальнену характеристику динаміки популярності фреймворку Django у 2018–2025 роках. Аналіз відкритих статистичних джерел та професійних оглядів дозволяє констатувати стале зростання та закріплення позицій Django у сфері веб-розробки та електронної комерції.

Таблиця 2 – Узагальнена динаміка популярності фреймворку Django (2018–2025 рр.)

Період	**Тенденція розвитку**	**Характеристика етапу**
2018–2019	Помірне зростання	Стабільне використання у веб-проєктах середньої складності
2020	Активне зростання	Посилення попиту на веб-рішення та інструменти електронної комерції
2021–2022	Розширення сфери застосування	Масове впровадження у бізнес-системах, інтеграція з хмарними сервісами
2023	Стійке зростання	Закріплення позицій серед популярних Python-фреймворків
2024–2025	Стабілізація на високому рівні	Висока активність використання в e-commerce та корпоративних застосунках

Збільшення попиту на веб-системи автоматизації бізнесу у період кризових явищ сприяє подальшому розширенню сфери застосування Django. Велика професійна спільнота, активна документація та багаторічна історія розвитку зменшують технологічні ризики при впровадженні рішення. Окремо слід підкреслити переваги Django при реалізації проєктів в умовах нестабільності (табл.3).

Таблиця 3 – Ключові переваги Django при реалізації проєктів в умовах нестабільності

Потреба	Можливості Django
Швидкий запуск проєкту	Вбудовані засоби адміністрування та готові компоненти
Захист персональних даних	Механізми безпеки, контроль доступу
Масштабування	Підтримка інтеграції з хмарною інфраструктурою
Інтеграція з платіжними сервісами	Наявність готових бібліотек
Підтримка командної розробки	Усталена архітектура та чітка структура проєкту

Таким чином, використання Django для розробки веб-застосунків електронної комерції є технологічно обґрунтованим рішенням, що відповідає сучасним викликам та умовам нестабільності. Фреймворк забезпечує швидкість створення та впровадження системи, її безпечність і масштабованість. З огляду на зростання популярності

Python-екосистеми та широке поширення Django у світовій практиці, можна прогнозувати подальше розширення його використання у сфері електронної комерції та автоматизації бізнес-процесів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Gupta, V., Singh, A., Singh, A., & Pratap, A. (2023). *E-commerce Web-Application with Django*. IJIRT. https://ijirt.org/publishedpaper/IJIRT160535_PAPER.pdf

2. Bhardwaj, P., Rathee, V., & Yadav, R. (2024). *Exploring the Development and Implementation of E-Commerce Websites Using the Django Framework*. IJCRT. https://ijcrt.org/papers/IJCRT24A4394.pdf

3. *Web Application for E-Commerce Using Django Framework* (PDF). (n.d.). IJTSRD. https://www.ijtsrd.com/papers/ijtsrd57520.pdf

UDC 004.9

Trofimchuk L.A.[1], Dementiev S.Y.[2],
Yablochnikova V.O.[3]

USE OF ONLINE SERVICES FOR CREATING, EXECUTING, AND DEBUGGING C/C++ PROGRAMS IN ARDUINO SIMULATORS

In recent years, microcontroller platforms have become a key component in the advancement of embedded and automated systems. Among these, Arduino stands out as a widely utilized platform, offering an accessible environment for designing and managing electronic devices [1]. Arduino boards are primarily programmed using C/C++ languages. However, working with physical hardware typically requires additional equipment, financial resources, and time. Consequently, the use of online services and simulators for Arduino development has been steadily increasing in educational and research settings [2].

Online simulators create a virtual environment where users can design circuits, write and execute code, and emulate microcontroller operations without physical devices. These platforms allow developers and students to test, analyze, and debug system behavior while identifying potential errors early in the development process [3].

A major advantage of Arduino is the ability to model interactions between software and hardware components. Users can link virtual sensors, LEDs, buttons, and other elements to a simulated microcontroller, observing how programs manage these devices. This approach helps users understand

[1] Student, gr. IST-41d, Vinnytsia Trade and Economical Institute of STEU
[2] PhD in Technical Sciences, Docent, Dept. of Innovative Economics and Digital Technologies, "Vinnytsia Trade and Economical Institute of STEU", PhD, Docent, Dementiev Serhii Yuriiovych
[3] Senior Lecturer, Dept. of Foreign Philology and Translation, " Vinnytsia Trade and Economical Institute of STEU", Senior Lecturer, Yablochnikova Veronika Olehivna

embedded system functionality and the relationship between software and hardware [4].

Debugging is also a vital phase in software development. Many online platforms include built-in tools to monitor program execution, analyze variables, and detect logical or syntax errors, enabling developers to quickly identify issues and enhance program reliability [5].

Moreover, Arduino simulators are accessible via web browsers without requiring complex software installations. This accessibility supports independent learning and educational use. Students can learn fundamental microcontroller programming concepts, design electronic prototypes, and test algorithms before implementing them on physical hardware [6].

Simulators also provide a risk-free environment to experiment with real hardware components, testing various circuit configurations and program logic without incurring additional costs. Many platforms further support collaborative work, allowing multiple users to work on projects simultaneously and share results [7].

Overall, the use of online Arduino simulators is a highly effective tool for learning, executing, and debugging C/C++ programs. They offer a practical environment for circuit simulation, foster programming skills, and enhance understanding of embedded systems. In addition, these platforms expand opportunities for conducting educational experiments and research projects. Students can test different algorithms, analyze system behavior, and compare design alternatives safely while gaining valuable practical experience.

Modern Arduino simulators also enable integration with Internet of Things (IoT) technologies, facilitating the simulation of communication between microcontrollers, sensors, and remote servers. As a result, these online tools contribute not only to understanding basic programming principles but also to the development of innovative smart devices and automated systems [2].

Therefore, Arduino simulators play an important role in contemporary engineering education and in the development of advanced embedded systems. Their accessibility, flexibility, and functionality make them invaluable for students, researchers, and developers working in electronics and microcontroller programming.

REFERENCE:

1. Banzi, M., & Shiloh, M. (2022). *Getting started with Arduino: the open source electronics prototyping platform*. Maker Media, Inc..
2. Kaul, L. (2023). *Practical Arduino Robotics: A hands-on guide to bringing your robotics ideas to life using Arduino*. Packt Publishing Ltd.
3. Versino, M. (2024). *Arduino Cookbook: Ricette per iniziare espandere e migliorare i tuoi progetti*. Youcanprint.
4. Araújo, J. L., & Saúde, I. (2026). Exploring arduino programming in non-formal education context: enhancing middle school students' interest

and motivation. *Research in Science & Technological Education*, *44*(1), 296-313.

5. Bell, C. (2021). Arduino programming. In *Beginning IoT Projects: Breadboard-less Electronic Projects* (pp. 71-125). Berkeley, CA: Apress.

6. Shaari, S., Rahman, F., & Berahim, C. (2021). The Development of Arduino based Educational Kit: Traffic Light Prototype to Increase the User Basic Knowledge on Writing Simple Arduino Programming Code. *International Journal of Innovation and Industrial Revolution*, *3*, 27-35.

7.Smythe, R. J. (2021). Arduino and Raspberry Pi. In *Advanced Arduino Techniques in Science: Refine Your Skills and Projects with PCs or Python-Tkinter* (pp. 1-31). Berkeley, CA: Apress.

УДК 004.9

Полоневич Д.В.,[1] Пількевич І.А. [2]

МОДЕЛЬ ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛЬНОЇ ПОВЕДІНКИ API НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ШАБЛОНІВ ЗАПИТІВ

Сучасні клієнт-серверні програмні системи широко використовують програмні інтерфейси прикладного програмування (API) для організації взаємодії між програмними компонентами, сервісами та зовнішніми інформаційними системами. API забезпечує передачу даних, виконання функціональних операцій та інтеграцію різних програмних модулів у межах єдиної інформаційної інфраструктури.

З розвитком мікросервісної архітектури та збільшенням кількості клієнтських застосунків значно зростає інтенсивність взаємодії з API. У таких умовах особливої актуальності набуває задача виявлення аномальних режимів роботи API, які можуть виникати внаслідок програмних помилок, некоректної роботи клієнтських застосунків або несанкціонованого доступу до системи [1].

Одним із перспективних підходів до вирішення цієї задачі є аналіз шаблонів запитів до API, що дозволяє визначати характерні сценарії взаємодії клієнтів із серверною частиною системи та виявляти відхилення від нормальної поведінки.

У процесі функціонування клієнт-серверної системи взаємодія клієнта із сервером реалізується у вигляді послідовності запитів до API. Кожен запит характеризується набором параметрів, які дозволяють описати його основні властивості та контекст виконання.

Представимо множину запитів до API у вигляді послідовності:

$$R = \{r_1, r_2, \dots r_n\},$$

у якій кожен запит описується кортежем параметрів:

[1] Аспірант групи PHD-F2-25-2, ДУ «Житомирська політехніка»

[2] Доктор техн. наук, професор, ДУ «Житомирська політехніка»

$r_i = (e_i, m_i, p_i, t_i)$, де

e_i — endpoint API;
m_i — HTTP-метод запиту;
m_i — набір параметрів запиту;
t_i — момент часу виконання запиту.

На основі журналів API формується множина шаблонів нормальної поведінки системи, що відображають типові сценарії взаємодії клієнтів із сервером. Такі шаблони можуть включати характерні послідовності викликів API, типові параметри запитів та допустимі часові інтервали між ними.

У межах запропонованої моделі аномалія визначається як відхилення поточної послідовності запитів від сформованих шаблонів нормальної поведінки. До основних проявів аномальної поведінки API можна віднести:

- нетипові або нехарактерні послідовності викликів API;
- значне збільшення частоти запитів до певних endpoint;
- використання параметрів запиту, які раніше не зустрічалися;
- різкі зміни часових інтервалів між послідовними запитами.

Процес виявлення аномальних режимів роботи API включає декілька етапів:

1. Збір журналів API-запитів, що містять інформацію про взаємодію клієнтів із сервером.
2. Формування ознак, які описують властивості запитів та їх послідовностей.
3. Побудову моделей нормальної поведінки на основі історичних даних.
4. Порівняння поточних запитів із еталонними шаблонами поведінки.
5. Оцінювання ступеня відхилення та класифікацію режиму роботи системи.

Такий підхід дозволяє враховувати не лише окремі характеристики запитів, але й структуру взаємодії клієнтів із API, що підвищує ефективність виявлення аномальних режимів функціонування системи.

Запропонована модель створює формальну основу для подальшої розробки методів і алгоритмів ідентифікації аномальних режимів роботи API. Її використання дозволяє аналізувати поведінкові характеристики взаємодії клієнтів із сервером та своєчасно виявляти відхилення від нормальних сценаріїв роботи системи.

Перевагою підходу є можливість використання різних методів аналізу даних, зокрема статистичних методів або методів машинного навчання, для побудови моделей нормальної поведінки та оцінювання ступеня відхилення.

Висновки. У роботі запропоновано модель виявлення аномальної поведінки API на основі аналізу шаблонів запитів у клієнт-серверних програмних системах. Модель дозволяє формалізувати типові сценарії взаємодії клієнтів із серверною частиною системи та визначати відхилення від сформованих шаблонів поведінки.

Запропонований підхід може бути використаний як основа для створення систем моніторингу та аналізу API-запитів, спрямованих на підвищення надійності, стабільності та безпеки функціонування програмних систем.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Носенко, К. М., Півторак, О. І., & Ліхоузова, Т. А. (2014). Огляд систем виявлення атак в мережевому трафіку. *Адаптивні системи автоматичного управління*, (1), 24.

УДК 004.415.53

Мельник А.В.[1], Дмитроца Л.П.[2]

АРХІТЕКТУРНІ ПІДХОДИ ДО ВПРОВАДЖЕННЯ УНІКАЛЬНИХ ІДЕНТИФІКАТОРІВ UI-ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕСТУВАННЯ МОБІЛЬНИХ ЗАСТОСУНКІВ

Забезпечення високого рівня якості програмних продуктів в умовах процесів безперервної інтеграції та розгортання вимагає створення надійних систем автоматизованого тестування. Наразі найбільш вразливою ланкою у процесі верифікації залишається наскрізне (end-to-end) тестування графічного інтерфейсу користувача. Ключовою проблемою таких тестів є їхня висока структурна нестабільність та значні ресурсозатрати на подальший супровід [1].

Традиційні підходи до ідентифікації елементів графічного інтерфейсу базуються на обході ієрархії представлення (дерева візуальних компонентів), використанні складних пошукових предикатів, аналізі шляхів локалізації компонентів у дереві розмітки або спиранні на текстові атрибути [2]. Такий підхід формує жорстку залежність тестових сценаріїв від візуальної реалізації та платформно-залежних механізмів рендерингу. Будь-яка оптимізація структури інтерфейсу, зміна вкладеності контейнерів або розширення бази локалізації призводить до хибнопозитивних відмов тестових сценаріїв, навіть за умови коректного функціонування базової бізнес-логіки застосунку.

Для формалізації зазначеної проблематики доцільно розглянути

[1] Аспірант кафедри Комп'ютерних наук, ТНТУ
[2] Доцент кафедри Комп'ютерних наук, ТНТУ, к. т. н.

ймовірнісну модель успішного виконання автоматизованого сценарію. Нехай тестовий сценарій складається з n послідовних кроків взаємодії з елементами інтерфейсу. Якщо $P(e_i)$ — ймовірність того, що критерій пошуку i-го елемента втратить актуальність (внаслідок редизайну, динамічного завантаження контенту або реструктуризації дерева компонентів), то загальна ймовірність хибної відмови тесту P_f через деградацію локаторів визначається наступною формулою:

$$P_f = 1 - \prod_{i=1}^{n} \left(1 - P(e_i)\right)$$

З наведеної математичної моделі випливає, що зі збільшенням довжини сценарію (n) та за умови використання семантично слабких стратегій пошуку (високе значення $P(e_i)$), ймовірність хибнопозитивного результату тестування експоненціально наближається до абсолютного значення.

Для подолання проблеми структурної нестабільності автоматизованих тестів необхідна зміна парадигми ідентифікації: перехід від евристичного аналізу візуального представлення до детермінованого структурного зв'язування. Оптимальним архітектурним рішенням є використання ідентифікаторів доступності — спеціалізованих метаданих, які інтегруються безпосередньо в компоненти графічного інтерфейсу користувача на етапі їх розробки і не відображаються кінцевому користувачу.

Такий підхід формує інваріантний шар взаємодії між кодом програмного продукту та фреймворком тестування. З метою обґрунтування доцільності впровадження унікальних ідентифікаторів, проведено порівняльний аналіз поширених стратегій пошуку елементів інтерфейсу (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз стратегій ідентифікації елементів графічного інтерфейсу

Критерій оцінки	**Топологічний пошук**	**Лексичний пошук**	**Унікальні ідентифікатори**
Стійкість до рефакторингу	Низька	Середня	Висока
Залежність від локалізації	Відсутня	Висока	Відсутня
Алгоритмічна складність	*O(N)*	*O(N)*	*O(1)*
Витрати на супровід	Високі	Високі	Мінімальні

Як видно з наведеної таблиці, алгоритмічна складність обходу дерева візуальних елементів за допомогою складних предикатів часто

наближається до лінійної *O(N)*, де *N* — кількість вузлів у дереві [3]. Натомість запит до операційної системи на отримання елемента за його унікальним ідентифікатором оптимізований на рівні платформи, що наближає швидкість пошуку до константного часу *O(1)* та суттєво зменшує час виконання наскрізних тестових наборів.

З позиції архітектури програмного забезпечення, успішне впровадження цього механізму вимагає суворого дотримання принципу «єдиного джерела істини». Ідентифікатори не повинні дублюватися у вигляді нетипізованих текстових значень у різних підсистемах проєкту. Надійним шаблоном проєктування є створення строго типізованих переліків (перелічуваних типів даних), які компілюються у спільний модуль, доступний як для розробників мобільного застосунку, так і для інженерів із забезпечення якості. Такий підхід гарантує перевірку актуальності критеріїв пошуку ще на етапі компіляції вихідного коду, повністю унеможливлюючи виникнення синтаксичних помилок чи використання недійсних значень.

Окрім того, використання унікальних ідентифікаторів практично реалізує концепцію зміщення процесу забезпечення якості на найбільш ранні етапи життєвого циклу розробки. Процес проєктування архітектури, придатної для автоматизованої перевірки, відбувається паралельно зі створенням самого програмного продукту. Це дозволяє виявляти дефекти інтеграції задовго до початку фінальних етапів збирання та випуску програмного забезпечення, суттєво знижуючи вартість виправлення помилок.

Висновки. Упровадження унікальних ідентифікаторів елементів графічного інтерфейсу є фундаментальним архітектурним рішенням, що дозволяє ефективно подолати проблему хибних відмов тестових сценаріїв, викликаних топологічною нестабільністю дерева компонентів та процесами локалізації. Використання статичних метаданих ізолює логіку автоматизованої перевірки від візуального представлення застосунку, наближаючи алгоритмічну складність пошуку елементів до константного часу та суттєво знижуючи витрати на супровід. Загалом, інтеграція цього підходу на ранніх етапах проєктування є обов'язковою передумовою для побудови масштабованих та надійних процесів безперервної інтеграції та розгортання програмного забезпечення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Luo, Q., Farahani, F., Allen, P., & Moran, K. (2014). An empirical analysis of flaky tests. *Proceedings of the 22nd ACM SIGSOFT International Symposium on Foundations of Software Engineering (FSE 2014)*, 643–653.
2. Leotta, M., Clerissi, D., Ricca, F., & Spadaro, C. (2016). Repairing Selenium test cases: an industrial case study about web page element locators. *Software Testing, Verification and Reliability*, 26(6), 441–465.
3. Leotta, M., Ricca, F., & Tonella, P. (2021). SIDEREAL: Statistical

Adaptive Generation of Robust Locators for Web Testing. *Journal of Software: Testing, Verification and Reliability (STVR)*, 31(3).

UDC 004.9 Kostin Ye.R.[1], Gamayun I.P.[2] , Dashkivskyi R.B.[3], Kopp A.M.[4]

TOWARDS OPTIMIZATION OF MULTI-CLOUD MICROSERVICE APPLICATIONS DEPLOYMENT

Introduction. Deploying microservice applications in a multi-cloud environment requires simultaneous consideration of performance, cost, scalability, and resource constraints. Each cloud provider offers its own configurations of computing resources, pricing models, and orchestration tools. This results in the task of selecting the optimal deployment configuration for a set of microservices under multi-criteria conditions and constraints.

The paper [1] provides a comparative analysis of multi-cloud deployment strategies for microservices in Amazon Web Services and Microsoft Azure. The study focuses on monitoring key metrics, including performance, cost, scalability, and security. The dissertation [2] proposes the use of stochastic optimization algorithms to find cost-effective configurations for deploying application components in a multi-cloud environment. The paper [3] presents the OPTIMUUM framework, which uses digital twins and the QPSO algorithm to optimize the orchestration of containerized applications in a cloud continuum environment.

Analysis of these sources shows that existing approaches are focused on heuristic or metaheuristic search for optimal solutions. However, formalization of the task of selecting a deployment configuration at the level of a generalized mathematical model remains relevant.

The goal of this work is to develop and formalize a conceptual model for optimizing the deployment of microservice applications in a multi-cloud environment, taking into account resource and cost constraints.

Research results. Let us consider a set of possible configurations for deploying a microservice application. Each configuration corresponds to a specific set of infrastructure parameters. These include instance type, memory size, number of cores, location region, and provider.

Let there be N possible deployment templates. Each template is characterized by three main indicators: deployment cost incurred by the microservice C_i, percentage of allocated resources utilized by the

[1] PhD Student of SE & MIT Department, NTU “KhPI”
[2] Professor of SE & MIT Department, NTU “KhPI”, DSc, Professor
[3] PhD Student of SE & MIT Department, NTU “KhPI”
[4] Head of SE & MIT Department, NTU “KhPI”, PhD, Associate Professor

microservice R_i (resource utilization), and percentage of successful deployments for the microservice S_i (success rate).

The parameter vector for the i-th template can be represented as:

$$P_i = \langle C_i, R_i, S_i \rangle, i = \overline{1,N}.$$

Let us introduce binary decision variables x_i, which determine whether the corresponding template is selected. If $x_i = 1$, the template is included in the final decision. If $x_i = 0$, the template is not used.

The goal of optimization is to maximize the total performance of the selected configuration:

$$\max \sum_{i=1}^{N} S_i \cdot x_i.$$

The terms of the task set restrictions on the deployment cost and resource utilization:

$$\sum_{i=1}^{N} C_i \cdot x_i \leq C_{max},$$

$$\sum_{i=1}^{N} R_i \cdot x_i \leq R_{max}.$$

There is also a restriction on choosing M configurations by deploying microservices-based applications across multiple cloud environments:

$$\sum_{i=1}^{N} x_i = M,$$

$$x_i \in \{0,1\}, i = \overline{1,N}.$$

The proposed model corresponds to the task of discrete optimization with a linear objective function and linear constraints. It can be extended for the case of deploying multiple microservices. In this case, indexing by services is introduced and a multidimensional distribution model is formed.

Instead of the success rate S_i, the integral metric G_i can be formed based on normalized performance and service quality indicators $\bar{q}_i$:

$$G_i = \sum_{i=1}^{N} w_i \cdot \bar{q}_i,$$

$$\bar{q}_i = \frac{q_i - \min\limits_{i=\overline{1,N}} q_i}{\max\limits_{i=\overline{1,N}} q_i - \min\limits_{i=\overline{1,N}} q_i}, i = \overline{1,N}.$$

For example, it can also take into account the latency, deployment time, and data transfer. Weighting coefficients w_i can be determined by experts or using analytical methods:

$$\sum_{i=1}^{N} w_i = 1,$$

$$w_i \in [0,1], i = \overline{1,N}.$$

The proposed model allows integrating data obtained using cloud providers' APIs. Thus, the C_i and R_i parameters can be updated in real time based on current prices and available configurations. This is consistent with the approach described in [2], which uses dynamic retrieval of instance configuration data.

Various methods can be used to solve the problem. If there are only a few templates, precise integer programming algorithms can be used. For large configuration spaces, it is advisable to use metaheuristics, in particular particle swarm algorithms or stochastic search, as proposed in [2] and [3].

In the context of a multi-cloud environment, the model may take additional criteria into account. These include geographical proximity to the user, security level, and compliance policies. In this case, the integral metric G_i should be expanded with additional components.

The proposed conceptual scheme involves the following stages: collecting template parameters, forming a vector of characteristics, solving the optimization problem, and selecting a configuration (Fig. 1).

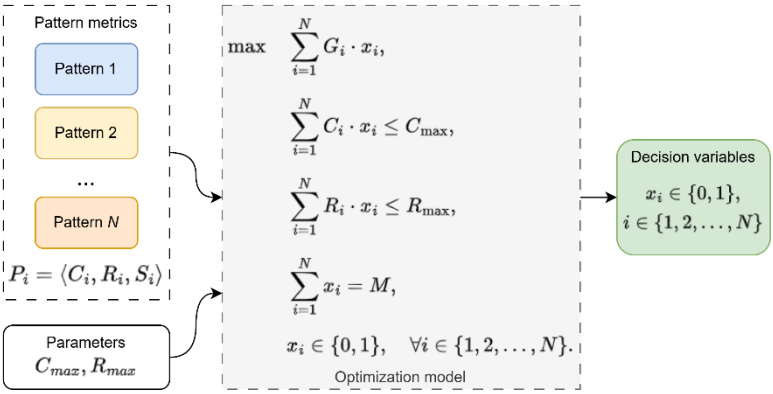


Figure 1 – Conceptual scheme of the proposed approach

The result x_i, $i = \overline{1,N}$ is then transferred to an orchestration system, such as Kubernetes. In combination with a digital twin, iterative adaptation of the solution in accordance with load changes is possible. Thus, the proposed model serves as the basic formal core for cognitive orchestration systems of microservices in a multi-cloud environment.

The Kaggle dataset of 400000 records [4] will be used for testing. The three indicators of cost, resource utilization, and success rate exhibit approximately symmetric distributions with means of 2996.12 for cost, 60.02% for resource utilization, and 94.74% for success rate, spanning ranges of 1000–5000, 30–90%, and 90–99.5% respectively (Fig. 2).

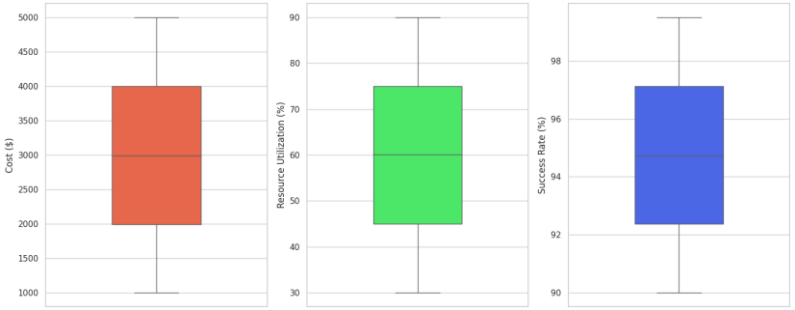


Figure 2 – Sample data distribution [4]

Conclusions. The paper considers the problem of optimizing the deployment of microservice applications in a multi-cloud environment. Modern approaches based on heuristic and metaheuristic algorithms are analyzed. A formal mathematical model for selecting a deployment configuration, taking into account cost and resource constraints, is proposed.

The model has a linear structure and can be extended for multi-service scenarios. It allows integrating real-time data from cloud providers and applying various optimization methods. The results obtained can be used as a basis for building intelligent microservice orchestration systems in a multi-cloud environment.

REFERENCES:

1. Vuppala, S. K. (2025). Multi-Cloud Deployment Strategies for Microservices: A Comparative Study of AWS and Azure. *International Journal of Emerging Trends in Computer Science and Information Technology*, 215-226. https://www.ijetcsit.org/index.php/ijetcsit/article/view/450

2. Sinha, R. (2025). *Optimization of Multi-Cloud Workload Placement for Performance and Cost Efficiency* (Doctoral dissertation, Dublin, National College of Ireland). https://norma.ncirl.ie/7416/

3. Drudi, E., Di Modica, G., Foschini, L., Galantino, S., Risso, F., Ardinghi, U., ... & Tortonesi, M. (2025, December). Towards Cognitive Microservice Orchestration in the Multi-Cloud Continuum. In *Proceedings of the 26th International Middleware Conference* (pp. 7-12). https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/3774898.3778038

4. *Greedy Cloud Selection Deployment on Microservices*. (2026). Kaggle.com. https://www.kaggle.com/datasets/nickkinyae/greedy-cloud-selection-deployment-on-microservices

УДК 004.056.5
Козлик С.О.[1], Фант М.О. [2]

ГІБРИДНА МОДЕЛЬ КОНТРОЛЮ ДОСТУПУ У ВЕБСИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ ВИДАВНИЦТВА

Авторизація користувачів є одним з ключових етапів захисту даних інформаційних ресурсів. Першим кроком є ідентифікація, тобто визначення особи за унікальним ідентифікатором: логіном, номером телефону, електронною адресою тощо. Після цього відбувається автентифікація – перевірка та підтвердження особи, за допомогою якої система має на меті упевнитися, що користувач є саме тим, за кого себе видає. Авторизація є останнім етапом, на якому визначаються які дії та доступ до яких ресурсів дозволені автентифікованій особі. Правильна організація авторизації дає змогу уникнути несанкціонованого доступу до даних, обмежити можливості користувача в системі та забезпечити механізм контролю операцій.

У сучасних інформаційних системах використовуються різні підходи до контролю доступу, які встановлюють, як саме користувачі отримують дозволи на дії в системі, як вони перевіряються та контролюються. До провідних підходів належать контроль доступу на основі ролей (Role-based access control, RBAC) і контроль доступу на основі атрибутів (Attribute-based access control, ABAC).

RBAC – модель авторизації, при застосуванні якої функціональні можливості користувача визначаються їхніми ролями. Для кожної ролі налаштовується певний набір дозволених дій, завдяки яким користувач отримує доступ до ресурсів системи. Наприклад, користувач з роллю «Менеджер» має права на перегляд усіх звітів компанії та даних працівників, в той час як «Співробітник» – лише власної інформації. Такі ролі можна групувати та наслідувати для масштабування системи. Вони є зручними, коли число сценаріїв доступу невелике, що не потребує багатьох ролей та великої кількості комбінацій прав. Це класичний підхід для багатьох IT-систем.

ABAC [1] – це підхід, який ґрунтується на атрибутах, тобто рішення про доступ приймаються на основі правил або ж політик, які враховують атрибути. Ними можуть бути атрибути суб’єкта (ID, посада, відділ), ресурсу (тип даних, рівень їхньої конфіденційності), оточення (місцезнаходження, дата, час), дії (читання, запис, редагування та видалення). Це дозволяє враховувати різні умови та контекст і встановлювати гнучкі правила, які підходять під конкретні сценарії використання системи. Зокрема, при застосуванні даного підходу

[1] Студентка групи ІПЗ-22-2, Державний університет «Житомирська політехніка»
[2] Доцент кафедри інженерії програмного забезпечення, Державний університет «Житомирська політехніка», к. філол. н.

користувач з роллю «Менеджер» має право на перегляд звітів лише свого відділу у робочі години. Таким чином, модель ABAC підтримує складні та динамічні умови доступу, проте потребує визначення великої кількості правил.

При розробці вебсистеми керування процесами видавництва доцільно реалізувати гібридну модель авторизації користувачів. Вона включає поєднання рольової моделі з перевірками належності ресурсів користувачам та контекстними перевірками на рівні сервісного шару.

У даній вебсистемі передбачено поділ користувачів на декілька різних ролей з відмінними повноваженнями та правами. Тому для первинної фільтрації користувачів при надсиланні запитів на сервер використовується рольова модель RBAC. Вона реалізована через механізми role-based authorization ASP.NET Core та використання у контролерах атрибутів авторизації [Authorize(Roles = "...")]. Завдяки цьому відбувається базове розмежування доступу до функціональних можливостей, яке дозволяє полегшити подальші перевірки атрибутів ресурсу у сервісному шарі.

Очевидно, для даного вебзастосунку RBAC є недостатнім підходом. Адміністратор видавництва повинен мати доступ лише до проектів та працівників своєї організації, інші ж працівники працювати лише з проектами та їх елементами, до яких їх долучили. Тому для захисту від несанкціонованого отримання доступу до конфіденційних даних вебсистеми вирішено впровадити додаткові перевірки атрибутів користувача та ресурсу. Наприклад, при отриманні доступу до перегляду чи модифікації даних проекту працівником видавництва перевіряються атрибути користувача: до якого видавництва він належить, чи призначений на цей проект; та атрибути ресурсу: чи належить проект цьому видавництву. Такі перевірки частково реалізують підхід ABAC, оскільки прийняття рішення щодо надання доступу залежить від описаних вище атрибутів. Проте у вебсистемі не передбачається розробки централізованого механізму політик доступу, характерного для повної реалізації моделі ABAC.

Висновки. Застосована гібридна модель авторизації відповідає вимогам системи, яка має різні ролі та умови для отримання доступу до ресурсу. RBAC забезпечує базовий контроль доступу через ролі користувачів, а додавання контекстних перевірок і перевірок належності ресурсів користувачам дозволяє враховувати контекстно-залежні обмеження. На рівні контролерів відбувається базове розмежування за допомогою механізмів role-based authorization, а на рівні сервісів виконуються ресурсно-орієнтовані перевірки атрибутів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Hu, V. C., Ferraiolo, D., Kuhn, R., Schnitzer, A., Sandlin, K., Miller, R., & Scarfone, K. (2014). *Guide to attribute based access control (ABAC) definition and considerations* (NIST Special Publication 800-162). National

Institute of Standards and Technology. https://doi.org/10.6028/nist.sp.800-162

УДК 004.9

Онищенко А. О.[1], Новожилова М. В.[2]

СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ПАРАМЕТРІВ ВЕБ-РЕСУРСІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Задача оптимізації веб-ресурсів є багатокритеріальною: ефективність ресурсу визначається сукупністю вимірюваних параметрів з різних доменів — продуктивності, адаптивності, структурованості коду, доступності та безпеки. У роботах Tsuei et al. [1] та Özkan et al. [2] запропоновано гібридні MCDM-моделі (DEMATEL-DANP-VIKOR та hesitant fuzzy MCDM) для оцінювання SEO-ефективності вебсайтів. Зокрема, Özkan et al. [2] досліджували саме вебсайти академічних підрозділів, що підтверджує актуальність MCDM-аналізу для освітнього сектору. Проте ці підходи виконують нормалізацію вхідних даних без попереднього аналізу розподілів параметрів, їхньої варіативності та наявності аномальних значень, що може спотворювати визначення ваг критеріїв і ранжування альтернатив. Метою дослідження є розроблення протоколу статистичної обробки параметрів веб-ресурсів, що забезпечує обґрунтовану підготовку вхідних даних для MCDM-моделей.

Веб-ресурс $w \in W$ описується вектором параметрів $\boldsymbol{p} = (p_1, p_2, \ldots, p_6)$, де кожен p_k — кількісна характеристика, отримана інструментально. Визначено шість параметрів: p_1 — час повного завантаження головної сторінки, с (Lighthouse API [3]); p_2 — час до першого байта TTFB, с (WebPageTest); p_3 — оцінка мобільної адаптивності, шкала 0–100 (Google Mobile-Friendly Test); p_4 — структурованість HTML-коду, 0–100 (W3C Markup Validation [4]); p_5 — доступність інтерфейсу за WCAG 2.1, 0–100 (axe-core [5]); p_6 — агрегований показник безпеки, 0–100 (наявність HTTPS, заголовків CSP, HSTS, X-Frame-Options).

Критерій c_j формулюється як функція параметрів: $c_j = f_j(\boldsymbol{p})$. Зокрема, критерій «Продуктивність» $c_1 = g(p_1, p_2)$, критерій «Юзабіліті» $c_2 = g(p_3, p_4, p_5)$, критерій «Безпека» $c_3 = g(p_6)$. Конкретний вигляд функцій агрегування (зважена сума, нечітка згортка тощо) визначається

[1]Аспірант кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

[2]Доктор фізико-математичних наук кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

на етапі MCDM-моделювання [6] і виходить за межі цього дослідження. Розмежування рівнів «параметр» (вимірювана величина) та «критерій» (агрегована функція) визначає, на якому рівні виконується статистична обробка (параметри), а на якому — MCDM-моделювання (критерії).

Вибірку сформовано з $N = 120$ офіційних вебсайтів закладів вищої освіти (ЗВО) України, стратифікованих за типом: національні/дослідницькі університети ($n_1 = 40$), державні галузеві ЗВО — технічні, педагогічні, медичні ($n_2 = 40$) та приватні ЗВО ($n_3 = 40$). Перелік ЗВО сформовано на основі ЄДЕБО та рейтингу Webometrics (webometrics.info, січень 2025). Умови включення: наявність в індексі Google, домен .edu.ua або .ac.ua, функціонуючий вебсайт станом на березень 2025 р. Для кожного ресурсу виконано 5 послідовних вимірювань параметрів p_1–p_6 (Lighthouse API v12, GTmetrix) упродовж березня 2025 р. з інтервалом 24 год; використано медіану п'яти вимірювань для зменшення впливу мережевих флуктуацій.

Перевірку нормальності виконано тестом Шапіро–Вілка. Параметри p_3–p_6 відповідають нормальному розподілу ($p > 0{,}05$). Параметри p_1 та p_2 мають правосторонню асиметрію ($As > 0{,}9$) через наявність ЗВО із застарілими CMS. Виявлення викидів методом IQR: для p_1 ідентифіковано 9 аномальних значень (7,5 %), для p_2 — 6 (5,0 %). Для кожного параметра обчислено: вибіркове середнє $\bar{x}_k$, медіану Me_k, стандартне відхилення σ_k, коефіцієнт варіації CV_k та коефіцієнт асиметрії As_k (таблиця 1).

Таблиця 1 – Дескриптивна статистика параметрів вебсайтів ЗВО

Параметр	$\bar{x}$	*Me*	σ	min	max	CV, %	*As*
p_1 (завант., с)	3,47	3,02	1,58	0,92	9,81	45,5	1,31
p_2 (TTFB, с)	1,14	0,91	0,58	0,12	3,27	50,9	1,08
p_3 (моб., бали)	64,3	66,0	18,7	12	97	29,1	−0,34
p_4 (HTML)	57,2	58,0	19,4	11	94	33,9	−0,18
p_5 (доступн.)	52,6	53,0	20,1	9	93	38,2	−0,11
p_6 (безпека)	71,4	74,0	16,8	21	100	23,5	−0,47

Найвищу варіативність виявлено для p_2 (CV = 50,9 %) та p_1 (CV = 45,5 %), що пояснюється неоднорідністю інфраструктури ЗВО: виділені сервери забезпечують TTFB = 0,12–0,6 с, shared-хостинг — 1,8–3,3 с. Асиметрія p_1 ($As = 1{,}31$) свідчить, що медіана (3,02 с) є репрезентативнішою за $\bar{x}$ (3,47 с). Параметр p_5 (доступність) має найширший діапазон (9–93): більшість вебсайтів ЗВО не відповідають WCAG 2.1, що узгоджується з результатами Ismailova та Inal [7]. Параметр p_6 (безпека) характеризується від'ємною асиметрією ($As = -0{,}47$): більшість ЗВО мають HTTPS, проте лише 34 % впровадили CSP.

Кореляційний аналіз (Спірмена для p_1, p_2; Пірсона для решти; α = 0,01) виявив три значущі кластери залежностей. Сильний зв'язок p_1–p_2 (r_s = 0,74): обидва параметри відображають серверну продуктивність, яка для ЗВО визначається типом хостингу та CMS. Від'ємна кореляція p_1–p_3 (r_s = −0,61) підтверджує, що повільні ресурси мають нижчу мобільну адаптивність через надлишковий JavaScript та нереспонсивні шаблони. Зв'язок p_4–p_5 (r = 0,61): семантична HTML-розмітка одночасно підвищує валідність і доступність. Параметр p_6 слабко корелює з рештою ($|r| \leq 0{,}25$), що підтверджує його незалежність; решта пар — $|r| < 0{,}35$, ризик мультиколінеарності відсутній.

Для MCDM-моделі DEMATEL-DANP-VIKOR [1, 6] обрано min-max нормалізацію з інвертованою формулою для дестимуляторів (p_1, p_2). Для параметрів з асиметричним розподілом додатково перевірено робастну нормалізацію (медіана + IQR); збіжність ранжувань (τ Кендалла = 0,92) підтверджує стійкість підходу.

Висновки. Запропоновано протокол статистичної обробки параметрів веб-ресурсів: дескриптивний аналіз → перевірка нормальності → виявлення аномалій (IQR) → кореляційний аналіз → вибір методу нормалізації. На вибірці N = 120 вебсайтів ЗВО України встановлено: (1) параметри продуктивності p_1, p_2 мають найвищу варіативність (CV > 45 %) та правосторонню асиметрію, що вимагає застосування робастних методів агрегування; (2) кореляційний кластер p_1–p_2–p_3 та зв'язок p_4–p_5 мають бути враховані при визначенні ваг критеріїв у MCDM-моделях [1, 2]; (3) параметр p_6 є статистично незалежним від решти. Результати можуть бути використані адміністраціями ЗВО та МОН для пріоритизації технічної модернізації вебсайтів. Протокол інтегрується з гібридними моделями Fuzzy DEMATEL–VIKOR з адаптивною корекцією ваг.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Tsuei, H.-J., Tsai, W.-H., Pan, F.-T., & Hsieh, G.-H. (2020). Improving search engine optimization (SEO) by using hybrid modified MCDM model. *Artificial Intelligence Review*, 53(1), 1–16.

2. Özkan, B., Özceylan, E., Kabak, M., & Dikbaş, F. (2020). Evaluating the websites of academic departments through SEO criteria: A hesitant fuzzy linguistic MCDM approach. *Artificial Intelligence Review*, 53, 875–905.

3. Google. (2024). Lighthouse performance scoring. https://developer.chrome.com/docs/lighthouse

4. W3C. (2021). Markup Validation Service. https://validator.w3.org/

5. W3C. (2023). Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. https://www.w3.org/TR/WCAG21/

6. Онищенко А. О., Бочаров Б. П., Костенко О. Б. (2025). Гібридна модель MCDM для інтелектуального вдосконалення пошукової оптимізації. Вісник Херсонського національного технічного університету. 2025. Т. 2, № 4(95). С. 132–138. https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.4.2.17

7. Ismailova, R. & Inal, Y. (2018). Accessibility evaluation of top university websites: A comparative study of Kyrgyzstan, Azerbaijan, Kazakhstan and Turkey. *Universal Access in the Information Society*, 17(2), 437–446.

УДК 004.738.5:004.415.2

Мікаутадзе Д. О.[1] , Булаєнко М.В. [2]

ТЕСТУВАННЯ ДОСТУПНОСТІ (ACCESSIBILITY TESTING) ВЕБ-ІНТЕРФЕЙСІВ НА ОСНОВІ МІЖНАРОДНИХ АНГЛОМОВНИХ СТАНДАРТІВ

Глобалізація цифрового простору змінила підходи до проєктування фронтенд-систем, висуваючи інклюзивність як одну з ключових вимог до якості програмного забезпечення. Забезпечення рівного доступу до інформації дозволяє оптимізувати взаємодію з вебресурсами для користувачів із різними фізичними та когнітивними можливостями. Сучасні стандарти розробки базуються на принципах міжнародного стандарту WCAG (Web Content Accessibility Guidelines), який визначає вимоги до доступності вебконтенту для людей з інвалідністю, зокрема з порушеннями зору, слуху, моторики та когнітивних функцій, що забезпечують гнучкість та універсальність інтерфейсних рішень [1].

Водночас складність сучасних веб-архітектур підвищує ймовірність виникнення бар'єрів у доступності. Неправильна семантична структура та ігнорування стандартів ARIA (Accessible Rich Internet Applications) призводять до часткової непрацездатності інтерфейсів для користувачів допоміжних технологій. Це потребує впровадження механізмів автоматизованого аудиту та ручного тестування для забезпечення стабільної роботи сервісів [2].

Особливої актуальності це набуває в умовах фронтенд-розробки, де застосунок складається з численних динамічних компонентів. Використання семантичних тегів HTML5 дозволяє браузерам чітко ідентифікувати структуру сторінки, що є критичним для коректної індексації та роботи скрінрідерів [3]. За відсутності належної організації коду навіть візуально сучасні системи втрачають функціональну доступність (таблиця 1).

Використання англомовної технічної документації та міжнародних стандартів W3C (World Wide Web Consortium) є обов'язковим етапом професійної підготовки фахівців. Орієнтація на

[1] Студентка групи КН 2022-1, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова

[2] Доцент кафедри КНтаІТ, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, к.т.н.,доцент

першоджерела дозволяє розробникам уникати помилок інтерпретації та оперативно впроваджувати найновіші рекомендації щодо інклюзивності контенту. Робота зі стандартами W3C сприяє глибокому розумінню архітектури об'єктної моделі документа (DOM) та принципів взаємодії допоміжних технологій із браузером. Це забезпечує високу якість коду, його кросбраузерність та відповідність принципам семантичної верстки. Крім того, володіння технічною термінологією відкриває доступ до актуальних баз знань, як-от MDN Web Docs, що є ключовим фактором конкурентоспроможності на міжнародному ринку. Таким чином, вивчення стандартів стає фундаментом для побудови стійких та універсальних веб-інтерфейсів у сучасному цифровому просторі [4].

Таблиця 1 – Результати порівняльного аналізу доступності інтерфейсу

Параметр тестування	До оптимізації (Legacy code)	Після оптимізації (Semantic HTML5)
Показник Lighthouse	65% (Yellow zone)	98% (Green zone)
Структура сторінки	Побудована на та	Використано <header>, <nav>, <main>, <footer>
Навігація клавіатурою	Фокус зникає або нелогічний	Повний цикл Tab-навігації з фокусом
Зображення	Відсутні атрибути alt	Кожне зображення має опис (alt)
Колірний контраст	Світло-сірий текст на білому	Контрастність 4.5:1 (рівень AA)

Поєднання цих підходів із методами експертної перевірки формує стійке середовище для розвитку сучасних інклюзивних веб-систем [5].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. World Wide Web Consortium (W3C). (2023). *Web content accessibility guidelines (WCAG) 2.2*. https://www.w3.org/TR/WCAG22/

2. Swan, H. (2022). *A web for everyone: Designing accessible user experiences*. Rosenfeld Media. https://www.oreilly.com/library/view/a-web-for/9781933820934/

3. Pickering, H. (2020). *Inclusive components: The patterns that make up the inclusive web*. Smashing Magazine. https://inclusive-components.design/

4. Aizpurua, A., & Harper, S. (2023). *Web accessibility: A foundation for research*. Springer. https://content.e-bookshelf.de/media/reading/L-12171978-7bd4434307.pdf

5. MDN Web Docs. (2024). *Accessibility: Reference and tutorials*. https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/Accessibility

УДК 004.9 Гавриленко С.С.[1], Іванченко М.Г. [2]

РОЗРОБЛЕННЯ МОДУЛЯ НАЛАШТУВАННЯ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ ЗАВДАНЬ У ПЛАТФОРМІ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Вступ. Стрімкий розвиток дистанційних форм навчання зумовлює необхідність створення спеціалізованих програмних платформ, які забезпечують ефективну організацію освітнього процесу. Сучасні системи управління навчанням повинні не лише надавати доступ до навчальних матеріалів, але й автоматизувати процес видачі, контролю та оцінювання навчальних завдань. Особливої актуальності набуває розроблення інструментів, які дозволяють викладачам швидко формувати індивідуальні або групові завдання для студентів, контролювати строки виконання та отримувати результати в зручному вигляді.

У рамках розроблення платформи для автоматизації дистанційного навчання було створено модуль налаштування та призначення завдань студентам. Основною метою модуля є автоматизація процесу керування навчальними завданнями, спрощення взаємодії між викладачем та студентами, а також забезпечення прозорості процесу оцінювання.

Метою дослідження є проєктування та реалізація програмного модуля, який забезпечує створення, налаштування, призначення та перевірку студентських завдань у межах єдиної освітньої платформи.

Постановка задачі. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі: проаналізувати існуючі підходи до організації дистанційного навчання; спроєктувати структуру модуля керування завданнями; реалізувати інтерфейс для створення та редагування параметрів завдань; реалізувати механізм призначення індивідуальних варіантів студентам; забезпечити можливість перегляду та оцінювання виконаних робіт

Розроблений модуль реалізований у межах веб-платформи на базі технологій ASP.NET MVC та мови програмування C#. Для зберігання даних використовується СУБД Microsoft SQL Server, а доступ до даних здійснюється через ORM-фреймворк Entity Framework Core.

Функціональна архітектура модуля включає такі основні компоненти: форму створення нового завдання, інтерфейс редагування параметрів, систему призначення варіантів студентам, механізм прийому та перевірки робіт, а також інструмент виставлення оцінок.

Форма створення та налаштування завдання дозволяє викладачеві

[1] Студент групи ПЗ-23у-1, ДНУ «імені Олеся Гончара»
[2] Доцент кафедри ФПМІТ, ДНУ «імені Олеся Гончара», к. т.-н., доцент

задати основні параметри: курс, до якого належить завдання, лекцію або тему, інструкцію для студентів, максимальну кількість балів та часові обмеження. Також передбачено налаштування трьох ключових дат: дату відкриття завдання, термін виконання та дату закриття. Така структура дозволяє чітко регламентувати процес виконання.

Інтерфейс системи реалізований у вигляді веб-форми з використанням технологій Razor, HTML5, CSS та JavaScript. Завдяки цьому викладач може швидко створювати нові завдання та редагувати вже існуючі параметри без необхідності складних технічних налаштувань

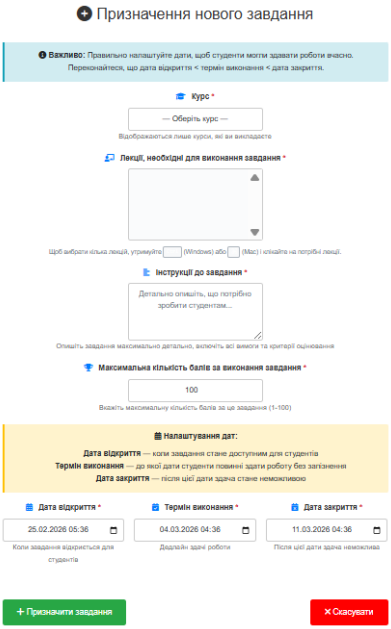


Рисунок 1 – Форма налаштування параметрів завдання викладачем

На рисунку 1 наведено приклад сторінки налаштування параметрів завдання викладачем

Після створення завдання викладач може призначити варіанти студентам. Для цього реалізовано спеціальний інтерфейс, який дозволяє вибрати окремих студентів або цілу академічну групу. Також передбачено функцію автоматичного заповнення варіантів по порядку, що значно прискорює процес підготовки завдань для великої кількості студентів.

У таблиці відображається список студентів, їх академічна група та номер варіанту завдання. Викладач може вручну змінювати номер варіанту або використовувати автоматичне призначення. Після

збереження змін система фіксує інформацію у базі даних та робить завдання доступним для студентів.

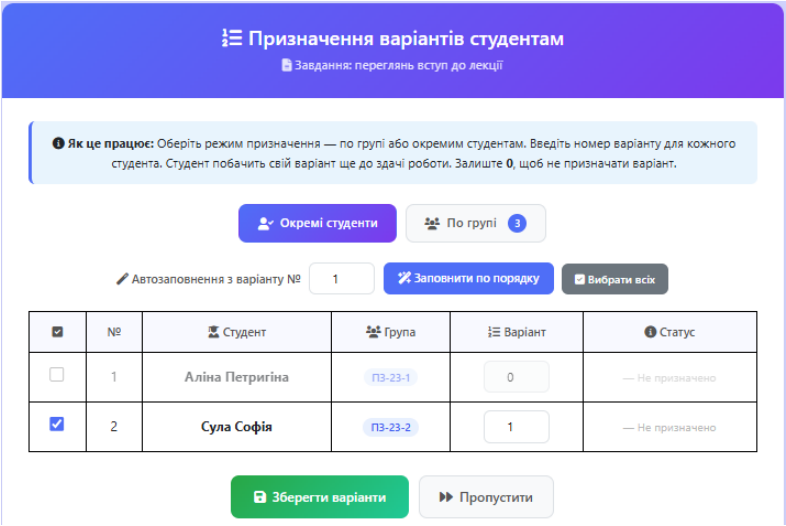


Рисунок 2 – Інтерфейс призначення варіантів завдання студентам

Приклад інтерфейсу призначення варіантів студентам наведено на рисунку 2

Після виконання роботи студент завантажує результат у систему. Викладач має можливість переглянути код або інший результат роботи безпосередньо у веб-інтерфейсі. Для підвищення об’єктивності оцінювання у платформу інтегровано модуль AI-аналізу програмного коду.

Система аналізує структуру програмного коду та визначає ймовірність його автоматичної генерації за допомогою великих мовних моделей. Для цього використовуються метрики AI_Probability та VibeScore, які дозволяють оцінити ступінь автентичності студентської роботи.

На основі результатів аналізу викладач може прийняти рішення щодо виставлення оцінки. Інтерфейс системи дозволяє швидко переглянути роботу, результати аналізу та виставити відповідну кількість балів за виконану студентом роботу.

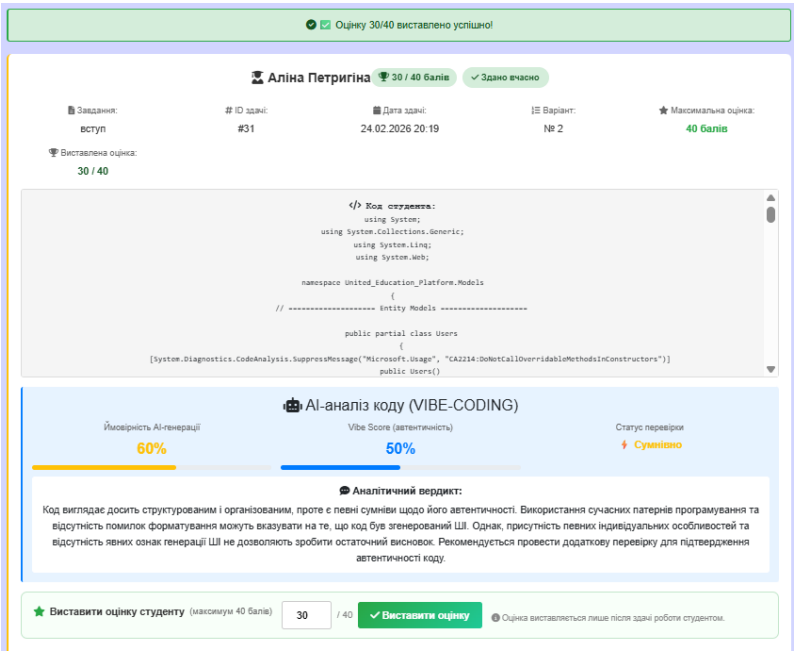


Рисунок 3 – Сторінка перевірки роботи студента та виставлення оцінки викладачем

Висновки. У результаті проведеної роботи було розроблено модуль налаштування та призначення завдань у платформі для автоматизації дистанційного навчання. Реалізований модуль забезпечує зручне створення та керування навчальними завданнями, автоматизує процес призначення варіантів студентам та спрощує процедуру перевірки виконаних робіт.

Розроблене рішення дозволяє значно підвищити ефективність організації дистанційного навчання, зменшити адміністративне навантаження на викладачів та забезпечити прозорість процесу оцінювання. Інтеграція інструментів AI-аналізу коду додатково сприяє підвищенню рівня академічної доброчесності у навчальному процесі.

Подальший розвиток системи передбачає розширення аналітичних інструментів, інтеграцію з іншими освітніми сервісами та вдосконалення механізмів автоматичної перевірки студентських робіт.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Freeman, A., Jones, K., & Sells, M. (2023). *Pro ASP.NET Core 8: Develop cloud-ready web applications using MVC, Blazor, and Razor Pages*. New York: Apress.
2. Price, M. (2023). *C# 12 and .NET 8 – Modern Cross-Platform*

Development Fundamentals (8th ed.). Birmingham: Packt Publishing.

3. Smith, J., & Johnson, L. (2022). *Learning Entity Framework Core: A developer's guide to modern data access*. Birmingham: Packt Publishing.

4. Sommerville, I. (2016). *Software engineering* (10th ed.). Boston: Pearson.

5. Anderson, T., & Dron, J. (2011). Three generations of distance education pedagogy. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 12(3), 80–97.

6. Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning*. Boston: Center for Curriculum Redesign.

7. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. Cambridge, MA: MIT Press.

8. Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Hoboken, NJ: Pearson.

9. Microsoft. (2024). *ASP.NET Core documentation*. Microsoft Learn.

UDC 004.9

Kizilov O.S.[1], Gamayun I.P.[2], Kopp A.M.[3]

SYNTACTIC QUALITY ASSESSMENT OF BUSINESS PROCESS MODELS USING JUDGMENTS BY LARGE LANGUAGE MODELS

Introduction. Business process modeling is an important tool for analyzing and managing organizational activities. Process models are used to describe, document, and optimize work procedures. The most common standard for describing processes is Business Process Model and Notation (BPMN) [1]. The quality of BPMN models directly affects their usability for analysis, automation, and management decision-making.

In scientific research, the quality of business process models is usually considered in several dimensions. These include syntactic, semantic, and pragmatic quality. Syntactic quality determines the model's compliance with BPMN notation rules. It includes the correct use of elements, the correctness of the relationships between them, and compliance with the structural constraints of the modeling language.

Recent studies demonstrate the active use of Large Language Models (LLMs) in tasks related to business processes. In [2], a framework is proposed that uses LLMs to generate correct signatures for BPMN elements and improve the pragmatic quality of models. The approach is based on the use of contextual model information and specially formed prompts. Experimental

[1] PhD Student of SE & MIT Department, NTU "KhPI"
[2] Professor of SE & MIT Department, NTU "KhPI", DSc, Professor
[3] Head of SE & MIT Department, NTU "KhPI", PhD, Associate Professor

results confirm the effectiveness of this approach for improving the interpretability of models.

Another study [3] proposes the BEF4LLM framework for evaluating the competence of large language models in business process modeling tasks. In this approach, evaluation is performed from four perspectives: syntactic quality, pragmatic quality, semantic quality, and validity. The results show that modern LLMs demonstrate a high level of syntactic and pragmatic quality when analyzing BPMN models.

In [4], the possibility of using LLM to improve the semantic quality of business process models was investigated. It was shown that the use of special query formation methods allows obtaining more accurate and relevant recommendations for improving models.

Despite active research in this area, the use of LLMs as intellectual experts for evaluating the syntactic quality of BPMN models remains understudied. In particular, the use of collective judgments from multiple language models to obtain a generalized quality assessment has not been sufficiently explored.

The purpose of this work is to develop a conceptual approach to evaluating the syntactic quality of business process models based on the aggregation of judgments of large language models.

Research results. The proposed approach is based on the use of large language models as experts that analyze the BPMN model and generate assessments of its syntactic correctness (Fig. 1). The main idea is to combine classic syntactic quality metrics with intelligent analysis of the model structure using LLM.

The conceptual framework of the proposed approach (Fig. 1) consists of several sequential stages:

1. The first stage involves calculating the basic syntactic metrics of the BPMN model. To do this, the model is analyzed as a structured document in BPMN XML format. The main elements of the process, such as tasks, events, gateways, and sequential flows, are extracted from it. Based on the data obtained, formal metrics characterizing the structure of the model are calculated. Examples of such metrics include the number of elements, the ratio of gate types, the number of start and end events, and the presence of incorrect or isolated elements.
2. In the second stage, a set of queries for large language models is formed. The query contains structured information about the BPMN model. It may include a list of model elements, a description of control flows, and the values of pre-calculated metrics. The query is formulated in such a way that the language model can evaluate the model's compliance with BPMN rules.
3. The queries are then sent to several LLMs, which are treated as independent experts. Each model analyzes the information received and forms its own judgment about the syntactic quality of the BPMN model.

Judgments may include a numerical quality rating as well as a textual explanation of the problems identified. This approach allows different points of view to be taken into account and reduces the impact of errors in a single model.

4. After receiving responses, the judgment aggregation stage is performed. At this stage, the results obtained from different LLMs are combined into a single assessment. Various methods can be used for aggregation. The simplest option is to calculate the average of the obtained assessments. Alternatively, weighted aggregation methods or consensus assessment methods can be used.

5. The result is interpreted as a summary assessment of the syntactic quality of the BPMN model. This assessment takes into account both formal metrics of the model structure and expert judgments of large language models.

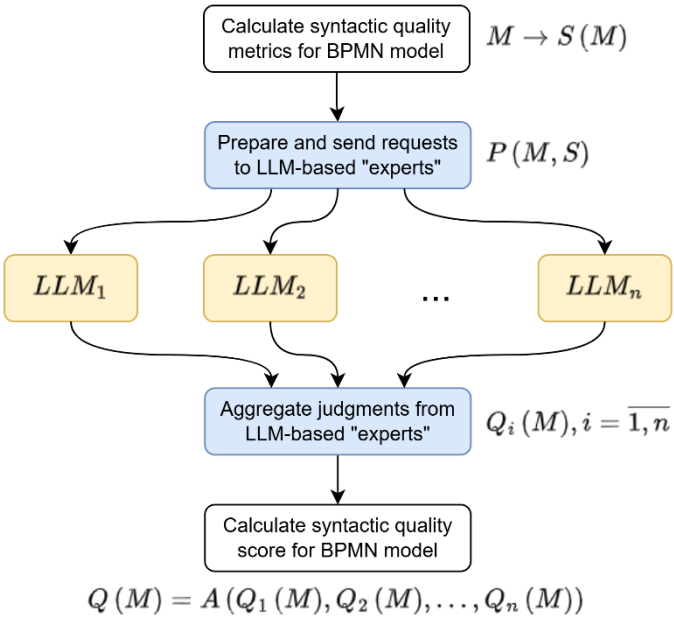


Figure 1 – Conceptual framework of the proposed approach

Formally, the proposed approach can be represented as a sequence of functions. Let M be a BPMN model represented as an XML document. In the first step, a set of syntactic metrics $S(M)$ is calculated. These metrics form a structured description of the model.

The next step is to generate a query $P(M,S)$, which includes information about the model and the calculated metrics. This query is sent to

a set of language models $LLM_1, LLM_2, \dots, LLM_n$. Each model generates a syntactic quality score.

Let $Q_i(M)$ denote the quality score generated by the i-th language model. Then the set of scores obtained is $\{Q_1(M), Q_2(M), \dots, Q_n(M)\}$.

The final syntactic quality score is determined as an aggregate function of these values. In general, the aggregation function A is used. For example, it can be calculated as the average of the scores obtained:

$$Q(M) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Q_i(M).$$

Thus, the final assessment of the syntactic quality of the BPMN model is determined as $Q(M) = A(Q_1(M), Q_2(M), \dots, Q_n(M))$.

The advantage of the proposed approach is the ability to use knowledge embedded in large language models. Such models are trained on large amounts of text data and contain information about modeling rules, software engineering, and business processes. Therefore, they can act as intellectual experts in the analysis of BPMN models.

In addition, the use of multiple language models reduces the risk of false assessments. Aggregating the results produces a more stable and consistent assessment of syntactic quality.

The proposed approach can be implemented as a software component for analyzing BPMN models. Such a component can be integrated into business process management systems or used in training systems to support the modeling process.

Conclusions. The paper proposes a conceptual approach to evaluating the syntactic quality of business process models using large language models. The approach combines formal metrics of BPMN models with expert judgments of LLM.

The developed scheme includes calculating syntactic metrics, forming queries to language models, obtaining expert assessments, and aggregating them. As a result, a generalized assessment of the syntactic quality of the BPMN model is formed.

The use of multiple language models allows for more reliable evaluation and consideration of different points of view when analyzing a model. This approach can be applied in business process modeling support systems, as well as in research tasks involving the evaluation of BPMN model quality.

Further research may be directed toward experimentally testing the proposed approach on large sets of BPMN models and developing methods for more complex aggregation of judgments of large language models.

REFERENCES:

1. Object Management Group. (2023). *BPMN Specification – Business Process Model and Notation*. Www.bpmn.org. https://www.bpmn.org/

2. Ayad, S., & Alsayoud, F. (2025). Dynamic Prompt-Based Framework for Pragmatic Quality improvement in Business Process Models. *IEEE Access*. https://ieeexplore.ieee.org/iel8/6287639/6514899/11037667.pdf

3. Lauer, C., Pfeiffer, P., Rombach, A., & Mehdiyev, N. (2026). Assessing the Business Process Modeling Competences of Large Language Models. *arXiv preprint arXiv:2601.21787*. https://arxiv.org/pdf/2601.21787

4. Ayad, S., & Alsayoud, F. (2024, March). Exploring ChatGPT prompt engineering for business process models semantic quality improvement. In *World Conference on Information Systems and Technologies* (pp. 412-422). Cham: Springer Nature Switzerland. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-60221-4_39

УДК 004.9

Мамчур Д[1]. Бедратюк Л. П,[2]

AI-АГЕНТИ В ПРОГРАМНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ: КОНЦЕПЦІЯ ТА ПРАКТИЧНИЙ ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ АГЕНТА DROID

Останні досягнення у галузі штучного інтелекту, зокрема розвиток великих мовних моделей (LLM), суттєво вплинули на сучасні інформаційні технології. У програмній інженерії це проявляється у появі інструментів, здатних підтримувати розробника в аналізі вимог, проєктуванні, генерації коду та налагодженні. Разом із тим, використання LLM у форматі «чат-асистента» має принципові обмеження: модель не володіє актуальним станом проєкту, контекст часто подається фрагментарно, а якість результатів без додаткових процедур важко зробити відтворювальною. Це підвищує ризик помилкових припущень і регресій.

Перспективною відповіддю на зазначені виклики є **агентський підхід**, у якому LLM інтегрується з механізмами планування, керування контекстом та інструментальною взаємодією. У такій постановці модель не лише генерує пропозиції, а й працює в циклі «постановка задачі — план — виконання кроків — валідація — корекція», що наближує взаємодію до інженерно контрольованого процесу. Метою цих тез є стислий огляд еволюції AI-асистентів до AI-агентів, а також узагальнення практичного досвіду використання AI-агента **Droid**, розробленого компанією **Factory AI** [1], у реальних задачах розробки програмного забезпечення. Цей інструмент реалізує сучасний агентний підхід до взаємодії з великими мовними моделями та демонструє високу ефективність у задачах програмної інженерії, зокрема під час

[1] Студент групи ІПЗ-24, Хмельницького національного університету
[2]Зав.каф. ІПЗ, д.ф.-м.н., проф Хмельницького національного університету

проєктування архітектури, створення прототипів, рефакторингу коду та налагодження програмних систем.

Штучний інтелект у сучасних IT дедалі частіше використовується як «прошарок інтерпретації» між людиною та складними цифровими артефактами: текстом, кодом, документацією, даними й інтерфейсами. Для розробки ПЗ це означає підсилення когнітивних операцій (пошук закономірностей, формування гіпотез, узгодження альтернатив) і часткову автоматизацію рутинних дій. Однак користь AI-систем у програмній інженерії визначається не лише здатністю генерувати код, а насамперед **можливістю інтегруватися у процес перевірки**: відтворювано запускати перевірки, інтерпретувати їх результати та коригувати рішення [2].

AI-асистенти на основі LLM добре працюють у задачах пояснення коду, генерації шаблонів, підготовки прикладів та коротких рекомендацій. Проте в реальному проєкті «відповідь у чаті» рідко є завершеним результатом: необхідні редагування файлів, узгодження зі структурою репозиторію, запуск лінтерів/тестів, а також контроль залежностей і безпеки. За відсутності доступу до інструментів і процедур валідації модель може продукувати «правдоподібні» рішення, які не компілюються або створюють побічні ефекти. Звідси випливає потреба в системах, що з'єднують генерацію з виконанням і перевіркою.

Узагальнено, **AI-агент** у розробці ПЗ — це система, яка (i) приймає мету у природній або формалізованій формі, (ii) будує план дій, (iii) виконує кроки із залученням зовнішніх інструментів, (iv) перевіряє результат через валідаційні процедури, (v) за потреби коригує рішення за зворотним зв'язком. На відміну від одноразової генерації, агент працює в циклі «планування — дія — спостереження — корекція» (так званий ReAct цикл, схематично представлений на рисунку 1) [3].

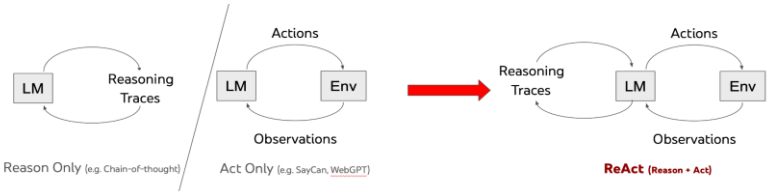


Рисунок 1 – Схематичне представлення ReAct циклу

Ключові компоненти агентного підходу для задач SDLC:

1) **Планування і декомпозиція**: перетворення загальної мети на послідовність перевірюваних кроків.

2) **Керування контекстом**: добір релевантних артефактів (файли, журнали помилок, обмеження, вимоги), без яких модель схильна робити неявні припущення.

3) **Tool-use та валідація**: виконання дій поза межами тексту (робота з файлами, запуск перевірок, тестів, аналізу) і замикання процесу на фактичних результатах [4].

4) **Безпека та «людина в контурі»**: обмеження доступів, недопущення секретів у контексті, ручне рев'ю критичних змін.

Окрему роль відіграє стандартизація підключення інструментів. Протоколи на кшталт **Model Context Protocol (MCP)** забезпечують уніфікований спосіб надання моделі доступу до ресурсів (контексту) та інструментів (дій) з контрольованими правами, що спрощує інтеграцію агента з різними сервісами й середовищами [6].

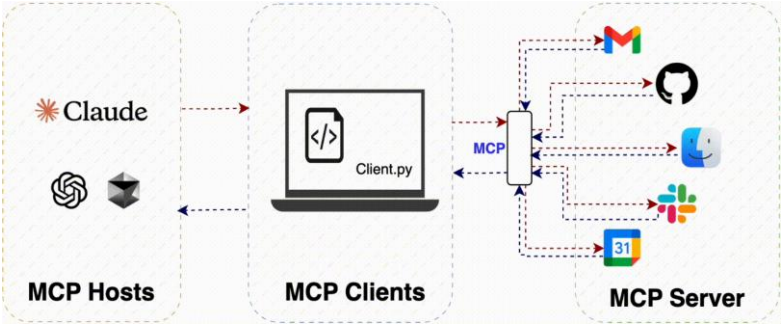


Рисунок 2 – Інтеграція інструментів для роботи з популярними сервісами у сучасних AI-агентах

Практичні спостереження отримано у форматі **case study** під час роботи над одним основним проєктом і низкою дрібних задач. Типовий стек включав Python (прототипи/скрипти), TypeScript/React (фронтенд), мережеву взаємодію через axios, а також задачі, пов'язані з дизайном у Figma і браузерною автоматизацією/тестуванням через Playwright. Для частини задач використовувалися 3D-компоненти на основі React Three Fiber (R3F).

Щоб підвищити керованість результатів, постановка задачі застосовувала повторюваний шаблон:

- контекст (файли/фрагменти, структура проєкту, обмеження);
- requirements (функціональні та нефункціональні);
- Definition of Done (перевірки, очікувані артефакти);
- формат виходу (план — зміни — команди перевірки — ризики).

Типова валідація у DoD для фронтенд-частини включала ESLint/Prettier, typecheck та браузерні тести Playwright, доповнені ручним запуском застосунку для критичних сценаріїв. Також застосовувалися базові запобіжники: обмеження доступів інструментів та виключення секретів із контексту.

Результати та спостереження. Архітектурні рішення. У задачах архітектурного рівня Droid був корисним як інструмент

структурування: формування альтернатив, явне описання компромісів (супровідність/продуктивність/масштабованість), декомпозиція на кроки впровадження. Якість таких пропозицій суттєво зростала за наявності нефункціональних вимог і обмежень; без них агент схильний робити припущення щодо оточення, що потребувало уточнень через додатковий контекст.

Генерація коду та прототипування. Найвідчутніший ефект проявлявся у швидкому створенні «першої працездатної версії» (каркас компонентів React/TypeScript, мережеві шари через axios, типові шаблони обробки стану та помилок). Практично це зменшувало рутинне навантаження та прискорювало прототипування «у ширину», за умови що кожен крок підтверджувався валідацією.

З UI-ідеї до реалізації. Суттєвим практичним внеском виявилась робота з UI-артефактами: поєднання MCP-інтеграції з Figma та візуального контексту (скріншоти/фрагменти макетів) допомагало узгоджувати структуру компонентів, ієрархію та інтерактивні стани з дизайном. Водночас нестабільність роботи з візуальними даними/зображеннями інколи ускладнювала реалізацію дрібних UI-деталей і вимагала додаткових ітерацій.

Рефакторинг і налагодження. У рефакторингу та дебагінгу Droid допомагав локалізувати причини проблем (гіпотези на основі повідомлень про помилку, релевантних файлів і очікуваної поведінки), пропонував мінімальні правки та підказував, які перевірки повинні підтвердити виправлення. Водночас підтверджено типову проблему LLM — «правдоподібні» правки без реальної коректності. Тому вирішальною залишалася дисципліна коротких циклів «зміна — перевірка — корекція» та ручне рев'ю.

Узагальнення: максимальна користь Droid досягається, коли (а) контекст є достатнім і релевантним, (б) DoD формалізовано, (в) доступні інструменти валідації; головні ризики — неявні припущення через дефіцит контексту та інструментальні обмеження, що компенсуються інкрементальним процесом і контролем якості.

Висновки. Практичний досвід використання AI-агента Droid підтверджує доцільність агентного підходу як засобу підсилення розробника. Найвиразніший ефект проявлявся у зменшенні рутинних правок і скороченні часу на налагодження простих проблем, а також у швидшому розгортанні прототипів за рахунок поєднання планування з інструментальною валідацією (ESLint/Prettier, typecheck, Playwright) та інкрементальних ітерацій.

Ключовими умовами ефективності є достатній контекст, формалізований Definition of Done і регламентований цикл перевірки. Інструментальні інтеграції на основі MCP розширюють можливості агента до роботи з зовнішніми артефактами; зокрема інтеграція з Figma підтримує узгодження дизайну та структури компонентів у коді.

Водночас залишаються обмеження (нестабільність роботи з візуальними даними, контекстні прогалини), що робить необхідними політики доступів, виключення секретів із контексту та людське рев'ю критичних змін. Подальші дослідження доцільно спрямувати на формалізацію метрик ефективності агентів у SDLC та підвищення надійності інструментальних інтеграцій і роботи з візуальним контекстом.

ПЕРЕЛІК ПОСЛАНЬ

1. Factory AI. (n.d.). *Droid documentation*. https://docs.factory.ai/droid
2. Zhang, Q., Fang, C., & Xie, Y. (2023). *A survey on large language models for software engineering*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2312.15223
3. Yao, S., Zhao, J., Yu, D., Du, N., Shafran, I., Narasimhan, K., & Cao, Y. (2022). *ReAct: Synergizing reasoning and acting in language models*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2210.03629
4. Schick, T., Dwivedi-Yu, J., Dessì, R., Raileanu, R., Lomeli, M., Zettlemoyer, L., Cancedda, N., & Scialom, T. (2023). *Toolformer: Language models can teach themselves to use tools*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2302.04761
5. Karpas, E., Abend, O., Belinkov, Y., Lenz, B., Lieber, O., Ratner, N., Shoham, Y., Bata, H., Levine, Y., Leyton-Brown, K., Muhlgay, D., Rozen, N., Schwartz, E., Shachaf, G., Shalev-Shwartz, S., Shashua, A., & Tenenholtz, M. (2022). *MRKL systems: A modular, neuro-symbolic architecture that combines large language models, external knowledge sources, and discrete reasoning*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2205.00445
6. Model Context Protocol. (2025). *Specification*. https://modelcontextprotocol.io/specification/2025-11-25

UDC 004.4, 004.8

Boiko V.O.[1]

LLM-ASSISTED COGNITIVE CODE REVIEW FOR OBJECT-ORIENTED PROJECTS: A BEHAVIOR-ORIENTED APPROACH

Large language models (LLMs) are increasingly used to assist software engineering tasks, including code review. Yet code review remains cognitively demanding: reviewers must interpret diffs, infer intent, reason about side effects, and communicate feedback often under time pressure and with incomplete context. Recent LLM-based research demonstrates that review activities such as predicting review necessity, generating review comments, and refining code can be supported by LLM pipelines and

[1] Teaching assistant, Software Engineering department, Khmelnitskyi National University

parameter-efficient fine-tuning, reducing the need for expensive pretraining from scratch [1]. However, other research shows that "understanding" code review is not just about code generation: review comments are frequently implicit, ambiguous, and conversational, requiring models to infer human intent and localize changes precisely [2]. Inspired by these findings and by modern code review roadmaps calling for "human-centric symbiosis" between developers and intelligent systems [3], this paper proposes a behavior-oriented approach to LLM-assisted cognitive code review for object-oriented projects. The approach operationalizes review cognition as a set of explicit reasoning steps, then scaffolds the reviewer with adaptive, behavior-based prompts and checklists aligned to the change at hand. We outline an architecture, integration points with common pull-request workflows, and a practical evaluation design that measures both review outcomes and reviewer cognitive load.

Object-oriented code review is difficult not merely because of the size, but because "behavior" is distributed across classes, override chains, object state, and collaborating methods. Reviewers must mentally simulate runtime outcomes from static artifacts while also responding to human feedback in natural language. This becomes a bottleneck when the team relies on manual inspection as the dominant quality gate, a concern echoed in modern code review syntheses that describe review as cognitively demanding and resource-intensive, often creating workflow bottlenecks in practice [3].

Lu et al. introduce LLaMA-Reviewer, positioning LLMs as a practical alternative to domain-specific code-review models that require expensive pretraining. They explicitly frame code review automation as a pipeline, and report that parameter-efficient fine-tuning can deliver strong performance while training less than 1% of parameters – highlighting feasibility for organizations with constrained compute budgets [1]. For our topic, the key takeaway is architectural: review assistance should be decomposed into tasks that match how reviewers work, and adaptation should be lightweight enough to run per-organization or per-repository.

Lin et al. argue that code review comments are often implicit/ambiguous, so success requires bridging technical and conversational context rather than only generating code. They propose CodeReviewQA, an evaluation benchmark that decomposes automated code refinement into three reasoning steps: change type recognition, change localization, and solution identification. They also report a large evaluation spanning 72 LLMs and 900 manually curated examples across nine programming languages. For the current topic, the key contribution is cognitive: these three steps closely resemble the mental operations a human reviewer performs, making them actionable as scaffolding for LLM-assisted review [2].

Yang et al. describe modern code review as a cornerstone of quality assurance and knowledge transfer, but emphasize that manual inspection of

complex systems is cognitively demanding and can become a bottleneck. They forecast a future where review evolves from a human-driven task into a symbiotic partnership between developers and intelligent systems, highlighting human-centric symbiosis as a key paradigm shift. For our topic, this supports the positioning: behavior-oriented cognitive assistance is aligned with the broader research direction of supporting review rather than fully automating it [3].

Gonçalves et al. empirically test whether explicit review strategies improve performance and whether guidance lowers cognitive load. They compare ad-hoc review, checklists, and a guided checklist designed as an explicit reviewing strategy. Importantly, they describe the guided checklist as incorporating cognitive load reduction techniques such as segmenting and weeding. While effects vary across task complexity, the work is directly actionable for LLM product design: rather than producing a long, undifferentiated review, the assistant should provide step-wise guidance that reduces extraneous load and aligns with the reviewer's workflow stage [4].

Collante et al. study GPT use in pull-request workflows by curating a dataset of 25,473 pull requests from 9,254 projects and identifying GPT-assisted PRs via heuristics plus manual verification, iterating until 95% labeling accuracy. They analyze differences using statistical modeling and report that early adoption of GPT can lead to substantial time savings across PR phases. They also synthesize adoption challenges such as trustworthiness, lack of context, misleading review comments, and security/privacy concerns. For our topic, this motivates both the potential benefits and the need for behavior-oriented guardrails that make LLM reasoning transparent and context-appropriate [5].

A behavior-oriented approach treats code review as the validation of intended and emergent behavior of a change, not merely style conformance or local correctness. In OO systems, "behavior" is frequently expressed through message passing among objects, state transitions, contract expectations (implicit or explicit), and polymorphic substitution. The proposed approach, therefore, focuses on helping reviewers answer four behavior-centric questions for every change: what behavior is intended to change; where is the behavior realized; what could break; and what evidence supports correctness.

This maps naturally onto the decomposed reasoning steps used to evaluate LLM review comprehension, change type recognition, localization, and solution identification [2], but extends them with an explicit behavioral evidence layer that is critical for OO maintenance work.

The "behavior-oriented" aspect also applies to the reviewer, not only the code. Following evidence that step-wise guided strategies (segmenting/weeding) can reduce cognitive demands in review tasks [4], the assistant should adapt to the review phase and reviewer activity. Instead of emitting a single large review comment, it should produce a sequence of

small, decision-oriented prompts: confirm intended behavior, inspect specific override chain, verify null-handling policy, verify test coverage.

Finally, the approach is explicitly assistive rather than fully automatic, aligning with roadmaps that envision modern code review evolving into a symbiotic partnership between humans and intelligent systems [3].

The architecture below is designed to be implementable in a pull-request setting and consistent with multi-task review pipelines demonstrated in LLM-based automation research [1].

Context assembly layer. Before the LLM generates any guidance, the system assembles a compact "review pack" that includes: the diff, impacted class/method list, nearby class hierarchies, and references to relevant tests and usage sites. The point is not maximal retrieval, but a minimal sufficient context to reduce "lack of context" failure modes reported in LLM adoption discussions [5].

Cognitive triage layer. Using the idea that review understanding can be decomposed into intermediate reasoning steps [2], the assistant performs and shows (to the reviewer) three explicit outputs:

– Change type recognition: "What kind of behavioral change is this?" (e.g., refactor or semantic change, API surface change or internal change)

– Change localization: "Where does the change matter?" (classes/methods plus suspect call paths)

– Solution identification: "What should be verified or corrected?" (candidate issues, missing validations, test updates).

Behavioral guidance layer. The assistant then generates a guided behavioral checklist tailored to the change. The checklist is produced in segments that mirror human review flow: first, understand intent, then validate core behavior, then check edge cases, then check maintainability/security concerns. This directly follows evidence that guided checklists can incorporate segmenting and weeding to reduce cognitive demands during review tasks [4].

Recommendation layer. Where appropriate, the assistant generates the following: review comments, suggested patch hunks, and clarifying questions when intent is underspecified. This aligns with the view that code review automation can target multiple tasks, including comment generation and code refinement, rather than only one output type [1]. In addition, "ask-back" is treated as a first-class feature to mitigate misleading review comments and trust issues highlighted in empirical analyses of GPT-assisted PR workflows [5].

Human-centric control and transparency. To match the "human-centric symbiosis" direction for future review [3], the assistant must expose: what context it used, which reasoning step produced each recommendation, and confidence/uncertainty markers. The goal is not to claim perfect correctness, but to keep the reviewer in control while reducing

cognitive overhead.

Conclusions: Recent work shows that LLMs can be embedded into code review pipelines via parameter-efficient adaptation and multi-task decomposition. The core idea is to scaffold both code-behavior reasoning and reviewer-workflow behavior: make review cognition explicit, segment guidance into steps, and tie recommendations to evidence and context. Future implementations should prioritize transparency, repository-aware context packaging, and evaluation protocols that jointly measure comprehension, cognitive load, and PR lifecycle outcomes.

REFERENCES:

1. Lu, J., Yu, L., Li, X., Yang, L., & Zuo, C. (2023). *LLaMA reviewer: Advancing code review automation with large language models through parameter-efficient fine-tuning*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2308.11148
2. Lin, H. Y., Liu, C., Gao, H., Thongtanunam, P., & Treude, C. (2025). CodeReviewQA: The code review comprehension assessment for large language models. *Findings of the Association for Computational Linguistics: ACL 2025*.
3. Yang, Z., Gao, C., Guo, Z., Li, Z., Liu, K., Xia, X., & Zhou, Y. (2024). *A roadmap on modern code review: Challenges and opportunities*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2405.18216
4. Gonçalves, P. W., Fregnan, E., Baum, T., Schneider, K., & Bacchelli, A. (2022). Do explicit review strategies improve code review performance? Towards understanding the role of cognitive load. *Empirical Software Engineering, 27*, Article 99. https://doi.org/10.1007/s10664-022-10123-8
5. Collante, A., Abedu, S., Khatoonabadi, S. H., Abdellatif, A., Alor, E., & Shihab, E. (2025). *The impact of large language models (LLMs) on code review process*. arXiv. https://arxiv.org/abs/2508.11034

УДК 004.89:519.85

Панюшкін А.Ю.[1] Рудніченко М.Д. [2]

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ГІБРИДНИХ АЛГОРИТМІВ РОЙОВОГО ІНТЕЛЕКТУ В ЗАДАЧАХ НЕЛІНІЙНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

Вступ. Нелінійна оптимізація є однією з ключових складових сучасних прикладних досліджень у галузях інженерії, економіки, логістики, енергетики, штучного інтелекту та системного аналізу. Більшість реальних задач характеризуються складними

[1] Студент групи АД221, НУ «Одеська політехніка»
[2] Доцент кафедри ІТ, НУ «Одеська політехніка», к.т.н., доцент

багатовимірними просторами пошуку, наявністю багатьох локальних екстремумів, обмеженнями різного типу та відсутністю аналітичного представлення цільових функцій.

У таких умовах традиційні градієнтні методи часто виявляються неефективними або непридатними через вимоги до диференційовності, чутливість до початкових умов та ризик потрапляння в локальні мінімуми.

Альтернативою класичним підходам стали метаевристичні алгоритми, зокрема методи ройового інтелекту, що імітують колективну поведінку біологічних систем. Алгоритми рою частинок, мурашині алгоритми, алгоритми бджолиної колонії та інші подібні підходи демонструють високу адаптивність і здатність до глобального пошуку.

Проте кожен окремий алгоритм має власні обмеження, пов'язані з балансом між дослідженням простору пошуку та експлуатацією знайдених рішень, швидкістю збіжності та стабільністю результатів. Це зумовило появу гібридних алгоритмів ройового інтелекту, які поєднують переваги різних методів з метою підвищення ефективності розв'язання задач нелінійної оптимізації.

Основна частина. Алгоритми ройового інтелекту ґрунтуються на принципах децентралізованої взаємодії агентів, які обмінюються інформацією про стан середовища та координують свої дії з метою досягнення спільної цілі. У задачах оптимізації агенти представляють можливі розв'язки, а процес їхньої взаємодії забезпечує поступове наближення до оптимального значення цільової функції.

Одним із найпоширеніших методів є алгоритм рою частинок, у якому кожна частинка змінює свою позицію в просторі пошуку на основі власного досвіду та найкращого глобального результату. Перевагами цього підходу є простота реалізації та швидка збіжність на гладких функціях.

Водночас алгоритм може втрачати різноманіття популяції та передчасно збігатися до локальних мінімумів у складних багатомодальних задачах.

Іншим популярним методом є мурашиний алгоритм, що базується на механізмах колективного накопичення інформації через феромонні сліди. Він ефективний для задач дискретної оптимізації, але може потребувати значних обчислювальних ресурсів і часу для збіжності у безперервних просторах.

Гібридизація алгоритмів ройового інтелекту передбачає поєднання різних стратегій пошуку, механізмів оновлення параметрів та адаптивного налаштування коефіцієнтів.

Наприклад, інтеграція алгоритму рою частинок із генетичними операторами кросоверу та мутації дозволяє підтримувати різноманіття популяції та уникати передчасної збіжності.

У такій схемі глобальний пошук забезпечується механізмами еволюційної селекції, а локальне уточнення рішення виконується за допомогою динаміки рою.

Ефективність гібридних алгоритмів проявляється насамперед у задачах із високою розмірністю простору пошуку. Поєднання глобальних і локальних стратегій дозволяє зменшити кількість ітерацій, необхідних для досягнення прийнятного розв'язку, а також підвищити стабільність результатів при різних початкових умовах.

Окрему групу становлять алгоритми, що комбінують ройові підходи з методами локальної оптимізації. Після завершення основного етапу глобального пошуку виконується локальне доопрацювання знайдених рішень за допомогою градієнтних або квазіградієнтних методів. Такий підхід дозволяє поєднати глобальну дослідницьку здатність ройових алгоритмів із високою точністю локальної оптимізації.

Важливим аспектом є адаптивне налаштування параметрів гібридного алгоритму. Статичні значення коефіцієнтів можуть бути неефективними для різних типів задач. Тому сучасні підходи передбачають динамічну зміну параметрів залежно від стану популяції, швидкості збіжності та рівня різноманіття рішень. Це сприяє підтриманню балансу між дослідженням та експлуатацією простору пошуку.

Оцінювання ефективності гібридних алгоритмів здійснюється за критеріями точності, швидкості збіжності, стійкості до шуму та масштабованості. Результати чисельних експериментів на тестових функціях свідчать про перевагу гібридних схем у порівнянні з окремими алгоритмами, особливо у складних багатомодальних та нелінійних задачах із обмеженнями.

Разом із тим гібридні алгоритми характеризуються підвищеною складністю реалізації та потребують додаткових ресурсів для налаштування параметрів.

Зростання кількості компонентів у структурі алгоритму може ускладнювати аналіз його збіжності та теоретичне обґрунтування ефективності. Тому актуальним напрямом є розроблення формальних методів оцінювання та стандартизованих підходів до порівняння гібридних стратегій.

Таким чином слід зазначити, що застосування гібридних алгоритмів ройового інтелекту охоплює оптимізацію нейронних мереж, налаштування параметрів складних технічних систем, планування маршрутів, управління енергетичними мережами та інші сфери, де цільові функції мають складну нелінійну структуру.

У багатьох випадках саме поєднання різних евристик дозволяє досягти прийнятного компромісу між якістю розв'язку та витратами часу.

Висновки. Аналіз ефективності гібридних алгоритмів ройового інтелекту свідчить про їхню високу перспективність у задачах нелінійної оптимізації зі складною структурою цільових функцій. Поєднання різних стратегій пошуку дозволяє досягти більш стабільних і точних результатів порівняно з окремими алгоритмами.

Подальший розвиток гібридних підходів пов'язаний із дослідженням механізмів адаптивного керування параметрами, формалізацією критеріїв оцінювання ефективності та інтеграцією методів машинного навчання для автоматичного налаштування структури алгоритму.

Це сприятиме розширенню сфери застосування ройових методів і підвищенню їхньої конкурентоспроможності у розв'язанні складних оптимізаційних задач.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Qiao, J., Wang, G., Yang, Z., Luo, X., Chen, J., & Liu, P. (2024). *A hybrid particle swarm optimization algorithm for solving engineering problems*. Scientific Reports, 14, 8357. DOI:10.1038/s41598-024-59034-2

2. Urbańczyk, P., Urbańczyk, A., Król, M., Rutkowski, L., & Kisiel-Dorohinicki, M. (2025). *Sequential, Parallel and Consecutive Hybrid Evolutionary-Swarm Optimization Metaheuristics*. arXiv:2508.00229

3. Uzer, M. S. (2025). *New hybrid approaches based on swarm-based metaheuristic algorithms and applications to optimization problems*. Applied Sciences, 15(3), 1355. https://doi.org/10.3390/app15031355

4. Issa, A. S., Ali, Y. H., & Rashid, T. A. (2023). *Review on hybrid swarm algorithms for feature selection*. Iraqi Journal of Science, 64(10), 5331–5344. https://doi.org/10.24996/ijs.2023.64.10.38

УДК 004.9

Паламарчук М.С. [1], Шпінарева І.М.[2]

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА АРХІТЕКТУРНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ КОМУНІКАЦІЙНИХ ТА ОБЛІКОВИХ МОДУЛІВ В ОСВІТНІХ ВЕБ-СИСТЕМАХ

Вступ. В умовах стрімкої цифровізації вищої освіти вимоги до інформаційно-освітніх систем значно розширилися. Традиційні платформи управління навчанням (LMS) здебільшого фокусуються на асинхронній передачі навчальних матеріалів та проведенні тестувань, залишаючи поза увагою потреби у швидкій комунікації та гнучкому обліку успішності. Як наслідок, учасники освітнього процесу змушені використовувати розрізнені інструменти: сторонні месенджери для

[1] Студент групи АД221, НУ «Одеська політехніка»
[2] Доцент кафедри ІТ, НУ «Одеська політехніка», к.т.н., доцент

миттєвого зв’язку та локальні електронні таблиці для ведення журналів. Це порушує цілісність академічних даних, ускладнює моніторинг активності студентів та знижує загальну ефективність управління навчальним процесом. Актуальним завданням є аналіз методів проектування та розробки архітектурних рішень, які дозволять інтегрувати високонавантажені комунікаційні модулі та складні системи обліку успішності в єдину інформаційно-освітню веб-систему, адаптовану до стандартів вітчизняних закладів вищої освіти.

Основна частина. Проектування комунікаційного модуля, що виконує функції вбудованого месенджера в освітній веб-системі, вимагає відмови від традиційної моделі HTTP-запитів. Стандартний підхід, за якого клієнт періодично опитує сервер на наявність нових повідомлень (Long Polling), є неефективним і створює надмірне навантаження на серверну інфраструктуру в умовах великої кількості активних користувачів. Аналіз сучасних технологій показує, що оптимальним архітектурним рішенням для реалізації миттєвого обміну даними є використання протоколу WebSocket [1]. Цей протокол забезпечує повноцінне двостороннє з'єднання між клієнтом і сервером у режимі реального часу. Впровадження WebSocket у поєднанні з подієво-орієнтованою архітектурою серверної частини (наприклад, на базі платформи Node.js) дозволяє реалізувати приватні чати, групові канали для навчальних дисциплін та систему миттєвих push-сповіщень із мінімальною затримкою (latency).

Поряд із модулем комунікації, критично важливою складовою є електронний журнал успішності. Аналіз вимог до обліку академічних результатів у вітчизняних університетах демонструє необхідність підтримки модульної структури курсу, розрахунку вагових коефіцієнтів для різних типів робіт (лекції, практичні, самостійні завдання) та автоматичної конвертації балів у 100-бальну шкалу ECTS [2]. Проектування такого модуля вимагає застосування надійної реляційної моделі даних. На відміну від нереляційних рішень (NoSQL), які не завжди гарантують сувору консистентність, використання реляційних систем управління базами даних (наприклад, PostgreSQL) є обов'язковою умовою [3]. Це дозволяє реалізувати складні SQL-запити для агрегації балів, використовувати тригери для автоматичного перерахунку рейтингів та забезпечити повну відповідність вимогам транзакційної цілісності (ACID).

Інтеграція цих двох складних модулів — комунікаційного та облікового — в єдине середовище потребує сучасного підходу до побудови користувацького інтерфейсу (Frontend). Проектування клієнтської частини у вигляді Single Page Application (SPA) з використанням компонентних бібліотек (зокрема React.js) дозволяє створити безшовний користувацький досвід [4]. Наприклад, при надходженні нового повідомлення в чат від викладача або при

оновленні оцінки в журналі, механізм Virtual DOM забезпечує миттєве оновлення відповідного компонента на екрані студента без необхідності повного перезавантаження веб-сторінки.

Окремим аспектом проектування інтегрованих освітніх систем є забезпечення безпеки даних. Оскільки система акумулює персональні дані студентів, листування та оцінки, архітектурне рішення повинно включати надійні механізми авторизації та захисту API-ендпоінтів. Аналіз методів автентифікації в розподілених веб-системах вказує на переваги використання JSON Web Tokens (JWT) [5]. Цей стандарт дозволяє безпечно передавати інформацію про права доступу користувача (студент, викладач або адміністратор) між клієнтом і сервером, не вимагаючи збереження стану сесії в пам'яті сервера, що значно спрощує горизонтальне масштабування системи під час пікових навантажень, таких як екзаменаційні сесії. Висновки. Проведений аналіз архітектурних рішень та методів проектування підтверджує, що створення єдиної інформаційно-освітньої веб-системи вимагає комбінованого підходу до технологічного стеку. Для реалізації швидкої комунікації необхідне застосування протоколу WebSocket у межах подієво-орієнтованої серверної архітектури, тоді як надійний облік успішності за стандартами ECTS потребує реляційної моделі баз даних із транзакційною цілісністю. Використання сучасних концепцій проектування клієнтського інтерфейсу (SPA) та stateless-автентифікації (JWT) дозволяє ефективно об'єднати ці компоненти. Впровадження таких архітектурних рішень створить умови для подолання фрагментованості інструментів дистанційного навчання, знизить адміністративне навантаження на викладачів та забезпечить високу якість і безпеку освітнього процесу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Смірнов, О. А., & Петренко, В. І. (2021). Технології розробки інтерактивних веб-додатків у режимі реального часу з використанням WebSockets. *Системи обробки інформації*, (2), 67–74.

2. Биков, В. Ю., & Кухаренко, В. М. (2020). *Технології створення єдиного інформаційно-освітнього простору закладу вищої освіти*. Атіка.

3. PostgreSQL Global Development Group. (2026). *PostgreSQL documentation*. https://www.postgresql.org/docs/

4. Фланеґан, Д. (2022). *JavaScript: Докладне керівництво*. Діалектика.

5. JWT.io. (2026). *Introduction to JSON Web Tokens*. https://jwt.io/introduction

УДК 004.9
Гребенник А.Д.[1] Потієнко О.С. [2]

ПРОЕКТУВАННЯ КРОСПЛАТФОРМНОЇ СИСТЕМИ ПРОКТОРИНГУ З ІНТЕГРАЦІЄЮ МОДЕЛЕЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ОНЛАЙН-ОЦІНЮВАННЯ

Вступ. Із стрімким розвитком технологій дистанційного навчання та переходом багатьох освітніх і сертифікаційних процесів в онлайн-середовище, питання забезпечення академічної доброчесності набуло критичної ваги.

Традиційні методи контролю виявляються неефективними в умовах віддаленого доступу, що зумовлює попит на автоматизовані системи прокторингу.

Сучасні рішення часто стикаються з проблемами високого навантаження на сервери, порушенням приватності та хибними спрацьовуваннями алгоритмів [1]. У зв'язку з цим актуальним є розробка оптимізованої, кросплатформної системи, яка поєднує жорсткий програмний контроль середовища користувача з інтелектуальним аналізом поведінки, залишаючи при цьому фінальне рішення за людиною-екзаменатором.

Основна частина. Запропонована архітектура системи ExamGuardian базується на розподіленій моделі та складається з трьох ключових компонентів: захищеного клієнтського додатка, тимчасового хмарного сервера та локального веб-додатка екзаменатора.

Клієнтська частина реалізована з використанням фреймворку Qt (C++/QML), що забезпечує кросплатформність. Додаток виконує роль "пісочниці": він блокує перемикання між вікнами, фіксує спроби запуску у віртуальних машинах, а також здійснює безперервний запис екрану та трансляцію з веб-камери.

Мінімальні вимоги до відеопотоку встановлені на рівні 720p при 15 кадрів/с, що є оптимальним балансом між якістю, необхідною для роботи алгоритмів комп'ютерного зору, та пропускною здатністю мережі.

Серверна частина, побудована на базі ASP.NET Core та контейнеризована за допомогою Docker, функціонує виключно під час проведення іспиту у хмарному середовищі.

Вона відповідає за прийом даних, авторизацію студентів (через PostgreSQL) та збереження відповідей і логів подій (у нереляційній базі MongoDB).

Ключовою особливістю системи є модуль штучного інтелекту, розгорнутий як окремий мікросервіс (Python/TensorFlow). Основний

[1] Студент групи АД222, НУ «Одеська політехніка»
[2] Доцент кафедри ІТ, НУ «Одеська політехніка», к.т.н., доцент

сервер взаємодіє з AI-мікросервісом через внутрішнє API, передаючи йому візуальні дані для аналізу.

Модель відстежує напрямок погляду, повороти голови, зміну вкладок та факт відключення камери, генеруючи ймовірнісну оцінку академічного шахрайства [2].

Важливим компонентом управління системою є веб-додаток для екзаменатора, розроблений на базі фреймворку Angular. Цей клієнт надає зручний інтерфейс для перегляду відповідей студентів, відеозаписів та деталізованих звітів, згенерованих штучним інтелектом.

Оптимізація ресурсів досягається завдяки тому, що після завершення іспиту всі зібрані дані, включно зі звітами AI, завантажуються екзаменатором локально через веб-додаток (Angular). Після цього хмарний сервер припиняє роботу.

Такий підхід гарантує, що штучний інтелект виконує лише функцію асистента-аналітика, тоді як остаточне рішення щодо наявності порушень ухвалює викладач на основі агрегованої статистики та відеодоказів [3].

Висновки. Розроблена архітектура системи прокторингу демонструє ефективний підхід до організації онлайн-іспитів. Поєднання кросплатформного клієнта з низькорівневим контролем системи, тимчасового хмарного бекенду та мікросервісної AI-архітектури відповідно дозволяє забезпечити високий рівень академічної доброчесності.

Делегування фінального рішення людині на базі згенерованих машиною звітів нівелює проблему "чорної скриньки" та етичні ризики, притаманні повністю автоматизованим системам оцінювання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Lee, K., & Fanguy, M. (2022). Online exam proctoring technologies: Educational innovation or deterioration? *British Journal of Educational Technology, 53*(3), 475–490. https://doi.org/10.1111/bjet.13182

2. Prathish, S., et al. (2023). An automated online proctoring system using attentive-net to assess student mischievous behavior. *Multimedia Tools and Applications, 82*, 33439–33459. https://doi.org/10.1007/s11042-023-14561-2

3. Coghlan, S., Miller, T., & Paterson, J. (2021). Good proctor or “Big Brother”? Ethics of online exam proctoring technologies. *Philosophy & Technology, 34*(4), 1581–1606. https://doi.org/10.1007/s13347-021-00476-1

УДК 004.8:336.71
Небога М.О.[1] Гришин С.І. [2]

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ТА АРХІТЕКТУРНИХ ПІДХОДІВ ДО РОЗРОБКИ КРОСПЛАТФОРМНИХ МОБІЛЬНИХ ЗАСТОСУНКІВ ДЛЯ АГРЕГАЦІЇ МУЛЬТИМЕДІЙНОГО КОНТЕНТУ

Вступ. Обсяг доступного мультимедійного контенту постійно зростає, спричиняючи інформаційне перевантаження користувачів. Згідно з дослідженням аналітичної компанії Nielsen, середній абонент потокових сервісів у США витрачає близько 23 хвилин щодня виключно на пошук контенту перед початком перегляду [1]. Водночас, за даними Briel R. (2025), середня родина передплачує майже три (2,9) різні стрімінгові сервіси [2], а 44% користувачів відзначають зростання витрат на них [5]. Така фрагментація контенту ускладнює вибір: користувачі змушені перемикатися між застосунками і часто стикаються з «ефектом паралічу» від надлишку вибору. Отже, виникає гостра потреба в розробці інструментів, які ефективно агрегують каталоги різних сервісів та прискорюють процес пошуку і вибору медіаконтенту.

Аналіз існуючих рішень. На ринку вже існують системи-агрегатори. Наприклад, сервіс JustWatch дозволяє вибрати підписані платформи та шукати контент у всіх них водночас. Подібні можливості надає Playpilot, який додатково інтегрує соціальні рекомендації. Проте, частина агрегаторів (наприклад, Sky Glass) забезпечує лише поверхневу синхронізацію: при переході з агрегатора відкривається рідний застосунок сервісу, що іноді повільно завантажується та може призводити до збоїв.

Проведений SWOT-аналіз існуючих систем виділяє наступні аспекти:

- Переваги: швидкий пошук у єдиному інтерфейсі, економія часу користувача, зручні сповіщення про нові надходження.
- Недоліки: тотальна залежність від стабільності API стрімінгових платформ, затримки оновлення метаданих, дискомфорт від перенаправлення у власні додатки VOD-сервісів.
- Можливості: інтеграція алгоритмів штучного інтелекту для персоналізованих рекомендацій, розширення на подкасти.
- Загрози: поява конкуруючих вбудованих платформ від монополістів (Google TV, Apple TV).

Технологічний стек та архітектура. Для реалізації мобільного

[1] Студент кафедри інформаційних технологій НУ «Одеська політехніка»
[2] Доцент кафедри ІТ, НУ «Одеська політехніка», к.т.н., доцент

агрегатора доцільно використовувати кросплатформні фреймворки, такі як Flutter (мова Dart) або React Native (JavaScript). Вони дозволяють використовувати єдину кодову базу для ОС Android та iOS. Як зазначається у дослідженнях [3], застосування кросплатформних рішень сприяє зниженню вартості розробки та забезпечує швидкий вихід продукту на ринок (Time-to-Market) за рахунок повторного використання коду, при цьому зберігаючи нативний вигляд інтерфейсу.

Архітектура системи проєктується за класичною клієнт-серверною моделлю. Мобільний додаток (клієнт) взаємодіє з центральним сервером через RESTful API за протоколом HTTP/HTTPS, обмінюючись даними у легкому форматі JSON (ендпоінти /search, /catalog, /movie/{id}). Серверна частина відповідає за агрегацію каталогів, фільтрацію та управління профілями користувачів.

Для структурування коду на стороні мобільного клієнта застосовується архітектурний патерн MVVM (Model-View-ViewModel). Цей підхід чітко відокремлює логіку представлення (UI) від бізнес-логіки. Модель (Model) відповідає за доступ до сервісів та бази даних; Представлення (View) — за UI-компоненти; а Модель представлення (ViewModel) обробляє події від користувача і керує потоками даних між Model та View [4]. Це значно спрощує підтримку коду та написання модульних тестів.

UI/UX та організація процесу розробки. Інтерфейс застосунку проєктується з урахуванням принципів Material Design та рекомендацій Nielsen Norman Group щодо мобільного UX (мінімізація кількості дій, адаптивні кнопки, зручні «зони досяжності»).

Організація життєвого циклу розробки базується на Agile-методологіях (комбінація Scrum та Kanban), що забезпечує гнучкість та безперервний потік виконання завдань за допомогою трекерів (Jira). Для забезпечення високої якості коду та швидкої доставки оновлень впроваджуються CI/CD-процеси (Continuous Integration / Continuous Delivery) [6]. Інструменти на кшталт GitHub Actions автоматизують запуск юніт-тестів та інтеграційних тестів при кожному злитті коду в репозиторій (Git), дозволяючи своєчасно виявляти помилки та розгортати стабільні збірки.

Висновки. Проведений аналіз підтверджує критичну необхідність створення оптимізованих агрегаторів мультимедійного контенту. Використання кросплатформних фреймворків у поєднанні з архітектурним патерном MVVM, клієнт-серверною моделлю (REST API) та сучасними DevOps-практиками (CI/CD) є найбільш раціональним підходом. Така синергія технологій дозволить розробити масштабований, стабільний та зручний мобільний застосунок, що ефективно вирішує проблему інформаційного перевантаження користувачів стрімінгових платформ.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Nielsen. (2023). *Lost in the stream: Unravelling the paradox of content overload on streaming platforms*. Nielsen Insights.
2. Briel, R. (2025, August). *US streaming platforms shift focus to retention as churn rates surge*. Broadband TV News.
3. Schmitt, J. (2024). *Native vs cross-platform mobile app development*. CircleCI Blog.
4. GeeksforGeeks. (2025). *Difference between MVC, MVP and MVVM in Android*.
5. Glover, E. (2025). *Streaming trends for 2025: 44% report streaming costs increasing*. Forbes Home.
6. Red Hat. (2025). *What is CI/CD? Continuous integration and continuous deployment*. https://www.redhat.com/en/topics/devops/what-is-ci-cd

УДК 004.4

Дмитрієв М.Г.[1] Шибаєва Н.О. [2]

ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ ЗГЕНЕРОВАНИХ ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЕЙ У ПАЙПЛАЙНИ РОЗРОБКИ ІГОР

Вступ. Працюючи з професійними інструментами для тривимірного моделювання подібно до програми Блендер та застосунку Сабстенс Пейнтер, я чітко усвідомив одну надзвичайно важливу індустріальну проблему. Навіть найкраща та найточніша нейронна мережа не має абсолютно жодного практичного сенсу для розробників відеоігор, якщо її результати неможливо легко та без перешкод перенести у звичні робочі програми. Сирі математичні дані, які сьогодні видає більшість систем штучного інтелекту, є абсолютно непридатними для класичного полігонального моделювання чи подальшого текстурування [1]. Саме тому у своїй дипломній роботі я вирішив сфокусуватися не лише на навчанні самої нейромережі, а на проєктуванні повноцінної комплексної програмної архітектури. Ця архітектура має стати надійним містком між складним світом машинного навчання та щоденною рутинною роботою ігрових художників.

Основна частина. Головне інженерне завдання, яке я поставив перед собою під час проєктування цієї системи, полягало у створенні швидкої та відмовостійкої клієнт-серверної архітектури. Інтеграція алгоритмів глибинного навчання у виробничі процеси студій вимагає

[1] Студент групи АД221, НУ «Одеська політехніка»
[2] Доцент кафедри ІТ, НУ «Одеська політехніка», к.т.н., доцент

чіткого розподілу ресурсів [2]. Усі важкі матричні обчислення повинні виконуватися виключно на потужному серверному бекенді з використанням сучасних графічних прискорювачів. Натомість клієнтська частина має бути максимально легкою, інтуїтивно зрозумілою і працювати безпосередньо у браузері або як легкий плагін для редактора. Користувач просто завантажує фотографію майбутньої зброї або деталі оточення, відправляє запит через безпечний протокол, а сервер після обробки повертає йому готовий файл геометрії.

Справжня інженерна магія розробленої мною системи відбувається саме на етапі алгоритмічної постобробки даних на сервері [3]. Нейромережа, яка лежить в основі мого проєкту, генерує об'єкт у вигляді набору вокселів. Це можна уявити як щільне скупчення кубічних пікселів у тривимірному просторі. Щоб перетворити цей математичний масив на стандартну полігональну сітку, з якою звикли працювати художники, я імплементував у програмну систему алгоритм крокуючих кубів. Цей програмний модуль автоматично сканує весь згенерований об'єм, ювелірно розпізнає межі об'єкта і натягує на ці межі правильні полігони.

Проте мої тестування показали, що одразу після конвертації сітка виходить занадто щільною, важкою та нерівною, що створює критичні проблеми для ігрових рушіїв [4]. Тому моя архітектура обов'язково передбачає додаткові кроки геометричної оптимізації. Програма пропускає отриманий меш через алгоритми децимації. Це дозволяє системі автоматично зменшувати загальну кількість полігонів у кілька разів, при цьому повністю зберігаючи загальну форму та силует об'єкта. Окремим програмним потоком виконується згладжування нормалей, що прибирає візуальні артефакти на поверхні моделі.

Останнім та найважливішим етапом у моєму пайплайні є модуль правильного експорту та серіалізації даних. Програма акуратно пакує готову оптимізовану геометрію у стандартні індустріальні формати збереження даних, зокрема у популярні формати файлів для обміну тривимірною графікою [5]. Розроблений алгоритм гарантує збереження базових координат розгортки та груп згладжування. Це гарантує, що розробник може буквально в один клік імпортувати отриману модель у свій улюблений редактор без жодних помилок сумісності. Маючи таку якісну згенеровану чорнову форму, художник одразу приступає до створення чистової топології, повністю пропускаючи найнудніший багатогодинний етап пошуку базових пропорцій. Після цього розробнику залишається лише запекти карти нормалей високої деталізації та налаштувати реалістичні матеріали.

Висновки. Мій практичний досвід розробки переконливо доводить, що успішна інтеграція штучного інтелекту у сферу створення відеоігор залежить насамперед від грамотної програмної інженерії, а не лише від точності математичних моделей [6]. Спроєктована мною

програмна архітектура ефективно вирішує фундаментальну проблему сумісності форматів і перетворює складні матричні обчислення на максимально зручний інструмент для кінцевого користувача. Це дозволяє безшовно впроваджувати алгоритми машинного навчання безпосередньо у виробничі процеси ігрових студій, що у глобальній перспективі здатне зекономити сотні годин виснажливої ручної праці тривимірних художників.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бойко, О., & Тарасенко, М. (2024). Інженерія програмного забезпечення для систем машинного навчання: Архітектурні підходи та системна інтеграція. *Інженерія програмного забезпечення*, (15), 22–30.

2. Smith, D., & Doe, A. (2025). Подолання розриву між генеративним штучним інтелектом та процесами розробки відеоігор. *Журнал інструментів комп'ютерної графіки*, 29, 15–28.

3. Карпенко, В. (2024). Програмна реалізація методів конвертації воксельних математичних структур у полігональні сітки для систем реального часу. *Штучний інтелект та сучасні цифрові технології*, (4), 88–95.

4. Müller, T., & Evans, R. (2024). Алгоритмічна постобробка для нейромережевих геометричних реконструкцій: Стратегії децимації та розгортки. *Журнал комп'ютерної графіки*, 43, 142–155.

5. Zhang, Y., & Li, M. (2025). Автоматизація пайплайнів експорту просторових даних у сучасних вебзастосунках. *Архів препринтів програмної інженерії*, 12, 104–118.

6. Коваленко, І., & Сидоренко, П. (2024). Розподілені клієнт-серверні архітектури для завдань комп'ютерного зору та синтезу форм. *Вісник комп'ютерних технологій та архітектури*, (4), 112–125.

УДК 004.9

Варварчук В.В.[1] Кунуп Т.В. [2]

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ОБЛІКУ СПОЖИВАННЯ ТА ГЕНЕРАЦІЇ «ЗЕЛЕНОЇ» ЕНЕРГІЇ

Вступ. Сучасний розвиток енергетичного сектору характеризується активним впровадженням відновлюваних джерел енергії. Зростання кількості сонячних та вітрових електростанцій, а також використання інших альтернативних джерел енергії зумовлює необхідність створення ефективних інформаційних систем для обліку та контролю енергетичних потоків. Особливо актуальним це питання стає

[1] Студент групи АД221, НУ «Одеська політехніка»
[2] Доцент кафедри ІТ, НУ «Одеська політехніка», к.т.н., доцент

в умовах децентралізації енергетики, коли значна кількість споживачів одночасно виступає виробниками електроенергії. У таких умовах виникає потреба у використанні сучасних інформаційних технологій для автоматизованого збору, зберігання та аналізу даних про обсяги генерації та споживання електроенергії [1].

Інформаційні системи відіграють важливу роль у забезпеченні ефективного управління енергетичними ресурсами. Вони дозволяють отримувати актуальні дані про показники виробництва та використання електроенергії, здійснювати аналіз ефективності роботи енергетичних установок та прогнозувати рівень енергоспоживання. Використання таких систем сприяє підвищенню прозорості енергетичного обліку та оптимізації використання енергетичних ресурсів. У зв'язку з цим актуальним є дослідження підходів до розробки інформаційних систем, призначених для обліку споживання та генерації «зеленої» енергії.

Основна частина. Інформаційні системи обліку енергетичних ресурсів призначені для автоматизації процесів збору, обробки та аналізу даних про виробництво і споживання електроенергії. Основним завданням таких систем є забезпечення точного обліку енергетичних потоків та створення умов для ефективного управління енергетичними ресурсами. Одним із ключових підходів до реалізації таких систем є використання інтелектуальних вимірювальних пристроїв, які дозволяють автоматично фіксувати показники споживання та генерації електроенергії [2].

Значну роль у сучасних інформаційних системах енергетичного обліку відіграють технології Інтернету речей. Використання IoT-пристроїв дозволяє забезпечити безперервний моніторинг показників роботи енергетичних установок та передавати отримані дані до централізованих інформаційних систем у режимі реального часу. Отримана інформація зберігається у базах даних, де вона може бути використана для подальшого аналізу та формування статистичних звітів [3].

Ще одним важливим підходом до розробки інформаційних систем є використання клієнт-серверної архітектури. У такій архітектурі серверна частина відповідає за зберігання та обробку даних, тоді як клієнтська частина забезпечує взаємодію користувачів із системою через веб-інтерфейс або мобільний додаток. Це дозволяє забезпечити зручний доступ до інформації про енергоспоживання та генерацію електроенергії, а також створити інструменти для візуалізації та аналізу даних.

Важливим компонентом інформаційної системи є база даних, яка забезпечує структуроване зберігання інформації про користувачів, показники лічильників, параметри генерації енергії та історію енергоспоживання. Для реалізації таких систем можуть використовуватися як реляційні системи управління базами даних, так і

сучасні NoSQL-рішення, що дозволяють ефективно працювати з великими обсягами даних [4].

Сучасні інформаційні системи також передбачають використання засобів візуалізації даних. Завдяки використанню графіків, діаграм та аналітичних панелей користувачі можуть швидко оцінювати рівень енергоспоживання, обсяги виробленої енергії та ефективність роботи енергетичних установок. Крім того, застосування методів аналізу даних дозволяє визначати закономірності використання електроенергії та прогнозувати майбутні показники генерації і споживання [5].

Висновки. Проведений аналіз показує, що інформаційні системи обліку споживання та генерації «зеленої» енергії є важливим інструментом для ефективного управління енергетичними ресурсами. Використання сучасних інформаційних технологій дозволяє автоматизувати процеси збору та обробки даних, підвищити точність енергетичного обліку та забезпечити прозорість енергетичних процесів. Основними підходами до створення таких систем є використання інтелектуальних вимірювальних пристроїв, технологій Інтернету речей, клієнт-серверної архітектури, систем управління базами даних та хмарних платформ. Поєднання цих технологій дозволяє створювати ефективні програмні рішення для моніторингу та аналізу енергетичних показників прогнозів, здатність враховувати складні нелінійні залежності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. International Energy Agency. (2024). Renewable energy market analysis 2024. IEA.

2. Lund, H. (2022). Renewable energy systems: A smart energy systems approach to the choice and modeling of 100% renewable solutions (2nd ed.). Academic Press.

3. Fang, X., Misra, S., Xue, G., & Yang, D. (2023). Smart grid – The new and improved power grid: A survey. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 25(1), 944–980.

4. Gungor, V. C., Sahin, D., & Kocak, T. (2022). Smart grid technologies: Communication technologies and standards. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 18(2), 529–539.

5. International Renewable Energy Agency. (2023). Digitalization and the future of energy systems. IRENA.

УДК 004.9
Іванчиков О.І. [1] Кунуп Т.В. [2]

АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ПРОЕКТУВАННЯ, РОЗРОБКИ І ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНИХ ДОДАТКІВ ДЛЯ WMS-СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ СКЛАДОМ

Вступ. Системи управління складом (Warehouse Management System, WMS) є ключовим компонентом сучасної логістичної інфраструктури підприємств електронної комерції, виробництва та дистрибуції [1]. Зростання обсягів товарообігу, інтеграція з ERP-, CRM- та транспортними системами, а також необхідність обробки великих потоків даних у режимі реального часу обумовлюють підвищені вимоги до архітектури, надійності та масштабованості програмних рішень WMS [2].

Проектування та розробка WMS-додатків потребує використання сучасних інженерних підходів, мікросервісних архітектур, хмарних технологій, інструментів автоматизованого тестування та DevOps-практик. Актуальним є проведення порівняльного аналізу методів та технологій, що застосовуються на різних етапах життєвого циклу програмного забезпечення для WMS.

Основна частина. Традиційні монолітні архітектури забезпечують простоту розгортання та цілісність системи, проте обмежені у масштабуванні та гнучкості змін. Натомість мікросервісна архітектура дозволяє розподілити функціональність (облік товарів, управління замовленнями, інвентаризація, аналітика) на незалежні сервіси, що спрощує горизонтальне масштабування та інтеграцію з зовнішніми API [3]. Порівняльний аналіз показує, що для великих складських комплексів із багатоканальною логістикою доцільним є використання мікросервісного підходу з контейнеризацією (Docker, Kubernetes), тоді як для малих складів ефективним може залишатися модульний моноліт.

Для реалізації бізнес-логіки WMS часто застосовуються сучасні фреймворки: Node.js (Express, NestJS), Java (Spring Boot), Python (Django, Flask). Порівняльний аналіз демонструє, що Java-рішення мають перевагу у стабільності та продуктивності в умовах високого навантаження, тоді як Node.js та Python забезпечують швидкість розробки та гнучкість інтеграції з веб-інтерфейсами та сервісами аналітики.

WMS-системи оперують структурованими даними (товари, партії, комірки, зберігання, рух запасів), тому традиційно використовуються реляційні СУБД (PostgreSQL, MySQL). Водночас для обробки потоків подій (сканування штрихкодів, IoT-датчики)

[1] Студент групи АД222, НУ «Одеська політехніка»
[2] Доцент кафедри ІТ, НУ «Одеська політехніка», к.т.н., доцент

застосовуються NoSQL-рішення (MongoDB, Redis). Гібридна модель з використанням реляційної БД для транзакційних даних та NoSQL для кешування й обробки подій забезпечує баланс між цілісністю даних та швидкодією [4]. Для WMS-проєктів широко застосовуються гнучкі методології (Agile, Scrum), що дозволяють адаптувати систему до змін логістичних процесів. DevOps-підхід із впровадженням CI/CD автоматизує тестування та розгортання оновлень, мінімізуючи простої складу [5]. Порівняння каскадної (Waterfall) та гнучкої моделей свідчить, що Waterfall може бути виправданою при чітко регламентованих вимогах, однак для більшості сучасних WMS-проєктів ефективнішою є ітеративна модель. Тестування систем управління складом повинно охоплювати: модульне тестування бізнес-логіки, інтеграційне тестування API та взаємодії з ERP, навантажувальне тестування (імітація пікових періодів), тестування безпеки (рольова модель доступу, захист транзакцій). Інструменти автоматизації (JUnit, PyTest, Jest, Postman, Selenium) дозволяють забезпечити високу якість коду та стабільність функціонування системи. Особливу увагу слід приділяти тестуванню конкурентного доступу до даних, оскільки помилки синхронізації можуть призвести до розбіжностей у складських залишках. Сучасні WMS інтегруються з мобільними терміналами збору даних та працюють у хмарному середовищі (AWS, Azure, Google Cloud). Використання PaaS- та SaaS-рішень дозволяє скоротити витрати на інфраструктуру та забезпечити масштабованість системи відповідно до сезонного навантаження.

Висновки. Проведений аналіз засвідчує, що ефективна розробка WMS-систем потребує комплексного підходу, що поєднує сучасні архітектурні рішення, гнучкі методології розробки та автоматизоване тестування. Мікросервісна архітектура, хмарні технології та DevOps-практики забезпечують масштабованість і безперервність роботи системи. Оптимальний вибір технологічного стеку залежить від масштабу складу, вимог до продуктивності та інтеграційних потреб підприємства.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Richards, G. (2022). *Warehouse management: A complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse*. Kogan Page.

2. Bass, L., Clements, P., & Kazman, R. (2021). *Software architecture in practice* (4th ed.). Addison-Wesley.

3. Newman, S. (2021). *Building microservices: Designing fine-grained systems* (2nd ed.). O'Reilly Media.

4. Humble, J., & Farley, D. (2010). *Continuous delivery: Reliable software releases through build, test, and deployment automation*. Addison-Wesley.

5. Kim, G., Humble, J., Debois, P., & Willis, J. (2021). *The DevOps handbook: How to create world-class agility, reliability, and security in technology organizations* (2nd ed.). IT Revolution Press.

УДК 004.9

Паламарчук М.С. [1], Шпінарева І.М.[2]

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ РОЗРОБКИ ЄДИНОЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ОСВІТНЬОЇ ВЕБ-СИСТЕМИ

Вступ. У сучасних умовах цифрової трансформації освіти інформаційні технології відіграють ключову роль у забезпеченні ефективності навчального процесу. Заклади вищої освіти дедалі активніше впроваджують електронні ресурси для організації освітньої діяльності, управління навчальними матеріалами та контролю успішності. Проте, незважаючи на широкий спектр доступних інструментів, у багатьох університетах спостерігається проблема фрагментованості цифрового середовища. Для розміщення навчальних матеріалів використовуються одні платформи (наприклад, Moodle або Google Classroom), для оперативної комунікації — сторонні месенджери (Telegram, Viber), а для ведення офіційного обліку успішності — окремі електронні чи паперові журнали. Такий децентралізований підхід суттєво ускладнює організацію навчального процесу, збільшує адміністративне навантаження на викладачів і створює ризики втрати важливих даних. Це обумовлює актуальність проведення аналізу сучасних програмних засобів та обґрунтування вибору технологічного стеку для розробки єдиної інформаційно-освітньої веб-системи, яка б інтегрувала всі необхідні функції в межах однієї платформи.

Основна частина. Проектування сучасної комплексної веб-системи для навчального закладу вимагає ретельного аналізу існуючих рішень. Розгляд популярних аналогів показує, що кожна з систем має свої сильні та слабкі сторони. Так, платформа Moodle надає потужний інструментарій для тестування та налаштування навчальних курсів, однак характеризується застарілим інтерфейсом користувача (UI) та високим порогом входження для нових викладачів. Google Classroom, навпаки, відзначається інтуїтивно зрозумілим дизайном та глибокою інтеграцією з хмарними сервісами, проте не містить повноцінного модуля електронного журналу, який би відповідав вимогам вітчизняної бально-рейтингової системи, а також не має інструментів для миттєвого обміну повідомленнями. Microsoft Teams пропонує якісний відеозв'язок

[1] Студент групи АД221, НУ «Одеська політехніка»
[2] Доцент кафедри ІТ, НУ «Одеська політехніка», к.т.н., доцент

та групові чати, але є ресурсоємним корпоративним продуктом, архітектура якого не завжди зручно адаптується під класичний розклад та структуру академічних груп університету.

Для усунення цих недоліків доцільною є розробка власної інтегрованої платформи на базі трирівневої клієнт-серверної архітектури. Вибір технологій для клієнтської частини (Frontend) є критично важливим, оскільки система повинна забезпечувати високу інтерактивність та оновлення даних у режимі реального часу (особливо для модулів месенджера та журналу). Серед сучасних інструментів розробки односторінкових додатків (SPA) найбільшу ефективність демонструє бібліотека React.js [1]. Завдяки використанню компонентного підходу та механізму Virtual DOM, React дозволяє оптимізувати рендеринг сторінки, миттєво оновлюючи лише змінені елементи, що критично важливо при високому навантаженні інтерфейсу динамічними даними.

Серверна частина (Backend) повинна відповідати за реалізацію складної бізнес-логіки, маршрутизацію запитів та підтримку WebSocket-з'єднань для забезпечення миттєвої комунікації. Порівняльний аналіз платформ показав, що для систем із інтенсивним обміном повідомленнями в реальному часі оптимальним вибором є середовище Node.js [2]. Його асинхронна, подієво-орієнтована модель та механізм неблокуючого вводу/виводу дозволяють обробляти тисячі одночасних підключень студентів із мінімальними витратами ресурсів сервера. У зв'язці з мінімалістичним веб-фреймворком Express.js це забезпечує швидку розробку надійного RESTful API.

Рівень зберігання даних вимагає особливої уваги, оскільки освітній процес генерує інформацію з чіткою ієрархічною та реляційною структурою (факультети, спеціальності, групи, студенти, дисципліни, оцінки). Використання NoSQL рішень у цьому контексті є ризикованим через можливі проблеми з транзакційною цілісністю. Натомість, реляційна система управління базами даних PostgreSQL є стандартом для академічних систем [3]. Вона повністю відповідає вимогам ACID (атомарність, узгодженість, ізольованість, довговічність), підтримує складні аналітичні запити та розширені можливості роботи з JSON-об'єктами, що забезпечує надійне збереження історії оцінювання та версійності навчальних матеріалів. Додатково, для гарантування безпеки авторизації доцільно використовувати технологію JSON Web Token (JWT) [4], що дозволяє реалізувати масштабовану stateless-аутентифікацію без перевантаження серверної пам'яті.

Висновки. Проведений аналіз підтверджує, що існуючі універсальні платформи управління навчанням не здатні в повній мірі задовольнити специфічні потреби вітчизняних закладів вищої освіти щодо інтеграції навчального контенту, електронного документообігу та

оперативної комунікації. Розробка єдиної інформаційно-освітньої веб-системи є необхідним кроком для подолання фрагментованості цифрового середовища. Обґрунтований у роботі технологічний стек PERN (PostgreSQL, Express.js, React.js, Node.js) є найбільш перспективним підходом для реалізації такої платформи. Поєднання реактивного інтерфейсу, асинхронної серверної архітектури та надійної реляційної СУБД дозволить створити масштабований, безпечний та високопродуктивний програмний продукт, здатний суттєво підвищити якість організації навчального процесу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Офіційна документація бібліотеки React. (2026).: https://react.dev/
2. Офіційна документація середовища Node.js. (2026). https://nodejs.org/uk/docs/
3. Офіційна документація СУБД PostgreSQL. (2026). https://www.postgresql.org/docs/
4. Introduction to JSON Web Tokens. JWT.io. (2026). https://jwt.io/introduction
5. Кухаренко В. М. Теорія та практика змішаного навчання: монографія / В. М. Кухаренко, С. М. Березенська та ін. – Харків: Міськдрук, 2020. – 284 с.

УДК 004.9

Савранський Р.В. [1] Кунуп Т.В. [2]

АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ПРОЄКТУВАННЯ І УПРАВЛІННЯ РОЗРОБКОЮ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ДЛЯ СПОРТИВНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ

Вступ. У сучасних умовах цифрової трансформації спортивної індустрії зростає потреба у створенні ефективних інформаційних систем, що забезпечують управління спортивними подіями, командами, тренувальним процесом, статистикою спортсменів та взаємодією з уболівальниками.

Інформаційні системи спортивного менеджменту дозволяють автоматизувати управлінські процеси, підвищити ефективність прийняття рішень та покращити аналітику спортивних даних [1].

Проектування та управління розробкою таких систем потребує застосування сучасних методологій програмної інженерії, архітектурних підходів та інструментів розробки програмного

[1] Студент групи АД222, НУ «Одеська політехніка»
[2] Доцент кафедри ІТ, НУ «Одеська політехніка», к.т.н., доцент

забезпечення.

При цьому особливу роль відіграють гнучкі методології управління проектами, сучасні фреймворки розробки веб-застосунків та інструменти автоматизованого тестування [2].

Основна частина. Одним із ключових аспектів створення інформаційних систем спортивного менеджменту є вибір відповідної методології управління розробкою програмного забезпечення. Традиційні підходи, такі як каскадна модель (Waterfall), передбачають послідовне виконання етапів аналізу вимог, проектування, реалізації та тестування.

Проте в умовах швидкої зміни вимог до програмних продуктів дедалі більшого поширення набувають гнучкі методології розробки, зокрема Scrum та Kanban [2].

Методологія Scrum забезпечує ітеративну розробку програмного забезпечення з короткими циклами (спринтами), що дозволяє швидко адаптувати систему до змін вимог користувачів. Kanban, у свою чергу, спрямований на візуалізацію робочого процесу та оптимізацію потоку задач, що підвищує ефективність командної роботи під час розробки програмних систем [3].

Для розробки сучасних інформаційних систем спортивного менеджменту широко застосовуються веб-технології та фреймворки, такі як React, Vue.js або Angular для клієнтської частини, а також Node.js, Django або Spring Boot для серверної логіки [4].

Використання архітектурного підходу REST API забезпечує ефективну взаємодію між клієнтською та серверною частинами системи.

Окрему увагу слід приділити тестуванню програмних систем, оскільки інформаційні системи спортивного менеджменту повинні забезпечувати надійність обробки даних та стабільність роботи.

Сучасні практики тестування передбачають застосування автоматизованого тестування, включаючи модульні, інтеграційні та системні тести. Інструменти, такі як Jest, Selenium або Cypress, дозволяють автоматизувати процес перевірки функціональності програмних компонентів та зменшити кількість помилок у програмному коді [5].

Крім того, сучасні підходи до управління розробкою програмного забезпечення передбачають використання технологій безперервної інтеграції та доставки (CI/CD). Використання таких інструментів, як GitHub Actions, GitLab CI або Jenkins, дозволяє автоматизувати процеси складання, тестування та розгортання програмного забезпечення, що значно підвищує швидкість та якість розробки інформаційних систем.

Висновки. Проведений аналіз показує, що ефективне проектування та управління розробкою інформаційних систем для спортивного менеджменту потребує комплексного використання

сучасних методологій програмної інженерії, архітектурних підходів та інструментів розробки програмного забезпечення. Застосування гнучких методологій управління проектами, мікросервісної архітектури, сучасних веб-фреймворків та інструментів автоматизованого тестування дозволяє підвищити якість програмних продуктів, забезпечити їх масштабованість та адаптивність до змінних вимог користувачів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Sommerville, I. (2016). *Software engineering* (10th ed.). Pearson Education.

2. Pressman, R., & Maxim, B. (2020). *Software engineering: A practitioner's approach* (9th ed.). McGraw-Hill Education.

3. Anderson, D. (2010). *Kanban: Successful evolutionary change for your technology business*. Blue Hole Press.

4. Fowler, M., & Lewis, J. (2014). *Microservices: A definition of this new architectural term*. https://martinfowler.com/articles/microservices.html

5. Humble, J., & Farley, D. (2011). *Continuous delivery: Reliable software releases through build, test, and deployment automation*. Addison-Wesley.

УДК 004.738.5

Баденко Д.В.[1], Деведжіогуллари А.В.[2]

ГІБРИДНИЙ ПІДХІД ДО РОЗМІЩЕННЯ ХМАРНИХ СЕРВІСНИХ ФУНКЦІЙ В МЕРЕЖАХ 5G/6G

Розміщення хмарних сервісних функцій (CNF), передусім контролерів програмно-визначених мереж (SDN) [1], є важливою оптимізаційною задачею для інфраструктури 5G та 6G. Показники затримки та надійності сервісів визначаються розподілом компонентів між централізованою хмарою та обчислювальними ресурсами периферії. Ефективне вирішення цієї задачі є необхідним для досягнення цільових показників рекомендацій IMT-2030 [2], зокрема забезпечення затримки до 1 мс та надійності на рівні 99.999%. Оскільки дана задача належить до класу NP-складних, її реалізація вимагає балансування конфліктуючих цілей для дотримання параметрів SLA.

Класичним підходом до її вирішення є формулювання у вигляді задачі цілочисельного лінійного програмування (ILP або MILP). Такий підхід дозволяє знаходити глобально оптимальні рішення, що одночасно

[1] Студент групи ІС-51мп, КПІ ім. Ігоря Сікорського

[2] Доцент кафедри ІСТ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, к. т. н., доцент

балансують, наприклад, завантаження CPU та кінцеву затримку [3]. Однак, на практиці, задачі часто мають більше двох цілей.

Для вирішення багатоцільових NP-складних задач часто використовуються мета-евристичні підходи, зокрема генетичні алгоритми (GA). На відміну від ILP, GA не гарантують глобального оптимуму, але знаходять компромісне рішення за прийнятний час. Ait Aba та ін. [4] продемонстрували практичну перевагу GA-планувальника для Kubernetes, довівши, що цілісний підхід до розміщення мережевих зрізів значно ефективніший за покомпонентний. Пряме порівняння методів, проведене Furnadzhiev та ін. [5], підтверджує що точні методи (ILP) демонструють значне зростання часу виконання, тоді як мета-евристики є значно швидшими, але дають субоптимальні рішення.

Цей компроміс змушує дослідників шукати більш інтелектуальні та адаптивні методи. Moazzeni та ін. [6] пропонують використовувати навчання з підкріпленням (Reinforcement Learning, GNN-A3C), яке водночас вирішує задачу розміщення, інтегрує профілювання сервісів та забезпечує конфіденційність даних за допомогою федеративного навчання (Federated Learning).

Не менш важливим є врахування динаміки реального світу. Harutyunyan та ін. [7] довели, що мобільність користувачів є критичним фактором, який вимагає адаптації розміщення, проте Araujo та ін. [8] застерігають, що повна реконфігурація, тобто міграція всіх активних віртуальних сервісних функцій, є обчислювально непрактичною. Окрім зовнішніх факторів, як мобільність, необхідно враховувати і внутрішню структуру сервісів. Khan та ін. [9] стверджують, що перед розміщенням необхідно аналізувати граф викликів мікросервісів за допомогою алгоритмів виявлення спільнот (напр., алгоритм Лейдена), щоб розміщувати тісно пов'язані компоненти разом.

Враховуючи обмеження існуючих методів, пропонується гібридний підхід (рис. 1), що поєднує сильні сторони існуючих методів. Спершу, на основі підходу [8] проводиться декомпозиція stateful-функцій (CNF зі збереженням стану, наприклад, SDN-контролерів) на "спільноти" для зменшення розмірності. Для їх початкового розгортання застосовується швидка мета-евристика, що уникає затримок точних методів. На етапі експлуатації, замість непрактичної повної реконфігурації, RL-агент виконує інкрементальні покращення, адаптуючи мережу під рух користувачів і враховуючи динаміку середовища.

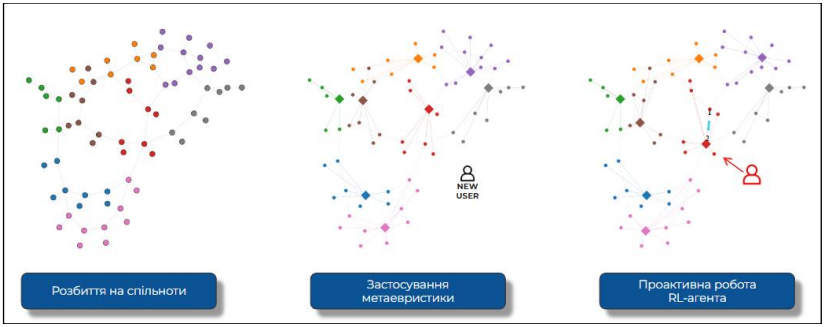


Рисунок 1 – Графічне представлення етапів реалізації гібридного підходу до розміщення CNF

Напрямками подальших досліджень є емпірична валідація запропонованого підходу у середовищі мережевого симулятора, аналіз легковагих архітектур RL-агентів, оптимізованих для розгортання на периферійних вузлах та дослідження масштабованості підходу в гетерогенних багатодоменних мережах.

Висновки. Сучасний підхід до управління розміщенням сервісів являє собою повний цикл: від проактивної оптимізації з урахуванням мобільності та структури застосунків, до компромісних рішень щодо реконфігурації в реальному часі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Banar, A., & Vorobets, H. (2025). AI-enabled Cloud SDN Controllers: Architecture, Scalability, and Security – A Comparative Study. Security of Infocommunication Systems and Internet of Things, 3(1), 01011. https://doi.org/10.31861/sisiot2025.1.01011

2. International Telecommunication Union. (n.d.). IMT-2030. https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/imt-2030/pages/default.aspx.

3. Tabatabaei, F., Mangues-Bafalluy, J., Khalili, H., Kahvazadeh, S., & Requena-Esteso, M. (2025). Optimizing CNF placement for latency and resource efficiency in multi-cluster cloud-edge federations. IEEE Open Journal of the Communications Society.

4. https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2025.3614745

5. Ait Aba, M., Kassis, M., Elkael, M., Araldo, A., Al Khansa, A., Castel-Taleb, H., & Jouaber, B. (2024). Efficient network slicing orchestrator for 5G networks using a genetic algorithm-based scheduler with Kubernetes: Experimental insights. Proceedings of the 2024 IEEE 10th International Conference on Network Softwarization (NetSoft), 82–90. https://doi.org/10.1109/NetSoft60951.2024.10588895

6. Furnadzhiev, R., Shopov, M., & Kakanakov, N. (2025). Efficient orchestration of distributed workloads in multi-region Kubernetes cluster.

Computers, 14(4), Article 114.
7. https://doi.org/10.3390/computers14040114
8. Moazzeni, S., Huang, Z., Zeb, S., Zhang, X., Parra Ullauri, J. M., Bravalheri, A., Hussain, R., Wu, Y., Vasilakos, X., & Simeonidou, D. (2025). Federated intelligent service function chain orchestration in future 6G networks [Preprint]. TechRxiv.
9. https://doi.org/10.36227/techrxiv.173739080.02099035
10. Harutyunyan, D., Shahriar, N., Boutaba, R., & Riggio, R. (2022). Latency and mobility-aware service function chain placement in 5G networks. IEEE Transactions on Mobile Computing, 21(5), 1697–1709.
11. https://doi.org/10.1109/TMC.2020.3028216
12. Araujo, S., Souza, F., & Mateus, G. (2023). Modeling and analysis of different reconfiguration strategies for virtual network function placement and chaining with service classes identification. IEEE Latin America Transactions, 21(3), 475–482.
13. https://doi.org/10.1109/TLA.2023.10068852
14. Khan, S., & Khan, S. (2025). Latency-aware graph-based microservice placement in the edge-cloud continuum. Cluster Computing, 28(2), Article 88. https://doi.org/10.1007/s10586-024-04824-6

UDC 004.9

Bahno O.O.[1], Ivanchenko M.G.[2]

SELECTION CRITERIA FOR ARCHITECTURAL PATTERNS IN MOBILE APPLICATION DEVELOPMENT

Introduction. Before starting developing application, every developer is obliged to choose an architectural pattern for the project. Choosing the right architecture is crucial for building project, which is well structed, maintainable and easy to scale up. However, over the years, developers have invented a lot of different architectures. Each one has its own advantages and disadvantages. So, when should developer use one or another pattern? Let`s dive in and figure it out.

Model-View-Controller (MVC). First of all, let`s take a look at three different layers, which are presented in this pattern.

- Model – is responsible for storing the data, but should not manipulate with it. This layer is important, because we want to provide an app, which will provide user views with accurate data.
- View – is pretty much what we called a “Front-End”. It is everything what user will be able to see and interact with. It is responsible for handle non-business logic and pure presentational logic.

[1] Student of group PZ-22-1, Oles Honchar Dnipro National University
[2] Associate Professor, Department of Software Engineering and Information Technologies, Oles Honchar DNU, Ph.D. (Eng.), Associate Professor

• Controller – is a layer that communicates with both Model and View layers. It is responsible for updating the Model and the View with the processed data.

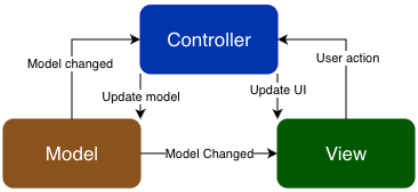


Figure 1 – MVC architecture diagram

In Figure 1 you see how different layers are connected with each other. View layer can inform Controller layer about user`s action, meanwhile it can be forced to be updated from Controller or it merely can be informed that Model layer has some changes. Controller layer can ask Model layer to update data and receive it from Model layer.

Model-View-Presenter (MVP). The MVP architecture is quite similar to MVC: it also has Model and View layers, but instead of Controller, there is Presenter layer. And this Presenter layer is a big thing between MVC and MVP. So, in MVP ViewController (Controller layer) is considered as a view, which means it contains only the view-related code and nothing more, while all of the logic is implemented in the presenter.

- Model – same as in the MVC
- View – includes both View and ViewController, that means that now view is responsible for setting up the user interface and handling user interactions.
- Presenter – handles all of the logic, such as responding to user`s actions and updating UI. Also, important to mention, that presenter has to be UIKit-independent, making it isolated and easily testable.

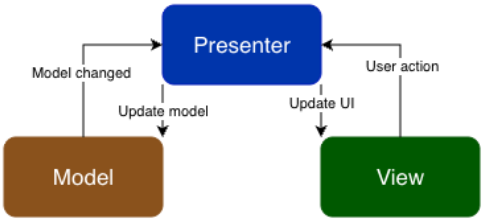


Figure 2 – MVP architecture diagram

As we can see on a Figure 2, there is no connection between Model layer and View layer, so everything is going through presenter, which makes architecture more structed and understandable.

Model-View-ViewModel (MVVM). This architecture also has similarities with MVP architecture, which we have already reviewed. However, the key difference between them, it is using of data binding. But what is a data binding? Basically, it is a technique that connect UI and ViewModel, automatically synchronize them so changes in one reflect in the other.

- Model – same as in the MVP
- View – same as in the MVP
- ViewModel - it owns the Model and takes care of manipulating its data in a way that makes it ready to be displayed by a simplified View.

Additionally, it enables data binding, which facilitates two-way communication between the view and the model, automating the propagation of modifications and ensuring a clean separation of concerns.

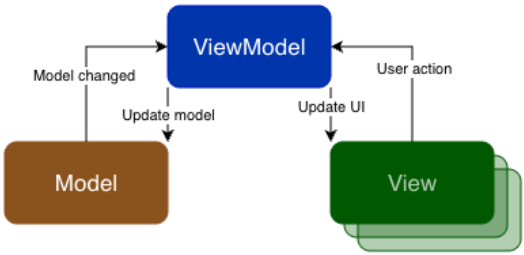


Figure 3 – MVVM architecture diagram

Actually, diagram on a Figure 3 looks almost the same as the diagram on the Figure 2, but in MVVM it is possible to reuse ViewModel for different views, on the other hand, in MVP or MVC, it is impossible to implement.

Side by side comparison.

Table 1 – comparison of different architectures

Aspect	MVC	MVP	MVVM
Separation of Concerns	Basic	Better	Best
Data Flow	Two-way	One-way	One-way with data binding
Maintenance	Hard	Easy	Easy
Performance	Can be slower due to tight coupling	Better performance with looser coupling	Smooth performance, especially for complex UIs

Dependency on UI framework	High	Low or no dependency	Low or no dependency
Scalability	Suitable for small project	Good for simple and complex objects	Ideal for large, data-heavy apps

Conclusion. In this work, comparison of three different architecture patterns was made, what features every pattern provide and how different layers communicate with each other in each architecture. Certainly, there are more architecture patterns, for instance, VIPER, which is also quite popular. Also, it is important to mention, that there are modifications of MVP and MVVM pattern, for example, MVVM-C or MVVM-R, where C stands for Coordinator and R - for Router, but the only difference which these modifications provide – more convenient navigation through views. Still, it is a personal responsibility of every developer which architecture use for the project. Everything what you have read in these papers, in internet or another article is a recommendation how to build, but in real project you can`t do everything perfect by guideline.

REFERENCES

1. Cacheaux, R., & Berlin, J. (2019). Advanced iOS app architecture. Razeware LLC.
2. Architecture Patterns for Beginners: MVC, MVP, and MVVM. URL: https://dev.to/chiragagg5k/architecture-patterns-for-beginners-mvc-mvp-and-mvvm-2pe7 (date of access 07.03.2026).
3. MVC, MVVM, and MVP design patterns in Swift. URL: https://medium.com/@knoo/mvc-mvvm-and-mvp-design-patterns-in-swift-efeda4ec3c2b (date of access 08.03.2026).
4. MVC Swift vs MVVM on iOS: Key Differences With Examples. URL: https://www.netguru.com/blog/mvc-vs-mvvm-on-ios-differences-with-examples (date of access 09.03.2026).

УДК 004.658:004.65

Зважій Д.В[1]

ЗАСТОСУВАННЯ СУФІКСНИХ МАСИВІВ ДЛЯ РОЗРОБКИ ІНДЕКСІВ У POSTGRESQL

Вступ. Сучасні інформаційні системи оперують значними обсягами текстових даних, що зумовлює потребу в ефективних механізмах пошуку підрядків. Реляційні СУБД, зокрема PostgreSQL, традиційно підтримують повнотекстовий пошук і пошук за шаблонами

[1]Аспірант програми комп'ютерні науки, НаУКМА

(оператор LIKE), проте ці механізми мають суттєві обмеження щодо виконання довільного пошуку підрядків у великих масивах текстових даних. Повнотекстовий пошук базується на токенізації та інвертованих індексах, що унеможливлює пошук довільних підрядків, а послідовне сканування з оператором LIKE має лінійну складність за обсягом даних.

Одним з класичних рішень для задачі пошуку підрядків є суфіксі масиви [1]. Суфіксні масиви — це компактні структури даних, що забезпечують ефективний пошук підрядків із логарифмічною складністю запиту. Попри значний теоретичний доробок у цій галузі, практична інтеграція суфіксних масивів у ядро реляційних СУБД залишається малодослідженою проблемою. PostgreSQL надає розвинений механізм розширення через інтерфейс користувацьких методів доступу [2], що створює можливість реалізації нових індексних структур без модифікації ядра системи [3].

У цій роботі презентовано власну реалізацію індексного методу на основі суфіксного масиву з використанням інтерфейсу розширення PostgreSQL. Також проведено дослідження його продуктивности порівняно з наявними методами індексування, зокрема GIN [4] у поєднанні з pg_trgm.

Досліджувані операції. Основними операціями, що досліджувалися в рамках роботи, є три типи операцій пошуку підрядків:

- пошук за префіксом (починається з),
- пошук за суфіксом (закінчується на),
- пошук входження (входить у рядок).

Для суфіксного масиву пошук входження підрядка довжини m у тексті загальною довжиною n виконується за $O(mlogn)$ із застосуванням бінарного пошуку, а пошук за префіксом і суфіксом зводиться до окремих випадків тієї самої операції з аналогічною складністю. Триграмний індекс на основі GIN виконує пошук за $O(t \cdot k)$ [5], де t — кількість триграм у запиті, а k— середня кількість рядків, що відповідають одній триграмі. Індекс на основі Б-дерева ефективно підтримує лише пошук за префіксом зі складністю $O(mlogn)$, проте не є ефективним для пошуку входжень та пошуку за суфіксом. Послідовне сканування з оператором LIKE має складність $O(n \cdot m)$ для кожного запиту незалежно від типу операції.

Водночас теоретична складність алгоритмів не завжди безпосередньо відповідає практичній продуктивності під час інтеграції в реальну систему. На ефективність впливають такі чинники, як архітектура зберігання даних, обмеження пов’язані із зберіганням інформації на диску, накладні витрати на взаємодію з буферами та багатопотоковим середовищем, а також характеристики робочого навантаження — розподіл довжин рядків, взаємодія з планувальником запитів та обсяг даних. Саме тому емпіричне дослідження

продуктивности на реальних навантаженнях є необхідним доповненням до теоретичного аналізу.

Результати замірів швидкодії. Для емпіричного дослідження продуктивності було використано набір географічних даних обсягом 2 мільйони рядків, що містить понад 1,2 мільйона унікальних рядків довжиною від 1 до 151 символу. Порівняння проводилося у PostgreSQL між запропонованим індексом на основі суфіксного масиву (SAindex), триграмним індексом GIN (pg_trgm), Б-деревом, зворотнім Б-деревом, SP-GiST та послідовним скануванням.

Таблиця 1 - Час виконання запитів на пошук входження (у мілісекундах)

Шуканий підрядок	Кількість результатів	SAindex	GIN trgm
“de” - два символи	велика кількість збігів	17.3 мс	71 мс
“Roc” - три символи	велика кількість збігів	2.6 мс	7.1 мс
“Park” - чотири символи	середня кількість збігів	2.6 мс	7.9 мс
“Hotel ” - шість символів	середня кількість збігів	0.7 мс	4.9 мс
“shkhara”- сім символів	маленька кількість збігів	0.11 мс	0.5 мс
“angounel” - вісім символів	маленька кількість збігів	0.01 мс	1.5 мс

Таблиця 2 - Час виконання запитів пошук за префіксом (у мілісекундах)

Шуканий підрядок	Кількість результатів	SAindex	GIN trgm	Б-дерево
“Ca” - два символи	велика кількість збігів	8.8 мс	25.7 мс	15.4 мс
“Sant ” - п’ять символів	маленька кількість збігів	0.015 мс	3.9 мс	0.016 мс
“Sant Miquel” - одинадцять символів	дуже маленька кількість збігів	0.011 мс	1.9 мс	0.007 мс

Таблиця 3 – Час виконання запитів пошук за суфіксом (у мілісекундах)

Шуканий підрядок	Кількість результатів	SAindex	GIN trgm	Б-дерево (обернене)
“an” - два символи	велика кількість збігів	18.4 мс	33.7 мс	48.2 мс
“ista” - чотири символи	маленька кількість збігів	0.4 мс	1.68 мс	0.49 мс
“neralm” - шість символів	дуже маленька кількість збігів	0.03 мс	0.39 мс	0.04 мс

Таким чином, запропонований індекс забезпечує суттєве прискорення пошуку ціною значних витрат дискового простору.

Висновки. У роботі представлено реалізацію індексу для PostgreSQL на основі суфіксного масиву, орієнтованого на прискорення операцій пошуку підрядків. Експериментальне дослідження на наборі географічних даних обсягом 2 мільйони рядків підтвердило, що запропонований індекс забезпечує суттєве прискорення пошуку порівняно з наявними методами, зокрема GIN trgm. Найбільшу перевагу SAindex демонструє під час операції пошуку входження підрядка, де він є єдиним методом, що ефективно працює на будь-якій довжині шуканого підрядка, зокрема на коротких шаблонах, на яких триграмний індекс є неефективним.

Разом із тим виявлено суттєвий компроміс: розмір індексу на основі суфіксного масиву значно перевищує розмір як таблиці, так і альтернативних індексів. Це обмежує застосовність методу сценаріями, у яких швидкість пошуку є головною вимогою, а обсяг дискового простору не є основним обмеженням.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Manber, U., & Myers, G. (1993a). Suffix Arrays: A New Method for On-Line String Searches. *SIAM Journal on Computing*, *22*(5), 935–948. https://doi.org/10.1137/0222058

2. *Index Access Method Functions*. (2025, May 8). PostgreSQL Documentation. https://www.postgresql.org/docs/17/index-functions.html

3. Зважій, Д. (2025). Особливості індексації у PostgreSQL. *Наукові Записки НаУКМА. Комп’ютерні Науки*, *8*(8), 113–117. https://doi.org/10.18523/2617-3808.2025.8.113-117

4. PostgreSQL Global Development Group. “PostgreSQL 16 Documentation.” (2025, May 8). *GIN Indexes*. PostgreSQL Documentation. https://www.postgresql.org/docs/17/gin.html

5. Zobel, J., & Moffat, A. (2006). Inverted files for text search engines. *ACM Comput. Surv.*, *38*(2), 6-es. https://doi.org/10.1145/1132956.1132959

УДК 004.9

Гордієнко С. О.[1], Мироненко М. І.[2]

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ВИВЧЕННЯ НІМЕЦЬКОЇ ЛЕКСИКИ

Вступ. Через війну в Україні до Німеччини виїхало майже 500 тисяч громадян України [1]. Крім інших пов’язаних з переїздом труднощів, переселенці зіткнулися з проблемами, пов'язаними з нерозумінням німецької мови, а саме:

- неможливість спілкування з місцевими жителями;
- нерозуміння вивісок, знаків, повідомлень на вокзалі чи в потязі, в результаті чого ускладнюється отримання будь-якої інформації;
- обмеження в пошуку роботи.

Оскільки досягнення рівня вільного володіння мовою потребує багато часу та практики, то у частини біженців може скластися уявлення, що вивчення мови до рівня вільного володіння потребує дуже багатьох років навчання. Формування такого уявлення пов’язано з досвідом вивчення іноземної мови в школі протягом 10-ти років, за які учень не досягає рівня вільного володіння іноземною мовою. Основна причина такого стану полягає в тому, що учні витрачають багато часу на вивчення мови використовуючи неефективні застарілі методи та навчальні посібники. У результаті на практиці багато хто не може вільно користуватися іноземною мовою, що особливо ускладнює спілкування з носіями іноземної мови. Все це відбирає бажання в подальшому житті вчити іноземну мову.

Таким чином, розроблення комп’ютеризованої системи підтримки вивчення німецької мови для людини, яка потрапила в Німеччину не володіючи німецькою мовою є актуальною задачею, оскільки допоможе вивчити нові слова незнайомої мови.

Основний матеріал. Перша проблема, з якою обов’язково стикається кожен при необхідності застосування мови — незнання потрібних слів. На щастя, статистичні дані підтверджують одну важливу думку: навіть невеликий набір найбільш уживаних слів покриває значну частину спілкування. Наприклад, для поверхневого розуміння мовлення і базового спілкування достатньо знати близько 1000 найбільш уживаних слів, що насправді є невеликою цифрою. А от розуміння 3000

[1] Студент групи ІН-21, СумДУ
[2] Асистент кафедри комп’ютерних наук СумДУ, доктор філософії

найбільш уживаних слів вже забезпечує розуміння 85% мови; знання 5000 слів, відповідно, дає розуміння близько 98% мови.

На практиці це означає, що перша велика частина результату досягається меншою кількістю зусиль, ніж може здатися на перший погляд, за умови, що учень сконцентрується саме на найбільш уживаних словах, а не якихось інших. Головна ідея в тому, що носії мови можуть знати і 20 000 слів, але для 98% всіх розмов буде достатньо тих самих 5000 найчастотніших, а не, як можна було подумати, 19 600 [**Помилка! Джерело посилання не знайдено.**]. Основна ціль при вивченні мови — якомога швидше навчитися розуміти переважну більшість того, що говориться, і самому стати зрозумілим. Поступове вивчення 5000 найбільш високочастотних слів забезпечує швидкий старт і максимізує результат на початковому етапі, бо в першу чергу вивчаються саме ті слова, які найчастіше використовуються в мові, а отже одразу приходить розуміння великої частини мови.

Натомість, іншим шляхом може бути вивчення всіх слів поспіль: назви всіх тварин, всіх рослин, ягід, фруктів, всіх речей в побуті тощо. Можливо, в подальшому ці слова теж не будуть зайвими, однак, такий підхід не дає можливості стрімкого старту, бо в розмові все одно завжди бракуватиме тих самих найчастотніших слів. Якщо ж учень вчить найбільш уживані слова, він швидше починає розуміти більшість мовлення. Ми так часто використовуємо деякі слова для певних базових понять та щоденних дій, що їх концентроване вивчення дозволяє надзвичайно швидко познайомитися з мовою. Наприклад, такі слова як «я» (часто перше слово за частотою вживання), «ми», «ти», «ви», «любити», «говорити», «думати», «купувати», «продавати» і так далі — це саме ті слова, з яких потрібно розпочинати вивчення мови. Навіть вивчивши невелику кількість таких слів, наприклад 500, людина починає вихоплювати велику частину того, що говориться, так що й здогадатися про зміст розмови стає легше. Пропонована система для вивчення німецької лексики враховує ту особливість, що більшість розмови базується переважно на невеликій кількості основних слів, які часто повторюються, і тому містить в своїй основі ті самі базові слова, без яких неможливо провести жодну повноцінну розмову.

Розуміння мови — це добре, і це те, чого в першу чергу при вивченні рідної мови досягають немовлята, які, проте, ще не можуть сказати щось від себе. Адже розуміння не те саме, що навички говоріння. І тут вже проблема не в тому, що людина не знає достатньо слів, а в тому, що немає гарного розуміння контексту їх використання. Здається, всі ми краще розуміємо інших, ніж можемо щось сказати від себе, це стосується й рідної мови. Адже існує пасивний словниковий запас, який ми розуміємо на слух, та активний словниковий запас, який ми використовуємо в мовленні. Якщо ми не здатні правильно використати вивчене слово, або не можемо його пригадати, а тільки

розуміємо його, коли воно звучить від інших, це слово знаходиться в пасивному словниковому запасі. І тільки в той момент, коли людина починає відтворювати слово в правильному контексті, воно переходить в активний словниковий запас, і може бути використано в подальшому мовленні.

Отже, ідея пропонованої системи підтримки вивчення німецької лексики в тому, щоб вивчати не окремі слова, а речення. На жаль, ця проста концепція часто ігнорується системами, які покликані бути помічниками у вивченні німецької лексики. Існує багато інструментів для вивчення лексики, які, на жаль, допомагають вивчити «слово — переклад». Але ж мову потрібно вчити, не виймаючи окремі слова із контексту, бо цей підхід є віддаленим від реальності. Натомість, вивчення повних фраз розвиває неабияке відчуття мови, крім того факту, що учень матиме ці повноцінні фрази в своєму арсеналі. Учень починає відчувати певні закономірності в будові речень, порядку слів, контексті вживання певного слова і так далі. Це є досить природнім процесом, наближеним до того, як немовлята вивчають рідну мову, лише слухаючи те, що говорять дорослі. Діти вчать нові слова в контексті всього, що вони спостерігають, тому вони й не відчувають таких труднощів у вживанні нового слова, як це відчувають ті, хто в результаті навчання лише розуміє переклад окремого слова. Врахування контексту — це дуже важливий момент, хоча більшою мірою це залежить не від самої системи, а від того, хто розробляє навчальні матеріали. Незадоволення тим, що велика кількість навчальних матеріалів орієнтуються на вивчення пар «слово — переклад», стало однією з причин для створення системи, де контекст вживання слова вже враховано при розробці матеріалів, які складають основу даної інформаційної системи.

Ще однією з причин створення такої системи є незадоволення підходом, який домінує у більшості схожих додатків, таких як Quizlet, які мають картки зі словами чи реченнями. Часто відбувається просте перебирання карток від початку і до кінця, після чого відбувається підрахунок правильних та неправильних відповідей. Можливо, це й корисно, але, якщо учень спробує пройти тестування ще раз, виявиться, що деякі картки так і не засвоєно на достатньому рівні. Деякі додатки, наприклад Wordwall, пропонують повторення проблемних карток в кінці тренажера, але пропонована інформаційна система має інший підхід, який полягає в негайному повторенні проблемних карток, та інтервальному повторенні засвоєних карток.

Основний принцип роботи тренажера в запропонованій системі можна висловити однією крилатою фразою: «Повторення — мати навчання». Дійсно, матеріал закріплюється в пам’яті тільки в результаті багаторазового повторення, що є основою будь-якого навчання. На практиці, система реалізуватиме простий, але ефективний принцип повторення фраз наступним чином:

- Користувач тренажера буде бачити переклад українською мовою певного речення, яке він має перекласти німецькою мовою. Щоб зафіксувати свій успіх або свою невдачу у здійснені перекладу, користувач натискатиме на кнопку «Знаю переклад» / «Не знаю переклад», після чого він побачить правильну відповідь.
- Якщо користувач відповів «Не знаю», система це сприймає як неправильну відповідь, потім фіксує і динамічно вирішує, що користувач повинен ще раз отримати цю саму картку.
- Можливо, ще буде дві-три невдалі спроби, але зрештою людина все ж зможе коректно відтворити речення німецькою мовою, і отримає наступну картку з іншим реченням на переклад.
- Після вивчення наступної картки схожим чином, система буде нагадувати попередні картки. Якщо відповідь на них буде неправильною, система знову повторюватиме їх, доки користувач не запам'ятає переклад фрази німецькою мовою.

Цей простий принцип змушує людину:

1. Відтворювати фразу німецькою мовою. Не поєднувати слова із їхнім перекладом, не заповнювати пропуски в реченнях, а саме відтворювати свої думки німецькою мовою, що є найбільш практичною навичкою в реальній розмові.
2. Багаторазово повторювати фрази, фіксуючи їх в пам'яті.
3. Вивчати нові слова в контексті, щоб розуміти їх справжнє значення або відтінок значення в певній ситуації.

Висновки.

1. Пропонована інформаційна система підтримки вивчення німецької лексики має на меті допомогти людині швидше засвоїти базовий набір лексики, що дозволить розуміти великий відсоток мови.
2. Основні принципи пропонованої інформаційної системи — це «частотність», «розуміння контексту» та «повторення».
3. Принцип частотності означатиме на практиці те, що основний матеріал інформаційної системи — це ті базові слова, які настільки часто повторюються в мовленні, що їх розуміння та вдале використання покриває величезну частину мови.
4. Принцип «розуміння контексту» означає, що кожне нове слово, насправді буде вивчатися у вигляді нової фрази з цим словом. Це унеможливлює таку ситуацію, що учень не знатиме, як застосувати це слово у власному реченні. Вивчення змістовних фраз німецькою мовою розвиває відчуття мови, схоже на те, як і носії мови, не знаючи багатьох правил та граматики, і не в змозі пояснити особливості своєї мови, говорять рідною мовою вільно і здатні виправити помилки в граматиці іноземців.
5. Принцип «повторення» означає, що в ході вивчення лексики буде здійснено необхідну кількість повторень, щоб учень засвоїв нове слово у вигляді речення. Підхід повторення, запропонований в

інформаційній системі, є відмінним від багатьох існуючих підходів, і полягає в негайному повторенні проблемних речень та інтервальному повторенні тих речень, які вже певною мірою засвоєні.

6. Дотримання трьох вищеописаних принципів у поєднанні зі зручним та сучасним інтерфейсом дасть змогу людині швидше навчитися відчувати німецьку мову та вміти нею скористатися.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Олійник, Т. (2026, 12 лютого). *Із 2022 року з Німеччини виїхали майже пів мільйона українських біженців*. Українська правда. https://www.pravda.com.ua/news/2026/02/12/8020782/

2. Чорнобай, В. Г. (2023). Шляхи запам'ятовування англійської лексики. У *Обліково-фінансове, інформаційне та мовно-комунікаційне забезпечення сталого розвитку аграрного сектору: Перспективи та реалії : Матеріали наук.-практ. конф. (дніпро, 28-31 берез. 2023 р.)* (с. 68–69). Друк. «Стандарт» (ПП Бойко В.В.). https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/8454

УДК 004.9

Сапожніков В. Ю.[1], Рябенко А. Є. [2]

РОЗРОБКА СЕРВІСУ ДЛЯ ІНТЕРАКТИВНОГО ЗАМОВЛЕННЯ МЕДІАКОНТЕНТУ ПІД ЧАС ОНЛАЙН-ТРАНСЛЯЦІЙ

Інтерактивні онлайн-трансляції, особливо на таких платформах як Twitch та YouTube, створюють високий попит на механізми взаємодії глядачів із контентом. Однією з ключових проблем є хаотичний процес замовлення музики чи відео, що часто призводить до перевантаження стрімера запитами та знижує якість ефіру. Крім того, неконтрольоване відтворення контенту є значним ризиком порушення авторських прав (DMCA), що може призвести до блокування каналу. Метою роботи є розробка надійного та структурованого сервісу для інтерактивного замовлення медіаконтенту, що мінімізує вказані ризики.

Архітектура системи та стек технологій. Запропоноване рішення – це повноцінний вебсервіс, бекенд якого реалізовано мовою Python з використанням фреймворку Django[1]. Вибір Django зумовлений його вбудованими механізмами безпеки, гнучкою ORM-системою та масштабованістю. Для зберігання персистентних даних (профілі користувачів, історія замовлень, транзакції) використовується реляційна база даних PostgreSQL[3].

Оскільки сервіс має миттєво реагувати на дії глядачів під час прямого ефіру, критично важливою є оптимізація черг. Для управління

[1] Студент групи КНТ-815Сп, НУ «Запорізька політехніка»
[2] Доцент кафедри САОМ, НУ «Запорізька політехніка», к. ф.-м. н.

тимчасовими даними, кешування та підтримки швидких черг повідомлень інтегровано Redis[2]. Двосторонній зв'язок у реальному часі між сервером, панеллю управління стрімера та віджетами забезпечується за допомогою протоколу WebSockets. Архітектура передбачає чіткий поділ на ізольовані черги (окремо для аудіо та відео), що дозволяє стрімеру гнучко управляти пріоритетами відтворення.

Економічна модель та токенізація. Для забезпечення фінансових операцій розроблено логіку ізольованих гаманців. Кожен гаманець прив'язаний до певної валюти (наприклад, USD, EUR). Це забезпечує точну конвертацію та захист від коливань курсів при прийомі платежів.

Особливої уваги заслуговує система монетизації замовлень. Замість жорсткої прив'язки вартості замовлення до великих фіксованих пакетів (наприклад, ціна за кожні 100 bits на Twitch)[4], реалізовано гнучку систему токенізації. Глядачі отримують внутрішні токени сервісу за кожну одиницю витраченої валюти або базової платформної одиниці (тобто нарахування токенів відбувається per 1 bit). Це дозволяє стрімеру максимально точно налаштовувати курс обміну та встановлювати дробову вартість для різних типів контенту або тривалості медіафайлів.

Таблиця 1 – Приклад структури бази даних для ізольованого гаманця

Поле	**Тип даних**	**Опис**	**Приклад**
wallet_id	INT	Унікальний ідентифікатор гаманця (PK)	12345
user_id	INT	Ідентифікатор користувача (FK)	67890
currency_code	VARCHAR(5)	Код валюти гаманця	“USD”
balance	DECIMAL(10,2)	Поточний баланс	50.75

Інтеграція з потоковим програмним забезпеченням. Для безшовної інтеграції з трансляцією сервіс генерує унікальні URL-посилання для віджетів. Ці віджети розроблені таким чином, щоб їх можна було легко додати безпосередньо в OBS Studio як джерело типу "Браузер" (Browser Source)[5]. Це дозволяє виводити сповіщення про нові замовлення, поточний трек та анімації без необхідності встановлення додаткового програмного забезпечення на комп'ютер стрімера.

Висновки. Розроблений сервіс інтерактивного замовлення медіаконтенту вирішує проблему хаосу в чергах та підвищує безпеку

стрімера з точки зору авторських прав. Використання стеку Django, PostgreSQL та Redis разом з WebSockets забезпечує високу швидкість обробки запитів[1,2,3]. Гнучка система токенізації (конвертація за кожну одиницю валюти) та інтеграція віджетів для OBS Studio створюють зручний інструмент як для глядачів, так і для контент-мейкерів[4,5]. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на впровадження алгоритмів автоматичної фільтрації DMCA-ризикового контенту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Django Software Foundation. (2024). Django documentation. https://docs.djangoproject.com/
2. Redis. (2024). Redis Documentations. https://redis.io/docs/
3. PostgreSQL Global Development Group. (2024). PostgreSQL: Documentation. https://www.postgresql.org/docs/
4. Twitch Interactive, Inc. (2024). Twitch API Reference. https://dev.twitch.tv/docs/api/
5. OBS Project. (2024). OBS Studio Help Guide. https://obsproject.com/help

УДК 004.9

Михайличенко Я.А.[1], Міхайлуца О.М.[2]

ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ІНТЕРАКТИВНОГО ОБМІНУ ВИРОБНИЧИМИ ДАНИМИ ОПЕРАТОРІВ ЧПУ НА БАЗІ АРХІТЕКТУРИ NESTJS

У сучасних умовах переходу до індустрії 4.0 ефективність експлуатації верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПУ) стає визначальним фактором конкурентоспроможності машинобудівного підприємства. Ключовим елементом цього процесу є прецизійний вибір режимів різання, який безпосередньо впливає на фізико-механічні характеристики готової деталі, динамічну стійкість ріжучого інструменту та енергоефективність виробничого циклу. Проте динамічний розвиток ринку інструментальних матеріалів та ускладнення геометрії обробки створюють ситуацію, коли традиційні методи інформаційної підтримки операторів не встигають за темпами технологічних змін.

Детальний розгляд традиційної методології підбору режимів різання виявив глибокий інформаційний розрив у виробничому

[1] Студент групи 6.1212-пзс, Запорізький національний університет
[2] Доцент кафедри ЕІСтаПЗ, Запорізький національний університет, к. т. н., доцент

ланцюжку, зумовлений рядом критичних чинників. По-перше, це детермінізм та ідеалізація нормативних даних. Довідкові параметри, що надаються виробниками інструменту, базуються на ідеалізованих стендових випробуваннях у контрольованих умовах. Як наслідок, вони не враховують реальну динамічну жорсткість та демпфуючі властивості конкретної системи ВПІЗ (Верстат-Пристосування-Інструмент-Заготовка). Крім того, поза увагою залишається прогресуючий знос вузлів тертя та люфти в кінематичних ланцюгах верстата, що перетворює статичні PDF-мануали на суто орієнтовні, а не директивні документи. По-друге, гостро постає проблема «неявного знання». Унікальний досвід провідних операторів залишається локалізованим. Відсутність середовища для його акумуляції призводить до втрати інтелектуального капіталу при ротації кадрів та унеможливлює навчання предиктивних нейромережевих моделей у майбутньому. По-третє, спостерігається суттєва ерозія виробничого часу. Низька швидкість верифікації інформації в розрізнених Excel-таблицях, особистих записах або паперових архівах створює інформаційне «пляшкове горло» на етапі підготовки виробництва. Це стає причиною критичного зниження показника OEE (Overall Equipment Effectiveness), особливо в умовах дрібносерійного та одиничного виробництва, де витрати часу на переналагодження та пошук коректних режимів нерідко перевищують час безпосередньої машинної обробки деталі. Для фахівців-початківців такий «інформаційний вакуум» призводить до критичних ризиків: технологічного браку (термічна деформація, сколювання пластин), погіршення мікрогеометрії поверхні та аварійного виходу з ладу шпиндельної групи через неконтрольований резонанс.

Метою даної роботи є теоретичне обґрунтування, проєктування та програмна реалізація цілісної архітектури багаторівневого вебзастосунку у форматі динамічного середовища для обміну знаннями (Knowledge Sharing Platform). Проєкт спрямований на створення механізмів структурованого накопичення, багатокритеріального пошуку та інтерактивної верифікації режимів, де основний акцент ставиться на алгоритми соціальної валідації даних професійною спільнотою.

Розроблений програмний продукт базується на модульному підході, що автоматизує повний цикл роботи з технологічною інформацією – від пошуку до ранжування. Ключовий функціонал системи включає:

- Модуль багатокритеріального пошуку: реалізує алгоритм оперативної фільтрації за групою матеріалу, типом операції та параметрами інструменту. Це трансформує аналіз статичних каталогів у миттєвий запит до бази знань безпосередньо біля пульта верстата.

– Середовище інтерактивної публікації та верифікації: надає інструментарій для створення цифрових технологічних карт із розгорнутими коментарями щодо рівня вібрацій, температурного режиму та зносу кромки. Це дозволяє валідувати розрахунки реальним досвідом, враховуючи специфічний виліт інструменту та жорсткість оснастки.

– Динамічна система ранжування: базується на механізмі зворотного зв'язку від спільноти. Рейтинг формується на основі практичних відгуків, що дозволяє автоматично виводити на перші позиції найстабільніші режими, мінімізуючи ризик браку для нових користувачів.

Централізована реляційна база даних виконує роль інтелектуального репозиторію, надаючи оператору лаконічну цифрову карту замість об’ємних мануалів. Продукт нівелює виробничі ризики при обробці важкооброблюваних сплавів (титан, нержавіючі сталі) та створює фундамент для високої точності через адаптацію до реального стану обладнання.

У підсумку, застосунок трансформується у повноцінну виробничу екосистему. Оператори-початківці отримують безпечне середовище для навчання та верифіковані алгоритми дій, що радикально скорочує час їхньої адаптації. Кожен успішний індивідуальний досвід стає спільним надбанням, підвищуючи загальний технологічний рівень підприємства та забезпечуючи інтелектуалізацію виробничих процесів.

Архітектурно застосунок побудований за моделлю клієнт-сервер: NestJS на бекенді забезпечує модульну серверну логіку з підтримкою TypeScript та вбудованими механізмами валідації, автентифікації і розмежування прав доступу користувачів. Як реляційна СУБД використовується PostgreSQL, що забезпечує надійне структуроване зберігання даних та підтримку складних запитів для фільтрації режимів обробки за множиною параметрів. Взаємодія між рівнями застосунку реалізована через TypeORM, що спрощує міграції схеми бази даних та підтримку цілісності даних. Ключовим каналом взаємодії кінцевого користувача із системою виступає Telegram-бот, що забезпечує миттєвий доступ до бази режимів безпосередньо з мобільного пристрою оператора без необхідності встановлення додаткового програмного забезпечення – що є особливо актуальним в умовах виробничого цеху.

Висновки. Таким чином, розроблений застосунок у поєднанні з Telegram-ботом формує доступну цифрову екосистему обміну виробничими знаннями, що сприяє підвищенню компетентності операторів ЧПУ та мінімізації втрат від некоректних режимів обробки. Подальший розвиток передбачає впровадження модуля рекомендацій на основі машинного навчання для генерації стартових параметрів обробки за характеристиками матеріалу та інструменту, а також розширення бота до повноцінного діалогового асистента оператора ЧПУ.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ye, Y., Hu, T., Zhang, C., & et al. (2018). Design and development of a CNC machining process knowledge base using cloud technology. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 94*, 3413–3425.

2. Lastra, J. L. M., & Delamer, I. M. (2006). Remote real-time CNC machining for web-based manufacturing. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 22*(5–6), 921–930.

СЕКЦІЯ 4 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В АВТОМАТИЦІ, ЕЛЕКТРОНІЦІ, ВИМІРЮВАЛЬНІЙ ТЕХНІЦІ ТА ЕКОНОМІЦІ

УДК 004.8:504.064
Морохович Б.В.[1], Повхан І.Ф.[2]

МЕТОДИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В СИСТЕМІ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Сучасний стан глобальної екосистеми характеризується безпрецедентним рівнем антропогенного навантаження, що зумовлює необхідність докорінної трансформації підходів до моніторингу навколишнього середовища. Традиційні методи спостереження, які базуються на періодичному відборі проб та дискретних лабораторних аналізах, часто виявляються недостатньо оперативними та нездатними охопити складну динаміку екологічних процесів у реальному часі. В умовах експоненційного зростання обсягів даних, що генеруються супутниковими системами, мережами Інтернету речей (IoT) та наземними станціями спостереження, виникає нагальна потреба у застосуванні високопродуктивних обчислювальних методів. У цьому контексті технології штучного інтелекту (ШІ), зокрема методи машинного та глибокого навчання, стають ключовим інструментом для обробки великих масивів гетерогенних даних, виявлення прихованих закономірностей та прогнозування екологічних ризиків. Інтеграція інтелектуальних алгоритмів у системи екологічного моніторингу дозволяє здійснити перехід від простої фіксації порушень до створення предиктивних моделей, здатних попередити екологічні катастрофи та оптимізувати процеси прийняття управлінських рішень у сфері природокористування.

Фундаментальною проблемою сучасного екологічного моніторингу є висока розмірність та мультимодальність вхідних даних. Екологічні показники, такі як концентрація полютантів в атмосферному повітрі, хімічний склад водних об’єктів або індекси біорізноманіття, залежать від величезної кількості нелінійних факторів, включаючи метеорологічні умови, інтенсивність промислових викидів та транспортні потоки. Класичні статистичні методи часто не здатні адекватно моделювати такі складні залежності. Натомість методи штучного інтелекту, передусім штучні нейронні мережі, демонструють високу ефективність у задачах апроксимації складних функцій та виявлення просторово-часових кореляцій. Зокрема, застосування

[1] аспірант кафедри програмного забезпечення систем, ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
[2] професор кафедри програмного забезпечення систем, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», д. т. н.

рекурентних нейронних мереж, таких як мережі довгої короткострокової пам'яті (LSTM) та керовані рекурентні блоки (GRU), дозволяє здійснювати високоточне прогнозування часових рядів забруднення повітря дрібнодисперсними частками PM2.5 та PM10. Ці архітектури здатні враховувати історичні дані та контекстуальну інформацію, забезпечуючи високу точність прогнозів навіть на значних часових горизонтах, що є критично важливим для систем раннього попередження населення про небезпечні рівні смогу [1].

Окремим важливим напрямом є використання методів комп'ютерного зору та згорткових нейронних мереж (CNN) для обробки даних дистанційного зондування Землі [2, 3]. Супутникові знімки високої роздільної здатності містять колосальний обсяг інформації про стан лісових масивів, водних поверхонь та ґрунтів [4]. Використання глибоких згорткових мереж дозволяє автоматизувати процес семантичної сегментації зображень, виявляючи ділянки незаконної вирубки лісів, оцінюючи площі розливів нафтопродуктів або моніторячи динаміку танення льодовиків. Алгоритми комп'ютерного зору здатні розпізнавати патерни, що свідчать про деградацію земель або зміни у землекористуванні, значно швидше та точніше, ніж це можливо при візуальному дешифруванні експертами. Більше того, поєднання супутникових даних із даними наземних датчиків за допомогою методів злиття даних (data fusion) дозволяє підвищити роздільну здатність та валідність екологічних карт, компенсуючи недоліки окремих джерел інформації, такі як хмарність для супутників або точкова локалізація для наземних сенсорів.

Значний потенціал для задач екологічного моніторингу мають також методи навчання без учителя, які дозволяють виявляти аномалії у потоках даних без попередньої розмітки навчальних вибірок [5]. Це особливо актуально для ідентифікації нових типів забруднювачів або нетипових подій, таких як аварійні викиди на промислових об'єктах, які можуть не відповідати відомим шаблонам. Алгоритми кластеризації та методи виявлення викидів дозволяють автоматично сигналізувати про відхилення параметрів середовища від норми, ініціюючи додаткові перевірки. Окрім цього, важливим аспектом є застосування інтелектуальних агентів та методів навчання з підкріпленням для керування автономними мобільними платформами, такими як дрони або підводні роботи. Такі системи здатні самостійно планувати маршрути моніторингу, адаптуючись до поточних умов середовища та концентруючи увагу на зонах з найвищим рівнем забруднення, що значно підвищує ефективність збору даних у важкодоступних або небезпечних для людини регіонах.

Водночас практична реалізація алгоритмів штучного інтелекту в системах екологічного моніторингу пов'язана з розв'язанням комплексу проблем методологічного та технологічного спрямування.

Однією з головних проблем є якість та репрезентативність навчальних даних. Екологічні дані часто характеризуються зашумленістю, пропуском значень та дисбалансом класів, що може призводити до зміщення моделей та зниження їхньої узагальнюючої здатності. Тому критично важливим етапом є попередня обробка даних, що включає методи інтерполяції, нормалізації та аугментації. Крім того, актуальним залишається питання інтерпретованості моделей глибокого навчання. Непрозорість механізмів прийняття рішень у складних моделях машинного навчання (ефект «чорної скриньки») суттєво обмежує їхню імплементацію в нормативно-правову базу екологічного регулювання. У цьому контексті розвиток інструментарію пояснюваного штучного інтелекту (Explainable AI) стає фундаментальною передумовою для верифікації результатів моніторингу та формування суспільної й наукової довіри до автоматизованих систем.

Варто також наголосити на необхідності розробки енергоефективних алгоритмів штучного інтелекту, так званого Green AI. Парадоксально, але навчання складних нейронних мереж потребує значних обчислювальних ресурсів та енерговитрат, що саме по собі створює вуглецевий слід. Тому оптимізація архітектур нейронних мереж, використання методів дистиляції знань та перехід до периферійних обчислень (Edge Computing), коли обробка даних відбувається безпосередньо на сенсорах або мікроконтролерах, є важливим напрямом досліджень. Периферійні обчислення дозволяють не лише зменшити енергоспоживання за рахунок скорочення обсягів передачі даних, але й забезпечити мінімальну затримку реакції системи, що є критичним для задач оперативного реагування на надзвичайні екологічні ситуації.

Перспективи подальшого розвитку методів штучного інтелекту в задачах моніторингу екологічного середовища нерозривно пов’язані з концепцією цифрових двійників (Digital Twins). Створення високоточних віртуальних копій екосистем, які живляться даними реального часу та використовують предиктивні моделі штучного інтелекту, дозволить проводити сценарний аналіз та оцінювати наслідки втручання в природу in silico ще до реалізації фізичних проектів. Це відкриває шлях до проактивного управління екологічною безпекою, де штучний інтелект виступає не лише інструментом спостереження, але й засобом пошуку оптимальних стратегій сталого розвитку. Синергія методів дистанційного зондування, IoT та передових алгоритмів машинного навчання створює фундамент для побудови глобальної інтелектуальної системи моніторингу планетарного масштабу, здатної забезпечити об’єктивною інформацією зусилля людства щодо збереження біосфери.

Висновки. Штучний інтелект радикально змінює характер екологічних досліджень, конвертуючи дескриптивні методи

спостереження у формалізований інструментарій точного прогнозування екосистемних процесів. Використання глибокого навчання, комп'ютерного зору та інтелектуального аналізу даних дозволяє подолати обмеження традиційних підходів, забезпечуючи високу дискретність, точність та оперативність оцінки стану довкілля. Подальші дослідження мають бути зосереджені на підвищенні робастності моделей, розробці гібридних підходів, що поєднують фізичні моделі процесів з алгоритмами машинного навчання, та створенні стандартизованих протоколів обміну екологічними даними для навчання глобальних моделей штучного інтелекту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Mao, Y., Fang, A., Chen, Z., & Zheng, Y. (2023). Deep Learning for Air Quality Prediction: A Comparative Study. *2023 5th International Academic Exchange Conference on Science and Technology Innovation (IAECST)*, Guangzhou, China. https://doi.org/10.1109/IAECST60924.2023.10503030.

2. Li, P., Zhang, T., & Jin, Y. (2023). A Spatio-Temporal Graph Convolutional Network for Air Quality Prediction. *Sustainability*, 15(9), 7624. https://doi.org/10.3390/su15097624.

3. Tuia, D., Kellenberger, B., Beery, S. et al. (2022). Perspectives in machine learning for wildlife conservation. *Nature Communications*, 13, 792. https://doi.org/10.1038/s41467-022-27980-y.

4. Zheng, Y., Guo, P., Tian, X. et al. (2025). A forest fire identification and monitoring model based on improved YOLOv8. *Scientific Reports*, 15, 37018. https://doi.org/10.1038/s41598-025-17893-3.

5. Tadros, C. N., Shehata, N., & Mokhtar, B. (2023). Unsupervised Learning-Based WSN Clustering for Efficient Environmental Pollution Monitoring. *Sensors*, 23(12), 5733. https://doi.org/10.3390/s23125733.

УДК 355.40

Євлампієв А.С.[1], Пелюх О.С.[2]

АНАЛІЗ КОНЦЕПТУАЛЬНИХ ПІДХОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ОПЕРАЦІЙ: КРИТЕРІЇ, ЦІЛІ ТА НАЦІОНАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ

Спеціальні інформаційні операції (СІО) стали особливо актуальними в сучасних гібридних конфліктах. Їхня головна особливість - здатність безпосередньо впливати на рішення противника

[1] Аспірант Національної академії Служби безпеки України, ORCID: 0009-0001-6082-2220

[2] Старший дослідник Національної академії Служби безпеки України, д.ю.н.

через роботу з різними аудиторіями та управлінськими структурами [1].

Досліджувати СІО методологічно складно через термінологічну невизначеність. Часто плутають або використовують як синоніми поняття «інформаційна війна», «інформаційні операції» (ІО), «інформаційно-психологічні операції» (ІПсО) та «стратегічні комунікації». Щоб їх розмежувати, варто враховувати три ключові параметри: рівень проведення (стратегічний чи операційний), головний об'єкт впливу (людська свідомість чи інформаційні системи) та набір використовуваних засобів (психологічні, кібернетичні, організаційні, фізичні) [2; 3; 4; 5].

В українській науці «інформаційна війна» зазвичай розглядається як широке поняття, що охоплює боротьбу за інформаційну перевагу. Наприклад, один із підходів трактує її як діяльність, спрямовану на завдання шкоди інформаційним системам противника та захист власних, де головне - контролювати інформаційні потоки і впливати на процеси прийняття рішень [3]. Окремо дослідники наголошують на важливості моніторингу інтернет-ресурсів як основи для аналізу інформаційного середовища [6]. Більш детальне розуміння ІО передбачає поєднання когнітивного виміру (вплив на масову свідомість) і технічного (вплив на інформаційні системи), а також можливість фізичного знищення окремих об'єктів інфраструктури [3]. Інші дослідники «прив'язують» ІО до управлінських процесів противника, визначаючи їх як комплексне використання інформаційних засобів для порушення його процесів прийняття рішень [5].

На цьому тлі СІО опиняються на перетині двох підходів. Перший, інтегративний, вважає СІО різновидом ІО, але з вищим рівнем організованості, цілеспрямованості та контролю ефекту. Тут допускається поєднання різних засобів (приховані дії, обман, радіоелектронна боротьба, кіберзаходи) задля досягнення інформаційної переваги [3; 5]. Другий, психологічно-центричний, зближує СІО зі спеціальними психологічними операціями, ставлячи в центр вплив на установки, мотивацію та поведінку людей. У цьому випадку «спеціальність» означає не стільки поєднання різних засобів, скільки точковий психологічний ефект [1; 7].

В українських дослідженнях межі між ІПсО, ІО та СІО нерідко називають «рухомими», оскільки на практиці перетинаються методи й канали, а ті самі інструменти (наративи, дезінформація, маніпуляції) застосовуються і в комунікаційних, і в операційних контурах [8]. Існують також функціональні підходи, де СІО визначаються як системне використання інформації для впливу на аудиторії, без зведення лише до психологічної складової [9].

Національні доктринальні підходи роблять різні акценти у розумінні СІО. Американська традиція розглядає їх як інституційно інтегровану спроможність, де психологічний вплив координується з

іншими засобами в межах єдиного операційного замислу [5; 10]. Китайська концепція, навпаки, підкреслює превентивний характер довготривалого психологічного тиску як державної функції, спрямованої на послаблення волі противника ще до відкритого конфлікту; цей тиск підсилюється технологіями та зв'язкою інформаційних, правових і медійних кампаній [11].

Узагальнюючи, можна стверджувати, що СІО - це керована операційна форма впливу в інформаційному середовищі, де центральним є не «інформаційний фон» сам по собі, а заздалегідь визначений ефект щодо цільових аудиторій та/або процесів ухвалення рішень. Порівняння джерел дозволяє виділити відносно стійкі цільові блоки СІО: когнітивно-поведінковий (зміна установок, мотивації та поведінки цільових груп), управлінський (порушення, зрив, перехоплення або інша деформація процесів прийняття рішень противника) та середовищний/інфраструктурний (вплив на інформаційні потоки, канали, системи й паралельний захист власного інформаційного простору) [3; 5].

Щоб зняти термінологічну невизначеність, пропонується розуміти «спеціальність» СІО не як масштаб або жорсткість, а як набір конкретних операційних ознак. До таких ознак належать: спеціальний дозвіл на проведення, чітка адресність і сегментація аудиторії, орієнтація на вплив на процеси прийняття рішень, інтеграція різних засобів, керування прихованістю або видимістю операції, а також обов'язковий зворотний зв'язок - моніторинг, оцінювання ефективності та корекція дій [5; 6; 8; 9; 12; 13].

Такий підхід показує, чому СІО не зводяться ні до ІО як широкої категорії інтегрованих дій, ні до ПсО/PSYOP як сфери психологічних механізмів впливу, ні до StratCom як переважно відкритої та легітимної інституційної комунікації, орієнтованої на довіру, репутацію та довгострокову узгодженість [4; 5].

Висновки. Українська школа вирізняється розвиненою типологією СІО та детальним аналізом психологічних механізмів маніпуляцій, що є важливим для атрибуції кампаній і розробки контрзаходів [8; 9; 14; 15]. Прикладні підходи, які пов'язують вплив із процесами прийняття рішень, зближують українську традицію із західною доктриною [3; 5]. Американський підхід акцентує інституційну інтеграцію ІО як поєднання спроможностей, де психологічний компонент узгоджується з іншими засобами операції [5; 10]. Китайська концепція підкреслює превентивність і технологічне масштабування психологічного тиску, розширюючи поле дії через «три війни» (психологічну, медійну, правову) та використання даних і ШІ [11].

Узгодження цих традицій дає робоче визначення: СІО - це сплановані і керований комплекс інформаційних, психологічних та

технологічних дій в інформаційному середовищі, спрямований на цільові аудиторії та/або процеси ухвалення рішень для досягнення стратегічних переваг, із паралельним захистом власного інформаційного простору та обов'язковим моніторингом і багаторівневою оцінкою ефективності [5; 6; 12; 13].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мороз, Ю., & Твердохліб, Ю. (2016). Інформаційно-психологічні операції в умовах ведення гібридної війни. Вісник Львівського університету. Серія: міжнародні відносини, (38), 97–105.

2. Макаренко, Л. П. (n.d.). Еволюція форм та методів ведення інформаційної війни [Електронний ресурс]. ДВНЗ «Київський університет управління і підприємництва». Retrieved February 11, 2026, from https://www.researchgate.net/publication/350008570_EVOLUCIA_FORM_TA_METODIV_VEDENNA_INFORMACIJNOI_VIJNI

3. Горбулін, В. П., Додонов, О. Г., & Ланде, Д. В. (2009). Інформаційні операції та безпека суспільства: загрози, протидія, моделювання [Монографія]. Інтертехнологія.

4. Компанцева, Л., Заруба, О., Череватий, С., & Акульшин, О. (2022). Стратегічні комунікації для безпекових і державних інституцій: практичний посібник (О. Давліканова & Л. Компанцева, Ред.). ТОВ «ВІСТКА».

5. Burnett, P. L. (2002). Information operations. U.S. Army War College.

6. Фурашев, В. М., & Ланде, Д. В. (2009). Інформаційні операції крізь призму системи моніторингу та інтеграції Інтернет-ресурсів. Правова інформатика, (2(22)).

7. Іванова, Н. Г., & Паливода, О. О. (2023). Методологія психологічних операцій [Навчальний посібник]. НА СБУ.

8. Кобець, Т. (2025). Інформаційні спеціальні операції: особливості реалізації в сучасних умовах. Вісник Прикарпатського університету. Серія: Політологія, (20). https://doi.org/10.32782/2312-1815/2025-20-30

9. Новицька, К. (2024). Спеціальні інформаційні операції: вплив, ризики та протидія. In Освіта і наука у сфері національної безпеки: проблеми та пріоритети розвитку: матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції (Острог, 17 травня 2024 р.) (pp. 224–227). Вид-во Нац. ун-ту «Острозька академія». https://doi.org/10.25264/26.06.2024

10. Слюсаренко, А. (2024). Розвиток концептуальних та організаційно-технологічних поглядів на інформаційне протиборство у Збройних Силах США (1991 — початок XXI ст.). Воєнно-історичний вісник, 52(2), 79–90. https://doi.org/10.33099/2707-1383-2024-52-2-79-90

11. Beauchamp-Mustafaga, N. (2023). Chinese next-generation psychological warfare: The military applications of emerging technologies

and implications for the United States (Report No. RR-A853-1). RAND Corporation. https://doi.org/10.7249/RRA853-1

12. Rushing, B., & Xu, S. (2025). Quantifying the engagement effectiveness of cyber cognitive attacks: A behavioral metric for disinformation campaigns (arXiv:2510.15805v1) [Preprint]. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2510.15805

13. Ахтирцева, В. С., & Весельська, А. Р. (2024). Теоретичні виклики та практичні можливості оцінювання ефективності заходів психологічних операцій. Збірник наукових праць ЖВІ, (27(І)). https://doi.org/10.46972/2076-1546.2024.27.09

14. Шинкар, Т., Левченко, Т., & Дудар, В. (2023). Маніпулятивні технології в аспекті інформаційної безпеки. Society. Document. Communication., (19), 270–286. https://doi.org/10.31470/2518-7600-2023-19-270-286

15. Верголяс, О. (2017). Психологічні аспекти типології спеціальних інформаційних операцій. Вісник Львівського університету. Серія: міжнародні відносини, (41), 190–197.

УДК 004.056

Персунов Д.О.[1], Нечипорук О.П. [2]

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ДАНИХ У РОЗПОДІЛЕНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Сучасні розподілені інформаційні середовища характеризуються багатовузловою архітектурою, асинхронною взаємодією компонентів та використанням незалежних джерел формування даних. У таких умовах питання достовірності інформації набуває особливої актуальності, оскільки порушення цілісності можуть виникати через втрату фрагментів, конфлікти значень, аномальні відхилення або логічні суперечності між даними, що зберігаються в різних вузлах системи. Відсутність централізованого контролю ускладнює своєчасне виявлення таких порушень та створює ризики накопичення помилок у процесі інтеграції інформації.

Забезпечення достовірності в розподіленому середовищі передбачає формалізацію критеріїв оцінювання та побудову інтегральних показників узгодженості даних. Доцільним є розгляд достовірності як комплексної характеристики, що поєднує структурну відповідність формату даних, логічну коректність значень і семантичну узгодженість між джерелами. Такий підхід дозволяє здійснювати

[1] аспірант «Державний університет «Київський авіаційний інститут».

[2] професор кафедри ІКС «Державний університет «Київський авіаційний інститут», д.т.н., професо

кількісне оцінювання рівня відхилення від нормативного стану та автоматизувати процедури контролю.

Важливою складовою процесу є врахування рівня довіри до джерел інформації. У багатоджерельному середовищі різні вузли можуть мати неоднакову надійність, що повинно відображатися у механізмі визначення достовірного значення. Узгодження виконується на основі оцінки розбіжностей між альтернативними даними та вибору значення, яке максимально відповідає встановленим критеріям і має найбільшу вагу довіри.

$$Itotal = \sum_{j=0}^{m} wj \cdot I(dj)$$

У випадку виявлення порушень достовірності застосовуються процедури відновлення, що базуються на агрегуванні альтернативних фрагментів або реконструкції значень із використанням узагальнених оцінок.

$$d* = \underset{d_i \in D}{argmax} I(di)$$

Результат моделювання (рис. 1) коду на Python, який реалізує об'єднання даних з трьох джерел, виявлення аномальних значень та відновлення параметра за критерієм зваженого середнього з урахуванням коефіцієнтів довіри до джерел.

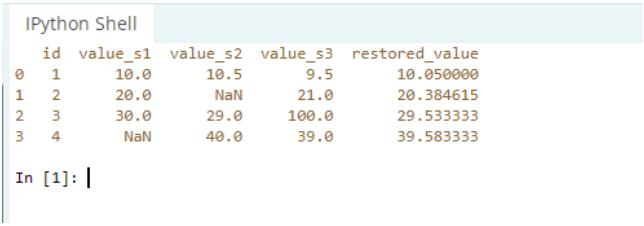


Рисунок 1 – Результати роботи прототипу інформаційної технології.

Такий підхід забезпечує формування узгодженого інформаційного простору навіть за умов часткової втрати або конфліктності даних.

Висновки. Запропонований принцип дозволяє підвищити надійність функціонування розподілених інформаційних систем, зменшити ризик накопичення помилок та забезпечити обґрунтованість подальшої аналітичної обробки даних у багатовузлових середовищах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Jalil, B. A., et al. (2023). A survey on data integrity verification schemes in the cloud. *AIP Conference Proceedings*.

2. Annapureddy, G. R. (2024). The impact of blockchain on data integrity and security in distributed systems. *The Eastasouth Journal of Information System and Computer Science, 2*(2).

3. Mohammed, B. A., Stanovska, I., Kashkevich, S., Lebedynskyi, A., Vakulenko, Y., Protas, N., Klyuchak, O., Lastivka, O., Semeniuk, A., & Kivshar, O. (2025). Development of a methodological approach for assessing the condition of complex organizational and technical systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2*(3(134)), 47–53. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.326468

УДК 330.3

Шахрай М.В.[1], Дмитрієва В.А.[2]

ДИНАМІКА ДОБУТКУ АКВАКУЛЬТУР В УКРАЇНІ: АНАЛІЗ ЗАСОБАМИ PYTHON В GOOGLE COLAB

Водні біоресурси, залежно від виду, є джерелом корисних речовин для людини та сировиною для переробної, в тому числі і харчової, промисловості. В сільськогосподарській галузі України особливу увагу приділено аквакультурам. Зокрема, мова йде про розведення в контрольованих умовах водних організмів. Наявні в країні природні та створювані штучні водойми стали важливим активом для розвитку даної галузі. Водночас, через зміну клімату, а також військові дії, які призводять до порушення природного балансу, а інколи, до зневоднення чи, навпаки, затоплення територій, сфера аквакультур піддається руйнівному впливу. Простежимо динаміку видобутку водних біоресурсів, у тому числі риби, за період 1996-2024 рр. На офіційному сайті Державної служби статистики України розміщено дані, які стосуються добування продукції у внутрішніх водних об'єктах, в економічний (морській) зоні України та економічних (морських) зонах інших держав [1]. Слід зазначити, що картина добування аквакультур суттєво змінилася порівняно з періодом до повномасштабного вторгнення, як свідчить аналіз даних, виконаний в середовищі Google Colab засобами Python (таблиця 1).

Таблиця 1 - Програмний код для аналізу динаміки добутку біоресурсів

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
data = pd.read_csv("/Extraction of aquatic bioresources.csv")
fig_a, ax_a = plt.subplots()
ax_a.scatter(data.Year, data['Including fish'])
```

[1] бакалавр, ОПП «Водні біоресурси та аквакультура», ДДАЕУ
[2] доцент, кафедра інформаційних систем і технологій, ДДАЕУ

```
coefficients = np.polyfit(data.Year, data['Including fish'], 1)
m = coefficients[0]
b_intercept = coefficients[1]
print(f"Коефіцієнти рівняння тренду (m, b): {coefficients}")
print(f"Рівняння тренду: y = {m:.2f}*x + {b_intercept:.2f}")
ax_a.plot(data.Year, np.poly1d(coefficients)(data.Year))
ax_a.set_ylabel('Добуток водних ресурсів, в тому числі риби (тон) ')
ax_a.set_xlabel('Рік')
ax_a.set_title("Тенденція добутку водних біоресурсів та риби \n за 1996-2024 рр. (тон) ")
plt.show()
```

Внаслідок виконання коду, побудовані діаграма розсіювання та рівняння тренду, для якого отримано необхідні коефіцієнти. Візуалізація результатів свідчить про рецесію в динаміці розвитку галузі (рисунок 1).

```
Коефіцієнти рівняння тренду (m, b):
[-1.33956709e+04  2.71099336e+07]
Рівняння тренду: y = -13395.67*x + 27109933.61
```

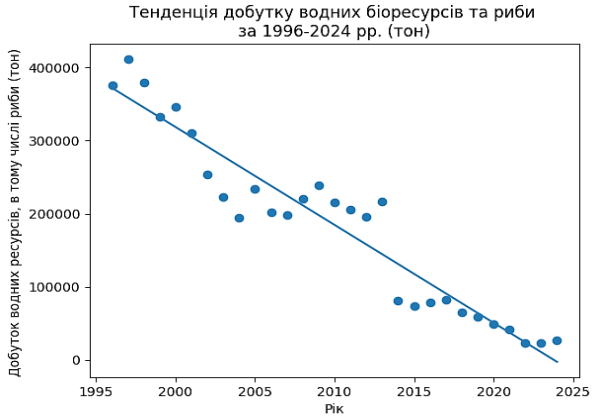


Рисунок 1. Результати реконструкції динаміки добутку водних біоресурсів та риби в Україні за 1996-2024 рр. (тон)

Чи вплинув спад вилову риби на зміну ціни цієї продукції в Україні? Для відповіді на це питання, реконструюємо закономірність між показниками видобутку аквакультур та їх цінами. Виконаємо регресійний аналіз за окремими видами риб (таблиця 2).

Таблиця 2 - Програмний код для регресійного аналізу впливу обсягу видобутку аквакультури та ціною

```
from sklearn.linear_model import LinearRegression
import seaborn as sns
```

```
df_aqua_prices = pd.read_excel('/content/Aquacultures_and_prices.xlsx')
filtered_data=df_aqua_prices[(df_aqua_prices['Aquatic bioresources']=='Лящ прісноводний')]
X=filtered_data[['Volume of extracted aquatic bioresources, tonnes']]
Y=filtered_data[['Average price of extraction aquatic bioresources, UAH per 1 tonne']]
model = LinearRegression()
model.fit(X, Y)
b1 = model.coef_[0]
b0 = model.intercept_
print(f"Intercept (b0): {b0[0]}")
print(f"Slope (b1): {b1[0]}")
print(f"Рівняння тренду: y = {b1[0]:.2f}*x + {b0[0]:.2f}")
sns.regplot(x='Volume of extracted aquatic bioresources, tonnes', y='Average price of extraction aquatic bioresources, UAH per 1 tonne', data=filtered_data)
plt.title('Тенденція зміни ціни залежно від добутку \n на прикладі добутку ляща прісноводного')
plt.xlabel('Добуток аквакультури, тон')
plt.ylabel('Середня ціна аквакультури, грн за тону')
plt.show()
```

Змодельована закономірність свідчить про те, що при зростанні обсягів вилову риби ціна зменшується і, навпаки, скорочення обсягів продукції призводить до росту цін (рисунок 2):

```
Коефіцієнти рівняння тренду (b, a):
[-5.63864638e+00  3.13287540e+04]
Рівняння тренду: y = -5.64*x + 31328.75
```

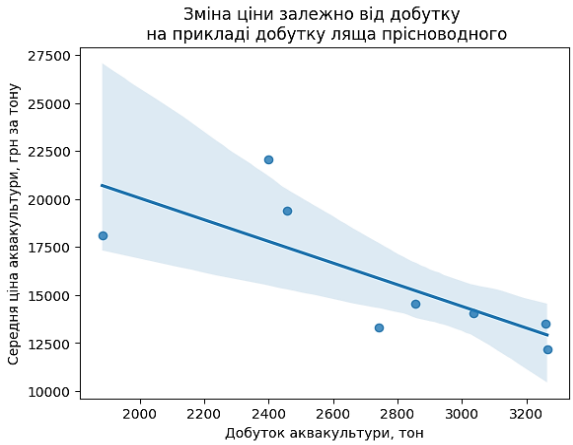


Рисунок 2. Реконструкція зміни ціни залежно від добутку аквакультури (на прикладі ляща прісноводного)

Висновки. Внаслідок аналізу виявлено дві закономірності. Перша - свідчить про негативну тенденцію в галузі водних біоресурсів та аквакультур. Друга – підтверджує факт росту цін на продукцію за умови скорочення обсягів виробництва цієї сфери діяльності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сайт Державної служби статистики України. URL: http://ukrstat.gov.ua/

УДК 004.051:681.5:005.8

Воловецький О.О.[1], Тронь В.В.[2]

ПРОТОКОЛЬНА МОДЕЛЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДТВОРЮВАНОСТІ ДОСЛІДЖЕНЬ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Вступ. У сучасних автоматизованих системах керування технологічними процесами все ширше застосовуються методи математичного моделювання, предиктивного керування, оптимізації та машинного навчання. Розвиток обчислювальних потужностей та спеціалізованих програмних засобів дозволяє реалізовувати складні алгоритми керування, зокрема моделі на основі ядерних функцій, нелінійні предиктивні регулятори, адаптивні та робастні структури. Дослідження таких систем здебільшого здійснюється шляхом computational-експериментів, що включають ідентифікацію моделі об’єкта, моделювання замкнених контурів, варіювання параметрів та оцінювання показників якості керування.

Разом із розширенням можливостей моделювання зростає й складність експериментальної постановки. Результати чисельних досліджень можуть істотно залежати від конфігурації симулятора, параметрів алгоритму, структури обмежень, генерації збурень, початкових умов та реалізації метрик. У сучасній науковій літературі проблема відтворюваності обчислювальних досліджень розглядається як одна з ключових для забезпечення достовірності результатів [1, 2]. У сфері автоматизованого керування це питання набуває особливої ваги, оскільки інженерні висновки безпосередньо впливають на прийняття рішень щодо вибору алгоритмів і структури системи [3].

Відсутність формалізованої процедури фіксації умов експерименту створює ризик неявної зміни параметрів, несвідомого «підлаштування» алгоритму під очікуваний результат або некоректного порівняння альтернативних методів. У таких умовах навіть статистично

[1] Аспірант групи АКІТ-22 -1а, «Криворізький національний університет»
[2] Доцент кафедри АКНТ, «Криворізький національний університет», доц, к.т.н.

переконливі результати можуть виявитися невідтворюваними. Метою роботи є розробка протокольної моделі, що забезпечує систематизацію постановки computational-досліджень та гарантує їх відтворюваність у задачах автоматизованого керування нелінійними технологічними процесами.

Основний матеріал. Запропонований підхід базується на трактуванні кожного computational-експерименту як формалізованого контракту. Такий контракт визначає повний набір умов виконання експерименту: конфігурацію моделі об'єкта керування, параметри алгоритму, обмеження на керуючі дії, критерії оптимізації, правила формування метрик та числові допуски для їх оцінювання. Важливою складовою є явна фіксація генераторів збурень, рівня шуму, довжини симуляції та початкового стану системи.

Формалізація експериментального контракту дозволяє уникнути неоднозначностей у трактуванні результатів. Кожне числове твердження повинно бути пов'язане з конкретною конфігурацією та сценарієм виконання. Таким чином забезпечується простежуваність переходу від постановки задачі до отриманого результату, що відповідає принципам відтворюваних досліджень [1].

Для стабілізації умов дослідження вводиться поняття канонічної конфігурації. Вона визначає базові параметри моделі, структуру контролера та стандартний сценарій роботи системи. Канонічна конфігурація використовується як точка відліку для порівняння різних алгоритмів або модифікацій структури керування. Будь-яке відхилення від неї розглядається як окремий сценарій та підлягає явній реєстрації. Такий підхід унеможливлює приховану зміну умов експерименту та підвищує коректність порівняльного аналізу [3].

Окремий елемент моделі пов'язаний із процедурою інженерної валідації. У практиці чисельного моделювання можливі ситуації, коли аномальна поведінка системи обумовлена не властивостями алгоритму, а помилкою реалізації або некоректною обробкою даних. У запропонованій моделі будь-яке відхилення від очікуваної логіки роботи системи спочатку розглядається як потенційний дефект програмної реалізації. Перевірка передбачає аналіз послідовності виконання обчислень, коректності передачі параметрів між модулями, правильності обчислення метрик та повторну валідацію після можливого усунення виявлених проблем. Такий підхід відповідає сучасним принципам забезпечення якості програмних систем [2].

Суттєвим є також розмежування технічного та аналітичного рівнів дослідження. Технічний рівень містить повну інформацію про конфігурацію експерименту, журнали виконання, службові параметри та проміжні обчислювальні артефакти. Аналітичний рівень передбачає узагальнення отриманих метрик, їх порівняння та формування висновків щодо ефективності алгоритмів. Перехід від технічного до

наукового рівня допускається лише за умови відсутності невирішених суперечностей і підтвердження стабільності результатів.

Практичне застосування протокольної моделі було здійснено при дослідженні автоматизованої системи керування нелінійним технологічним процесом із використанням предиктивного алгоритму. У межах базового сценарію було виявлено нестабільність окремих показників якості регулювання. Застосування процедури інженерної перевірки дозволило встановити, що причина полягала у некоректній реалізації розрахунку інтегральної метрики. Після усунення дефекту та повторного виконання експерименту результати набули узгодженого характеру. Це підтвердило необхідність формалізованої процедури контролю перед інтеграцією результатів у наукові висновки.

Таким чином, протокольна модель виконує не лише функцію організації експерименту, а й роль механізму запобігання некоректним інтерпретаціям. Вона забезпечує прозорість процесу дослідження, простежуваність числових результатів та підвищує рівень інженерної відповідальності при аналізі ефективності алгоритмів керування. Узагальнену логіку функціонування протокольної моделі наведено на рис. 1



Рисунок 1 – Структурна схема функціонування протокольної моделі дослідження

Як видно зі схеми, протокольна модель має замкнену структуру з обов'язковим етапом інженерної валідації. Наявність перевірочного контуру запобігає прямому переходу від отримання результатів до їх наукової інтерпретації без підтвердження коректності реалізації. Таким чином, модель реалізує принцип пріоритету перевірки над інтерпретацією, що є критичним для забезпечення відтворюваності computational-досліджень.

Висновки. Розроблено протокольну модель забезпечення відтворюваності computational-досліджень автоматизованих систем керування технологічними процесами. Модель ґрунтується на формалізації експериментального контракту, введенні канонічної конфігурації, обов'язковій інженерній валідації та чіткому розмежуванні технічного й аналітичного рівнів дослідження. Запропонований підхід підвищує достовірність порівняльного аналізу алгоритмів керування нелінійними об'єктами, мінімізує ризик хибних інженерних висновків та забезпечує відтворюваність результатів у computational-дослідженнях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Peng, R. D. (2011). Reproducible research in computational science. *Science, 334*(6060), 1226–1227.
2. Stodden, V., Leisch, F., & Peng, R. D. (Eds.). (2014). *Implementing reproducible research*. Boca Raton: CRC Press.
3. Camacho, E. F., & Bordons, C. (2007). *Model predictive control* (2nd ed.). London: Springer.

УДК 004.9

Муковоз А.С.[1], Сізова Н.Д.[2]

ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ У ТЕХНОЛОГІЇ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ НАВЧАЛЬНИХ ЦІЛЕЙ

Вступ

На сучасному етапі розвитку освіти ключову роль відіграє не лише впровадження доповненої реальності, а передусім інтеграція **штучного інтелекту в AR-середовище**. Саме алгоритми ШІ перетворюють доповнену реальність із простого накладання зображень на реальний світ на інтелектуальну систему, здатну аналізувати, прогнозувати та адаптувати навчальний контент відповідно до потреб здобувача освіти.

Інтеграція ШІ та доповненої реальності формує якісно новий підхід до організації навчального процесу. Якщо без інтелектуальних

[1] Студентка ХНУМГ
[2] Проф. каф. КНтаІТ, ХНУМГ, докт. фіз.-мат наук, проф.

алгоритмів AR залишалася б лише «візуальним доповненням», то завдяки машинному навчанню, нейронним мережам і комп'ютерному зору вона набуває властивостей адаптивності, персоналізації та інтерактивності. Таким чином створюються передумови для формування інтелектуальних навчальних середовищ нового покоління.

Актуальність дослідження впровадження ШІ в AR зумовлена тим, що традиційні методи навчання часто орієнтовані на пасивне сприйняття інформації. Лекційний формат, підручники чи відеоматеріали не завжди забезпечують глибоке засвоєння складних тем. Навіть мультимедійні засоби без інтелектуальної складової здебільшого залишаються інструментами демонстрації, а не активної взаємодії. Натомість поєднання ШІ та AR забезпечує активну участь студента, динамічний зворотний зв'язок і глибше розуміння матеріалу.

Основна частина.

Доповнена реальність − це технологія, що накладає цифрові об'єкти на реальне середовище в режимі реального часу через камеру мобільного пристрою або AR-окуляри. Проте саме штучний інтелект надає цим об'єктам «розуміння» контексту. Завдяки алгоритмам комп'ютерного зору система розпізнає об'єкти, аналізує сцену, відстежує рухи користувача та коригує подання матеріалу відповідно до його дій [1].

У навчальних AR-застосунках ШІ виконує функції:

- розпізнавання об'єктів, облич і жестів;
- аналізу поведінки студента;
- адаптації складності навчального матеріалу;
- формування індивідуальних рекомендацій;
- автоматичного оцінювання результатів.

Таким чином реалізується концепція інтелектуального тьюторингу в режимі реального часу. Система не лише демонструє 3D-моделі чи анімації, а й аналізує помилки, прогнозує результати навчання та пропонує персоналізовані сценарії опрацювання матеріалу.

Архітектура інтелектуальних AR-систем включає модулі збору даних (камери, сенсори), блоки обробки інформації на основі алгоритмів ШІ, підсистему візуалізації доповненої реальності та модуль управління освітнім контентом. Центральним компонентом такої архітектури є саме аналітичне ядро ШІ, яке забезпечує інтелектуальну обробку даних і прийняття рішень.

Поєднання AI+AR ефективно використовується для:

- візуалізації абстрактних понять (алгоритмів, структур даних, нейронних мереж);
- моделювання технічних і фізичних процесів у реальному часі;
- створення віртуальних лабораторій і тренажерів;
- реалізації адаптивного навчання з урахуванням індивідуальних особливостей студентів.

Алгоритми глибокого навчання, методи підкріплення та обробка природної мови дають змогу створювати динамічні AR-сценарії, у яких система взаємодіє зі студентом майже як інтелектуальний наставник. ШІ забезпечує контекстну адаптацію контенту, інтелектуальну навігацію у віртуально-доповненому середовищі та прогнозування освітніх результатів [2].

Переваги інтеграції ШІ в AR полягають у:

- підвищенні мотивації та залученості студентів;
- забезпеченні наочності та глибини розуміння складних тем;
- підтримці персоналізованих освітніх траєкторій;
- розвитку дослідницьких і практичних компетентностей.

Особливо важливо, що інтелектуальні AR-системи можуть застосовуватися як в аудиторному, так і в дистанційному навчанні. Вони адаптуються до різних дисциплін − від природничих наук і математики до історії та мистецтва — та сприяють розвитку інклюзивної освіти, оскільки здатні автоматично підлаштовувати формат подання матеріалу до потреб користувача.

Отже, штучний інтелект є системоутворюючим елементом сучасної доповненої реальності. Саме ШІ надає AR здатність:

- розуміти навколишнє середовище;
- взаємодіяти з користувачем природним способом;
- створювати адаптивні інтерактивні освітні середовища.

Інтеграція AI+AR у підготовці фахівців забезпечує формування глибоких теоретичних знань і практичних результатів, а також готує здобувачів освіти до роботи з інтелектуальними інформаційними системами нового покоління [3].

Інтеграція AI+AR для комп'ютерних наук.

Для спеціальностей з комп'ютерних наук особливо актуальним є використання AR з елементами ШІ у вивченні дисциплін з програмування, штучного інтелекту, комп'ютерної графіки та інформаційних систем.

Освітніми цілями і задачами AI + AR у навчанні з комп'ютерних наук є

візуалізація абстрактних теоретичних моделей, відображення алгоритмів, структур даних, мереж у 3D-середовищі з AR-маркером; AI підказки для студентів щодо усвідомлення логіки виконання алгоритмів.

З практичної точки зору – е розвиток практичних навичок зі створення віртуальних лабораторій з AR-інструментами та AI-оцінюванням дій студентів, симуляції реальних систем (IoT, робототехніка, комп'ютерні мережі) із AI-контролем параметрів.

Персоналізація навчання, коли AI-алгоритми аналізують продуктивність студентів і адаптують AR-завдання під індивідуальний прогрес.

Активізація командної роботи з розробки AI + AR проєктів від ідеї до прототипу (UX/UI, моделі машинного навчання, AR-взаємодія).

Навчання може відбуватися через ігрові AR-середовища з AI, гейміфікацію складних тем, використання AR-квестів для вивчення мов програмування з AI-генерацією підказок, з демонстрацією алгоритмічних процесів тощо. В доповненій реальності може бути AI-інструктор в AR-просторі − віртуальний асистент, що пояснює поняття, очікує відповіді студента, дає підказки в AR.

Практичні підходи впровадження AI + AR передбачають AI-асистовані AR-лабораторії з використанням AR-симулятори, створення AR-сцен для моделювання мережевих топологій, алгоритмів сортування, пам'яті тощо. Розроблений AI-двигун може оцінювати дії: вказувати на помилки, запропоновувати оптимальні кроки.

Розпізнавання жестів та голосових команд дає можливість студенту взаємодіяти з AR-елементами за допомогою жестів, AI перетворює жестові команди на дії.

AI-моделі автоматичне оцінюють практичні завдання, аналізують AR-сценарії виконання лабораторних, надають індивідуальний фідбек.

У якості інструментів та технологій можна запровадити AR-платформи, тобто Unity3D + AR Foundation / Vuforia / ARCore / ARKit. AI-технології з TensorFlow / PyTorch для моделей розпізнавання жестів, NLP, Generative AI (ChatGPT, LLM) для адаптивних навчальних підказок, а також інтеграційні підходи з використанням Python/C# для зв'язку між AI-модулями та AR-движем, серверні AI-API для генерації персоналізованого контенту всередині AR-сцен [4].

Приклад доповненої реальності для навчання дисциплінам з комп'ютерних наук.

Дисципліна «Нейронні мережі та ШІ».

AR-сценарій− студент через мобільний пристрій бачить 3D-модель нейронної мережі (шари (input, hidden, output, ваги, процес поширення сигналу).

AI-компонент використовує модель класифікації (наприклад, TensorFlow Lite), подає динамічну демонстрацію зміни ваг при навчанні, аналізує помилки у реальному часі

Результатом є глибше розуміння алгоритму backpropagation, або зворотнього поширення помилки, який є базою для тренування багатошарових перцептронів та інших типів штучних нейронних мереж. А також візуальне пояснення методу градієнтного спуску одного із методів оптимізації, який дозволяє нейронній мережі вчитися, про те, як він працює і чому мережа починає «розуміти».

Висновки

Інтеграція штучного інтелекту в технології доповненої реальності є перспективним напрямом розвитку сучасних освітніх систем.

Використання AI+AR у навчанні фахівців» сприяє формуванню глибоких теоретичних знань, практичних впроваджень та підготовці здобувачів освіти до роботи з інтелектуальними інформаційними системами нового покоління.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Benson, C. E., Okolo, C. H., & Oke, O. O. (2024). AI and augmented reality (AR) in transforming interactive media experiences. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology, 10*(4), 370–378. https://doi.org/10.32628/CSEIT25113378

2. Kabir, Z. S. (2025). Interaction–engagement–intention model: AI & AR effects on user experience. *Electronics, 14*, 2499. https://doi.org/10.3390/electronics14122499

3. Федоренко, О., & Чала, О. (2024). Технології штучного інтелекту, доповненої, віртуальної та змішаної реальностей в освітньому процесі: перспективи розвитку в Україні. *Технології електронного навчання, 8*, 74–82. https://doi.org/10.31865/2709-840082024316951

4. Шевчук, Р., & Тихий, Р. (2024). Аналіз технології та інструментів для реалізації систем доповненої реальності. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології, 47*(1), 66–77. https://oeipt.vntu.edu.ua/index.php/oeipt/article/view/682

УДК 004.9

Лучанінова А.Ю.[1], Сізова Н.Д.[2]

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ПРОАКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ДИСТАНЦІЙНИМ ОСВІТНІМ СЕРЕДОВИЩЕМ

Вступ

Цифрова трансформація освіти та стрімке поширення дистанційних форматів навчання зумовили потребу в якісно новому підході до організації та управління освітнім процесом. Традиційні інформаційні системи, орієнтовані переважно на накопичення й відображення даних, уже не забезпечують достатнього рівня адаптивності, гнучкості та персоналізації. В умовах онлайн-освіти особливої актуальності набувають інтелектуальні інформаційні системи (ІІС), здатні не лише фіксувати події, а й аналізувати поведінкові та

[1] Студентка ХНУМГ
[2] Проф. каф. КНтаІТ, ХНУМГ, докт. фіз.-мат наук, проф.

академічні дані, прогнозувати ризики та ініціювати своєчасні управлінські дії.

Інтелектуалізація дистанційного освітнього середовища означає перехід від реактивного управління до **проактивного**, заснованого на предиктивній аналітиці, машинному навчанні та автоматизованій підтримці прийняття рішень. Такі системи поєднують технології штучного інтелекту, аналітику великих даних, моделі поведінкового моніторингу та механізми адаптивного навчання [1].

На відміну від класичних LMS-платформ, ІІС не обмежуються зберіганням матеріалів і контролем успішності. Вони:

- виявляють приховані закономірності у навчальних даних;
- прогнозують відхилення в освітній траєкторії;
- формують індивідуальні рекомендації;
- автоматично ініціюють підтримку до настання критичних ситуацій.

Таким чином, інтелектуальна система стає активним суб'єктом управління освітнім процесом.

Інтелектуальні механізми проактивного управління

Проактивне управління дистанційним освітнім середовищем базується на концепції **early-warning systems** та технологіях learning analytics. Основою є аналіз великих масивів даних, зібраних у процесі навчальної діяльності:

- попередні академічні результати;
- частота входів у систему;
- час взаємодії з матеріалами;
- активність у форумах і відеосесіях;
- дотримання дедлайнів;
- результати тестувань;
- дані опитувань щодо емоційного стану та мотивації.

На основі цих даних застосовуються алгоритми:

- логістична регресія та дерева рішень (інтерпретовані моделі);
- Random Forest, XGBoost (підвищена точність прогнозування);
- нейронні мережі (робота з великими масивами даних);
- XAI-підходи (SHAP, LIME) для пояснення результатів.

Інтелектуальність системи проявляється у здатності не лише класифікувати студентів за рівнем ризику, а й пояснювати причини такого прогнозу, що забезпечує прозорість управлінських рішень [2].

Функціональні блоки інтелектуальної системи

ІІС дистанційного навчання будується за модульним принципом і включає такі інтелектуально орієнтовані компоненти:

1. Моніторинговий модуль

Здійснює безперервний збір та агрегацію даних про активність користувачів. Використовуються розширені логи, xAPI-протоколи та поведінкова аналітика.

2. Модуль раннього виявлення ризиків

Формує прогнози щодо ймовірності академічних труднощів або відрахування. Оновлення моделей відбувається у реальному часі.

3. Модуль персоналізованих втручань

Автоматично генерує:

- адаптивні завдання;
- рекомендації щодо додаткових ресурсів;
- повідомлення студентам і кураторам;
- індивідуальні траєкторії навчання.

4. Аналітичні панелі (Dashboards)

Забезпечують багаторівневу аналітику:

- студентам – рекомендації та індикатори прогресу;
- викладачам – груповий і персональний аналіз;
- адміністрації – стратегічні показники (ретеншн, ефективність курсів).

5. Інтелектуальні агенти

Віртуальні асистенти та чат-боти, що надають оперативні консультації, здійснюють навігацію курсом та підтримують мотивацію.

Архітектура інтелектуальної системи

ІІС реалізується за трирівневою архітектурою:

- Клієнтський рівень – інтерфейси користувачів (веб, мобільні застосунки).
- Прикладний рівень – логіка системи та інтелектуальні модулі (AI-компоненти).
- Рівень даних – сховища, бази даних, аналітичні репозиторії.

Потоки даних включають API-взаємодію між модулями, обробку AI-моделями та зворотний зв'язок, що використовується для донавчання алгоритмів. Таким чином, система є самоадаптивною та здатною до постійного вдосконалення.

Приклади проактивних сценаріїв [3]

- Відсутність активності студента → автоматичне нагадування + коротке опитування щодо причин.
- Зниження успішності + низька активність → активація адаптивного модуля та повідомлення куратора.
- Масове зниження залученості групи → аналітичний сигнал викладачу з рекомендаціями щодо корекції курсу.

Такі втручання ґрунтуються на аналізі даних і спрямовані на запобігання проблемам, а не на їх постфактум вирішення.

Етапи створення інтелектуальної системи

1. Формування вимог та аудит існуючої цифрової інфраструктури.
2. Проєктування архітектури з визначенням AI-компонентів.

3. Розробка математичних моделей прогнозування та оптимізації.
4. Реалізація програмного забезпечення з використанням ML-алгоритмів.
5. Пілотне впровадження та оцінка ефективності.
6. Масштабування та постійний моніторинг моделей.

Впровадження ІІС забезпечує:

- підвищення академічної успішності;
- зниження відсіву студентів;
- персоналізацію освітнього процесу;
- оптимізацію управлінських рішень на основі даних;
- зменшення рутинного навантаження на викладачів;
- перехід до адаптивної, самоорганізованої моделі навчання.

Інтелектуальна система виступає інструментом стратегічного управління закладом освіти, підвищуючи його конкурентоспроможність.

Перспективи розвитку

Подальша еволюція ІІС передбачає:

- глибинну персоналізацію навчання;
- інтеграцію когнітивних агентів-тренерів;
- автоматизоване генерування навчального контенту;
- використання емоційної та поведінкової аналітики;
- розвиток explainable AI для підвищення довіри до рішень системи.

Висновки

Інтелектуальні інформаційні системи трансформують дистанційне навчання з простого цифрового середовища у **адаптивну, прогностичну та проактивну систему управління**.

ІІС – це не лише інструмент обліку даних, а комплексна система, що використовує методи штучного інтелекту для аналізу, прогнозування та підтримки прийняття рішень. Вона передбачає ризики, формує рекомендації та забезпечує індивідуалізацію навчального процесу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Palanci, A. (2024). Learning analytics in distance education: A systematic review study. *Education and Information Technologies, 29*(17), 22629–22650. https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-024-12737-5

2. Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson. http://lib.ysu.am/disciplines_bk/efdd4d1d4c2087fe1cbe03d9ced67f34.pdf

3. Teaching & Learning Unit. (n.d.). *Learning analytics platform guide*. The National Forum for the Enhancement of Teaching and Learning in Higher Education. https://www.teachingandlearning.ie/wp-content/uploads/LA_Platform_Guide_proof03.pdf

УДК 004.9 Колісник С.В.[1]. Сізова Н.Д.[2]

НОВІ ПІДХОДИ ДО ІНТЕГРУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Вступ

Інформаційні системи (ІС) відіграють ключову роль у цифровій трансформації суспільства і працюють у середовищі високої динаміки даних і бізнес-взаємодій. Інформаційні системи (ІС) різних типів (ERP, CRM, BI, MES, IoT-платформи тощо) створюють розрізнені потоки інформації. Різнорідність даних та форматів, застарілі системи (legacy), що не підтримують сучасні протоколи, потреба реального часу обробки і обміну інформацією, забезпечення безпеки при обміні даними тощо створюють проблеми для ІС. Тому актуальними стають питання створення нових підходів, технологій та архітектур інтеграції.

Основна частина.

Завданнями інтегрування ІС є

1. Забезпечення **безперервного обміну даними** між підсистемами.
2. Підвищення **узгодженості даних**.
3. Зниження кількості **ручних операцій** та **помилок**.
4. Підтримка **реального часу** аналітики та звітності.
5. Гнучке масштабування та адаптація до змін бізнес-вимог.

Традиційні підходи (табл.1) до процесів інтегрування добре працюють у невеликих для невеликих ІС, але не здатні забезпечити адаптивність і realtime-синхронізацію при складних системних зв'язках [1].

Таблиця 1 − Традиційні підходи до інтеграції інформаційних систем

Підхід	Характеристика	Переваги	Обмеження
EAI (Enterprise Application Integration)	Інтеграція через шину даних	Централізоване управління	Складність і дороговартість впровадження
ETL (Extract-Transform-Load)	Періодичні пакетні переноси даних	Простота реалізації	Не підтримує realtime
Point-to-Point	Прямі зв'язки між додатками	Низька затримка	Масштабування важке

[1] Студент ХНУМГ
[2] Проф. каф. КНтаІТ, ХНУМГ, докт. фіз.-мат наук, проф.

Нові підходи до інтегрування ІС базуються на сервіс-орієнтованій архітектурі, мікросервісах, API-менеджменті, подіях та інтеграційних платформах [2].

Сервісно-орієнтована та мікросервісна інтеграція SOA (Service-Oriented Architecture) − інтеграція через стандартизовані сервіси (SOAP/REST), вона забезпечує повторне використання функціоналу, застосовується у великих корпоративних ІС (ERP, CRM, MES).

Мікросервісна архітектура передбачає декомпозицію системи на незалежні сервіси, асинхронно взаємодіє через API та брокери повідомлень, Кожен сервіс − окремий компонент, що виконує власну функцію. Має незалежний цикл розробки. Її переваги у масштабованості, гнучкості, швидкому оновленні компонентів.

Архітектура API-орієнтованої інтеграції (API-First) забезпечує **уніфікований доступ** до функцій і даних ІС, використовує REST/GraphQL API, має контракт-орієнтовані інтерфейси, підтримує масштабування.

Переваги **API-First наступні**

- Доступ у режимі реального часу.
- Підтримка мікросервісів.
- Незалежність від технологій.

Подієво-орієнтована інтеграція (Event-Driven Architecture) виконує обмін даними через події в реальному часі, використовує message broker: Kafka, RabbitMQ, MQTT, забезпечує слабку зв'язаність компонентів, є ефективною для проактивного управління, системи моніторингу, IoT-інтеграцій.

Інтеграція на основі даних (Data-Centric Integration) – це об'єднання систем через спільні сховища:

- Data Warehouse;
- Data Lake;
- Lakehouse.
- ETL / ELT-процеси.

Використовується для аналітики, BI, ШІ та машинного навчання.

Шинна (Event-Driven) інтеграція (рис.1) базується на подіях: **Event streaming** , **Event sourcing** і зберігає всі зміни стану як послідовність подій. Має наступні переваги **:**

- Підтримка масштабних розподілених систем.
- Висока продуктивність.
- Низька затримка повідомлень.

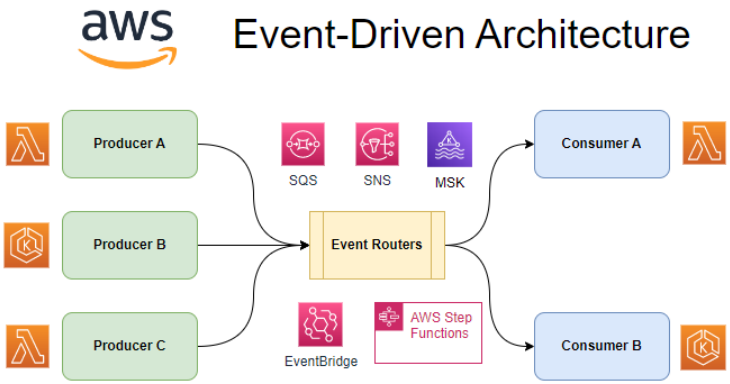


Рисунок 1 – Шинна інтеграція

iPaaS (Integration Platform as a Service) – **це** **х**марні платформи інтеграції, які мають такі особливості:

- Готові конектори до SaaS/ERP/DB.
- Оркестрування даних.
- Моніторинг інтеграцій.

Перевагами **х**марних платформ інтеграції є:

- Швидке впровадження інтеграції.
- Низькі початкові витрати.
- Автоматична масштабованість.

Інтеграція на основі масштабованого сховища даних (Data Lake / Lakehouse / Data Mesh) **базується на підходах**

- **Data Lake** — збереження сировинних даних.
- **Data Lakehouse** — поєднання озера та сховища структурованих даних.
- **Data Mesh** — доменно-орієнтована, децентралізована аналітика.

Її перевагами є:

- Аналітика Big Data.
- Підтримка складних AI/ML задач.

Інтелектуальна інтеграція з використанням ШІ застосовується до машинного навчання, семантичних моделей; онтологій, автоматичного узгодження форматів даних, виявлення аномалій інтеграційних процесів, проактивної адаптації взаємодії між системами.

В табл. 2 подається порівняння характеристик інтеграційних систем за окремими показниками.

Таблиця 2 − Порівняльна таблиця нових підходів до інтеграції інформаційних систем

Підхід	Realtime	Масштабований	Підтримка IoT	Автоматичність
API-First	Так	Так	Через API	Висока
Event-Driven	Так	Дуже	Так	Дуже висока
Мікросервіси	Так	Дуже	Так	Середня
iPaaS	Частково	Висока	Так	Висока
Data Mesh/ Lakehouse	Частково	Дуже	Так	Середня

Висновки

Нові підходи до інтегрування інформаційних систем спрямовані на забезпечення гнучкості, підтримку реального часу, автоматизацію та масштабність, інтеграцію IoT, Big Data і AI.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Richardson, C. (2018). *Microservices patterns: With examples in Java*. Manning Publications. https://books.google.com.ua/books?id=QTgzEAAAQBAJ

2. Gartner. (2023). *Market guide for iPaaS.* https://www.gartner.com/en/documents/5654323

УДК 004:37

Ремига А. Є [1] Кононович Т.О.[2]

ГЕЙМІФІКАЦІЯ ОСВІТНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ЯК ІНСТРУМЕНТ ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

Сучасний освітній простір функціонує в умовах цифрової трансформації, що вимагає пошуку нових підходів до організації навчання, здатних не лише передавати знання, а й підтримувати стабільний інтерес здобувачів освіти до навчальної діяльності. Традиційні форми викладання дедалі частіше виявляються недостатньо ефективними в ситуації, коли учень або студент звик до динамічного, інтерактивного й візуально насиченого середовища. Саме тому

[1] Здобувач вищої освіти, Полтавський національний педагогічний університет імені В.Г. Короленка

[2] Доцент кафедри математичного аналізу та інформатики, Полтавський національний педагогічний університет імені В.Г. Короленка

гейміфікація набуває особливого значення як інструмент, що дозволяє інтегрувати елементи гри в неігровий контекст навчання [4, с. 7].

Актуальність теми зумовлена також тим, що гейміфікація виявляється ефективною як у загальній середній, так і у вищій освіті. Вона може застосовуватися під час вивчення дисциплін природничо-математичного циклу, у професійній підготовці майбутніх педагогів, а також у дистанційному й змішаному навчанні [3, с. 1; 2, с. 1]. Отже, дослідження можливостей гейміфікації в освітньому середовищі є важливим як у теоретичному, так і в практичному аспектах.

Гейміфікація в освіті є ширшим поняттям, ніж просто використання гри на уроці. Вона пов'язана з поширенням ігрових підходів на різні сфери освітнього процесу, включаючи навчання, мотивацію, оцінювання, комунікацію та рефлексію [4, с. 9]. Важливо, що дослідники наголошують на відмінності між гейміфікацією та ігровим навчанням: якщо ігрове навчання передбачає навчання безпосередньо через гру, то гейміфікація інтегрує окремі ігрові механіки в традиційний освітній процес, не замінюючи його повністю [4, с. 9].

Педагогічне значення гейміфікації пов'язане насамперед із її впливом на мотиваційну сферу. Використання елементів досягнення, прогресу, змагання, співпраці та винагороди дає змогу підтримувати інтерес до навчання, стимулювати активність і створювати позитивний емоційний фон освітньої діяльності [4, с. 7]. У посібнику з гейміфікації навчального процесу наголошено, що її поширення в освітній практиці дозволяє розв'язувати проблеми, пов'язані із застосуванням елементів смарт-освіти, реалізацією принципів доступності навчання, індивідуального підходу, оптимізації навчального процесу, а також із підвищенням рівня зацікавленості предметом і формуванням уміння працювати в команді [1, с. 4].

Крім того, гейміфікація сприяє формуванню цифрових і пізнавальних компетентностей. У межах спеціально організованого курсу вона орієнтована на розвиток критичного, логічного та креативного мислення, а також на опанування методів створення та практичного використання ігрових технологій у навчанні [1, с. 4–5]. Це свідчить про те, що гейміфікація має не лише мотиваційну, а й компетентнісну функцію.

Подібний підхід простежується й в інших джерелах, де наголошується, що гейміфікація освітнього процесу має сприяти формуванню мотивації, усвідомленню важливості засвоюваного матеріалу, ефективному використанню часу самостійної роботи, а також створенню чіткої системи правил, за якою ігрові досягнення співвідносяться з навчальними результатами [2, с. 8]. Відповідно, ігрові механіки мають бути не декоративним елементом, а інструментом педагогічного проєктування.

Важливою умовою ефективної гейміфікації є також правильне співвідношення між індивідуальною та груповою активністю. З одного боку, бали, рейтинги, рівні й бейджі підсилюють особисту відповідальність за результат; з іншого –командні форми роботи, спільні цілі та колективні досягнення підтримують співпрацю, комунікацію та взаємодопомогу [2, с. 8; 3, с. 1]. Саме баланс між змагальністю та кооперацією дозволяє уникнути надмірної конкурентності та забезпечити конструктивний характер навчальної взаємодії.

У сучасному освітньому середовищі гейміфікація тісно пов'язана з використанням цифрових платформ і сервісів. У професійній підготовці майбутніх учителів найбільш перспективними визначено Moodle, Google Classroom, Kahoot, Quizizz, Classtime та AhaSlides, які дозволяють реалізувати як індивідуальні, так і командні форми гейміфікації [3, с. 1]. Їх цінність полягає в тому, що вони дають можливість створювати квести, інтерактивні вікторини, рейтинги, прогрес-бари, бейджі, цифрові сертифікати, а також забезпечують миттєвий зворотний зв'язок [3, с. 1].

Такі інструменти можуть бути ефективно використані як у шкільній, так і у вищій освіті. У посібнику з гейміфікації в навчальному процесі наголошено на пріоритетності дидактичної гри, квестів, вікових особливостей використання гри, а також педагогічних і цифрових інструментів учителя для гейміфікації [1, с. 4]. Це свідчить про те, що цифрові сервіси мають працювати в межах чітко продуманої методики, а не використовуватися епізодично.

Особливо важливим є те, що платформи типу Moodle чи Google Classroom дозволяють інтегрувати гейміфікацію в системну організацію курсу, а сервіси на кшталт Kahoot, Quizizz чи Classtime підсилюють емоційну залученість і динаміку занять [3, с. 1]. У поєднанні з педагогічним дизайном це створює навчальне середовище, у якому учень або студент отримує не лише інформацію, а й досвід проходження навчального маршруту з відчуттям прогресу, виклику та досягнення.

Не менш показовими є результати дослідження щодо вивчення дисциплін природничо-математичного циклу учнями закладів загальної середньої освіти. У цій праці зазначено, що навчальні досягнення з теми «Алгоритми і програми» виявилися кращими в тих класах, де на уроках використовувалися елементи гейміфікації [2, с. 1]. Такий результат підтверджує, що гейміфікація має безпосередній вплив не лише на емоційне сприйняття навчання, а й на його результативність.

Водночас дослідники наголошують, що позитивний ефект можливий лише за умови методично грамотного впровадження гейміфікації. Якщо вона не підпорядкована дидактичній меті, то може перетворитися на формальне додавання розважальних елементів, які не поглиблюють навчання, а відволікають від нього [4, с. 8]. Тому результативність гейміфікації залежить від змісту завдань, прозорості

правил, відповідності механік віковим і професійним особливостям учасників освітнього процесу

До основних переваг гейміфікації належать підвищення мотивації, зростання інтересу до навчання, активізація пізнавальної діяльності, розвиток співпраці, покращення дисципліни та формування цифрових компетентностей [4, с. 7; 3, с. 1]. Крім того, вона дає змогу структурувати навчальний процес, зробити його більш прозорим для здобувача освіти й підтримати постійний зворотний зв'язок [2, с. 8].

Однак гейміфікація має і певні ризики. У сучасних дослідженнях серед них називають обмеження безпосередньої комунікації, надмірне використання комп'ютерної техніки, можливе зниження внутрішньої мотивації при надмірній ігровізації, різний рівень цифрової грамотності студентів, зростання навантаження на викладача та потенційне загострення конкуренції [4, с. 7; 3, с. 1]. Це означає, що гейміфікація не може розглядатися як універсальний засіб розв'язання всіх освітніх проблем.

Педагогічно доцільне використання гейміфікації передбачає збереження балансу між емоційною привабливістю та змістовною насиченістю навчання. Гра не повинна витісняти навчальну мету; навпаки, саме навчальна мета має визначати вибір ігрових механік, цифрових сервісів і форм організації роботи. Лише за такої умови гейміфікація стає не зовнішнім оформленням, а повноцінним інструментом підвищення якості освіти.

Отже, гейміфікація в освіті є перспективною інноваційною технологією, що поєднує мотиваційний, когнітивний, емоційний і соціальний потенціал. Її сутність полягає у використанні ігрових механік у неігровому навчальному контексті для підвищення залученості, активності та результативності здобувачів освіти [4, с. 7]. Аналіз джерел показав, що гейміфікація сприяє розвитку пізнавального інтересу, цифрових і комунікативних компетентностей, командної взаємодії та позитивного освітнього клімату [1, с. 4; 3, с. 1].

Практичні результати її застосування у шкільній та вищій освіті свідчать про покращення мотивації, дисципліни, якості виконання завдань і навчальних досягнень [2, с. 1; 3, с. 1]. Водночас ефективність гейміфікації безпосередньо залежить від педагогічного дизайну, змістової наповненості, відповідності ігрових механік освітнім цілям та врахування ризиків надмірної ігровізації [4, с. 7–8].

Таким чином, гейміфікація має значний потенціал для модернізації сучасного освітнього процесу. Її доцільно розглядати не як тимчасовий тренд, а як важливий інструмент дидактичного проєктування, здатний забезпечити більшу ефективність, інтерактивність і особистісну значущість навчання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Переяславська, С. О., & Козуб, Г. О. (2021). *Гейміфікація у навчальному процесі школи*. Луганський національний університет імені Тараса Шевченка.

2. Мар'єнко, М. В., & Борисюк, І. Ю. *Гейміфікація освітнього процесу під час вивчення дисциплін природничо-математичного циклу учнями ЗЗСО*.

3. Тищенко, В. О., Клопов, Р. В., Халемендик, Ю. Є., & Кириченко, Н. В. (2025). Гейміфікація у професійній підготовці майбутніх учителів фізичної культури: досвід інтеграції в дисципліни «Інформаційні технології в освіті» та «Іноземна мова». *Академічні візії*, 47.

4. Гнедіна, К., & Нагорний, П. (2022). Теоретико-практичні засади гейміфікації в освіті. *Information Technologies in Education, 3*(52).

УДК 614.2:004.8

Половян Н.С.[1]

ПЕРСПЕКТИВИ ТА ПОТЕНЦІЙНИЙ ВПЛИВ ШІ НА СИСТЕМУ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я

Інтеграція технологій штучного інтелекту (ШІ) у національну систему охорони здоров'я розглядається як фундаментальний етап цифрової трансформації, що зумовлює зміну парадигми надання медичних послуг від реактивної до превентивної та пацієнтоцентричної. У контексті публічного управління, ШІ стає невід'ємним функціональним компонентом екосистеми eHealth, забезпечуючи інструментарій для підтримки клінічних рішень, оптимізації адміністративних процесів та підвищення ефективності використання бюджетних ресурсів [1, 3].

Пріоритетним напрямом клінічного застосування ШІ є підвищення валідності та оперативності діагностичних процедур. Алгоритми машинного (ML) та глибокого (DL) навчання демонструють високу результативність в обробці візуальних даних (МРТ, КТ, рентгенографія), нівелюючи ризики діагностичних помилок [2, 3]. Показовим прикладом імплементації таких технологій в Україні є пілотний проєкт системи BrainScan (Одеса), що забезпечує експрес-діагностику патологій головного мозку, критично скорочуючи час прийняття рішень при ургентних станах.

Стратегічною перспективою є перехід до персоніфікованої медицини. Аналіз великих масивів даних, що включають генетичні профілі та електронні історії хвороб, дозволяє формувати індивідуальні

[1] к.е.н., доцент, Донецький національний медичний інструмент

терапевтичні стратегії. Це мінімізує побічні ефекти фармакотерапії та підвищує результативність лікування, зокрема в онкології (прогнозування мутацій) та репродуктології (системи ERICA, SiD) [2, 3].

Впровадження інтелектуальних систем має виражений соціально-економічний ефект. За прогнозами, масштабування ШІ-рішень у європейських системах охорони здоров'я здатне знизити показники смертності (потенціал збереження до 400 тис. життів щорічно) та суттєво оптимізувати видатки [5].

Економічна ефективність досягається через такі механізми [2, 3, 5]:

– превенція: раннє виявлення патологій зменшує фінансове навантаження на систему, пов'язане з лікуванням хронічних стадій.

– прискорення R&D: використання ШІ у фармацевтиці скорочує цикл розробки та виведення на ринок нових препаратів.

– оптимізація кадрового потенціалу: автоматизація рутинних адміністративних функцій (медична транскрипція, заповнення документації) дозволяє вивільнити значний часовий ресурс медичного персоналу. У масштабах ЄС це еквівалентно додатковому залученню 500 тис. фахівців [5], що для України є критично важливим інструментом подолання кадрового дефіциту, особливо в умовах воєнного стану та руйнування інфраструктури [1].

З позиції державного управління, ШІ виступає інструментом забезпечення прозорості та обґрунтованості політики. Модульна архітектура української системи eHealth створює технічне підґрунтя для інтеграції аналітичних ШІ-інструментів, що дозволяє здійснювати моніторинг ефективності бюджетних витрат, виявляти корупційні ризики та планувати мережу закладів відповідно до реальних потреб населення [1, 4].

Важливим вектором розвитку є Інтернет медичних речей (IoMT). Інтеграція носимих пристроїв та сенсорів у єдину цифрову мережу забезпечує безперервний моніторинг вітальних показників, що є основою сучасної телемедицини та телереабілітації. Вагомий внесок у цей напрям здійснюють вітчизняні наукові центри, зокрема Інститут кібернетики ім. В. М. Глушкова [1].

Згідно зі «Стратегією розбудови телемедицини в Україні на 2023 - 2025 роки», розвиток ШІ визначено як пріоритет для забезпечення безбар'єрного доступу до медичних послуг [1]. Досягнення цієї мети передбачає реалізацію наступних кроків [4]:

1.Нормативна гармонізація. Імплементація положень EU AI Act для інтеграції в єдиний європейський цифровий ринок.

2.Інноваційне регулювання. Створення «регуляторних пісочниць» для безпечного тестування ШІ-продуктів перед їх національним масштабуванням.

3.Мінімізація ризиків. Впровадження систем підтримки

прийняття рішень як стандарту для зниження впливу людського фактору на якість діагностики та лікування.

Висновки. Інтеграція штучного інтелекту в національну екосистему eHealth зумовлює фундаментальну зміну медичної парадигми від реактивної до превентивної та персоніфікованої, що дозволяє не лише мінімізувати діагностичні помилки за допомогою алгоритмів ML та DL, а й критично скорочувати час прийняття рішень при ургентних станах.

Масштабування інтелектуальних рішень, зокрема у сферах онкології та репродуктології, має виражений соціально-економічний ефект: від потенційного збереження сотень тисяч життів щорічно до суттєвої оптимізації бюджетних витрат та подолання кадрового дефіциту через автоматизацію рутинних функцій. Для України розвиток ШІ, поєднаний із Інтернетом медичних речей (IoMT) та нормативною гармонізацією з актами ЄС, є стратегічним інструментом забезпечення безбар'єрного доступу до якісних послуг та прозорого державного управління галуззю в умовах сучасних викликів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Copeland, B. J. (n.d.). Artificial intelligence (AI) | Definition, examples, types, applications, companies, & facts. *Encyclopedia Britannica*. https://www.britannica.com/technology/artificial-intelligence

2. Damar, M., Özen, A., Çakmak, Ü., Özoğuz, E., & Erenay, F. (2024). Super AI, generative AI, narrow AI and chatbots: An assessment of artificial intelligence technologies for the public sector and public administration. *Journal of AI, 8*, 83–106. https://doi.org/10.61969/jai.1512906

3. Волнянський, А. (2024, May). Що таке AI, ML та Data Science? [What is AI, ML and Data Science?]. *Colobridge*. https://blog.colobridge.net/uk/2024/05/what-is-ai-ml-and-data-science-ua/

4. Razavian, N., Knoll, F., & Geras, K. J. (2020). Artificial intelligence explained for nonexperts. *Seminars in Musculoskeletal Radiology, 24*(1), 3–11. https://doi.org/10.1055/s-0039-3401041

5. Sarker, I. H. (2021). Machine learning: Algorithms, real-world applications and research directions. *SN Computer Science, 2*(3), Article 160. https://doi.org/10.1007/s42979-021-00592-x

УДК 004.891
Горб К.С.[1], Желдак Т.А.[2]

РОЗРОБКА ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ПРИЗНАЧЕННЯ ЛІКАРЯМИ ПОЛІКЛІНІКИ ДОДАТКОВИХ ОБСТЕЖЕНЬ

У сучасних поліклініках лікарі часто стикаються з великим потоком пацієнтів, що викликає значне навантаження і підвищення ризику призначення обстежень «про всяк випадок» або, навпаки, ігнорування важливих тестів через людський фактор. Такі ситуації призводять до проблеми надлишкової діагностики (гіпердіагностики) і до нераціонального використання медичних ресурсів, створення черг на безкоштовні обстеження або підвищення фінансового тиску на пацієнта через використання платних обстежень. Отже, зважаючи на перехід до загальної цифровізації охорони здоров'я та до доказової медицини, актуальним стає використання інтелектуальних алгоритмів підтримки прийняття рішень і розробка відповідних експертних систем.

Метою даного дослідження було створення експертної системи для визначення доцільності призначення додаткових обстежень лікарями поліклініки.

У розробленій системі для визначення рівня потреби пацієнта в додатковому обстеженні використовувались такі критерії: кількість симптомів, кількість хронічних захворювань, вік, кількість обстежень за останній рік, рівень невизначеності діагнозу за оцінкою лікаря.

Всі критерії було обрано з відповідних причин.

Кількість симптомів вказує на степінь ураження організму. Чим більше симптомів, тим вища потреба в уточнюючих тестах.

Пацієнти, які мають хронічні захворювання, перебувають у групі ризику. Чим більша кількість хронічних захворювань, тим вища ймовірність, що нові скарги потребують глибокої перевірки, а не поверхневого лікування.

Вік виступає як коефіцієнт обережності: для пацієнтів похилого віку система автоматично підвищує пріоритет обстеження навіть при низькій кількості симптомів.

Кількість обстежень за останній рік допомагає оцінити динаміку та ефективність попереднього лікування. Якщо пацієнт пройшов багато обстежень, але проблема не вирішена, це свідчить про складність випадку або неефективність попередньої стратегії.

Рівень невизначеності діагнозу є суб'єктивною оцінкою лікаря. Цей показник враховує інтуїцію та досвід фахівця.

Для кожного з критеріїв були визначені лінгвістичні змінні і за допомогою фахівців з предметної області створено базу правил.

[1] Студентка гр.124-22-2 НТУ «Дніпровська політехніка»
[2] Завідувач кафедри САіУ НТУ «Дніпровська політехніка», к.т.н., доцент

Наприклад, терм-множину лінгвістичної змінної "Вік" визначено таким чином; {«молодий», «середній», «похилий», «старечій»}. Дана змінна визначена на інтервалі дійсних чисел від 25 до 75.

Для кожного терму задавалась трикутна функція належності. [1] Приклад функції належності для змінної "Рівень невизначеності діагнозу за оцінкою лікаря" приведено на рис. 1. Зокрема, рівень невизначеності діагнозу за оцінкою лікаря «низький»: (0, 0, 1.5) описується такою функцією:

$$\mu(x) = \begin{cases} \dfrac{x-0}{0-0}, 0 \le x \le 0; \\ \dfrac{1.5-x}{1.5-0}, 0 \le x \le 1.5; \\ 0, \text{в інших випадках.} \end{cases}$$

Рівень невизначеності діагнозу за оцінкою лікаря «середній»: (0, 1.5, 3)

$$\mu(x) = \begin{cases} \dfrac{x-0}{1.5-0}, 0 \le x \le 1.5; \\ \dfrac{3-x}{3-1.5}, 1.5 \le x \le 3; \\ 0, \text{в інших випадках.} \end{cases}$$

Рівень невизначеності діагнозу за оцінкою лікаря «високий»: (1.5, 3, 3)

$$\mu(x) = \begin{cases} \dfrac{x-1.5}{3-1.5}, 1.5 \le x \le 3; \\ \dfrac{3-x}{3-3}, 3 \le x \le 3; \\ 0, \text{в інших випадках.} \end{cases}$$

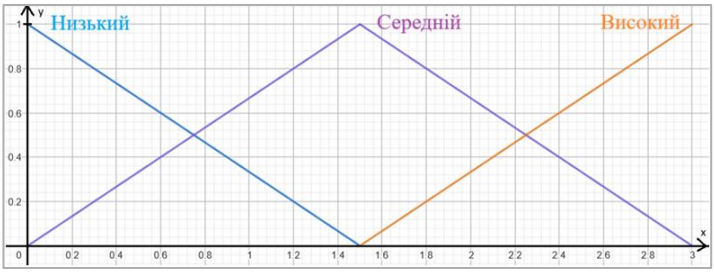


Рисунок 1 – Графік функції належності для термів лінгвістичної змінної "Рівень невизначеності діагнозу за оцінкою лікаря"

Результатом роботи системи є такі можливі рекомендації для лікаря:

- рівень потреби пацієнта в додатковому обстеженні «відсутній» – пацієнту достатньо стандартного огляду і додаткові обстеження не потрібні;
- рівень потреби пацієнта в додатковому обстеженні «низький» – пацієнту рекомендовано планове обстеження;
- рівень потреби пацієнта в додатковому обстеженні «помірний» – лікар призначить базові аналізи (загальний аналіз крові, загальний аналіз сечі, глюкоза крові);
- рівень потреби пацієнта в додатковому обстеженні «високий» – лікар призначить розширене обстеження (біохімічний аналіз крові, комп'ютерна томографія, магнітна резонансна томографія або вузькі спеціалісти);
- рівень потреби пацієнта в додатковому обстеженні «критичний» – лікар призначить негайне обстеження або госпіталізацію.

Механізм нечіткого виведення у своїй основі має базу знань, що формується фахівцями предметної області у вигляді сукупності нечітких предикативних правил вигляду «ЯКЩО А, ТО В». [2]

Для даної системи нечіткого виведення було складено 72 правила нечітких продукцій. Нечітку модель побудовано за допомогою бібліотеки Scikit-Fuzzy у середовищи Python.

Scikit-Fuzzy – це набір алгоритмів нечіткої логіки, призначених для використання в SciPy, написаних на мові програмування Python. Також застосовано бібліотеки NumPy для здійснення операцій над структурами даних та Matplotlib для створення графіків. [3]

Роботу експертної системи було перевірено на такому узагальненому пацієнті: "кількість симптомів" – 5, "кількість хронічних захворювань" – 2, "вік" – 67 повних років, кількість обстежень за останній рік" дорівнює 2, "рівень невизначеності за оцінкою лікаря" оцінюється в 1.5 бали. Зауважимо, що такий рівень невизначеності діагнозу свідчить про невпевненість лікаря, і враховуючи, що інші вхідні змінні мають досить високі значення, на інтуїтивному рівні можна зробити висновок про необхідність повного обстеження. Результат роботи системи для такого пацієнта наведений на рис. 2 – 3.

```
Введіть кількість симптомів: 5
Введіть кількість хронічних захворювань: 2
Введіть вік пацієнта (повних років) : 67
Введіть кількість обстежень за останній рік: 2
Введіть рівень невизначеності діагнозу за оцінкою лікаря: 1.5
Отримане значення = 7.23
Рівень потреби пацієнта в додатковому обстеженні = critical
```

Рисунок 2 – Результат роботи програми

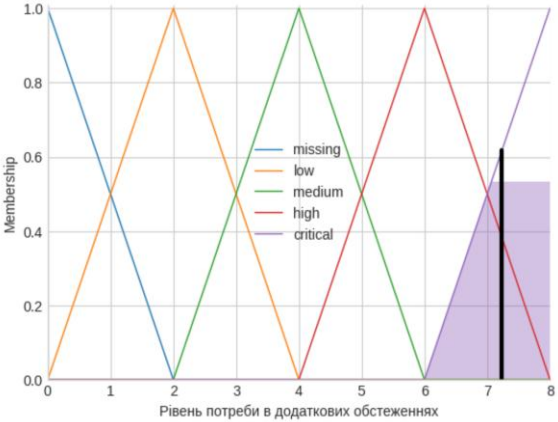


Рисунок 3 – Результат роботи програми на графіку

Як бачимо, процедура нечіткого виведення показує значення вихідної змінної «рівень потреби пацієнта в додатковому обстеженні» 7.23, що показано на графіку потовщеною лінією, і знаходиться у області, яка відповідає «критичному» значенню рівня потреби (фіолетовий трикутник). Отже, лікарю рекомендовано призначити пацієнту негайне обстеження або госпіталізацію.

Даний результат роботи експертної системи узгоджується з раніше висловленими інтуїтивними міркуваннями.

Висновки. Розроблена експертна система дозволяє лікарю під час первинного прийому витрачати менше часу на прийняття рішення стосовно додаткових обстежень та подальшого скерування пацієнта, а також знижується ймовірність призначення зайвих досліджень, що ведуть до додаткових витрат.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Верлань, А. А. (уклад.). (2023). *Нечітка логіка: алгоритми прийняття рішень: комп'ютерний практикум* [Навчальний посібник]. КПІ ім. Ігоря Сікорського.

2. Желдак, Т. А., Коряшкіна, Л. С., & Ус, С. А. (2020). *Нечіткі множини в системах управління та прийняття рішень* [Навчальний посібник]. НТУ «Дніпровська політехніка».

3. Albon, C. (2018). *Machine learning with Python cookbook: Practical solutions from preprocessing to deep learning*. O'Reilly Media. https://books.google.com.ua/books?id=Wq3NEAAAQBAJ

УДК 65.011:334.72
Скляренко М.Г.[1], Перерва П.Г.[2]

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІДПРИЄМСТВ МАЛОГО ТА СЕРЕДНЬОГО БІЗНЕСУ

Вступ. Сучасний етап розвитку світової економіки характеризується інтенсивною цифровізацією господарських процесів, зростанням ролі інформації як стратегічного ресурсу та посиленням конкуренції на ринках товарів і послуг. У цих умовах інформаційне забезпечення діяльності підприємств стає одним із ключових факторів ефективного управління та підвищення конкурентоспроможності бізнесу [1, 4, 10]. Особливої актуальності ця проблема набуває для підприємств малого та середнього бізнесу, які, з одного боку, є важливим елементом національної економіки, а з іншого — часто мають обмежені ресурси для формування сучасної інформаційної інфраструктури [2, 6, 9]. Малий і середній бізнес відіграє суттєву роль у формуванні економічної динаміки держави, забезпечуючи гнучкість ринкової системи, стимулюючи інноваційну активність, створюючи нові робочі місця та сприяючи розвитку регіональних економік [3, 5, 11]. Проте ефективність функціонування таких підприємств залежить від якості інформаційного забезпечення управлінських рішень, що передбачає формування системи збору, обробки, аналізу та використання інформації для підтримки управлінських процесів.

Основний матеріал. Інформаційне забезпечення підприємств малого та середнього бізнесу являє собою комплекс організаційних, технічних та методичних заходів, спрямованих на формування, обробку, зберігання та використання інформаційних ресурсів, необхідних для ефективного управління підприємством. Його ключовим призначенням є забезпечення управлінського персоналу достовірною, актуальною та релевантною інформацією для прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Система інформаційного забезпечення підприємства включає сукупність інформаційних ресурсів, програмного забезпечення, технічних засобів, методів обробки інформації, а також організаційних процедур, що забезпечують ефективний інформаційний обмін між структурними підрозділами підприємства та зовнішнім середовищем. У сучасних умовах така система повинна бути інтегрованою, адаптивною та здатною оперативно реагувати на зміни зовнішнього середовища.

Для підприємств малого та середнього бізнесу характерною є специфічна структура інформаційних потоків, що визначається масштабами діяльності, організаційною структурою та рівнем розвитку інформаційних технологій. На відміну від великих корпорацій, підприємства МСБ часто використовують спрощені інформаційні

[1] студент ОП «Економіка», НТУ «ХПІ»
[2] д.е.н., проф., професор кафедри економіки бізнесу і МЕВ НТУ «ХПІ»

системи, що обмежує можливості стратегічного аналізу та прогнозування розвитку підприємства.

Одним із ключових елементів інформаційного забезпечення є формування ефективної системи збору та обробки інформації. До основних джерел інформації для підприємств малого та середнього бізнесу належать внутрішні інформаційні ресурси підприємства, зокрема дані бухгалтерського обліку, фінансової звітності, статистичних показників діяльності, результати маркетингових досліджень, а також інформація про виробничі процеси. Водночас значну роль відіграє зовнішня інформація, що включає дані про ринкову кон'юнктуру, конкурентне середовище, зміни законодавства, технологічні інновації та споживчі тенденції. Ефективне використання інформації передбачає застосування сучасних методів її аналізу та інтерпретації. У цьому контексті важливого значення набувають інформаційно-аналітичні системи, які дозволяють автоматизувати процесиздійснювати фінансовий аналіз, прогнозувати результати діяльності підприємства та оцінювати ризики.

Важливим напрямом розвитку інформаційного забезпечення є інтеграція інформаційних систем із зовнішніми платформами, зокрема електронними торговельними майданчиками, логістичними системами, банківськими сервісами та державними інформаційними ресурсами. Така інтеграція сприяє підвищенню прозорості бізнес-процесів, спрощує взаємодію з партнерами та органами державної влади, а також створює передумови для розвитку електронної комерції.

Разом з тим формування ефективної системи інформаційного забезпечення підприємств малого та середнього бізнесу супроводжується низкою проблем. Серед основних можна виділити недостатній рівень фінансування цифрової трансформації, обмеженість кадрових ресурсів у сфері інформаційних технологій, низький рівень цифрової грамотності персоналу, а також відсутність стратегічного підходу до управління інформаційними ресурсами. Крім того, важливим аспектом є забезпечення інформаційної безпеки підприємства. Зростання обсягів цифрових даних та активне використання мережевих технологій підвищують ризики несанкціонованого доступу до інформації, втрати даних або кібератак. У зв'язку з цим підприємства малого та середнього бізнесу повинні приділяти значну увагу формуванню системи захисту інформаційних ресурсів, що включає використання сучасних засобів кібербезпеки, резервного копіювання даних та контролю доступу до інформаційних систем. У контексті розвитку інформаційної економіки важливим напрямом удосконалення інформаційного забезпечення підприємств малого та середнього бізнесу є формування інформаційної культури управління. Це передбачає розвиток компетенцій управлінського персоналу у сфері аналізу та використання інформації, впровадження сучасних методів

інформаційного менеджменту, а також формування корпоративної культури, орієнтованої на ефективне використання інформаційних ресурсів.

Висновки. Проведене дослідження дозволяє зробити висновок, що інформаційне забезпечення є одним із ключових факторів ефективного функціонування підприємств малого та середнього бізнесу в сучасних умовах господарювання. Формування ефективної системи інформаційного забезпечення забезпечує підвищення якості управлінських рішень, оптимізацію бізнес-процесів та підвищення конкурентоспроможності підприємств на ринку. Встановлено, що система інформаційного забезпечення підприємств малого та середнього бізнесу повинна включати інтегровані інформаційні ресурси, сучасні інформаційно-комунікаційні технології, ефективні методи обробки та аналізу даних, а також механізми інформаційної взаємодії із зовнішнім середовищем. Важливу роль у цьому процесі відіграє цифровізація бізнес-процесів, що сприяє підвищенню оперативності управління та забезпечує доступ до актуальної інформації.

Разом з тим для багатьох підприємств малого та середнього бізнесу характерними залишаються проблеми недостатнього рівня цифровізації, обмеженості фінансових та кадрових ресурсів, а також недостатньої уваги до питань інформаційної безпеки. Подолання цих проблем потребує комплексного підходу до розвитку інформаційної інфраструктури підприємств, впровадження сучасних цифрових технологій та підвищення рівня інформаційної культури управління.

Перспективними напрямами подальшого розвитку інформаційного забезпечення підприємств малого та середнього бізнесу є впровадження інтегрованих інформаційних систем управління, використання технологій аналітики великих даних, розвиток хмарних сервісів, а також посилення інформаційної взаємодії підприємств із цифровими платформами та електронними ринками.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Hutsan, O., Pererva, P., Kobieliev, V., Kosenko, A., & Kuchynskyi, V. (2018). Evaluating elasticity of costs for employee motivation at the industrial enterprises. *Problems and Perspectives in Management, 16*(1), 124-132. https://doi.org/10.21511/ppm.16(1).2018.12

2. Тютюнник, С. В., Перерва, П. Г., Лега, О. В., & Тютюнник, Ю. М. (2025). Прибуток як основа фінансової стійкості та стратегічного розвитку підприємства. *Актуальні питання економічних наук*, (7). https://doi.org/10.5281/zenodo.14790464

3. Nagy, S., & Pererva, P. G. (2018). Compliance principles. In *Universum View 9. Economics and management: Conference materials* (pp. 89-96). NilanLTD.

4. Pererva, P., Besprozvannykh, O., Tiutlikova, V., Kovalova, V., Kudina, O., & Dorokhov, O. (2019). Improvement of the method for selecting innovation projects on the platform of innovative supermarket. *TEM Journal, 8*(2), 454-461. https://doi.org/10.18421/TEM82-19

5. Kosenko, O., Tkachov, M., & Pererva, P. (2015). Economic problems of intellectual property. In *9th International Scientific Conference "Balance and Challenges", Miskolc-Lillafüred* (pp. 113-124). University of Misolc.

6. Перерва, П. Г., Лега, О. В., & Яловега, Л. В. (2024). Податкове планування як інструмент системи управління підприємством. *Вісник Полтавського державного аграрного університету. Серія: Економіка, управління та фінанси*, (1), 58–62. https://doi.org/10.32782/pdau.eco.2024.1.9

7. Косенко, О. П., Кобєлєва, Т. О., & Перерва, П. Г. (2014). Кон'юнктура технологічного ринку: оцінка ризиків комерціалізації об'єктів інтелектуальної власності. *Вісник НТУ "ХПІ": збірник наукових праць*, (33 [1076]), 76–87.

8. Ткачова, Н. П., & Перерва, П. Г. (2012). Моделювання стратегічної політики маркетингу конкурентоспроможності на засадах бенчмаркінгу. *Економічні науки: збірник наукових праць. Серія: Економіка та менеджмент*, 9(34, ч. 2), 10–23. https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/26762

9. Pererva, P., Gutsan, O., & Diachenko, T. (2017). Motivation of personnel on machine-building enterprise. In *Balance and Challenges, Miskolc-Lillafüred* (pp. 100-106). Miskolci Egyetem Gazdaságtudományi Kar.

10. Кобєлєва, Т.О., Перерва, П.Г., & Ткачова, Н.П. (2011). Методичні засади моніторингу кон'юнктури ринку асинхронних електродвигунів. *Управління розвитком*, (4), 258–260.

11. Перерва, П. Г., Мехович, С. А., & Погорєлов, М. І. (2008). *Організація та управління інноваційною діяльністю: підручник*. Харків: НТУ «ХПІ».

UDC 005.94:330.341.1+334.012.64

Keršys Arturas[1], Pererva Petro[2]

DIGITALIZATION OF TRANSPORT OPERATIONS

Introduction. In the modern conditions of global economic development, the transport sector plays a decisive role in ensuring the stability and efficiency of economic processes, the development of international trade, and the integration of national economies into global logistics systems. Transport infrastructure acts as a fundamental element of supply chains, connecting producers, distributors, and consumers within a

[1] PhD, Associate Professor, Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania
[2]Doctor of Economics, Professor, National Technical University "KhPI", Ukraine

unified economic environment. At the same time, the rapid development of digital technologies significantly transforms the traditional approaches to managing transport systems and logistics processes.

Digital transformation has become one of the key drivers of modernization in the transport sector [1, 4, 9]. The implementation of modern information and communication technologies allows enterprises to improve operational efficiency, increase the transparency of logistics processes, reduce transportation costs, and enhance the quality of customer service [2, 8]. Under conditions of growing competition and increasing complexity of global logistics networks, the digitalization of transport operations becomes a strategic factor in strengthening the competitiveness of transport enterprises and national economies [3, 6, 11].

Digitalization in transport involves not only the introduction of individual technological solutions but also a comprehensive transformation of management systems, logistics processes, and information flows [4, 12]. The integration of digital technologies such as automated management systems, real-time monitoring, artificial intelligence, and big data analytics allows the formation of new models for organizing transportation processes. These models ensure more efficient resource utilization, optimization of transport routes, reduction of delivery time, and improvement of logistics coordination.

The growing importance of digital technologies in the transport sector determines the need for systematic research into the main directions of digitalization of transport operations. The identification of key technological solutions and their practical application makes it possible to determine the prospects for further development of digital logistics systems and to improve the efficiency of transport infrastructure management.

Main Part. Digitalization of transport operations represents a complex process aimed at integrating advanced digital technologies into the management of transportation and logistics processes. One of the key areas of digital transformation in the transport sector is the implementation of modern transportation management systems. Such systems allow the automation of planning, organization, and control of transportation processes, ensuring the optimization of logistics routes and more efficient coordination between different participants in supply chains.

Transportation management systems enable enterprises to process large volumes of operational data related to cargo movement, vehicle availability, delivery schedules, and customer orders. Through the automation of these processes, companies can significantly reduce administrative costs, minimize operational errors, and improve the overall efficiency of logistics operations. In addition, digital platforms for transportation management facilitate the integration of transport enterprises with suppliers, customers, and logistics partners within unified information environments.

Another important direction of digitalization is the use of monitoring and tracking systems based on satellite navigation technologies. Modern GPS monitoring systems provide real-time information about the location of vehicles, cargo status, and route progress. This allows logistics managers to respond promptly to unexpected changes in transport flows, traffic congestion, or other operational disruptions. Continuous monitoring significantly improves the reliability and transparency of transportation processes and increases customer confidence in logistics services.

The integration of digital monitoring systems with other technological solutions creates additional opportunities for optimizing transport operations. For example, combining GPS data with information about traffic conditions, weather factors, and infrastructure limitations allows the formation of dynamic routing systems capable of adapting transportation routes in real time. Such systems contribute to reducing delivery time, lowering fuel consumption, and minimizing the environmental impact of transport operations.

A significant role in the digital transformation of transport operations is played by the use of big data technologies. Transport systems generate enormous volumes of operational data related to cargo flows, vehicle performance, logistics demand, and customer behavior. The analysis of these data sets allows enterprises to identify hidden patterns in logistics processes, forecast transportation demand, and optimize the allocation of resources.

Big data analytics also supports strategic decision-making in transport management. Through predictive analytics, companies can anticipate fluctuations in transportation demand, seasonal variations in logistics activity, and potential disruptions in supply chains. This allows enterprises to develop more effective logistics strategies and improve the stability and resilience of transport operations under conditions of economic uncertainty.

Another promising direction in the digitalization of transport operations is the introduction of automated and autonomous transport technologies. The development of driverless vehicles, robotic warehouse systems, and unmanned aerial vehicles for cargo delivery creates new opportunities for improving the efficiency and safety of logistics processes. Autonomous transport systems can operate continuously without human intervention, reducing the risk of operational errors and increasing the speed of delivery operations. Automation technologies also play an important role in warehouse logistics, which is closely connected with transport operations. Robotic systems for cargo handling, automated sorting lines, and digital warehouse management platforms ensure faster processing of shipments and more efficient coordination between transportation and storage processes.

The Internet of Things represents another key technological direction in the digitalization of transport operations. IoT technologies involve the use of interconnected sensors and devices installed on vehicles, containers, and warehouse facilities. These sensors collect real-time information about the

condition of cargo, temperature and humidity levels, vehicle performance parameters, and other critical indicators. Such information allows logistics operators to maintain full control over the transportation process and quickly respond to potential risks. The integration of IoT technologies with digital logistics platforms significantly enhances the reliability and safety of transport operations. For example, sensors installed in containers transporting perishable goods allow continuous monitoring of temperature conditions, ensuring product quality during transportation. At the same time, predictive maintenance systems based on IoT data help prevent vehicle breakdowns and reduce maintenance costs.

Another important aspect of digitalization is the development of integrated digital logistics platforms that connect all participants in transportation processes within a unified information environment. These platforms enable efficient communication between shippers, carriers, warehouse operators, and regulatory authorities. As a result, the transparency of logistics operations increases, bureaucratic procedures are simplified, and the time required for order processing and cargo documentation is reduced.

Electronic document management systems represent a crucial component of digital logistics infrastructure. The transition from paper-based documentation to digital formats allows enterprises to accelerate administrative procedures, reduce operational costs, and improve the accuracy of information exchange. Electronic waybills, digital certificates, and automated customs clearance systems contribute to the simplification of international transportation procedures and the development of cross-border logistics.

The implementation of artificial intelligence technologies also plays a growing role in the digitalization of transport operations. Intelligent decision-support systems can analyze complex logistics scenarios, evaluate potential risks, and recommend optimal operational strategies. Artificial intelligence algorithms can be used for route optimization, cargo distribution, demand forecasting, and risk management in multimodal transport chains.

In addition to economic benefits, digitalization also contributes to the development of environmentally sustainable transport systems. Digital technologies allow enterprises to optimize fuel consumption, reduce emissions of harmful substances, and implement energy-efficient logistics solutions. The use of digital route optimization systems and intelligent traffic management platforms contributes to the development of “green logistics” and sustainable transport infrastructure.

Conclusions. Thus, the digitalization of transport operations represents a key direction in the modernization of transport infrastructure and logistics systems in the context of global economic transformation. The integration of digital technologies into transportation management processes contributes to increasing operational efficiency, improving the reliability of

logistics services, and strengthening the competitiveness of transport enterprises.

The main directions of digitalization of transport operations include the implementation of transportation management systems, the use of GPS monitoring technologies, the application of big data analytics, the development of automated and autonomous transport systems, the integration of Internet of Things technologies, and the introduction of electronic document management platforms. The combined application of these technological solutions creates an integrated digital environment that ensures transparency, efficiency, and flexibility of transport processes.

Digital technologies enable enterprises to optimize resource utilization, improve route planning, enhance cargo safety, and reduce operational costs. At the same time, the digital transformation of transport operations contributes to the development of sustainable logistics systems and supports the integration of national transport infrastructures into global supply chains. Further research in this field should focus on the development of integrated digital platforms for multimodal transportation, the application of artificial intelligence and machine learning technologies for logistics management, the expansion of IoT monitoring systems, and the study of environmental and economic effects of digitalization in the transport sector. The implementation of these research directions will contribute to the creation of highly efficient, safe, and sustainable transport systems capable of meeting the challenges of the modern digital economy.

REFERENCES:

1. Pererva, P., Gutsan, O., & Diachenko, T. (2017). Motivation of personnel on machine-building enterprise. In *Balance and Challenges, Miskolc-Lillafüred* (pp. 100-106). Miskolci Egyetem Gazdaságtudományi Kar.
2. Тютюнник, С. В., Перерва, П. Г., Лега, О. В., & Тютюнник, Ю. М. (2025). Прибуток як основа фінансової стійкості та стратегічного розвитку підприємства. *Актуальні питання економічних наук*, (7). https://doi.org/10.5281/zenodo.14790464
3. Nagy, S., & Pererva, P. G. (2018). Compliance principles. In *Universum View 9. Economics and management: Conference materials* (pp. 89-96). NilanLTD.
4. Pererva, P., Hutsan, O., Kobieliev, V., Kosenko, A., & Kuchynskyi, V. (2018). Evaluating elasticity of costs for employee motivation at the industrial enterprises. *Problems and Perspectives in Management, 16*(1), 124-132. https://doi.org/10.21511/ppm.16(1).2018.12
5. Pererva, P., Besprozvannykh, O., Tiutlikova, V., Kovalova, V., Kudina, O., & Dorokhov, O. (2019). Improvement of the method for selecting innovation projects on the platform of innovative supermarket. *TEM Journal, 8*(2), 454-461. https://doi.org/10.18421/TEM82-19

6. Kosenko, O., Tkachov, M., & Pererva, P. (2015). Economic problems of intellectual property. In *9th International Scientific Conference "Balance and Challenges", Miskolc-Lillafüred* (pp. 113-124). University of Misolc.

7. Перерва, П. Г., Лега, О. В., & Яловега, Л. В. (2024). Податкове планування як інструмент системи управління підприємством. *Вісник Полтавського державного аграрного університету. Серія: Економіка, управління та фінанси*, (1), 58–62. https://doi.org/10.32782/pdau.eco.2024.1.9

8. Жегус, О.В., & Перерва, П.Г. (2011). Науково-інноваційний потенціал України та сучасні проблеми його використання // *Вісник НТУ "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Технічний прогрес та ефективність виробництва. Харків :* НТУ "ХПІ", 2011. № 26 (1168). 174-181.

9. Кобєлєва, Т. О., Перерва, П. Г., & Ткачова, Н. П. (2011). Методичні засади моніторингу кон'юнктури ринку асинхронних електродвигунів. *Управління розвитком*, (4), 258–260.

10. Перерва, П. Г., Мехович, С. А., & Погорєлов, М. І. (2008). *Організація та управління інноваційною діяльністю: підручник*. Харків: НТУ «ХПІ».

11. Ткачова, Н. П., & Перерва, П. Г. (2012). Моделювання стратегічної політики маркетингу конкурентоспроможності на засадах бенчмаркінгу. *Економічні науки: збірник наукових праць. Серія: Економіка та менеджмент*, 9(34, ч. 2), 10–23. https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/26762

12. Косенко, О. П., Кобєлєва, Т. О., & Перерва, П. Г. (2014). Кон'юнктура технологічного ринку: оцінка ризиків комерціалізації об'єктів інтелектуальної власності. *Вісник НТУ "ХПІ": збірник наукових праць*, (33 [1076]), 76–87.

UDC 004.9

Lebedovska V.V.[1], Dementiev S.Y.[2],
Yablochnikova V.O.[3]

APPLICATION OF INTERNET OF THINGS TECHNOLOGIES USING ARDUINO MICROCONTROLLER AND GOOGLE NEST MINI 2ND GENERATION

The rapid progression of information technologies in the 21st century has catalyzed the emergence of novel methodologies for automation and digital transformation across various domains of human endeavor. A notable

[1] Student, gr. IST-41d, Vinnytsia Trade and Economical Institute of STEU
[2] PhD in Technical Sciences, Docent, Dept. of Innovative Economics and Digital Technologies, "Vinnytsia Trade and Economical Institute of STEU", PhD, Docent,
[3] Senior Lecturer, Dept. of Foreign Philology and Translation, " Vinnytsia Trade and Economical Institute of STEU", Senior Lecturer

instance of this technological evolution is the Internet of Things (IoT), which integrates physical devices, sensors, and software into cohesive networks designed for the collection, transmission, and processing of data in real time. By enabling devices to interact and function independently, this framework presents substantial opportunities for the development of advanced, intelligent management systems. Modern enterprises seek to integrate the latest technologies to maintain competitive advantages and optimize their operations [1]. Today, IoT is actively applied in industry, healthcare, transportation, agriculture, and everyday life, particularly in smart home systems.

Microcontroller platforms are fundamental elements of contemporary IoT solutions, enabling communication between sensors, actuators, and network services. Among these platforms, Arduino stands out as one of the most commonly used for prototyping electronic systems. Its open design, user-friendly programming, and readily available hardware make Arduino a popular choice in both educational and research projects. The development of systems based on Arduino is relevant because it ensures comfortable conditions, energy savings, and ease of use regardless of location [2]. Arduino microcontrollers allow connecting various sensors, communication modules, relays, and other electronic components, enabling the creation of automated device control systems.

Microcontroller platforms play a central role in modern IoT solutions, enabling communication between sensors, actuators, and network services. Among these platforms, Arduino is one of the most widely used for prototyping electronic systems. Its open architecture, ease of programming, and readily available hardware components make it highly popular in both educational and research projects.

A key aspect of IoT systems is the user interface, which allows interaction with connected devices. In smart home environments, this function is often fulfilled by smart speakers with integrated voice assistants. A prime example is the Google Nest Mini 2nd generation, which incorporates Google Assistant to allow users to control devices through voice commands. Through integration with Google cloud services, the speaker can communicate with a wide array of IoT devices, offering a convenient and intuitive way to manage smart home systems.

The integration of Arduino with the Google Nest Mini enables various automated scenarios. For instance, Arduino can handle the operation of lighting, temperature, or ventilation systems, while the Nest Mini serves as the voice-controlled interface. In this setup, Arduino manages hardware components, such as temperature, light, or motion sensors, while the Nest Mini interprets voice commands and transmits them to the corresponding control services, providing seamless interaction between users and smart home devices.

Practical implementation of such a system may involve the use of

wireless communication modules, such as Wi-Fi or Bluetooth, which allow Arduino to connect to the Internet. Sensor data can then be transmitted to a server or cloud service for processing. A user, by issuing a voice command via Google Nest Mini, can activate a specific scenario, such as turning on the lights or starting ventilation. This integration creates more convenient and functional automation systems, enabling intelligent solutions that increase user comfort, optimize resource usage, and contribute to the development of modern digital technologies. Requirements definition is a key stage in the systems engineering process [3].

The use of Arduino together with voice assistants also offers significant benefits for education and research, as the availability of components and numerous open-source software libraries allows students and developers to build and experiment with their own IoT projects. The choice of the Arduino microcontroller is explained by its high efficiency and accessibility compared to other similar technologies [4].

The implementation of Internet of Things (IoT) technologies offers numerous benefits; however, it also introduces significant challenges. A critical concern is the safeguarding of information security and the protection of personal data. Given that IoT devices operate via Internet connectivity, they are inherently vulnerable to potential cyber threats. Consequently, the development of such systems necessitates a thorough focus on data protection measures, robust encryption protocols, and reliable mechanisms for secure user authentication.

REFERENCES:

1. Dankevych, V. Y., & Dankevych, A. Y. (2024). Internet of Things and artificial intelligence as key elements of innovative enterprise development in the era of digital challenges. *Aktualni Problemy Ekonomiky*, (7), 165–173.

2. Bahmet, O. D. (2024). Remote control system for lighting and temperature based on Arduino.

3. Kovalenko, O. Y., Smolii, V. M., & Li, L. (2025). Requirements engineering for Internet of Things systems. *Mathematical Machines and Systems*, (1), 64–75.

4. Katsimon, O. D. (2025). Device for controlling an LED strip lamp based on Arduino.

УДК 65.011:658
Нестеров Д.О.[1], Перерва П.Г.[2]

ОЦІНКА ІНФОРМАЦІЙНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

Вступ. У сучасних умовах розвитку економіки інформація перетворюється на один із ключових ресурсів функціонування підприємств поряд із матеріальними, трудовими та фінансовими ресурсами [1, 5]. Інтенсивний розвиток інформаційно-комунікаційних технологій, поширення цифрових платформ та формування інформаційного суспільства суттєво змінюють підходи до управління виробничими системами [2, 8]. У цих умовах особливого значення набуває формування та ефективне використання інформаційних можливостей промислових підприємств, які забезпечують підвищення ефективності управління, оптимізацію виробничих процесів та зміцнення конкурентних позицій на ринку [3, 11].

Промислові підприємства функціонують у складному інформаційному середовищі, що характеризується значними обсягами даних, високою швидкістю інформаційних потоків та необхідністю оперативного прийняття управлінських рішень [4, 9, 12]. У таких умовах ефективність діяльності підприємства значною мірою залежить від рівня розвитку його інформаційного потенціалу, який визначається наявністю інформаційних ресурсів, сучасних інформаційних технологій, систем обробки даних та кваліфікованого персоналу.

Оцінка інформаційних можливостей промислового підприємства є важливим інструментом визначення рівня його інформаційної забезпеченості, здатності до ефективного використання інформаційних ресурсів та адаптації до змін зовнішнього середовища [7]. Вона дозволяє виявити сильні та слабкі сторони інформаційної інфраструктури підприємства, визначити напрями її вдосконалення та сформувати ефективну інформаційну стратегію розвитку [10].

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення ролі інформаційного забезпечення у процесах управління промисловими підприємствами, а також зростанням значення цифрових технологій у забезпеченні ефективності виробничих і управлінських процесів. У зв'язку з цим дослідження методичних підходів до оцінювання інформаційних можливостей підприємств набуває важливого наукового та практичного значення.

Основний матеріал. Інформаційні можливості промислового підприємства можна визначити як сукупність інформаційних ресурсів, технологій, організаційних механізмів та компетенцій персоналу, які забезпечують ефективне формування, обробку, зберігання та

[1] аспірант, НТУ «ХПІ»
[2] д.е.н., проф., професор кафедри економіки бізнесу і МЕВ НТУ «ХПІ»

використання інформації у процесі управління підприємством. Вони виступають важливим елементом інформаційного потенціалу підприємства та визначають його здатність до ефективної взаємодії з інформаційним середовищем.

Структура інформаційних можливостей підприємства включає декілька взаємопов'язаних складових. Першою складовою є інформаційні ресурси підприємства, які включають внутрішню та зовнішню інформацію, необхідну для здійснення виробничої та управлінської діяльності. До внутрішніх інформаційних ресурсів належать дані бухгалтерського обліку, фінансової звітності, виробничих показників, маркетингових досліджень, а також інформація про кадровий потенціал підприємства. Зовнішні інформаційні ресурси охоплюють відомості про ринкову кон'юнктуру, діяльність конкурентів, технологічні інновації, зміни законодавства та інші фактори зовнішнього середовища.

Другою важливою складовою інформаційних можливостей є інформаційна інфраструктура підприємства, яка включає технічні засоби обробки інформації, програмне забезпечення, комунікаційні мережі та інформаційні системи управління. Сучасні інформаційні системи дозволяють автоматизувати значну частину управлінських процесів, забезпечити оперативний доступ до інформаційних ресурсів та підвищити ефективність обробки даних.

Особливу роль у формуванні інформаційних можливостей відіграють інформаційні технології, які забезпечують інтеграцію різних інформаційних потоків підприємства. Використання систем управління ресурсами підприємства, електронного документообігу, аналітичних платформ та систем підтримки прийняття управлінських рішень дозволяє значно підвищити ефективність управління виробничими процесами. Важливим елементом інформаційних можливостей підприємства є також кадровий потенціал у сфері інформаційних технологій. Рівень підготовки персоналу, його здатність працювати з інформаційними системами та використовувати сучасні методи обробки інформації безпосередньо впливають на ефективність використання інформаційних ресурсів підприємства. Оцінка інформаційних можливостей промислового підприємства може здійснюватися за допомогою системи кількісних та якісних показників. До таких показників належать рівень автоматизації управлінських процесів, ступінь інтеграції інформаційних систем, швидкість обробки інформації, доступність інформаційних ресурсів, рівень захисту інформації та ефективність використання інформаційних технологій.

Важливе значення має також оцінка рівня цифровізації підприємства. Вона передбачає аналіз використання цифрових технологій у виробничих, логістичних, фінансових та управлінських процесах. Високий рівень цифровізації сприяє підвищенню

ефективності використання інформаційних ресурсів та забезпечує швидку адаптацію підприємства до змін зовнішнього середовища.

Разом з тим оцінка інформаційних можливостей підприємства дозволяє виявити ряд проблем, що стримують розвиток інформаційного потенціалу. До таких проблем можна віднести недостатній рівень інтеграції інформаційних систем, обмеженість фінансових ресурсів для впровадження сучасних технологій, недостатню кваліфікацію персоналу у сфері інформаційних технологій, а також недостатню увагу до питань інформаційної безпеки.

З метою підвищення інформаційних можливостей промислових підприємств необхідно впроваджувати комплексні програми цифрової трансформації, модернізувати інформаційну інфраструктуру, розвивати корпоративні інформаційні системи та підвищувати рівень інформаційної культури персоналу.

Висновки. Проведене дослідження дозволяє зробити висновок, що інформаційні можливості промислового підприємства є важливою складовою його загального потенціалу та визначають ефективність управління виробничими і господарськими процесами. В умовах цифровізації економіки інформаційні ресурси та технології набувають стратегічного значення для забезпечення конкурентоспроможності підприємств. Встановлено, що інформаційні можливості підприємства формуються під впливом таких чинників, як рівень розвитку інформаційної інфраструктури, наявність сучасних інформаційних систем, ефективність організації інформаційних потоків та рівень підготовки персоналу. Комплексна оцінка цих складових дозволяє визначити рівень інформаційного розвитку підприємства та сформувати напрями його подальшої модернізації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Жегус, О.В., & Перерва, П.Г. (2011). Науково-інноваційний потенціал України та сучасні проблеми його використання // *Вісник НТУ "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Технічний прогрес та ефективність виробництва. Харків :* НТУ "ХПІ", 2011. № 26 (1168). 174-181.

2. Hutsan, O., Pererva, P., Kobieliev, V., Kosenko, A., & Kuchynskyi, V. (2018). Evaluating elasticity of costs for employee motivation at the industrial enterprises. *Problems and Perspectives in Management, 16*(1), 124-132. https://doi.org/10.21511/ppm.16(1).2018.12

3. Тютюнник, С. В., Перерва, П. Г., Лега, О. В., & Тютюнник, Ю. М. (2025). Прибуток як основа фінансової стійкості та стратегічного розвитку підприємства. *Актуальні питання економічних наук*, (7). https://doi.org/10.5281/zenodo.14790464

4. Nagy, S., & Pererva, P. G. (2018). Compliance principles. In *Universum View 9. Economics and management: Conference materials* (pp. 89-96). NilanLTD.

5. Pererva, P., Besprozvannykh, O., Tiutlikova, V., Kovalova, V., Kudina, O., & Dorokhov, O. (2019). Improvement of the method for selecting innovation projects on the platform of innovative supermarket. *TEM Journal, 8*(2), 454-461. https://doi.org/10.18421/TEM82-19

6. Kosenko, O., Tkachov, M., & Pererva, P. (2015). Economic problems of intellectual property. In *9th International Scientific Conference "Balance and Challenges", Miskolc-Lillafüred* (pp. 113-124). University of Misolc.

7. Перерва, П. Г., Лега, О. В., & Яловега, Л. В. (2024). Податкове планування як інструмент системи управління підприємством. *Вісник Полтавського державного аграрного університету. Серія: Економіка, управління та фінанси*, (1), 58–62. https://doi.org/10.32782/pdau.eco.2024.1.9

8. Косенко, О. П., Кобєлєва, Т. О., & Перерва, П. Г. (2014). Кон'юнктура технологічного ринку: оцінка ризиків комерціалізації об'єктів інтелектуальної власності. *Вісник НТУ "ХПІ": збірник наукових праць*, (33 [1076]), 76–87.

9. Ткачова, Н. П., & Перерва, П. Г. (2012). Моделювання стратегічної політики маркетингу конкурентоспроможності на засадах бенчмаркінгу. *Економічні науки: збірник наукових праць. Серія: Економіка та менеджмент*, 9(34, ч. 2), 10–23. https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/26762

10. Pererva, P., Gutsan, O., & Diachenko, T. (2017). Motivation of personnel on machine-building enterprise. In *Balance and Challenges, Miskolc-Lillafüred* (pp. 100-106). Miskolci Egyetem Gazdaságtudományi Kar.

11. Кобєлєва, Т.О., Перерва, П.Г., & Ткачова, Н.П. (2011). Методичні засади моніторингу кон'юнктури ринку асинхронних електродвигунів. *Управління розвитком*, (4), 258–260.

12. Перерва, П. Г., Мехович, С. А., & Погорєлов, М. І. (2008). *Організація та управління інноваційною діяльністю: підручник*. Харків: НТУ «ХПІ».

UDC 004:336.7

Moroz Karina[1], Pererva Petro[2]

DIGITALIZATION OF FINANCIAL OPERATIONS

Introduction. Financial operations are an important component of the activities of any business entity, as they ensure the movement of financial resources, the formation of payment flows, the implementation of settlements between counterparties, and the management of financial risks. In the traditional economy, a significant part of such operations was carried out in paper-based or partially automated forms, which limited the speed of

[1]CFO, Enuda AB, Helsingborg, Sweden
[2]Doctor of Economics, Professor, National Technical University "KhPI", Ukraine

financial processes, complicated the control of financial flows, and increased the costs of servicing financial transactions [1, 4, 9, 11]. The introduction of digital technologies in the financial sphere contributes to a significant increase in the efficiency of financial operations, ensures the automation of settlement processes, improves the level of financial transparency, and creates new opportunities for the development of innovative financial services. In particular, the widespread use of electronic payment systems, mobile banking, cloud financial services, and big data processing technologies significantly changes the structure of the modern financial infrastructure [2, 5].

At the same time, the processes of digitalization of financial operations are accompanied by the emergence of new challenges related to ensuring cybersecurity, protecting financial data, improving the regulatory and legal framework for digital financial services, and developing appropriate competencies in the field of financial technologies. In this regard, the study of the theoretical and practical aspects of the digitalization of financial operations acquires significant scientific and practical importance [3, 8, 12].

The purpose of this report is to study the essence and characteristics of the digitalization of financial operations, as well as to determine the main directions for increasing the efficiency of the use of digital technologies in the field of financial activities.

Main material. The digitalization of financial operations represents the process of transforming traditional financial processes through the use of modern digital technologies, information systems, and electronic communication platforms. Its main objective is to increase the efficiency of financial transactions, reduce the time required to perform operations, lower the costs of financial services, and ensure a higher level of transparency of financial flows [6, 7, 10]. In the modern economy, financial operations cover a wide range of processes, among which payment transactions, banking settlements, credit operations, management of investment resources, as well as financial control and financial analysis are of particular importance. The digitalization of these processes involves the use of electronic payment instruments, automated financial management systems, digital banking platforms, and analytical systems for processing financial data.

One of the key directions in the digitalization of financial operations is the development of electronic payment systems. The use of digital payment instruments ensures the fast and secure execution of financial transactions, contributes to reducing payment processing costs, and increases the accessibility of financial services for a wide range of users. Electronic payment systems allow financial operations to be carried out in real time, which significantly improves the efficiency of cash flow management.

An important role in the digitalization of financial operations is played by remote banking service systems. Mobile and internet banking allow customers to perform a wide range of financial operations without the need

to physically visit banking institutions. This contributes to increasing the convenience of financial services, reducing banks' operational costs, and expanding opportunities for financial interaction between economic entities.

Another important direction in the development of digital financial technologies is the use of automated financial management systems in enterprises. Such systems allow the automation of accounting, financial planning, budgeting, and financial transaction control. Through the integration of financial data into a single enterprise information system, more efficient management of financial resources is ensured and the quality of managerial decision-making is improved.

Under modern conditions, the use of big data analysis technologies in the financial sphere is becoming increasingly widespread. Analytical systems make it possible to process large volumes of financial information, identify patterns in financial flows, forecast financial risks, and optimize financial strategies of enterprises. This creates new opportunities for improving the efficiency of financial management and developing innovative financial products.

An important aspect of the digitalization of financial operations is also the use of blockchain and distributed ledger technologies. The application of such technologies makes it possible to increase the security of financial transactions, ensure transparency of financial operations, and reduce the risks of fraud. In addition, blockchain technologies create the preconditions for the development of new models of financial services, particularly in the field of international settlements and digital assets.

At the same time, the digitalization of financial operations is associated with certain risks and challenges. Among the main problems are cybersecurity threats, risks of unauthorized access to financial data, the need to improve the regulatory and legal framework for digital financial technologies, and the necessity of developing a high level of digital literacy among users of financial services.

Particular attention should be paid to the protection of financial information. The growth in the volume of electronic financial transactions increases the risk of cyberattacks and financial fraud. Therefore, an important task is the implementation of modern cybersecurity systems, the use of cryptographic methods of information protection, multi-factor user authentication, and financial transaction monitoring systems.

In order to increase the efficiency of the digitalization of financial operations, it is necessary to develop a comprehensive strategy for the development of financial technologies. Such a strategy should include the modernization of financial infrastructure, the development of innovative financial services, the improvement of the regulatory framework for digital financial operations, and the enhancement of digital competencies among participants in the financial market.

Conclusions. The conducted research allows concluding that the digitalization of financial operations is an important factor in the transformation of the modern financial system and in improving the efficiency of financial activities of business entities. The use of digital technologies ensures the automation of financial processes, accelerates financial transactions, increases the transparency of financial flows, and reduces the costs of servicing financial operations. It has been established that the key directions of the digitalization of financial operations include the development of electronic payment systems, the introduction of remote banking services, the use of automated financial management systems, the application of analytical technologies for processing financial data, and the implementation of blockchain technologies.

At the same time, the effective use of digital financial technologies requires ensuring an appropriate level of cybersecurity, improving the regulatory framework for digital financial operations, and increasing the level of digital competence among users of financial services. An important task is also the development of a modern financial infrastructure capable of ensuring the reliable functioning of digital financial systems.

REFERENCES:

1. Gutsan, O., Pererva, P., & Diachenko, T. (2017). Motivation of personnel on machine-building enterprise. In *Balance and Challenges, Miskolc-Lillafüred* (pp. 100-106). Miskolci Egyetem Gazdaságtudományi Kar.
2. Перерва, П. Г., Лега, О. В., & Яловега, Л. В. (2024). Податкове планування як інструмент системи управління підприємством. *Вісник Полтавського державного аграрного університету. Серія: Економіка, управління та фінанси*, (1), 58–62. https://doi.org/10.32782/pdau.eco.2024.1.9
3. Жегус, О.В., & Перерва, П.Г. (2011). Науково-інноваційний потенціал України та сучасні проблеми його використання // *Вісник НТУ "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Технічний прогрес та ефективність виробництва. Харків :* НТУ "ХПІ", 2011. № 26 (1168). 174-181.
4. Косенко, О. П., Кобєлєва, Т. О., & Перерва, П. Г. (2014). Кон'юнктура технологічного ринку: оцінка ризиків комерціалізації об'єктів інтелектуальної власності. *Вісник НТУ "ХПІ": збірник наукових праць*, (33 [1076]), 76–87.
5. Kosenko, O., Tkachov, M., & Pererva, P. (2015). Economic problems of intellectual property. In *9th International Scientific Conference "Balance and Challenges", Miskolc-Lillafüred* (pp. 113-124). University of Misolc.
6. Кобєлєва, Т. О., Перерва, П. Г., & Ткачова, Н. П. (2011). Методичні засади моніторингу кон'юнктури ринку асинхронних електродвигунів. *Управління розвитком*, (4), 258–260.
7. Ткачова, Н. П., & Перерва, П. Г. (2012). Моделювання стратегічної політики маркетингу конкурентоспроможності на засадах бенчмаркінгу. *Економічні науки: збірник наукових праць. Серія:*

Економіка та менеджмент, 9(34, ч. 2), 10–23. https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/26762

8. Pererva, P., Besprozvannykh, O., Tiutlikova, V., Kovalova, V., Kudina, O., & Dorokhov, O. (2019). Improvement of the method for selecting innovation projects on the platform of innovative supermarket. *TEM Journal, 8*(2), 454-461. https://doi.org/10.18421/TEM82-19

9. Тютюнник, С. В., Перерва, П. Г., Лега, О. В., & Тютюнник, Ю. М. (2025). Прибуток як основа фінансової стійкості та стратегічного розвитку підприємства. *Актуальні питання економічних наук*, (7). https://doi.org/10.5281/zenodo.14790464

10. Перерва, П. Г., Мехович, С. А., & Погорєлов, М. І. (2008). *Організація та управління інноваційною діяльністю: підручник*. Харків: НТУ «ХПІ».

11. Nagy, S., & Pererva, P. G. (2018). Compliance principles. In *Universum View 9. Economics and management: Conference materials* (pp. 89-96). NilanLTD.

12. Pererva, P., Hutsan, O., Kobieliev, V., Kosenko, A., & Kuchynskyi, V. (2018). Evaluating elasticity of costs for employee motivation at the industrial enterprises. *Problems and Perspectives in Management, 16*(1), 124-132. https://doi.org/10.21511/ppm.16(1).2018.12

UDC 004:316.772.4

Bako Tomas[1], Pererva Petro[2]

RESEARCH ON INFORMATION LITERACY OF THE POPULATION

Introduction. Information literacy refers to the ability of individuals to effectively search for, analyze, evaluate, and use information in various spheres of activity [1, 5, 9]. In the context of digital transformation, information literacy includes not only traditional skills of working with information sources but also the ability to navigate digital information environments, critically evaluate information flows, use digital tools, and ensure the secure use of information technologies [2, 7, 11]. The development of these competencies is an important prerequisite for the effective participation of individuals in modern economic and social processes [3, 8, 10].

The problem of information literacy of the population has become particularly relevant due to the rapid growth of digital information resources, the expansion of online communication platforms, and the increasing volume of information circulating in digital environments [4]. In the absence of

[1]Master of Business Administration Faculty of Economics University of Miskolc, Miskolc, Hungary

[2]Doctor of Economics, Professor, National Technical University "KhPI", Ukraine

appropriate information competencies, individuals may face difficulties in identifying reliable information, protecting personal data, and effectively using digital technologies for professional and everyday purposes.

Moreover, the level of information literacy directly affects the quality of decision-making in both individual and collective contexts. The ability to critically evaluate information sources, identify misinformation, and apply analytical approaches to information processing contributes to improving the effectiveness of social and economic activities [12]. Therefore, research on information literacy of the population is of significant scientific and practical importance.

The purpose of this report is to analyze the essence and key characteristics of information literacy of the population, to identify the main factors influencing its development, and to determine the priority directions for improving information competencies in the context of the digital transformation of society.

Main material. Information literacy of the population represents a complex set of competencies that enable individuals to effectively interact with information resources and digital technologies. It includes the ability to identify information needs, locate relevant information sources, evaluate the credibility and relevance of information, process and interpret data, and use information in a responsible and effective manner.

In the modern information society, the concept of information literacy has significantly expanded. It encompasses not only traditional skills related to information retrieval and analysis but also digital literacy, media literacy, and data literacy. These components collectively form the foundation for effective participation in digital communication processes and the use of modern technological tools.

One of the fundamental components of information literacy is the ability to search for information efficiently. The development of digital technologies has significantly increased the availability of information resources; however, this has also led to the emergence of challenges related to the identification of relevant and reliable information. Therefore, individuals must possess the skills required to use search engines, digital libraries, databases, and other online resources effectively.

Another important component of information literacy is the ability to critically evaluate information. In the digital environment, individuals encounter a wide range of information sources that may vary significantly in terms of reliability and credibility. The ability to assess the accuracy, objectivity, and relevance of information becomes a crucial factor in preventing the spread of misinformation and ensuring the quality of knowledge acquisition.

The processing and interpretation of information also play an important role in the formation of information literacy. Modern information systems generate large volumes of data that require analytical processing. The

ability to analyze data, identify patterns, and interpret information in a meaningful context contributes to improving the effectiveness of decision-making processes in various spheres of activity.

Another important aspect of information literacy is the responsible use of information technologies. This includes understanding the ethical and legal aspects of information use, respecting intellectual property rights, protecting personal data, and ensuring cybersecurity in digital environments. In the context of increasing cyber threats and data privacy concerns, the development of responsible digital behavior is becoming increasingly important.

Research on information literacy of the population indicates that its level is influenced by several factors, including the level of education, access to digital technologies, the availability of information infrastructure, and the effectiveness of educational and training programs. Educational institutions play a particularly important role in developing information literacy competencies, as they provide individuals with the fundamental skills required for effective interaction with information resources.

Government policies and national digital development strategies also play an important role in promoting information literacy. Public initiatives aimed at expanding access to digital technologies, developing digital education programs, and supporting lifelong learning contribute to improving the level of information literacy among different social groups. At the same time, certain challenges remain in the process of developing information literacy among the population. These include digital inequality between different regions and social groups, insufficient digital competencies among certain categories of the population, and the rapid pace of technological change that requires continuous updating of information skills.

In order to address these challenges, it is necessary to develop comprehensive strategies aimed at promoting information literacy across society. Such strategies should include the modernization of educational programs, the integration of digital competencies into formal and informal education systems, the development of public information campaigns, and the expansion of access to digital infrastructure.

Conclusions. The conducted research demonstrates that information literacy of the population is an essential element of the development of the modern information society and the digital economy. A high level of information literacy enables individuals to effectively interact with information resources, critically evaluate information flows, and use digital technologies for professional and social activities.

It has been established that information literacy is a multidimensional concept that includes competencies related to information search, evaluation, analysis, and responsible use of digital technologies. The development of these competencies contributes to improving the quality of decision-making

processes, enhancing digital participation, and strengthening the resilience of society to misinformation and information risks.

At the same time, the formation of a high level of information literacy requires coordinated efforts from educational institutions, government bodies, and the private sector. The development of educational programs aimed at enhancing digital competencies, the expansion of access to digital infrastructure, and the implementation of public initiatives promoting information culture are important directions in this process.

REFERENCES:

1. Gutsan, O., Pererva, P., & Diachenko, T. (2017). Motivation of personnel on machine-building enterprise. In *Balance and Challenges, Miskolc-Lillafüred* (pp. 100-106). Miskolci Egyetem Gazdaságtudományi Kar.

2. Перерва, П. Г., Лега, О. В., & Яловега, Л. В. (2024). Податкове планування як інструмент системи управління підприємством. *Вісник Полтавського державного аграрного університету. Серія: Економіка, управління та фінанси*, (1), 58–62. https://doi.org/10.32782/pdau.eco.2024.1.9

3. Косенко, О. П., Кобєлєва, Т. О., & Перерва, П. Г. (2014). Кон'юнктура технологічного ринку: оцінка ризиків комерціалізації об'єктів інтелектуальної власності. *Вісник НТУ "ХПІ": збірник наукових праць*, (33 [1076]), 76–87.

4. Жегус, О.В., & Перерва, П.Г. (2011). Науково-інноваційний потенціал України та сучасні проблеми його використання // *Вісник НТУ "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Технічний прогрес та ефективність виробництва. Харків :* НТУ "ХПІ", 2011. № 26 (1168). 174-181.

5. Kosenko, O., Tkachov, M., & Pererva, P. (2015). Economic problems of intellectual property. In *9th International Scientific Conference "Balance and Challenges", Miskolc-Lillafüred* (pp. 113-124). University of Misolc.

6. Кобєлєва, Т. О., Перерва, П. Г., & Ткачова, Н. П. (2011). Методичні засади моніторингу кон'юнктури ринку асинхронних електродвигунів. *Управління розвитком*, (4), 258–260.

7. Ткачова, Н. П., & Перерва, П. Г. (2012). Моделювання стратегічної політики маркетингу конкурентоспроможності на засадах бенчмаркінгу. *Економічні науки: збірник наукових праць. Серія: Економіка та менеджмент*, 9(34, ч. 2), 10–23. https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/26762

8. Pererva, P., Besprozvannykh, O., Tiutlikova, V., Kovalova, V., Kudina, O., & Dorokhov, O. (2019). Improvement of the method for selecting innovation projects on the platform of innovative supermarket. *TEM Journal, 8*(2), 454-461. https://doi.org/10.18421/TEM82-19

9. Тютюнник, С. В., Перерва, П. Г., Лега, О. В., & Тютюнник, Ю. М. (2025). Прибуток як основа фінансової стійкості та стратегічного розвитку підприємства. *Актуальні питання економічних наук*, (7). https://doi.org/10.5281/zenodo.14790464

10. Перерва, П. Г., Мехович, С. А., & Погорєлов, М. І. (2008). *Організація та управління інноваційною діяльністю: підручник*. Харків: НТУ «ХПІ».

11. Nagy, S., & Pererva, P. G. (2018). Compliance principles. In *Universum View 9. Economics and management: Conference materials* (pp. 89-96). NilanLTD.

12. Pererva, P., Hutsan, O., Kobieliev, V., Kosenko, A., & Kuchynskyi, V. (2018). Evaluating elasticity of costs for employee motivation at the industrial enterprises. *Problems and Perspectives in Management, 16*(1), 124-132. https://doi.org/10.21511/ppm.16(1).2018.12

UDC 004:685.34:65.012

Kniaz Viktor[1], Pererva Petro[2]

INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE LEATHER INDUSTRY

Introduction. The leather industry is an important component of light industry and plays a significant role in shaping the production potential of the economy. Enterprises in this sector ensure the production of leather materials that are widely used in the manufacture of footwear, leather goods, clothing, furniture, and other consumer products [1, 5, 9]. At the same time, modern economic conditions impose new requirements on production efficiency, environmental friendliness of technological processes, rational use of resources, and rapid response to changes in market conditions [2, 11].

Under such circumstances, information technologies become an important tool for the modernization of the leather industry. They provide automation of technological processes, optimization of production management systems, improvement of product quality control accuracy, and the creation of effective systems for information support of managerial decision-making [3, 8]. The use of digital technologies also contributes to the integration of enterprises into global production and logistics networks.

Despite the significant potential of information technologies, many leather industry enterprises face problems related to an insufficient level of production digitalization, limited investment resources, and an insufficient level of personnel training in the field of digital technologies [10]. In this regard, the study of the features of the use of information technologies in the leather industry and the identification of prospects for their further development is an important scientific task.

The purpose of this report is to study the role and characteristics of the application of information technologies in the leather industry, as well as to

[1]Industrial Engineer, Industrial Automation Expert, Director of Company "Hidemont", Florida, USA

[2]Doctor of Economics, Professor, National Technical University "KhPI", Ukraine

determine the main directions for improving the efficiency of their use in the production and management activities of enterprises in this sector.

Main material. Information technologies in the leather industry include a complex of software, technical, and organizational tools that ensure the collection, processing, storage, and transmission of information necessary for managing production processes and the economic activities of enterprises. Their use contributes to increasing production efficiency, reducing resource costs, improving product quality control, and optimizing logistics processes.

One of the key directions of the use of information technologies in the leather industry is the automation of technological processes of leather processing. The production of leather materials includes complex chemical and technological operations such as raw material preservation, tanning, dyeing, drying, and finishing of leather. Modern automated process control systems allow precise monitoring of production parameters, including temperature, humidity, concentration of chemical reagents, and duration of technological operations. This contributes to increasing the stability of the production process and ensuring high quality of finished products.

An important role in the modernization of leather industry enterprises is played by computer-aided design and product modeling systems. The use of specialized software makes it possible to perform computer modeling of leather product designs, optimize material cutting processes, and reduce raw material losses. Such technologies ensure more rational use of resources and contribute to increasing the economic efficiency of production.

One of the important aspects of the use of information technologies is the creation of integrated management systems for leather industry enterprises. Such systems include software complexes that ensure enterprise resource management, production planning, accounting of material flows, financial control, and personnel management. Integration of various functional subsystems into a single information system makes it possible to increase the transparency of business processes and ensure effective coordination of the activities of different enterprise departments.

Under modern conditions, technologies for digital production monitoring are becoming increasingly important. The use of sensors, production data collection systems, and analytical platforms allows continuous monitoring of equipment condition, production efficiency, and product quality. Analysis of the obtained data makes it possible to promptly identify deviations in the production process and make appropriate managerial decisions.

A separate area of the use of information technologies is product quality management in the leather industry. Modern information systems make it possible to carry out automated control of product parameters, create databases on the characteristics of materials, and analyze the compliance of products with established standards. This is particularly important in the

context of increasing requirements for the quality and environmental safety of leather materials.

Information technologies also play an important role in the logistics processes of leather industry enterprises. The use of inventory management systems, electronic document management, and digital logistics platforms allows optimization of raw material supply processes, product transportation, and interaction with suppliers and customers. As a result, storage costs are reduced, the speed of order fulfillment increases, and the quality of customer service improves.

In the context of the digital transformation of industry, the use of big data analysis technologies is becoming increasingly important. The application of analytical tools allows leather industry enterprises to forecast product demand, analyze market trends, optimize production programs, and improve the effectiveness of marketing activities.

At the same time, the implementation of information technologies in the leather industry is associated with certain difficulties. The main problems include significant investment costs for production modernization, insufficient digital competencies of employees, and the complexity of integrating new information systems with existing production technologies. In addition, an important aspect is ensuring the information security of enterprises, which becomes particularly relevant due to the growth of digital data volumes and the active use of network technologies.

Conclusions. The conducted research allows concluding that information technologies play an important role in the development of the leather industry and contribute to improving the efficiency of production and management processes. Their use ensures the automation of technological operations, optimization of resource utilization, improvement of product quality, and better coordination of enterprise activities. It has been established that modern information technologies make it possible to implement digital monitoring of production processes, introduce integrated enterprise management systems, apply analytical tools for forecasting market trends, and optimize production programs. This creates the preconditions for increasing the competitiveness of leather industry enterprises in global markets. At the same time, the effective implementation of information technologies requires significant investment resources, the development of digital competencies of personnel, and the formation of a modern information infrastructure of enterprises. An important task is also ensuring an appropriate level of information security and integrating information systems into a unified digital environment of the enterprise.

REFERENCES:

1. Pererva, P., Besprozvannykh, O., Tiutlikova, V., Kovalova, V., Kudina, O., & Dorokhov, O. (2019). Improvement of the method for selecting

innovation projects on the platform of innovative supermarket. *TEM Journal, 8*(2), 454-461. https://doi.org/10.18421/TEM82-19

2. Тютюнник, С. В., Перерва, П. Г., Лега, О. В., & Тютюнник, Ю. М. (2025). Прибуток як основа фінансової стійкості та стратегічного розвитку підприємства. *Актуальні питання економічних наук*, (7). https://doi.org/10.5281/zenodo.14790464

3. Перерва, П. Г., Мехович, С. А., & Погорєлов, М. І. (2008). *Організація та управління інноваційною діяльністю: підручник*. Харків: НТУ «ХПІ».

4. Nagy, S., & Pererva, P. G. (2018). Compliance principles. In *Universum View 9. Economics and management: Conference materials* (pp. 89-96). NilanLTD.

5. Pererva, P., Hutsan, O., Kobieliev, V., Kosenko, A., & Kuchynskyi, V. (2018). Evaluating elasticity of costs for employee motivation at the industrial enterprises. *Problems and Perspectives in Management, 16*(1), 124-132. https://doi.org/10.21511/ppm.16(1).2018.12

6. Жегус, О.В., & Перерва, П.Г. (2011). Науково-інноваційний потенціал України та сучасні проблеми його використання // *Вісник НТУ "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Технічний прогрес та ефективність виробництва. Харків :* НТУ "ХПІ", 2011. № 26 (1168). 174-181.

7. Kosenko, O., Tkachov, M., & Pererva, P. (2015). Economic problems of intellectual property. In *9th International Scientific Conference "Balance and Challenges", Miskolc-Lillafüred* (pp. 113-124). University of Misolc.

8. Pererva, P., Gutsan, O., & Diachenko, T. (2017). Motivation of personnel on machine-building enterprise. In *Balance and Challenges, Miskolc-Lillafüred* (pp. 100-106). Miskolci Egyetem Gazdaságtudományi Kar.

9. Перерва, П. Г., Лега, О. В., & Яловега, Л. В. (2024). Податкове планування як інструмент системи управління підприємством. *Вісник Полтавського державного аграрного університету. Серія: Економіка, управління та фінанси*, (1), 58–62. https://doi.org/10.32782/pdau.eco.2024.1.9

10. Косенко, О. П., Кобєлєва, Т. О., & Перерва, П. Г. (2014). Кон'юнктура технологічного ринку: оцінка ризиків комерціалізації об'єктів інтелектуальної власності. *Вісник НТУ "ХПІ": збірник наукових праць*, (33 [1076]), 76–87.

11. Кобєлєва, Т. О., Перерва, П. Г., & Ткачова, Н. П. (2011). Методичні засади моніторингу кон'юнктури ринку асинхронних електродвигунів. *Управління розвитком*, (4), 258–260.

12. Ткачова, Н. П., & Перерва, П. Г. (2012). Моделювання стратегічної політики маркетингу конкурентоспроможності на засадах бенчмаркінгу. *Економічні науки: збірник наукових праць. Серія: Економіка та менеджмент*, 9(34, ч. 2), 10–23. https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/26762

UDC 004:37.018.43
Nagy Szabolcs[1], Pererva Petro[2]

PROBLEMS OF INFORMATIZATION OF THE EDUCATIONAL PROCESS IN UNIVERSITIES

Introduction. Informatization of the educational process involves the systematic integration of information technologies, digital educational resources, and communication platforms into teaching, learning, and academic management [1, 8, 11]. The use of modern digital technologies creates opportunities for improving access to educational materials, enhancing the efficiency of knowledge transfer, expanding interactive learning methods, and optimizing the management of educational activities [2, 6].

At the same time, despite the significant progress in the development of digital technologies, the process of informatization in universities is accompanied by a number of organizational, technological, and methodological challenges. These challenges include insufficient digital infrastructure, limited financial resources for technological modernization, inadequate digital competencies among academic staff, and the need to adapt traditional educational models to the requirements of the digital environment [3, 12].

Furthermore, the rapid pace of technological development requires universities to continuously update educational programs, integrate innovative digital tools, and develop flexible learning formats capable of responding to the changing demands of the knowledge-based economy [4, 10]. In this context, the study of the problems associated with the informatization of the educational process in universities is of significant scientific and practical importance. The purpose of this report is to analyze the key problems of the informatization of the educational process in universities and to identify the main directions for improving the integration of digital technologies into higher education systems.

Main material. The informatization of the educational process in universities represents a complex transformation of traditional educational practices through the integration of digital technologies into teaching, learning, and academic management. This process involves the use of electronic learning platforms, digital educational resources, multimedia technologies, and communication systems that support interaction between students and teachers. One of the most important components of the informatization of higher education is the development of digital educational infrastructure. This includes the creation of high-speed communication networks, modern computer laboratories, digital libraries, and online learning

[1]Doctor of Economic Sciences, Professor, Deputy Dean of the Faculty of Economics, Head of Institute of Marketing and Tourism University of Miskolc, Hungary
[2]Doctor of Economics, Professor, National Technical University "KhPI", Ukraine

platforms [5, 7]. The availability of such infrastructure allows universities to implement modern educational technologies and provide students with access to diverse information resources.

However, many universities face significant challenges related to the modernization of their technological infrastructure. Insufficient funding often limits the ability of educational institutions to invest in modern equipment, software solutions, and digital platforms. As a result, the implementation of advanced information technologies may be uneven across different universities and academic departments.

Another important problem of the informatization of the educational process is the insufficient level of digital competencies among academic staff. Effective use of information technologies in education requires teachers to possess not only subject knowledge but also skills in using digital tools, developing electronic learning materials, and applying innovative teaching methods. In practice, however, many educators encounter difficulties in adapting to new technological environments due to limited training opportunities and the lack of systematic professional development programs.

Methodological challenges also play a significant role in the process of educational informatization. The integration of digital technologies into teaching requires the development of new pedagogical approaches that combine traditional academic methods with interactive and technology-based learning strategies. Without appropriate methodological support, the use of digital technologies may remain superficial and fail to fully enhance the effectiveness of the educational process.

An important aspect of the informatization of higher education is the development of electronic learning systems and online educational platforms. These systems allow universities to implement distance learning, blended learning models, and flexible educational programs that accommodate the needs of diverse groups of students. The use of digital learning platforms also facilitates the organization of educational materials, communication between students and instructors, and the assessment of academic performance. Nevertheless, the widespread adoption of online learning technologies has also revealed certain limitations. These include challenges related to maintaining student engagement, ensuring academic integrity, and providing effective feedback in digital environments. Additionally, the absence of direct interpersonal interaction in fully online learning environments may affect the development of communication and collaborative skills among students.

Another important issue in the informatization of the educational process is ensuring information security and the protection of personal data. The increased use of digital platforms and online communication tools in education raises concerns regarding data privacy, unauthorized access to educational resources, and potential cybersecurity threats. Therefore, universities must implement effective cybersecurity measures and establish

clear policies regarding the safe use of digital technologies in educational activities.

The process of informatization also requires significant organizational changes within universities. Administrative structures, academic management systems, and quality assurance mechanisms must be adapted to support digital learning environments. This includes the implementation of digital document management systems, automated student information systems, and integrated platforms for academic administration.

To overcome existing challenges, universities should adopt comprehensive strategies for digital transformation. Such strategies should include the development of modern digital infrastructure, continuous professional development programs for academic staff, the modernization of educational methodologies, and the strengthening of partnerships with technology providers and research institutions.

Conclusions. The conducted research indicates that the informatization of the educational process in universities is an essential condition for the modernization of higher education and its adaptation to the requirements of the digital economy. The integration of information technologies into educational activities contributes to improving access to knowledge, increasing the efficiency of learning processes, and enhancing the flexibility of educational systems. At the same time, the process of informatization is accompanied by a number of challenges, including insufficient technological infrastructure, limited financial resources, inadequate digital competencies among educators, and methodological difficulties in integrating digital technologies into teaching practices. Addressing these challenges requires coordinated efforts from educational institutions, government authorities, and the private sector. The development of comprehensive digital transformation strategies for universities, the expansion of digital infrastructure, and the enhancement of digital competencies among academic staff represent important directions for improving the effectiveness of educational informatization.

REFERENCES:

1. Gutsan, O., Pererva, P., & Diachenko, T. (2017). Motivation of personnel on machine-building enterprise. In *Balance and Challenges, Miskolc-Lillafüred* (pp. 100-106). Miskolci Egyetem Gazdaságtudományi Kar.

2. Перерва, П. Г., Лега, О. В., & Яловега, Л. В. (2024). Податкове планування як інструмент системи управління підприємством. *Вісник Полтавського державного аграрного університету. Серія: Економіка, управління та фінанси*, (1), 58–62. https://doi.org/10.32782/pdau.eco.2024.1.9

3. Косенко, О. П., Кобєлєва, Т. О., & Перерва, П. Г. (2014). Кон'юнктура технологічного ринку: оцінка ризиків комерціалізації об'єктів інтелектуальної власності. *Вісник НТУ "ХПІ": збірник наукових праць*, (33 [1076]), 76–87.

4. Жегус, О.В., & Перерва, П.Г. (2011). Науково-інноваційний потенціал України та сучасні проблеми його використання // *Вісник НТУ "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Технічний прогрес та ефективність виробництва. Харків :* НТУ "ХПІ", 2011. № 26 (1168). 174-181.

5. Kosenko, O., Tkachov, M., & Pererva, P. (2015). Economic problems of intellectual property. In *9th International Scientific Conference "Balance and Challenges", Miskolc-Lillafüred* (pp. 113-124). University of Misolc.

6. Кобєлєва, Т. О., Перерва, П. Г., & Ткачова, Н. П. (2011). Методичні засади моніторингу кон'юнктури ринку асинхронних електродвигунів. *Управління розвитком*, (4), 258–260.

7. Ткачова, Н. П., & Перерва, П. Г. (2012). Моделювання стратегічної політики маркетингу конкурентоспроможності на засадах бенчмаркінгу. *Економічні науки: збірник наукових праць. Серія: Економіка та менеджмент*, 9(34, ч. 2), 10–23. https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/26762

8. Pererva, P., Besprozvannykh, O., Tiutlikova, V., Kovalova, V., Kudina, O., & Dorokhov, O. (2019). Improvement of the method for selecting innovation projects on the platform of innovative supermarket. *TEM Journal, 8*(2), 454-461. https://doi.org/10.18421/TEM82-19

9. Тютюнник, С. В., Перерва, П. Г., Лега, О. В., & Тютюнник, Ю. М. (2025). Прибуток як основа фінансової стійкості та стратегічного розвитку підприємства. *Актуальні питання економічних наук*, (7). https://doi.org/10.5281/zenodo.14790464

10. Перерва, П. Г., Мехович, С. А., & Погорєлов, М. І. (2008). *Організація та управління інноваційною діяльністю: підручник*. Харків: НТУ «ХПІ».

11. Nagy, S., & Pererva, P. G. (2018). Compliance principles. In *Universum View 9. Economics and management: Conference materials* (pp. 89-96). NilanLTD.

12. Pererva, P., Hutsan, O., Kobieliev, V., Kosenko, A., & Kuchynskyi, V. (2018). Evaluating elasticity of costs for employee motivation at the industrial enterprises. *Problems and Perspectives in Management, 16*(1), 124-132. https://doi.org/10.21511/ppm.16(1).2018.12

УДК 004.067:621.3
Овчаров О.О.[1], Князєва В.М.[2]

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В СИСТЕМАХ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТУРБОГЕНЕРАТОРІВ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Надійність та безпечність роботи атомних електростанцій значною мірою залежать від технічного стану основного електромеханічного обладнання, зокрема турбогенераторів. У процесі тривалої експлуатації турбогенератори піддаються різноманітним механічним, електричним та тепловим навантаженням, що може призводити до виникнення дефектів і поступового погіршення їх технічного стану. Тому важливим завданням є своєчасне виявлення та діагностика можливих відхилень у роботі обладнання [1, 2].

Сучасний розвиток інформаційних технологій відкриває нові можливості для створення ефективних систем моніторингу та технічної діагностики енергетичного обладнання. Використання методів обробки та аналізу даних, цифрових систем контролю і програмних засобів дозволяє підвищити точність оцінювання технічного стану турбогенераторів і забезпечити своєчасне виявлення потенційних несправностей [3].

У зв’язку з цим актуальним є дослідження можливостей застосування інформаційних технологій для підвищення ефективності систем технічної діагностики турбогенераторів атомних електростанцій. Для досягнення поставленої мети пропонується застосування інформаційно-аналітичного підходу до діагностики технічного стану турбогенераторів, що базується на інтеграції систем збору даних, методів цифрової обробки сигналів та алгоритмів інтелектуального аналізу даних. Джерелами інформації виступають параметри роботи турбогенератора, зокрема вібраційні характеристики, температурні режими, електричні параметри обмоток, а також показники навантаження агрегату.

Отримані дані піддаються попередній обробці, що включає фільтрацію шумів, нормалізацію та формування інформативних ознак. На основі сформованих ознак здійснюється аналіз технічного стану обладнання із використанням методів статистичного аналізу та алгоритмів машинного навчання, які дозволяють виявляти аномалії у роботі турбогенератора та прогнозувати можливий розвиток дефектів. Для підвищення ефективності технічної діагностики турбогенераторів

[1] Аспірант групи Асп(175)-23, Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна

[2] Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій, Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна

атомних електростанцій пропонується застосування інформаційної системи, що поєднує методи цифрової обробки сигналів та машинного навчання. Основним джерелом інформації є сигнали вібрації, температури, струмів та інших технологічних параметрів, які характеризують технічний стан турбогенератора (рис. 1).



Рисунок 1 – Алгоритм технічної діагностики

Запропонований підхід відрізняється комплексним використанням методів спектрального аналізу сигналів та алгоритмів машинного навчання для автоматизованої оцінки технічного стану турбогенераторів. Це дозволяє підвищити точність виявлення дефектів на ранніх стадіях їх розвитку та забезпечити більш ефективне

планування технічного обслуговування обладнання атомних електростанцій.

Запропонований підхід передбачає створення інформаційної системи технічної діагностики, яка забезпечує:

- автоматизований збір даних з датчиків технологічних параметрів;
- обробку та зберігання великих масивів експлуатаційної інформації;
- інтелектуальний аналіз даних для виявлення ознак дефектів;
- формування рекомендацій щодо технічного обслуговування обладнання.

Використання запропонованого підходу дозволяє підвищити достовірність діагностики технічного стану турбогенераторів, зменшити ймовірність аварійних відмов та оптимізувати процес технічного обслуговування обладнання атомних електростанцій.

Висновки. Застосування сучасних інформаційних технологій у системах технічної діагностики турбогенераторів є перспективним напрямом підвищення надійності роботи енергетичного обладнання. Інтеграція методів обробки сигналів та інтелектуального аналізу даних дозволяє своєчасно виявляти дефекти та підвищувати ефективність експлуатації турбогенераторів атомних електростанцій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Овчаров, О.О., Котелевець, К.А. (2024). Підходи до ефективного інженерного управління якістю забезпечення безпеки енергетичних об’єктів. *Машинобудування*, (34), 51–60. https://doi.org/10.26565/2079-1747-2024-34-05

2. Буданов, П. Ф., Грінченко, Г. С., Нечуйвітер, О. П., Цихановська, І. В. (2023). Методологічні підходи для оцінювання якості багатопараметричних об'єктів енергетики. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*,. № 1 (15). С. 27–35. https://doi.org/10.20998/2413-4295.2023.01.04

3. Ovcharov, O. (2025). Integration of diagnostic data into the turbogenerator technical condition management system. In A. Ostenda & D. Kalita (Eds.), *Innovation-driven development in education, digital economy, and applied technologies* (pp. 191–199). The University of Technology in Katowice Press. https://doi.org/10.54264/M055

УДК 004.8
Гриневич П.С.[1]

МОДЕЛІ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ В ЛОГІСТИЧНИХ ЗАДАЧАХ

Вступ. Логістика створює мережеву платформу для компаній та споживачів, полегшуючи торгівлю та переміщення товарів, тим самим створюючи величезну економічну цінність. Вона може включати велику кількість вузлів, у тому числі склади, розподільні центри та термінальні станції, де кожен компонент, включаючи транспортні маршрути між ними, має бути оптимізований для забезпечення швидкої, безпечної та економічної доставки.

Традиційні методи вирішення логістичних задач зазвичай ґрунтуються на специфічних припущеннях та обмеженнях. На відміну від них, методи штучного інтелекту дозволяють приймати рішення з більшою гнучкістю з урахуванням на динаміки реальних сценаріїв. Однак їх застосування також створює певні виклики.

Моделі глибокого навчання в задачах розподілу ресурсів. Розподіл ресурсів у логістичній системі ґрунтується на прогнозуванні станів системи, включаючи ринковий попит та якість обслуговування. Оскільки логістична система завжди тісно пов'язана з ланцюжком постачання, точна оцінка попиту основою для завчасного та належного розподілу ресурсів у логістичній системі. Попит як особливий тип часових рядів має складну структуру через вплив безлічі складних чинників, таких як мінливість навколишнього середовища, ринкові тенденції, поведінка споживачів та конкуруючі продукти [1].

Серед різних типів моделей машинного навчання найчастіше використовується рекурентна нейронна мережа (RNN) через авторегресивну природу послідовностей попиту. На основі цієї структури були включені різні інші механізми, такі як механізм уваги, для підвищення точності та інтерпретації. Останні досягнення в галузі глибокого навчання ще більше розширили можливості вивчення складних кореляцій та довгострокових залежностей, що сприяло розвитку високоефективних моделей для прогнозування часових рядів, таких як DeepAR та Informer [2, 3]. Однак ці моделі часто страждають від слабкої інтерпретованості і вимагають значних інженерних навичок.

Традиційні методи динамічної маршрутизації транспортних засобів, такі як лінійне програмування, цілечисленне програмування та евристики, добре працюють у статичних сценаріях, але їм не вистачає адаптації в реальному часі до динамічних, нелінійних збоїв через їх статичні припущення моделювання. У роботі [4] представлена гібридна модель LSTM-FNN, яка поєднує можливості моделювання часових

[1] аспірант, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

рядів та статичних характеристик для підвищення точності та швидкості прийняття рішень. LSTM використовується для отримання часових рядів динамічних характеристик, таких як трафік та погода, а FNN обробляє статичні характеристики, такі як розташування клієнта та частота попиту. Модель добре адаптується до різних потреб у доставці, хоча її ефективність залежить від якості та безперервності історичних та поточних даних.

Висновки. Сучасні досягнення в галузі штучного інтелекту та машинного навчання відкривають широкі перспективи у вирішенні логістичних задач. Однак при цьому виникають і нові виклики. Логістичні системи мають складну структуру з великою кількістю взаємопов'язаних компонентів. Різноманітні архітектури моделей глибокого навчання дозволяє вирішувати широкий спектр задач, але застосування специфічних моделей до оптимізації окремих вузлів може привести до втрати глобального контексту та отримання неузгоджених субоптимальних рішень. Моделі глибокого навчання чутливі до якості даних. Це висуває високу вимоги до систем збору даних. Недостатня інтерпретованість моделей штучного інтелекту також ускладнює їх практичне застосування. Таким чином,

Таким чином, створення моделювання та оптимізація логістичних систем засобами штучного інтелекту є перспективним напрямом подальших наукових досліджень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Liu, Y., Tao, X., Li, X., Colombo, A. W., & Hu, S. (2023). Artificial intelligence in smart logistics cyber-physical systems: State-of-the-arts and potential applications. *IEEE Transactions on industrial cyber-physical systems*, *1*, 1-20. doi: 10.1109/TICPS.2023.3283230.

2. Salinas, D., Flunkert, V., Gasthaus, J., & Januschowski, T. (2020). DeepAR: Probabilistic forecasting with autoregressive recurrent networks. *International journal of forecasting*, *36*(3), 1181-1191. doi: 10.1016/j.ijforecast.2019.07.001

3. Zhou, H., Zhang, S., Peng, J., Zhang, S., Li, J., Xiong, H., & Zhang, W. (2021, May). Informer: Beyond efficient transformer for long sequence time-series forecasting. In *Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence* (Vol. 35, No. 12, pp. 11106-11115). doi: 10.1609/aaai.v35i12.17325

4. Wang, L., Han, Y., & Xu, X. (2025). Logistics Distribution Transportation Vehicle Route Decision-making Based on Artificial Neural Network Algorithm. *ICT Express*. https://doi.org/10.1016/j.icte.2025.11.012

УДК 004.8
Сергєєв В.М.[1], П'ятаченко В.Ю.[2]

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СЦЕНАРІЇВ GPS-SPOOFING ДЛЯ ДОСЛІДЕННЯ СТІЙКОСТІВ АЛГОРИТМІВ ДЕТЕКЦІЇ

Супутникові навігаційні системи, зокрема GPS (Global Positioning System), широко використовуються у авіації, судноплавстві, автомобільному транспорті та інших сферах життя. У той же час цивільна версія стандарту GPS за своєю архітектурою є вразливою до подавлення та підміни координат – GPS-спуфінгу. Це відбувається через сукупність факторів, у тому числі через низький рівень сигналу від супутника та відкритість самого стандарту [1]. Питання захисту від таких атак є важливим для систем і організацій, що залежать від навігаційних сигналів, зокрема для елементів критичної інфраструктури та автономних роботизованих комплексів. Для створення ефективних методів захисту від GPS-спуфінгу необхідно мати можливість дослідити поведінку розроблених алгоритмів виявлення атак у різних умовах. Одним з головних інструментів для таких перевірок є математичне моделювання сценаріїв GPS-спуфінгу.

У науковій літературі виділяють кілька типів спуфінг-атак залежно від способу їх реалізації та рівня складності формування підробленого сигналу. Найпростішим варіантом є simplistic spoofing, коли атакуючий генерує фальшивий GNSS-сигнал без синхронізації з реальними супутниковими сигналами. У такому випадку навігаційний приймач може сприйняти підроблений сигнал як справжній, однак через невідповідність часових та фазових параметрів така атака часто призводить до різких змін координат і відносно легко виявляється алгоритмами контролю навігаційного рішення. Більш складним типом є intermediate spoofing, при якому атакуючий частково синхронізує параметри фальшивого сигналу з реальними сигналами GNSS. Це дозволяє зменшити відхилення у характеристиках сигналу та підвищити ймовірність того, що приймач прийме підроблений сигнал як коректний.

Найбільш небезпечним вважається sophisticated spoofing, при якому підроблений сигнал точно синхронізується з реальними супутниковими сигналами за частотою, фазою та кодовою структурою. У такому сценарії атакуючий спочатку приймає справжні сигнали супутників, а потім поступово збільшує потужність підробленого сигналу, поступово заміщуючи реальний сигнал. Завдяки цьому навігаційний приймач плавно переходить на обробку підробленого сигналу, не фіксуючи різких аномалій у параметрах позиціонування. Особливим різновидом такої атаки є carry-off spoofing, під час якої

[1]Аспірант групи А-46/КН, Сумський державний університет
[2]Асистент кафедри комп'ютерних наук, Сумський державний університет

координати приймача змінюються поступово у часі. У цьому випадку атакуючий модифікує параметри сигналу таким чином, щоб навігаційне рішення повільно відхилялося від реальної позиції, і зміщення виглядало як природна похибка вимірювання або рух об'єкта. Подібні атаки є особливо складними для виявлення стандартними алгоритмами контролю цілісності навігаційних даних, тому сучасні дослідження зосереджені на розробці спеціалізованих методів детекції, включаючи аналіз характеристик сигналу, статистичні методи та алгоритми машинного навчання [2]

Під час реалізації GPS-spoofing-атаки змінюються окремі параметри навігаційного сигналу, що можуть використовуватися як ознаки виявлення атаки. До таких параметрів належать псевдовідстані до супутників, доплерівська частота сигналу, фаза несучої хвилі та рівень потужності сигналу. Зміна цих характеристик призводить до формування помилкового навігаційного рішення приймача. Аналіз динаміки таких параметрів дозволяє виявляти аномалії, характерні для spoofing-атак.

У супутникових навігаційних системах визначення координат приймача ґрунтується на вимірюванні псевдовідстаней до супутників. Псевдовідстань до і-го супутника може бути подана у вигляді:

$$\rho_i = \|r_r - r_i\| + c(\delta t_r - \delta t_i) + \varepsilon_i,$$

де ρ_i – виміряна псевдовідстань до супутника, r_r – координати навігаційного приймача, r_i – координати супутника, c – швидкість світла, δt_r і δt_i – похибки годинника приймача та супутника відповідно, ε_i – похибка вимірювання, що включає шум та вплив середовища. Під час реалізації GPS-spoofing-атаки атакуючий формує підроблений навігаційний сигнал таким чином, щоб змінити значення псевдовідстаней, що використовуються приймачем у процесі навігаційних обчислень. У результаті цього навігаційний алгоритм визначає координати, які відрізняються від реального положення об'єкта.

На рис. 1 показано узагальнену схему впливу spoofing-атаки на навігаційні вимірювання GNSS приймача. У нормальному режимі приймач використовує псевдовідстані до кількох супутників для обчислення координат. Під час атаки атакуючий формує підроблений сигнал, що призводить до появи змінених значень псевдовідстаней, які використовуються у навігаційному розв'язку.

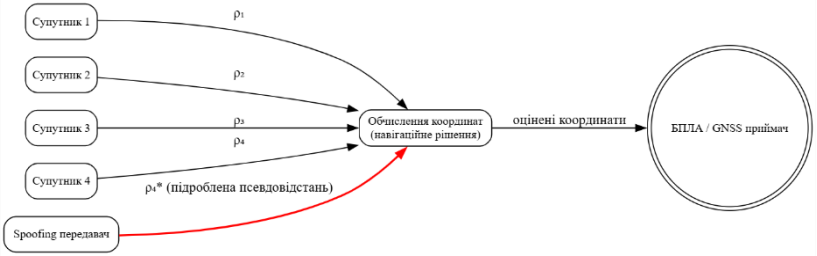


Рисунок 1 – Вплив spoofing-атаки на навігаційні вимірювання GNSS приймача

З урахуванням різноманітності описаних типів атак розробка ефективних методів протидії GNSS-spoofing повинна базуватися на комплексному підході. Перспективним напрямом є використання комбінованих методів, що поєднують аналіз параметрів радіосигналу, перевірку геометричної узгодженості псевдовідстаней, порівняння навігаційних даних із інформацією від інших сенсорів (наприклад, інерційних систем) та застосування алгоритмів машинного навчання для виявлення статистичних аномалій у навігаційних вимірюваннях.

Висновки. Таким чином, математичне моделювання сценаріїв GPS-spoofing є важливим інструментом дослідження безпеки навігаційних систем. Воно дозволяє систематично аналізувати поведінку алгоритмів виявлення атаки на GPS у контрольованих умовах, моделювати різні типи атак та оцінювати ефективність методів виявлення та захисту. Перспективним напрямом подальших досліджень є використання отриманих моделей для створення та тестування алгоритмів детекції spoofing-атак на основі аналізу навігаційних вимірювань і методів машинного навчання. Результати таких досліджень можуть використовуватися для розробки більш надійних алгоритмів виявлення атак у кіберфізичних системах, безпілотних транспортних засобах та інших критично важливих застосуваннях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Humphreys, T. (2012, July 18). *Statement on the vulnerability of civil unmanned aerial vehicles and other systems to civil GPS spoofing*. The University of Texas at Austin.

2. Meng, L., Yang, L., Yang, W., & Zhang, L. (2022). A survey of GNSS spoofing and anti-spoofing technology. *Remote Sensing, 14*(19). https://doi.org/10.3390/rs14194826

УДК 004.89:656.13:681.5 Шибаєва Н.О. [1], Рудніченко М.Д. [2]

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ АНАЛІЗУ СЕНСОРНИХ ДАНИХ

Вступ. Інтенсивна урбанізація, зростання кількості транспортних засобів та підвищення вимог до екологічної безпеки обумовлюють необхідність переходу від статичних схем організації дорожнього руху до адаптивних автоматизованих систем керування транспортними потоками [1]. Традиційні підходи, що базуються на фіксованих циклах світлофорного регулювання та усереднених статистичних показниках інтенсивності руху [2], виявляються недостатньо ефективними в умовах динамічної зміни попиту на перевезення, стохастичності поведінки водіїв та впливу зовнішніх факторів [3].

Сучасний розвиток комп'ютерно-інтегрованих технологій створює передумови для побудови систем керування нового покоління, у яких основою прийняття рішень є аналіз великих масивів сенсорних даних у режимі реального часу. Використання неконвенційних джерел інформації, зокрема відеопотоків, даних мобільних пристроїв, радарних та лідараних систем, бездротових сенсорних мереж, дозволяє формувати багатовимірне представлення стану транспортної мережі [4].

Метою роботи є обґрунтування шляхів автоматизації процесів управління транспортними потоками на основі технологій аналізу сенсорних даних із застосуванням методів теорії керування та оптимізації керуючих рішень у розподілених автоматизованих системах.

Основна частина. Автоматизована система управління транспортними потоками може бути представлена як динамічний об'єкт із розподіленими параметрами, стан якого описується вектором x(t), що включає інтенсивність потоку, середню швидкість, щільність руху, довжину черг та інші характеристики. Керуючі впливи u(t) формуються регулюючими пристроями, зокрема світлофорними контролерами, змінними інформаційними табло, системами дозування в'їзду на магістралі.

Сенсорна підсистема забезпечує вимірювання вектору вихідних параметрів y(t), які можуть включати як традиційні індуктивні детектори, так і неконвенційні джерела, наприклад дані з камер комп'ютерного зору, сигнали від бортових телематичних модулів або інформацію з мобільних застосунків. Формально система описується рівняннями стану

[1] Доцент кафедри ІТ, НУ «Одеська політехніка», к.т.н., доцент
[2] Доцент кафедри ІТ, НУ «Одеська політехніка», к.т.н., доцент

$$x(t+1) = F(x(t), u(t), w(t)) \; ; \; y(t) = H(x(t), v(t)) \qquad (1)$$

де $w(t)$ та $v(t)$ – випадкові збурення.

Інтеграція сенсорних даних передбачає вирішення задачі оцінювання стану системи. Для цього застосовуються розширені фільтри Калмана, часткові фільтри або методи байєсівської фільтрації, що дозволяють враховувати неоднорідність та різну достовірність джерел інформації. Неконвенційні сенсорні дані, зокрема відео та дані GPS, потребують попередньої обробки із застосуванням алгоритмів комп'ютерного зору та машинного навчання.

Оптимізація управління транспортними потоками зводиться до мінімізації функціоналу якості J, що може включати затримки транспортних засобів (T), довжину черг (L), витрати пального та рівень викидів (E). Узагальнена форма функціоналу має вигляд

$$J = \sum (\alpha_1 T + \alpha_2 L + \alpha_3 E) \, , \qquad (2)$$

де α_i – вагові коефіцієнти.

Для розв'язання задачі оптимізації застосовуються методи модельно-прогнозуючого керування. Прогноз стану системи здійснюється на основі короткострокових моделей трафіку, параметри яких коригуються за результатами аналізу сенсорних даних. Розв'язання оптимізаційної задачі на кожному кроці дозволяє формувати керуючі впливи з урахуванням поточної ситуації та прогнозу її розвитку.

Особливістю запропонованого підходу є використання гібридної моделі прогнозування, що поєднує макроскопічні моделі транспортного потоку з нейромережевими предикторами, навченими на історичних даних. Така комбінація забезпечує фізичну інтерпретованість результатів і водночас високу точність прогнозу.

Запропонована архітектура складається з трьох функціональних рівнів. На нижньому рівні розташовані сенсорні вузли, що здійснюють збір первинної інформації. На середньому рівні реалізується модуль інтеграції та оцінювання стану системи. Верхній рівень представлений оптимізаційним модулем, який генерує керуючі рішення.

Обмін інформацією між рівнями здійснюється через захищену мережеву інфраструктуру з підтримкою протоколів реального часу. Для забезпечення масштабованості передбачено розподілену обробку даних із використанням хмарних технологій. Важливим аспектом є забезпечення часової синхронізації сенсорних потоків даних. Для цього використовується протокол мережевої синхронізації часу. Обробка відеоданих здійснюється із застосуванням згорткових нейронних мереж для детекції транспортних засобів та оцінювання їх швидкості.

З метою зниження обчислювального навантаження реалізовано механізм адаптивної частоти опитування сенсорів залежно від

інтенсивності руху. У періоди низької активності система переходить у режим зменшеної частоти оновлення даних, що підвищує енергоефективність..

Висновки. Розглянуті шляхи автоматизації процесів управління транспортними потоками на основі технологій аналізу сенсорних даних демонструють перспективність інтеграції методів теорії керування, оптимізації та машинного навчання. Використання неконвенційних сенсорних джерел інформації забезпечує підвищення точності оцінювання стану транспортної мережі, а застосування модельно-прогнозуючого керування дозволяє формувати адаптивні керуючі рішення в умовах невизначеності.

Запропонований підхід забезпечує підвищення узгодженості локальних керуючих рішень на рівні окремих перехресть із глобальними цілями функціонування транспортної мережі завдяки використанню інтегрованої моделі стану системи. Реалізація адаптивних алгоритмів обробки неконвенційних сенсорних даних створює передумови для переходу до проактивного управління, заснованого на прогнозуванні критичних режимів перевантаження. Практична імплементація розробленої концепції сприятиме зниженню транспортних затримок, підвищенню енергоефективності та формуванню інтелектуальної транспортної інфраструктури нового покоління.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Li, Y., Yu, R., Shahabi, C., & Liu, Y. (2022). *Diffusion convolutional recurrent neural network: Data-driven traffic forecasting*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 23(4), 3455–3466. https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3011826

2. Yu, B., Yin, H., & Zhu, Z. (2022). *Spatio-temporal graph convolutional networks: A deep learning framework for traffic forecasting*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 23(9), 14945–14956. https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3065250

3. Wang, Y., Papageorgiou, M., & Messmer, A. (2023). *Real-time freeway traffic state estimation based on extended Kalman filter*. Transportation Research Part C, 145, 103944. https://doi.org/10.1016/j.trc.2022.103944

4. Chen, C., Liu, X., Qiu, T., & Li, Z. (2023). *Edge computing in intelligent transportation systems: A survey*. IEEE Internet of Things Journal, 10(6), 5052–5071. https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3141234

5. Sun, S., Zhang, C., & Yu, G. (2024). *A review of model predictive control for urban traffic networks*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 25(1), 112–128. https://doi.org/10.1109/TITS.2023.3276543

Malanchuk V.V.[1]

AUTOMATION AND OPTIMIZATION OF MANAGEMENT PROCESSES THROUGH ARTIFICIAL INTELLIGENCE

The rapid evolution of artificial intelligence (AI) has fundamentally transformed various business functions, enabling improved decision-making, increased efficiency, and optimized resource management. This paper explores the impact of AI on business management, particularly in the context of operations and logistics [1-4]. Using the example of «BezProblem», a cross-functional organization operating in Poland and the Czech Republic, we demonstrate how AI-based technologies, such as predictive analytics, machine learning, and process automation, have reshaped the company's management processes.

«BezProblem» specializes in electric vehicle rental, courier employment, and car maintenance services. With operations involving hundreds of e-bikes, scooters, and service workshops, as well as collaborations with international platforms, the company generates large volumes of data that must be processed efficiently [5]. AI has become a critical tool for managing this data and optimizing decision-making processes.

Key applications of AI in the company include:

- **Demand forecasting**: AI-driven algorithms predict demand patterns, optimize fleet management, and reduce downtime.
- **Service interval optimization**: The implementation of AI in the «BezProblem Mechanics (BPM)» system has shifted the company from reactive to preventive maintenance, reducing unexpected breakdowns by 30%.
- **Recruitment and multilingual communication**: AI tools automate recruitment processes, generate multilingual job ads, and optimize content distribution across channels.
- **Risk management and data-driven decision-making**: AI aids in identifying potential risks and optimizing decisions by analyzing historical data and providing accurate forecasts.

These examples demonstrate AI's significant role in enhancing operational efficiency, reducing costs, and improving customer service in dynamic business environments. The paper also addresses challenges related to AI implementation, such as ensuring data quality and balancing human judgment with algorithmic decision-making.

Conclusions. By using a real-world company as a case study, this paper shows that AI is not just a futuristic concept, but a practical and

[1] Student of group БЕМ-М525з, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Chief Operating Officer at «BezProblem»

essential tool for modern business. The analysis of «BezProblem» highlights how AI can drive innovation and create a competitive advantage, particularly in industries that rely heavily on data and operational efficiency.

LIST OF LINKS

1. Bharadiya, J. (2023). The impact of artificial intelligence on business processes. *European Journal of Technology, 7*(2). https://doi.org/10.47672/ejt.1488

2. Taherdoost, H. (2023). An overview of trends in information systems: Emerging technologies that transform the information technology industry. *Cloud Computing and Data Science*, 1-16. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4626736

3. Dymchenko, O., Matveeva, N., & Kozyr, Ye. (2024). Effectiveness of implementing artificial intelligence technologies in enterprise business processes. *Municipal Economy of Cities, 5*(186). Series: Economic Science. https://doi.org/10.33042/2522-1809-2024-5-186-25-32

4. Drobotenko, A., & Zhuk, Ye. (2025). Usage and implementation of artificial intelligence systems in enterprise management: A comparative analysis of economic feasibility in Ukraine and worldwide. *Bulletin of Lviv National Environmental University, 32*. Series: Economics of AIC. https://doi.org/10.31734/economics2025.32.063

5. BezProblem. (n.d.). Official company website. https://www.bezproblem.eu/

УДК 004.9

Аксьонова Є. Ю.[1], Лівінська Г. В.[2]

РОЗРОБКА ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ВЕБПЛАТФОРМИ ДЛЯ АНАЛІТИКИ ВІДКРИТИХ ДАНИХ ПРО РЕЄСТРАЦІЮ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В УКРАЇНІ

Вступ. Відкриті державні дані є важливим ресурсом для створення прикладних інформаційних систем, орієнтованих на підтримку аналізу, моніторингу та візуального представлення суспільно значущої інформації. Одним із показових прикладів таких даних є відомості про транспортні засоби та їх власників, що оприлюднюються на Єдиному державному вебпорталі відкритих даних [1]. Зазначений набір містить інформацію, поділену на окремі ресурси за періодами, оновлюється щомісяця та може застосовуватися для дослідження структури автопарку, динаміки реєстраційних операцій, регіональних особливостей і змін на автомобільному ринку [1]. Використання таких даних у межах вебплатформи дає змогу перейти від простого перегляду

[1] студентка групи ПС-4, КНУ ім. Тараса Шевченка
[2] доцент кафедри ПС, КНУ ім. Тараса Шевченка

файлів до інтерактивної аналітики, яка є зручною як для дослідників, так і для широкого кола користувачів.

Основний матеріал. Метою роботи є розробка вебплатформи для аналітики відкритих даних про державну реєстрацію транспортних засобів в Україні та дослідження методів підвищення її продуктивності при роботі з великими масивами записів. На відміну від простого зберігання даних, аналітична система повинна забезпечувати швидкий пошук, багатокритеріальну фільтрацію, агрегування, порівняння показників і наочне відображення результатів у режимі, наближеному до реального часу. Тому при проєктуванні платформи доцільно поєднувати задачі програмної реалізації, організації структури даних і оптимізації запитів.

Джерелом інформації для системи є набір даних «Відомості про транспортні засоби та їх власників», розпорядником якого є Міністерство внутрішніх справ України [1]. У паспорті набору зазначено, що його створення і оприлюднення пов'язані із Законом України «Про дорожній рух» та постановою Кабінету Міністрів України від 25.03.2016 № 260 [1; 2]. Це дає підстави розглядати дані як офіційне джерело для побудови інформаційно-аналітичних сервісів. Практична цінність набору полягає в тому, що він охоплює значні обсяги записів за різні роки, завдяки чому можна досліджувати довгострокові тенденції, сезонні зміни та особливості транспортного сектору в розрізі регіонів, марок і типів транспортних засобів.

Функціонально вебплатформа орієнтована на підтримку кількох груп операцій. По-перше, користувач отримує засоби пошуку та фільтрації за типом реєстраційної дії, брендом, моделлю, роком випуску, регіоном, кольором і типом пального. По-друге, система підтримує агрегацію даних за вибраними параметрами та формування зведених показників. По-третє, результати відображаються у вигляді інтерактивних графіків, гістограм, кругових діаграм і dashboard, що спрощує інтерпретацію великих масивів інформації. Такий підхід дозволяє не лише отримати конкретну відповідь на запит, а й побачити загальні закономірності, порівняти окремі сегменти та виявити аномальні зміни у структурі реєстрацій.

Архітектура системи побудована за клієнт-серверним принципом. Клієнтська частина реалізована з використанням React [4], що дає змогу створити динамічний інтерфейс із підтримкою компонентного підходу та швидкого оновлення візуальних елементів. Серверна частина побудована на FastAPI [3], який забезпечує зручну реалізацію REST API, високу продуктивність і підтримку асинхронної обробки запитів. Для зберігання та обробки інформації використано PostgreSQL [5] як реляційну систему керування базами даних, придатну для виконання складних SQL-запитів, фільтрації та агрегування. Для кешування результатів і зменшення навантаження на базу даних

застосовано Redis [6]. Засоби візуалізації реалізовано за допомогою Apache ECharts [7], що дає можливість будувати інтерактивні діаграми та гнучко налаштовувати способи подання результатів.

Окрему увагу в роботі приділено питанням продуктивності, оскільки аналітична вебсистема має обробляти повторювані запити до значних масивів даних без відчутних затримок для користувача. Для цього було застосовано кілька взаємопов'язаних методів. Насамперед виконано аналіз SQL-запитів та уточнено їхню структуру з урахуванням найчастіших сценаріїв використання системи. Складні запити доцільно формувати так, щоб мінімізувати надлишкові обчислення, використовувати індекси та уникати зайвого повторного сканування великих таблиць. Важливим етапом стала індексація полів, які найчастіше беруть участь у фільтрації, сортуванні та групуванні. Це дозволяє прискорити вибірку записів за регіоном, брендом, роком випуску та іншими атрибутами.

Додатковий ефект забезпечує оптимізація агрегаційних операцій. Оскільки користувачі часто звертаються до зведених показників, пов'язаних із кількістю реєстрацій, розподілом за типами транспортних засобів або аналізом структури за роками, серверна частина повинна ефективно обробляти GROUP BY, COUNT та інші агрегувальні функції. Для зменшення часу відповіді доцільно кешувати результати запитів, що повторюються, у Redis [6]. Це особливо корисно для dashboard і типових аналітичних зрізів, коли однакові запити надходять багаторазово від різних користувачів. У результаті скорочується навантаження на PostgreSQL, зменшується кількість повторних обчислень і підвищується загальна стабільність роботи системи.

Запропоноване поєднання архітектурних і технологічних рішень формує основу для масштабованої вебплатформи, яку можна розвивати далі. Серед можливих напрямів удосконалення варто відзначити розширення набору аналітичних сценаріїв, додавання часових фільтрів, формування порівняльних звітів між регіонами, виявлення трендів за допомогою статистичних методів, а також інтеграцію з іншими відкритими державними даними. Практичне значення системи полягає в тому, що вона може бути використана для моніторингу реєстраційної активності, попереднього аналізу автомобільного ринку, оцінювання змін у структурі автопарку та підтримки навчальних і дослідницьких проєктів у галузі інформаційних технологій і аналізу даних.

Висновки. У роботі запропоновано підхід до розробки вебплатформи для аналітики відкритих даних про державну реєстрацію транспортних засобів в Україні та узагальнено методи підвищення її продуктивності. Побудова системи на основі React, FastAPI, PostgreSQL, Redis та Apache ECharts забезпечує зручну взаємодію користувача з даними, а застосування індексації, оптимізації SQL-запитів і кешування сприяє скороченню часу відповіді та підвищенню

стабільності сервісу. Отримані результати можуть бути використані під час створення інших високонавантажених інформаційно-аналітичних систем, що працюють з відкритими даними.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Єдиний державний вебпортал відкритих даних. (2026). Відомості про транспортні засоби та їх власників. URL: https://data.gov.ua/dataset/06779371-308f-42d7-895e-5a39833375f0 (дата звернення: 12.03.2026).
2. Кабінет Міністрів України. (2016). Постанова № 260 «Деякі питання надання інформації про зареєстровані транспортні засоби та їх власників».
3. FastAPI. (2026). FastAPI documentation. URL: https://fastapi.tiangolo.com/ (дата звернення: 12.03.2026).
4. Meta Open Source. (2026). React documentation. URL: https://react.dev/ (дата звернення: 12.03.2026).
5. PostgreSQL Global Development Group. (2026). PostgreSQL documentation. URL: https://www.postgresql.org/docs/ (дата звернення: 12.03.2026).
6. Redis Inc. (2026). Redis documentation. URL: https://redis.io/docs/ (дата звернення: 12.03.2026).
7. Apache Software Foundation. (2026). Apache ECharts documentation. URL: https://echarts.apache.org/ (дата звернення: 12.03.2026).

УДК 378.147:004.8:519.17

Шпинковський О.О.[1],Болтьонков В.О.[2]

КОРЕКЦІЯ ОСВІТНЬОЇ ПРОГРАМИ НА ОСНОВІ МАТРИЦЬ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ТА ОСВІТНІХ КОМПОНЕНТІВ

Вступ. Сучасне проєктування освітніх програм базується на компетентнісному підході, що вимагає чіткого узгодження між цільовими компетентностями випускника та змістом освітніх компонентів [1]. Традиційно структурно-логічні схеми формуються експертно, що призводить до суб'єктивності та ускладнює їх кількісний аналіз. Використання графових і матричних моделей дозволяє формалізувати ці зв'язки, виявити приховані дисбаланси та обґрунтовано коригувати навчальний план без зміни цільової моделі компетентностей [2].

Метою статті є демонстрація підходу до аналізу та корекції освітніх програм на основі двох ключових матриць:

[1] Аспірант НУ «Одеська політехніка»
[2] Доцент кафедри ІС НУ «Одеська політехніка», к.т. н., доцент

A — зваженої матриці суміжності компетентностей (індукованої з двочасткового графа);

A_1 — зваженої матриці суміжності освітніх компонентів, а також візуалізації цих матриць у вигляді теплових карт для підвищення наочності структурних проблем.

1. Матрична модель освітньої програми

Вихідною є матриця інцидентності *B* розмірності 8×12, де рядки відповідають загальним компетентностям (GC_1–GC_8), а стовпчики — освітнім компонентам (EC_1–EC_{12}). Елемент $b_{ij} = 1$, якщо компетентність GC_i формується в межах EC_j (таб.1).

Таблиця 1- Матриця інцидентності (B) освітньої програми

	EC_1	EC_2	EC_3	EC_4	EC_5	EC_6	EC_7	EC_8	EC_9	EC_{10}	EC_{11}	EC_{12}
GC_1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GC_2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GC_3	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
GC_4	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0
GC_5	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0
GC_6	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
GC_7	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
GC_8	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0

На основі *B* будуються дві індуковані матриці:

Матриця $A = B \cdot B^T$ (8×8) — відображає зв'язки між компетентностями через спільні освітні компоненти [3]. Діагональний елемент a_{ii} показує кількість компонентів, що формують GC_i, а недіагональний a_{ij} — кількість спільних компонентів для GC_i та GC_j (рис.1).

Матриця $A_1 = B^T \cdot B$ (12×12) — відображає зв'язки між освітніми компонентами через спільні компетентності. Діагональний елемент показує навантаження на компонент (скільки компетентностей він формує), а недіагональний — кількість спільних компетентностей між двома компонентами (рис.2).

2. Аналіз матриці A: інтеграційність компетентностей.

Матриця A дозволяє оцінити, наскільки кожна компетентність інтегрована в програму. Для цього вводиться показник інтеграційності:

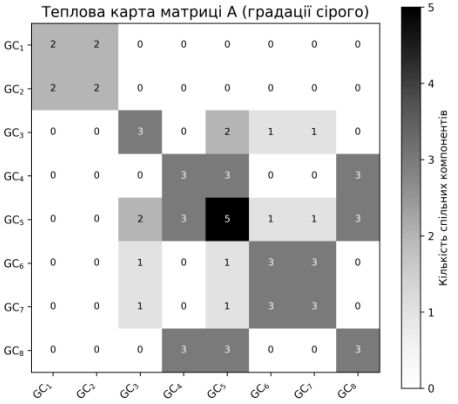


Рисунок 1- Візуалізація компетентностей матриці А



Рисунок 2- Візуалізація освітніх компонентів матриці A_1

Він показує частку зв'язків компетентності з іншими відносно її власного покриття. Розрахунок за початковою матрицею А (рис. 1) виявив:

GC_1 та GC_2 мають низьку інтеграційність (0.143), оскільки формуються лише в EC_1 та EC_2 і пов'язані тільки між собою.

GC_5 має найвище покриття (a_{55}=5) та високу інтеграційність (0.286), що свідчить про її системоутворюючу роль, але водночас і про ризик надмірного дублювання.

GC_4 та GC_8 мають ідентичні профілі зв'язків, що може вказувати на необхідність диференціації.

3. Аналіз матриці A_1: навантаження та зв'язки компонентів

Матриця A_1 дає змогу оцінити структурну роль кожного освітнього компонента (рис.2). Аналіз виявив:

EC_9 та EC_{12} — нульові рядки та стовпці, тобто ці компоненти не формують жодної компетентності. Це критична проблема, що потребує корекції.
EC_5, EC_6, EC_{10} — мають ідентичні профілі зв'язків, що свідчить про дублювання змісту.
EC_3 — має високе навантаження (4) та сильні зв'язки з EC_7, EC_8, EC_{11}, що робить його центральним елементом програми (таб.1).
Кластеризація:
Кластер 1: EC_1, EC_2 (базові дисципліни)
Кластер 2: EC_5, EC_6, EC_{10} (професійні дисципліни з GC_4, GC_5, GC_8)
Кластер 3: EC_3, EC_7, EC_8, EC_{11} (системно-проєктні дисципліни)
Ізольовані: EC_9, EC_{12}

4. Корекція освітньої програми

На основі виявлених проблем запропоновано дві корекції матриці B:
Додано зв'язок $EC_9 \rightarrow GC_3$ ($b_{39} = 1$)
Це дозволило:

Збільшити інтеграційність GC_3 з 0.190 до 0.250 (+31.6%).

Надати EC_9 ненульове навантаження.

Додано зв'язок $EC_{12} \rightarrow GC_1$ ($b_{1,12} = 1$)
Це призвело до:

Зменшення інтеграційності GC_1 з 0.143 до 0.095, що свідчить про рівномірніший розподіл,

Інтеграції EC_{12} у програму.

Після корекції жоден компонент не залишився з нульовим навантаженням, а загальний баланс програми покращився.

5. Візуалізація результатів:

Для наочності аналізу та презентації результатів доцільно використовувати теплові карти. Вони дозволяють миттєво ідентифікувати "гарячі" та "холодні" зони матриць.
Рекомендовані теплові карти:
Теплова карта матриці A (компетентності)
Візуалізує, які компетентності є найбільш інтегрованими (темні клітинки), а які — ізольованими (світлі).
Дозволяє побачити кластери компетентностей, що формуються спільно.
Діагональ показує "покриття" кожної компетентності.
Теплова карта матриці A_1 (освітні компоненти)
Виявляє дублювання компонентів (ідентичні рядки).
Показує "хаби" — компоненти з найбільшою кількістю зв'язків.
Чітко ідентифікує нульові рядки (EC_9, EC_{12} до корекції).

Висновки.

Запропонований підхід до аналізу ОП на основі матриць A та A_1 забезпечує:

-об'єктивне виявлення структурних недоліків (ізольованість, дублювання, нульове навантаження);

-кількісне обґрунтування корекцій без зміни цільової моделі компетентностей;

-можливість візуалізації результатів за допомогою теплових карт, що підвищує наочність для гарантів програм, викладачів та акредитаційних комісій.

Перспективи подальших досліджень включають автоматизацію розрахунків, інтеграцію з LMS та врахування рівнів засвоєння компетентностей за таксономією Блума.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Rashkevych, Yu. M. (2014). Bolonskyi protses ta nova paradyhma vyshchoi osvity [The Bologna Process and a new paradigm of higher education] (Monograph). Lviv Polytechnic Publishing House.

2. Shpinkovsky, O. O., & Boltenkov, V. O. (2026). Graphical model for formalizing structural-logical schemes of educational programs. Informatics and Mathematical Methods in Simulation, 16(1), 204–210. https://doi.org/10.15276/imms.v16.no1.204

3. Newman, M. E. J. (2018). Networks: An introduction (2nd ed.). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/oso/9780198805090.001.0001

УДК 004.93:004.021

Волошина Є.А.[1], Бахрушин В.Є.[2]

АЛГОРИТМИ ВИЯВЛЕННЯ ТЕКСТОВИХ ЗБІГІВ

Актуальність

У сучасному інформаційному суспільстві обсяги текстових даних стрімко зростають. Щодня створюються мільйони документів, статей, повідомлень у соціальних мережах, освітніх і наукових робіт. Це зумовлює потребу у використанні методів аналізу текстової інформації, зокрема у задачах виявлення текстових збігів [1].

Проблема виявлення схожих або тотожних текстів є актуальною у багатьох галузях: у системах перевірки академічної доброчесності, при пошуку плагіату, у пошукових системах, у задачах класифікації документів, у біоінформатиці, комп'ютерній лінгвістиці та інформаційній безпеці. Важливим аспектом є не лише знаходження повних збігів, але й виявлення часткової та смислової схожості текстів [2].

Для розв'язання таких задач застосовуються різні алгоритми та математичні моделі, зокрема n-грамні методи, шинглінг, метрики редагування рядків, а також статистичні та інтелектуальні методи

[1] студентка групи КНТ-813, НУ «Запорізька політехніка»

[2] професор, НУ «Запорізька політехніка», д.ф.-м.н.

обробки текстів [3]. Одним із базових і широко використовуваних інструментів є алгоритм обчислення відстані Левенштейна, який дає змогу визначати міру відмінності між рядками [4].

Мета та завдання

Метою проєкту є дослідження алгоритмів виявлення текстових збігів та аналіз методів визначення схожості текстів на прикладі алгоритму відстані Левенштейна. У роботі поєднується теоретичне вивчення алгоритмів порівняння текстів і їх практичне застосування.

Алгоритм виконується наступним чином:

Під час виконання проєкту поглиблюються знання у сфері аналізу текстових даних, методів представлення інформації та математичних моделей порівняння рядків.

Також формуються навички збирання, обробки та аналізу текстових даних, роботи з науковими джерелами та інтерпретації отриманих результатів.

Основні терміни

- **Відстань Левенштейна** – це числова характеристика, що визначає різницю між двома рядками тексту. Вона показує, скільки операцій вставки, видалення або заміни символів необхідно виконати, щоб один рядок перетворити на інший [4].
- **Текстова схожість** – міра подібності двох текстів за змістом або структурою [5].
- **Шинглинг** – це процес розбиття тексту на підрядки фіксованої довжини, які називаються «шингли» [6].
- **TF-IDF** – це статистична міра, яка визначає важливість слова у документі відносно всього корпусу текстів [6].
- **Косинусна схожість** – це метод, який дозволяє порівняти векторні представлення текстів. Він обчислює косинус кута між векторами, що показує, наскільки тексти близькі за змістом [6].
- **N-грами** – це послідовності з N підрядкових елементів (символів або слів) у тексті [7].
- **Попередня обробка** – це етап підготовки тексту перед аналізом, що включає очищення тексту від зайвих символів, токенізацію, приведення слів до базової форми (лематизацію) та видалення стоп-слів [5].

Алгоритм відстані Левенштейна

Цей алгоритм дозволяє порівнювати слова, фрази або тексти, виявляти схожість і знаходити помилки при аналізі тексту. Він застосовується у системах перевірки плагіату, автоматичній корекції текстів та задачах обробки природної мови [4].

Алгоритм виконується наступним чином:

1. Створюється таблиця розміром (довжина першого рядка + 1) × (довжина другого рядка + 1).

2. Перший рядок і перший стовпець таблиці ініціалізуються числами від 0 до довжини відповідного рядка. Це потрібно для обліку операцій вставки і видалення.
3. Далі таблиця заповнюється по клітинках, де для кожної пари символів обчислюється мінімальна кількість операцій:
    - якщо символи однакові, вартість заміни дорівнює 0;
    - якщо символи різні, вартість заміни дорівнює 1.
4. Для кожної клітинки обирається мінімальне значення з трьох можливих операцій: вставка, видалення, заміна.
5. Після заповнення таблиці значення у нижньому правому куті таблиці дає **відстань Левенштейна** між рядками.

Приклади обчислення:

- "Мама" → "Тато" = 3
- "Кіт" → "Кит" = 1
- "Інформація" → "Деформація" = 2
- "Я люблю програмування" → "Я люблю кодування" = 11
- "Сьогодні гарна погода" → "Сьогодні хороша погода" = 6.

Перевірка алгоритму

Алгоритм відстані Левенштейна був перевірений на різних прикладах слів і фраз. Всі результати відповідають очікуваним значенням, тобто програма правильно обчислює кількість необхідних операцій для перетворення одного рядка в інший. Помилок у логіці алгоритму не виявлено.

Висновки

У роботі було розглянуто проблему виявлення текстових збігів та методи визначення схожості текстів. Особливу увагу приділено алгоритму відстані Левенштейна, який дозволяє обчислювати різницю між рядками на основі операцій вставки, видалення та заміни символів [4]. Проведена перевірка показала, що алгоритм коректно визначає ступінь схожості між словами і фразами. Отримані результати підтверджують, що цей метод може ефективно застосовуватися у задачах перевірки текстів, пошуку плагіату та обробки природної мови [5].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гнатюк, С. В. (2019). *Обробка природної мови: Методи та алгоритми*. Львівський національний університет імені І. Франка.

2. Романенко, А. М. (2021). *Аналіз текстових даних: Методи та програмна реалізація*. КПІ ім. Ігоря Сікорського.

3. Шелестов, В. Ю. (2017). Методи порівняння рядків у задачах аналізу текстів. *Вісник НТУУ «КПІ»*.

4. Levenshtein, V. I. (1966). Binary codes capable of correcting deletions, insertions, and reversals. *Soviet Physics Doklady*.

5. Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2023). *Speech and language processing*. Pearson Education.

6. Manning, C. D., Raghavan, P., & Schütze, H. (2008). *Introduction to information retrieval*. Cambridge University Press.

7. Navarro, G. (2001). A guided tour to approximate string matching. *ACM Computing Surveys*.

УДК 681.51

Каменков К. І.[1], Воєводіна М. Ю. [2]

КЛЮЧОВІ ОСНОВИ МАЙБУТНЬОЇ ПЕРСПЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ 6G

5G тільки починає тестуватися в Харкові, але у майбутньому така технологія не відповідатиме високим вимогам через недоліки:

1. програмне забезпечення, що стрімко розвивається, потребуватиме набагато вищої швидкості передавання даних, ніж 5G;

2. кількість пристроїв Інтернету речей зростає лавиноподібно, номенклатура розширюється, тому у майбутньому необхідно покращити можливості підімкнення і покриття 5G IoT;

3. необхідно автоматизувати поточне налаштування конфігурації та оптимізацію мережі.

Майбутня 6G базуватиметься (рис. 1) на таких технологіях майбутнього [1]:

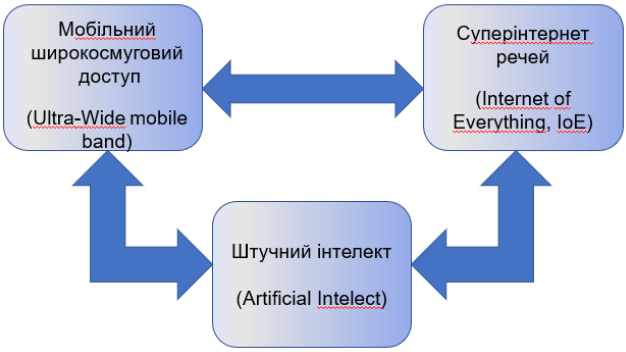


Рисунок 1. – База 6G

• UWB – Ultra-Wide Band (мобільний надширокосмуговий зв'язок), бездротова технологія малого радіусу дії, що передає дані на

[1] Студент групи КН 2022-1, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
[2] Ст. викл. кафедри КН та ІТ, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова

високих швидкостях через широкий спектр частот. Основними перевагами є: надточне визначення місцезнаходження, висока безпека (бездротовий зв'язок захищає від прослуховування та завад), стійкість до перешкод та низьке енергоспоживання.

- суперінтернет речей (IoT), на основі всеохопного інтернету (Internet of Everything, IoE), що об'єднує людей, процеси, дані та речі в єдину інтелектуальну мережу, матиме покращені можливості підімкнення та покриття поточного IoT.
- штучний інтелект (ШІ), що буде використовуватись для налаштування та оптимізаційї мережі інтелектуальним способом, з використанням глибокої нейронної мережі [2].

Масове впровадження Інтернету речей (IoT) вимагає нових енергоефективних і спектральних комунікаційних технологій. Симбіотичне радіо (SR) дасть нові можливості підімкнення та покриття поточного IoT, це перспективне рішення, яке використовує переваги когнітивного радіо та навколишнього зворотного розсіювання, осчкільки воно зможе одночасно передавати і стільникові дані, і дані Інтернету речей.

Основою smart епохи є дані, а сенсори - джерело даних. Як нервові закінчення розумних організмів, сенсори збирають інформацію про стан пристроїв або користувачів і інформацію про їхнє середовище, включаючи мультимодальні параметри, забезпечують IoT за підтримки взаємозв'язку та технологій штучного інтелекту.

Основною проблемою навчання бездротового зв'язку є різноманіття сценаріїв. Тому саме глибоке навчання, що нагадує процес сприйняття в мозку, є ефективним рішенням. Воно включає в себе кілька шарів нейронних мереж, які допомагають системі зрозуміти і інтерпретувати дані. Ця техніка дозволяє розпізнавати шаблони сценаріїв та керувати складними завданнями.

Глибока нейронна мережа має три рівні: вхідний (інформація про стан середовища, прихований (виокремлення характеристики вхідної інформації) та вихідний(ухвалює рішення щодо класифікацій).

Щорічний IoT World Forum наголосив на застосуванні IoT у "розумних" сценаріях та питаннях екологічної стійкості, отже, питання екології теж слід прив'язувати до перспектив технологічного розвитку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. IEEE. (n.d.). *11th World Forum on Internet of Things*. https://wfiot2025.iot.ieee.org

2. Руденко, Н. В., Дакова, Л. В., та ін. (2023). Проблеми розвитку та вдосконалення єдиної національної системи зв'язку. *Зв'язок*, (2).

UDC 681.518.3.01 Vasylenko O.V.[1], Snizhnoi G.V.[2], Savchenko A.O.[3]

DEVELOPMENT OF SCADA SYSTEMS IN THE CONCEPT OF INDUSTRY 4.0

In the era of Industry 4.0, SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) systems are evolving from traditional monitoring tools to intelligent, decentralized platforms that enable complete digital automation of production [1]. Modern SCADA systems are moving towards greater compatibility and integration with the Industrial Internet of Things (IIoT). A fundamental shift in SCADA is the transition from a passive human-machine interface (HMI), which simply visualizes data for human response, to an active predictive system. The following key areas of SCADA development can be identified:

- the shift from on-premises servers to hybrid architectures, where critical control remains on the edge for speed, while heavy data analytics moves to the cloud, enabling seamless integration with MES (Manufacturing Execution System) and ERP layers;
- the development of SCADA capabilities towards the concept of Digital Twins, which are models of physical assets in SCADA to simulate "what-if" scenarios and optimize processes without real risk;
- the introduction of robust encryption and network segmentation (VLAN) as systems increasingly connect to external networks, which strengthens SCADA cybersecurity.

SCADA that meets the object level of Industry 4.0 is based on breakthrough technologies. For example, through the integration of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML), SCADA systems can now detect hidden patterns and anomalies in real time. One of the biggest advantages of such systems is Predictive Maintenance, i.e., instead of waiting for an alarm threshold, modern SCADA uses historical and real-time data to predict equipment failures, which allows for timely maintenance and reduces downtime. Artificial intelligence algorithms allow SCADA to perform smarter automation, where the system can automatically take corrective actions or optimize control settings with minimal human intervention [2].

In modern SCADA systems, the transition to predictive control relies on specialized artificial intelligence algorithms that process high-frequency sensor data to detect anomalies and predict failures. Below are some of the most popular algorithms that help turn SCADA into a forecasting tool.

Long Short-Term Memory (LSTM) networks, which are a subclass of recurrent neural networks (RNN) specifically designed to capture temporal

[1] Assoc. Prof. Dept. of IS&N, Zaporizhzhia Polytechnic National University, PhD, Assoc. Prof.
[2] Prof. Dept. of IS&N, Zaporizhzhia Polytechnic National University, D.Sc., Prof.
[3] Student, gr. 412, Zaporizhzhia Polytechnic National University

dependencies in time series data. They are widely used to predict when a component will fail based on historical trends and fault classification. Unsupervised deep learning models (Autoencoders) used to detect complex anomalies that can learn the "normal" state of a machine and flag any deviation as a problem without requiring labeled "fault" data.

The XGBoost (Extreme Gradient Boosting) ensemble learning algorithm, which has high performance on structured industrial data and often even outperforms deep learning models when the training data is limited or unbalanced, which is common in legacy SCADA environments. It is also used for anomaly detection to identify deviations from "normal" operation that indicate cyberattacks or mechanical wear. A Random Forest classifier, which is capable of reducing false alarms by up to 27% compared to traditional SCADA threshold alerts, provides robustness to noisy sensor data, provides "feature importance" scores, helping operators understand which sensor (e.g., vibration vs. temperature) is triggering an alert.

We propose to define the following principles for using active SCADA 4.0 at different levels of the Industry 4.0 reference architectural model (RAMI 4.0). Field and Control Devices Levels: Traditional control devices (e.g. PLCs) are replaced by edge gateways. These gateways process raw sensor data locally to detect immediate anomalies, before sending the data to the central system. Station and Work Center Levels: SCADA visualization evolves into Digital Twins. For example, in manufacturing, operators interact with a 3D virtual model of a production line, and real-time SCADA data is superimposed on this twin to highlight maintenance needs or performance bottlenecks detected by artificial intelligence. Enterprise and Connected World Levels: Predictive enterprise management. At the highest level, SCADA data is transferred to cloud services. In smart grids, global AI models for load balancing analyze data from millions of endpoints in real time to automatically adjust production schedules, integrating field operations directly with business-level.

REFERENCES:

1. Folgado, F.J., Calderón, D., González, I., Calderón, A.J. (2024) Review of Industry 4.0 from the Perspective of Automation and Supervision Systems: Definitions, Architectures and Recent Trends. *Electronics*, *13 (4)*, 782. DOI: https://doi.org/10.3390/electronics13040782

2. Taha, M. (2024). Integrating artificial intelligence with SCADA systems: Enhancing operational efficiency, predictive maintenance, and environmental sustainability. *Industrial Automation and Environmental Sustainability*. 0827202002. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18624.75526

УДК 681.6 Лозицький Р.С.[1], Славінський Д.В.[2]

АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ МЕХАНІЧНИХ З'ЄДНАНЬ КОНВЕЄРНИХ СТРІЧОК У ГІРНИЧОДОБУВНІЙ ГАЛУЗІ

Стрічкові конвеєри є ключовим елементом транспортної інфраструктури гірничодобувних підприємств та забезпечують безперервне транспортування значних обсягів гірничої маси. Надійність роботи конвеєрної стрічки як основного тягового та несучого елемента безпосередньо визначає ефективність функціонування технологічного комплексу підприємства. У сучасних умовах інтенсифікації гірничих робіт підвищення надійності стрічкових конвеєрів набуває особливої актуальності.

Проте саме змичкові з'єднання (сплайси) залишаються найслабшим місцем конвеєрної системи, оскільки вони порушують цілісність каркаса стрічки та знижують її загальну механічну міцність [1]. У процесі експлуатації стрічкових конвеєрів зона стику піддається підвищеним навантаженням, що призводить до прискореного зношування та зростання ймовірності аварійних відмов [2].

Згідно з галузевими даними, неправильне або неякісне стикування є причиною приблизно 80 % [3] усіх випадків виходу конвеєрних стрічок з ладу. При цьому простої, спричинені пошкодженням або розривом стиків, можуть становити 21–22 % [3] загального часу позапланових зупинок обладнання.

Дослідження на підземних конвеєрних системах шахти Vulcan у басейні долини Жіу показало, що несправності, пов’язані зі скобовими з’єднаннями стрічки, становлять 46.48 % [4] усіх зафіксованих відмов конвеєрної системи. Такий показник підтверджує критичну роль механічних стиків у загальній структурі відмов транспортних систем гірничих підприємств.

Порівняльні дослідження показують, що вулканізовані стики дозволяють зберігати до 80–90% [5] міцності стрічки, тоді як механічні з'єднання забезпечують лише 28–60 % від номінальної міцності цілісного полотна. Це пояснюється конструктивними особливостями механічних кріплень та наявністю локальних концентрацій напружень у зоні стику.

Разом з тим, механічні з’єднання широко застосовуються у гірничодобувній галузі завдяки своїм експлуатаційним перевагам. Вони дозволяють виконувати ремонт стрічки безпосередньо в умовах виробництва та значно скорочують час відновлення працездатності конвеєра. Тривалість монтажу такого стику зазвичай становить від 20

[1] Аспірант, гр. АРа-25-10, НТУ «Дніпровська політехніка»
[2] Доцент кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем, НТУ «Дніпровська політехніка», к. т. н.

до 60 хвилин, що є важливим фактором при ліквідації аварійних ситуацій.

До сучасних систем механічних стиків належать, зокрема, з'єднувачі типу "Vulkan" (аналог Flexco® Bolt, наприклад РШМ-120/1600), які застосовуються для швидкого з'єднання гумотканинних конвеєрних стрічок. Подібні системи характеризуються технологічністю монтажу, можливістю встановлення без використання складного обладнання та достатньою механічною надійністю в умовах інтенсивної експлуатації.

Механічні стики піддаються комплексному впливу експлуатаційних факторів, що призводить до їх поступової деградації. Основними причинами пошкоджень є:

- Абразивний знос. При транспортуванні матеріалів з високою абразивністю, зокрема залізної руди, характерної для родовищ Кривбасу, металеві елементи механічних стиків піддаються інтенсивному стиранню. У зоні контакту гумової обкладки з абразивним матеріалом можуть формуватися так звані хвилі Шалламаха (Schallamach waves) [6], які прискорюють руйнування поверхневого шару гуми та сприяють оголенню металевих елементів стику.
- Ударні пошкодження. Падіння великих шматків породи безпосередньо на зону стику може спричиняти деформацію металевих елементів та руйнування волокон каркаса стрічки.
- Втомні явища матеріалу. Під час проходження стику через барабани та роликоопори виникають циклічні навантаження, що призводять до поступового виривання кріплень зі стрічки та накопичення втомних пошкоджень.
- Помилки монтажу. Неправильний натяг стрічки є однією з найпоширеніших причин руйнування стиків. Надмірний натяг призводить до прискореної втоми матеріалу, а недостатній — до пробуксовування стрічки та термічного пошкодження гумових обкладок.
- Корозія та забруднення. Механічні стики конструктивно мають щілини, у яких накопичуються волога та дрібні фракції матеріалу. Це створює умови для корозії металевих елементів і пошкодження тканинного каркаса стрічки.

Економічні наслідки відмов конвеєрних систем можуть призводити до значних фінансових втрат. За оцінками галузевих досліджень, середня вартість простою промислового обладнання може становити близько $125 000 за годину [7], а у випадку великих гірничих підприємств цей показник може досягати $260 000 за годину [8]. У вугільній промисловості США втрати від зупинки магістрального конвеєра становлять близько 1000 $ за хвилину. При продуктивності 1000–3500 т/год [9] кожна хвилина простою може відповідати втратам

33 000–100 000 індійських рупій [9] у перерахунку на ринкову вартість палива. Повний розрив стрічки на великому гірничому об'єкті може призвести до загальних втрат у розмірі від $6 до $12 мільйонів за один інцидент [10].

Водночас застосування підходів предиктивного обслуговування дозволяє зменшити витрати на ремонтні роботи приблизно на 25–30 % у порівнянні з реактивним ремонтом після виникнення відмов.

Висновки. Механічні з'єднання конвеєрних стрічок залишаються затребуваними в гірничодобувній галузі завдяки високій швидкості монтажу та можливості оперативного відновлення працездатності конвеєрних систем. Проте їх використання супроводжується зниженням міцності стрічки та підвищеною ймовірністю відмов у зоні стику.

Аналіз статистики відмов, механізмів руйнування та економічних наслідків зупинок конвеєрних систем свідчить про необхідність удосконалення методів контролю технічного стану механічних стиків. Одним з перспективних напрямків є впровадження предиктивної діагностики, що дозволяє своєчасно виявляти потенційні дефекти, планувати ремонтні роботи та зменшувати ризик аварійних зупинок конвеєрних ліній [11].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Hardygóra, M., Bajda, M., & Błażej, R. (2016). Laboratory testing of conveyor textile belt joints used in underground mines. *Mining Science*, *22*, 161-169.

2. Temerzhanov, A., Stolpovdkikh, I., & Sładkowski, A. (2012). Analysis of reiability parameters of convey or belt joints. *Transport Problems*, *7*(4), 107-112.

3. Zimroz, R., & Król, R. (2015). Failure analysis of belt conveyor systems for condition monitoring purposes. *Mining Science*, *128*(36), 255-270.

4. Tomuș, O. B., Andraș, A., & Magyari, M. (2017). Study on the reliability of the underground conveyor belt system installed at Vulcan Mine, the Jiu Valley Basin in Romania. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 121, p. 01016). EDP Sciences.

5. BS Belt Factory. (n.d.). *Types and tips of conveyor belt splices*. https://www.bsbeltfactory.com/types-and-tips-of-conveyor-belt-splices/

6. Best, B., Meijers, P., & Savkoor, A. R. (1981). The formation of Schallamach waves. *Wear*, *65*(3), 385-396.

7. ABB. (2023). *The real cost of downtime 2023: The industrial survey report*. ABB.

8. https://library.e.abb.com/public/45afcf54780c489095517e653422d157/ABB_Survey%20Report%202023_1920x1080_20231010_JL_final_edits.pdf

9. Aberdeen Group. (n.d.). *Stat of the week: The rising cost of*

downtime. Aberdeen Strategy & Research. https://www.aberdeen.com/techpro-essentials/stat-of-the-week-the-rising-cost-of-downtime/

10. Softweb Solutions. (2024). *Predictive maintenance to prevent costly conveyor belt failures in mining*.

11. Rock Products. (2025, August 11). *The real cost of downtime in mining and heavy industrial operations*.

12. https://rockproducts.com/2025/08/11/the-real-cost-of-downtime/

13. Bajda, M. (2025). Predicting the working time of multi-ply conveyor belt splices in underground mines. *Mining Science*, *31*, 259-274.

14. Fenner Dunlop. (2019). *Abrasive wear testing and cover grade durability in mining operations*. Mining & Quarry World.

15. Euro Belt LLC. (2025). *Technical specifications and reliability of mechanical joints for conveyor belts in Ukrainian mining conditions* (Technical report). Euro Belt LLC.

16. Joloda Conveyor Systems. (2023). *The economic impact of downtime of your conveyor system*.

17. Nins, B., Penagos, J. J., Moreira, L., Münch, D., Falqueto, P., Viáfara, C. C., & da Costa, A. R. (2022). Abrasiveness of iron ores: Analysis of service-worn conveyor belts and laboratory Dry Sand/Rubber Wheel tests. *Wear*, *506*, 204439.

УДК 004.9

Коротіна А. В. [1]

ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРАКТИВНОГО ПРОЄКТУ В СЕРЕДОВИЩІ SCRATCH ДЛЯ ВИВЧЕННЯ АЛГОРИТМІВ УЧНЯМИ 5-6 КЛАСІВ

Вступ. Сучасна шкільна освіта активно інтегрує інформаційно-комунікаційні технології у навчальний процес. Особливе місце серед навчальних дисциплін посідає інформатика, оскільки вона формує в учнів цифрову грамотність, алгоритмічне та логічне мислення, а також уміння працювати з інформацією. У процесі вивчення інформатики в 5-6 класах важливим завданням є формування основ програмування та розуміння принципів побудови алгоритмів. Для цього доцільно використовувати методи навчання, які поєднують теоретичний матеріал із практичною діяльністю та сприяють підвищенню інтересу учнів до предмета (Пасічник, 2019).

У сучасному освітньому процесі проєктна діяльність є важливим засобом розвитку креативного мислення учнів. Креативність розглядається як здатність генерувати нові ідеї, знаходити нестандартні

[1] Магістрантка факультету комп'ютерних наук, математики, фізики та економіки ПНПУ імені В. Г. Короленка

рішення та застосовувати їх під час виконання навчальних завдань. Такий підхід сприяє переходу від пасивного засвоєння інформації до активного створення власного продукту, формуючи самостійність, ініціативність і відповідальність за результат роботи.

Основний матеріал. Учні середнього шкільного віку краще сприймають інформацію, коли вона подається у наочній та інтерактивній формі. Саме тому під час навчання програмуванню доцільно використовувати середовища візуального програмування, які дозволяють створювати власні проєкти та експериментувати з алгоритмами. Одним із найбільш доступних інструментів для цього є середовище Scratch, яке забезпечує плавний перехід від ігрової діяльності до навчально-пізнавальної (Ковалюк, 2020).

Scratch — це візуальне середовище програмування, створене для ознайомлення дітей з основами програмування. Його особливістю є блочна система, у якій команди представлені у вигляді графічних блоків, що поєднуються між собою для створення алгоритму роботи програми. Такий підхід дозволяє уникнути помилок синтаксису та зосередитися на логіці побудови алгоритмів. Кожен блок відповідає за певну дію: керування рухом об’єкта, зміну зовнішнього вигляду, відтворення звуку, перевірку умов або повторення команд (Ковалюк, 2020).

Інтерфейс Scratch є інтуїтивно зрозумілим для учнів. Робоче середовище містить сцену, на якій відображаються події проєкту, область спрайтів для керування об’єктами, панель блоків команд та робочу зону для створення алгоритмів. Спрайти можуть змінювати положення, зовнішній вигляд, взаємодіяти з іншими об’єктами та реагувати на дії користувача. Завдяки цьому учні можуть створювати анімації, інтерактивні історії та навчальні ігри.

Не надаючи учням покрокових інструкцій, учитель створює умови, за яких вони можуть самостійно аналізувати поставлені завдання, визначати їх логічні етапи, формувати алгоритми дій, перевіряти власні рішення та коригувати помилки. Такий підхід сприяє розвитку обчислювального мислення, здатності планувати послідовність дій і переносити набуті знання на нові ситуації (Пасічник, 2019). Робота над проєктами також стимулює творче мислення, оскільки учні мають можливість самостійно обирати дизайн, створювати персонажів і продумувати сюжет власної програми (Мороз, 2024).

З метою підвищення зацікавленості учнів до вивчення теми «Алгоритми та програми» було розроблено інтерактивний навчальний проєкт у середовищі Scratch у вигляді гри-квесту. Основною ідеєю проєкту стало поєднання навчального матеріалу з елементами гри, що робить процес засвоєння знань більш цікавим і доступним (Петренко, Кущ, 2023). Під час проходження гри учні виконують різні завдання, спрямовані на перевірку знань з теми алгоритмів та розвиток логічного мислення.

Проєкт розпочинається з вступної сцени, де учень знайомиться з інтерфейсом гри та отримує основне завдання. Після запуску програми гравець переходить до першого етапу — проходження лабіринту. Персонаж рухається за допомогою клавіш клавіатури, а учень повинен знайти правильний шлях до виходу. Такий елемент гри залучає учнів до активної взаємодії з програмою та демонструє можливості керування об'єктами у Scratch.

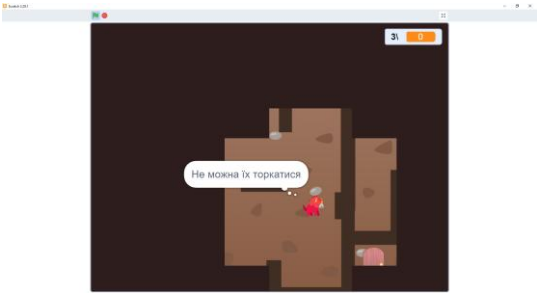


Рисунок 1 – Перший етап: лабіринт

Після проходження лабіринту з'являється персонаж-помічник, який пояснює подальшу мету гри. Для успішного завершення квесту необхідно виконати кілька навчальних завдань і зібрати ключі.

Одним із завдань є вікторина, у якій учень обирає правильну відповідь із запропонованих варіантів. У програмному коді використовуються умовні оператори, які перевіряють вибір користувача та виводять відповідне повідомлення. Інший етап передбачає введення відповіді з клавіатури, після чого програма перевіряє правильність введених даних за допомогою змінних та умовних блоків.

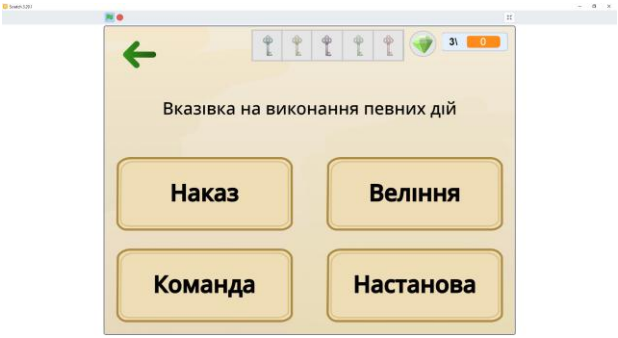


Рисунок 2 – Вікторина

Окремий етап гри спрямований на формування алгоритмічного мислення. Учень отримує набір дій, розташованих у випадковому

порядку, і повинен визначити правильну послідовність їх виконання. Програма перевіряє відповідь та повідомляє результат. Таке завдання допомагає краще зрозуміти принцип побудови алгоритмів.

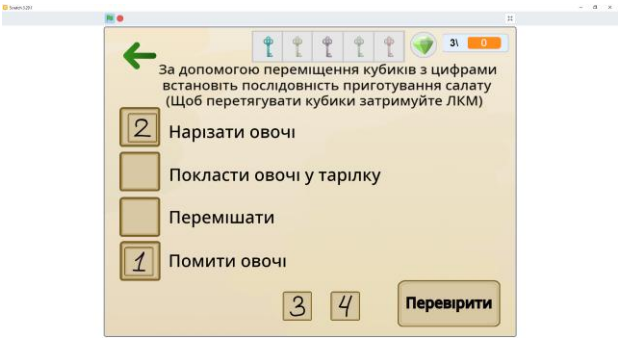


Рисунок 3 – Завдання на встановлення послідовності

Ще одним етапом є завдання на відновлення слова, у якому літери розташовані у неправильному порядку. Учень повинен скласти правильний термін, пов'язаний з інформатикою, та ввести його у відповідне поле. Завершальне завдання передбачає співвіднесення прикладів алгоритмів із видами розгалужень за допомогою механізму перетягування об'єктів.

За кожне правильно виконане завдання учень отримує ключ. Якщо відповідь неправильна, програма повідомляє про помилку та пропонує повторити спробу. Така система створює додаткову мотивацію та спонукає учнів аналізувати власні помилки, що є одним із елементів гейміфікації навчального процесу.

Після завершення гри доцільно продемонструвати учням програмний код проєкту. Це дозволяє їм побачити, як саме реалізовано різні елементи гри, та зрозуміти, що проєкт створено за допомогою тих блоків і конструкцій, які вони вже вивчали на уроках інформатики. Такий підхід допомагає учням усвідомити практичне застосування набутих знань та сприяє формуванню інтересу до створення власних програм.

Практичне використання розробленого проєкту на уроках інформатики показало, що інтерактивна форма навчання підвищує інтерес учнів до предмета. Учні активно виконують завдання, обговорюють результати та намагаються знайти оптимальні способи проходження гри, що робить навчальний процес більш динамічним.

Висновки. Таким чином, використання інтерактивного навчального проєкту у середовищі Scratch є ефективним способом вивчення теми «Алгоритми та програми» у 5-6 класах. Поєднання проєктної діяльності, елементів гри та візуального програмування сприяє розвитку алгоритмічного мислення, творчих здібностей і

цифрової компетентності учнів, а також підвищує мотивацію до вивчення інформатики.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ковалюк, М. І. (2020). *Курс з основ програмування на Scratch: методичний посібник.* Западинці.

2. Мороз, Н. В. (2024). Методичні основи побудови скриптів ігрової тематики в середовищі scratch на уроках інформатики в початковій школі. *Інноваційна педагогіка,* 69(2), 63-66.

3. Пасічник, О. В. (2019). *Методика навчання інформатики у 5–6 класах закладів загальної середньої освіти: навч.-метод. посіб.* Київ: Світич.

4. Петренко, Д. В., & Кущ, П. П. (2023). *Гейміфікація в освітньому середовищі*. Житомир: Світ книги.

УДК 004.5

Цвєтков В.В.[1], Тягунова М.Ю.[2], Киричек Г.Г. [3]

ПРИСТРІЙ МОВНОГО ІНФОРМУВАННЯ ЧИСЛОВИХ ДАНИХ У СИСТЕМАХ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ

Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності вимірювальних процесів у виробничих умовах є використання пристроїв мовного інформування числових даних. Такі пристрої забезпечують дублювання результатів вимірювання у звуковій формі, що дозволяє залучити додатковий канал сприйняття інформації та підвищити надійність фіксації результатів контролю.

Ідея використання мовного інформування базується на принципах ергономіки та особливостях людського сприйняття інформації [1, 2]. У традиційних системах контролю оператор отримує інформацію лише через зоровий канал, спостерігаючи показники на індикаторі вимірювального приладу. У випадку високого темпу роботи або тривалого зорового навантаження це може призводити до зниження концентрації уваги та появи помилок. Дублювання інформації у звуковій формі дозволяє значно підвищити достовірність її сприйняття.

Запропонований пристрій мовного інформування являє собою додатковий електронний модуль, який інтегрується з цифровими контрольно-вимірювальними приладами. Основною функцією пристрою є перетворення числових результатів вимірювання у голосові повідомлення, які відтворюються через акустичний модуль.

[1] Студент групи КНТз-515м, НУ «Запорізька політехніка»
[2] В.о. декана ФКНТ, НУ «Запорізька політехніка», к. т. н., доцент
[3] Доцент кафедри КСМ, НУ «Запорізька політехніка», к. т. н., доцент

Принцип роботи пристрою передбачає зчитування цифрового сигналу з вимірювального приладу через відповідний інтерфейс передачі даних. Отримана інформація передається до мікроконтролерного модуля, де здійснюється її обробка. Після цього формується відповідне мовне повідомлення, яке відтворюється через динамік або навушники.

Структурно система складається з декількох основних компонентів: модуля зчитування даних, мікроконтролерного блоку обробки інформації, звукового модуля відтворення мовлення та органів керування (рис. 1). У залежності від умов експлуатації пристрій може мати різні варіанти активації озвучення результатів вимірювання. Зокрема, активація може здійснюватися вручну за допомогою кнопки, за допомогою ножної педалі або автоматично після завершення вимірювальної операції.

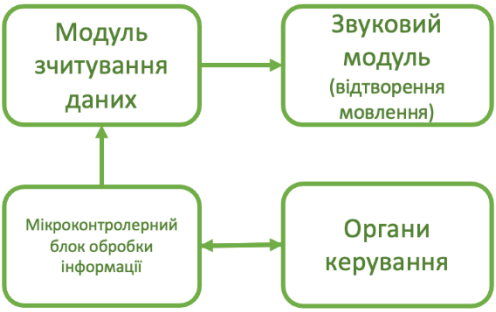


Рисунок 1 – Структурна схема пристрою

Однією з важливих функціональних можливостей системи є аналіз отриманих результатів вимірювання щодо відповідності встановленим допускам. У цьому випадку пристрій може не лише озвучувати числове значення вимірюваного параметра, але й повідомляти про відповідність або невідповідність результату встановленим технічним вимогам. Така функція дозволяє значно підвищити оперативність контролю якості продукції.

Додатково система може бути розширена за рахунок програмних модулів, що забезпечують збереження статистики вимірювань, налаштування параметрів озвучення, регулювання гучності та вибір мови повідомлень. Це робить пристрій універсальним інструментом підтримки вимірювальних процесів у різних виробничих умовах.

Використання пристрою мовного інформування дозволяє отримати низку важливих переваг. Насамперед зменшується кількість помилок, пов’язаних із неправильним зчитуванням або фіксацією результатів вимірювання. Крім того, знижується зорове навантаження

на операторів, що особливо важливо під час тривалих змін. Також скорочується час виконання контрольних операцій та підвищується загальна продуктивність праці.

Висновки. Таким чином, застосування пристроїв мовного інформування числових даних є ефективним засобом підвищення якості вимірювальних процесів у сучасному виробництві. Поєднання засобів цифрової обробки інформації, елементів автоматизації та ергономічних рішень дозволяє суттєво зменшити вплив людського фактора та підвищити надійність контролю якості продукції.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку експериментального зразка пристрою, удосконалення алгоритмів обробки вимірювальних даних та інтеграцію подібних систем із сучасними цифровими платформами управління виробництвом.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Hoy, M. B. (2018). Alexa, Siri, Cortana, and more: an introduction to voice assistants. Medical reference services quarterly, 37(1), 81-88.

2. Dozorskyi, V., Dediv, I., Sverstiuk, S., Nykytyuk, V., & Karnaukhov, A. (2023, June). The Method of Commands Identification to Voice Control of the Electric Wheelchair. In The 1st International Workshop on «Computer Information Technologies in Industry 4.0» (CITI-2023). CEUR Workshop Proceedings.

УДК37.091.3:004.8:82

Братерська З. В.[1], Братерська Н. М.[2]

ШІ ЯК ЦИФРОВИЙ ІНСТРУМЕНТ ВЧИТЕЛЯ ЗАРУБІЖНОЇ ЛІТЕРАТУРИ В ЗЗСО

Потреба в оновленні професійних компетентностей педагогів зумовлена реалізацією реформи «Нова українська школа»[3], упровадження Державного стандарту базової середньої освіти[1], нового Професійного стандарту вчителя[2], а також нормативних документів у сфері цифрової трансформації та регулювання використання штучного інтелекту[4]. Сучасні виклики розвитку освіти, зокрема активна інтеграція цифрових технологій та інструментів штучного інтелекту в освітній процес, трансформують роль учителя: від «лектора» до «фасилітатора».

Використання штучного інтелекту (ШІ) в закладах загальної середньої освіти (ЗЗСО) не виступає заміною вчителя, а звільняє його час для творчості та живого спілкування з учнями; допомагає

[1] студентка гр. 51м, Харківський національний педагогічний університет імені Г. С. Сковороди

[2] асистент кафедри КНтаІТ, ХНУМГ імені О. М. Бекетова

урізноманітнити методи навчання, зробити уроки більш інтерактивними та сприяє індивідуалізації навчання, враховуючи рівень та інтереси учнів[6].

Сучасний учитель зарубіжної літератури має бути готовим до створення й використання якісного цифрового навчального контенту, до відповідального, етичного та безпечного застосування інструментів ШІ, а також до гнучкої адаптації освітніх практик відповідно до запитів учнів і суспільства.

Існує багато інструментів ШІ, які педагог може застосовувати у своїй професійній діяльності. Вчитель з огляду на свої потреби та можливості, сам приймає рішення щодо використання того чи іншого інструменту.

Основні напрями використання інструментів штучного інтелекту в професійній діяльності вчителя зарубіжної літератури узагальнено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Напрями використання інструментів ШІ в роботі вчителя зарубіжної літератури

Напрям використання ШІ	Інструмент	Дидактичні можливості
Робота з текстом	ChatGPT Google Gemini NotebookLM	Пошук ідей, планування, розробка дидактичних матеріалів, аналітика даних, створення тестів, ментальних карт, інфографіки, аудіопереказу, інфографіки; генерація текстових матеріалів.
Генерація зображень	ChatGPT Google Gemini NotebookLM	Генерація та редагування зображень; підготовка дидактичної наочності й творчих учнівських проєктів.
Генератор і редактор презентацій	NotebookLM Gamma	Створення та редагування презентацій.

Практичне застосування інструментів штучного інтелекту доцільно проілюструвати на прикладі вивчення роману Барбари Космовської «Буба» (8 клас)[5].

За допомогою Google Gemini створено тестові завдання для перевірки знань учнів (рис. 1). Приклад запиту «Створи тестові завдання за романом Барбари Космовської «Буба» для учнів 8 класу. Склади 10 запитань різного рівня складності (репродуктивного, аналітичного та інтерпретаційного). Додай 4 варіанти відповіді до кожного запитання та познач правильну відповідь. Врахуй вікові особливості учнів та навчальну програму з зарубіжної літератури.»

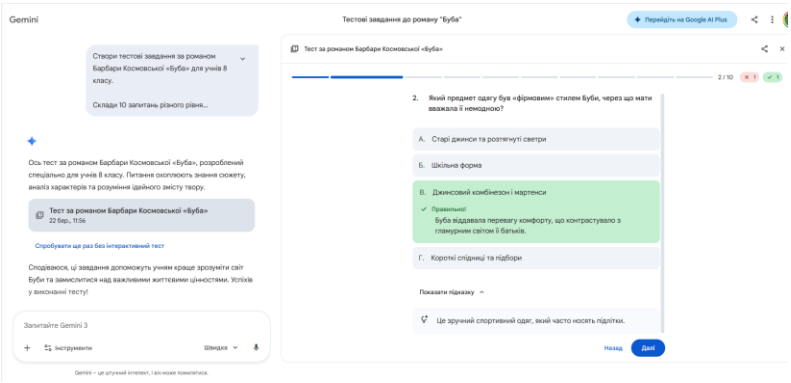


Рисунок 1 – Приклад тестових завдань, створених за допомогою Google Gemini

Засобами ChatGPT здійснено візуалізацію образів героїв твору (рис. 2). Приклад запиту «Сучасна ілюстрація дівчини-підлітка Буби з роману Барбари Космовської. Вона одягнена в повсякденне худі, сині джинси та масивні чорні черевики. Має уважний і спокійний погляд, стриману міміку. Стиль – цифрова ілюстрація з чіткими лініями та м'якою, але насиченою кольоровою палітрою. Буба стоїть у коридорі сімейного будинку; інтер'єр затишний, із теплим освітленням. У руці вона тримає карту для гри в бридж як невеликий символічний акцент.»

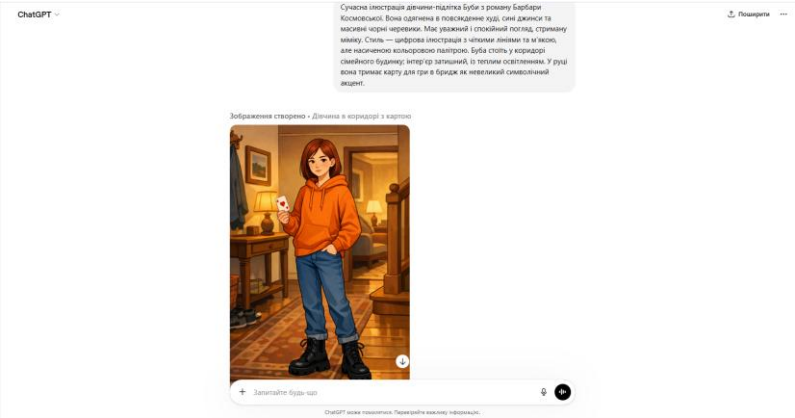


Рисунок 2 – Візуалізація образу героїні роману, створена за допомогою ChatGPT

Використання NotebookLM дозволяє створювати структуровані презентації до уроків (рис. 3). Для початку роботи необхідно додати джерела, а далі можна використати приклад запиту «Створи структуру презентації до уроку зарубіжної літератури у 8 класі за романом Барбари

Космовської «Буба». Включи 8–10 слайдів із заголовками та коротким змістом кожного слайда. Передбач: вступ, відомості про автора, сюжет, характеристику героїв, проблематику твору, інтерактивні завдання для учнів та підсумки уроку.»

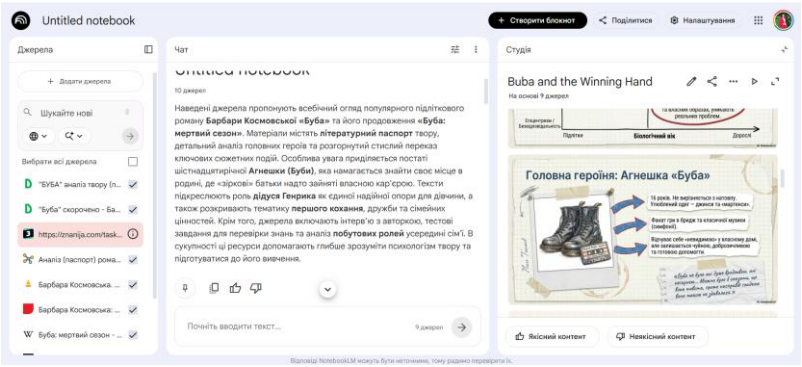


Рисунок 3 – Приклад слайдів презентації до уроку, створеної за допомогою NotebookLM

Висновки. Впровадження штучного інтелекту в освітній процес ЗЗСО є необхідною відповіддю на сучасні виклики цифровізації та вимоги реформи «Нова українська школа». ШІ не замінює вчителя зарубіжної літератури, а трансформує його роль у фасилітатора, звільняючи час для творчості та живого спілкування з учнями через автоматизацію рутинних завдань. Використання таких інструментів, як ChatGPT, Google Gemini та NotebookLM, дозволяє створювати якісний цифровий контент: від інтерактивних презентацій і тестів до візуалізації літературних героїв. Практичне застосування ШІ (наприклад, під час вивчення твору Б. Космовської «Буба») доводить можливість індивідуалізації навчання та підвищення залученості учнів. Ефективність використання ШІ залежить від готовності педагога до гнучкої адаптації освітніх практик і дотримання принципів відповідального та безпечного використання цифрових технологій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кабінет Міністрів України. (2020, September 30). *Державний стандарт базової середньої освіти* (№ 898).

2. Міністерство освіти і науки України. (n.d.). *Професійний стандарт за професіями «Вчитель початкових класів закладу загальної середньої освіти», «Вчитель закладу загальної середньої освіти», «Вчитель з початкової освіти (з дипломом молодшого спеціаліста)»*.

3. Міністерство освіти і науки України. (n.d.). *Концепція реалізації реформи «Нова українська школа»*.

4. Міністерство цифрової трансформації України, & Міністерство освіти і науки України. (n.d.). *Інструктивно-методичні рекомендації щодо запровадження та використання технологій штучного інтелекту в закладах загальної середньої освіти*.

5. Космовська, Б. (2011). *Буба: Роман* (Б. Антоняк, пер. з пол.). Урбіно.

6. Ніколенко, О. М. (2024). *Зарубіжна література: Підручник для 7 класу закладів загальної середньої освіти*. Академія.

УДК 004.9

Клімов В.О.[1], Бахрушин В.Є.[2]

АЛГОРИТМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕФЕРУВАННЯ ТЕКСТІВ

Актуальність

У сучасному інформаційному середовищі обсяг текстових даних постійно збільшується. Щодня з'являється велика кількість наукових статей, новинних матеріалів, аналітичних звітів, електронних документів та інших інформаційних джерел. У результаті формуються значні масиви текстів, опрацювання яких потребує досить багато часу. Саме тому останніми роками все більшої актуальності набувають автоматизовані методи аналізу текстової інформації.

Одним із таких напрямів є автоматичне реферування текстів. Його основне завдання полягає у створенні короткого викладу документа, який зберігає ключові ідеї та основні факти. Іншими словами, користувач отримує можливість швидко зрозуміти зміст тексту без необхідності читати його повністю. Подібні технології сьогодні використовуються у пошукових системах, електронних бібліотеках, інформаційно-аналітичних системах та інших цифрових сервісах [1].

Таким чином, автоматичне реферування дозволяє значно скоротити обсяг тексту, але при цьому не втратити його змістову цінність. Це особливо важливо у випадках, коли необхідно швидко опрацювати велику кількість документів.

Основні підходи

У сучасних дослідженнях зазвичай виділяють два основні підходи до автоматичного реферування текстів: **екстрактивний** та **абстрактивний**.

Екстрактивне реферування передбачає відбір найбільш важливих речень із початкового тексту. При цьому самі речення залишаються без змін, а алгоритм лише визначає ті фрагменти, які найкраще

[1] Студент групи КНТ-813, НУ «Запорізька політехніка»

[2] Професор кафедри САОМ, НУ «Запорізька політехніка», д. ф.-м. н., професор

відображають зміст документа. Такий підхід є відносно простим у реалізації і не потребує великих навчальних корпусів даних. Абстрактивне реферування працює дещо інакше. У цьому випадку система формує новий текст, який узагальнює зміст документа і передає основні ідеї у скороченому вигляді. Для реалізації такого підходу використовуються сучасні моделі машинного навчання, зокрема нейронні мережі.

Водночас подібні системи потребують значних обчислювальних ресурсів та великої кількості навчальних даних [2].

На практиці екстрактивні методи досі залишаються найбільш поширеними. Це пояснюється тим, що вони є більш стабільними та простими у застосуванні.

Алгоритм TextRank

Одним із найвідоміших алгоритмів екстрактивного реферування є **TextRank**, запропонований дослідниками R. Mihalcea та P. Tarau. Цей алгоритм базується на графовому представленні тексту та використовує принципи ранжування, подібні до алгоритму PageRank [3].

У межах такого підходу текст розглядається як сукупність речень. Кожне речення представляється у вигляді вершини графа. Між реченнями встановлюються зв'язки, які відображають ступінь їх подібності. Зазвичай для визначення цієї подібності використовується косинусна міра схожості, що обчислюється на основі TF-IDF представлення слів.

Після побудови графа виконується процес ранжування його вершин. Речення, які мають більше зв'язків з іншими важливими реченнями, отримують вищі значення ваги. У результаті саме ці речення визначаються як найбільш інформативні.

Етапи роботи алгоритму

Алгоритм TextRank працює у кілька послідовних етапів.

Спочатку виконується **попередня обробка тексту**. На цьому етапі текст очищується від зайвих символів, здійснюється нормалізація слів та видаляються стоп-слова. Також текст поділяється на окремі речення.

Далі виконується **перетворення речень у числове представлення**. Для цього використовується метод TF-IDF, який дозволяє оцінити важливість слів у межах документа.

Після цього будується **граф взаємозв'язків між реченнями**. У такому графі кожне речення є окремою вершиною, а зв'язки між вершинами формуються відповідно до ступеня подібності між реченнями.

Наступним кроком є **ранжування речень** за допомогою алгоритму, подібного до PageRank. У результаті кожне речення отримує певну вагу. Речення з найбільшими значеннями ваги відбираються для формування підсумкового реферату.

Загальна схема роботи алгоритму наведена на рисунку 1.

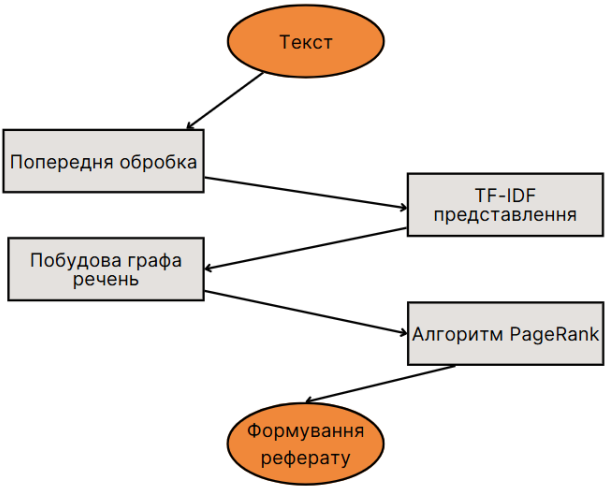


Рисунок 1. Основні етапи роботи алгоритму автоматичного реферування

Переваги та обмеження алгоритму

Алгоритм TextRank має кілька важливих переваг. Насамперед варто зазначити, що він не потребує попереднього навчання на великих наборах даних. Завдяки цьому алгоритм можна використовувати для різних типів текстів без спеціальної підготовки.

Крім того, алгоритм є універсальним і може застосовуватися для текстів різних мов та тематик. Також важливою перевагою є відтворюваність результатів: при повторному застосуванні алгоритму до одного і того ж тексту отримується однаковий результат.

Водночас існують і певні обмеження. Оскільки алгоритм використовує екстрактивний підхід, він не створює нових формулювань і не виконує повного семантичного узагальнення тексту. У деяких випадках це може впливати на логічну послідовність викладу, адже обрані речення можуть бути розташовані у різних частинах документа.

Висновки

Автоматичне реферування текстів сьогодні є важливим напрямом розвитку технологій обробки природної мови. Використання таких методів дозволяє значно скоротити час, необхідний для аналізу великих обсягів текстової інформації.

У роботі було розглянуто основні підходи до автоматичного реферування текстів, а також принцип роботи алгоритму TextRank. Показано, що графові методи аналізу тексту дозволяють ефективно

визначати найбільш інформативні речення та формувати короткий виклад документа.

Подальші дослідження у цій галузі можуть бути пов’язані з поєднанням графових алгоритмів та сучасних нейромережевих моделей. Це, ймовірно, дозволить підвищити якість автоматично створених рефератів та зробити їх більш зв’язними і природними.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2023). *Speech and language processing* (3rd ed. draft). Pearson Education.

2. Manning, C. D., Raghavan, P., & Schütze, H. (2008). *Introduction to information retrieval*. Cambridge University Press.

3. Mihalcea, R., & Tarau, P. (2004). TextRank: Bringing order into texts. In *Proceedings of the Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)* (pp. 404–411). Association for Computational Linguistics.

4. Brin, S., & Page, L. (1998). The anatomy of a large-scale hypertextual web search engine. *Computer Networks*, *30*(1–7), 107–117.

5. Canva. (n.d.). *Visual communication platform for creating diagrams and illustrations*. https://www.canva.com

УДК 004.89:005.52

Школьников В.І.[1], Халигов А.А.[2],
Лисов Б.С.[3], Гуськова В.Г.[4]

СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ В ОБ'ЄКТАХ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Вступ. Цифровізація об'єктів критичної інфраструктури (КІ) зумовлює зростання складності кіберзагроз та підвищує вимоги до оперативності їх виявлення. Сучасні атаки характеризуються багатостадійністю та імітацією легітимної поведінки, що знижує ефективність існуючих систем виявлення вторгнень. У таких умовах пріоритет набувають поведінкові методи аналізу на основі машинного навчання.

Водночас ізольована детекція аномалій не забезпечує достатньої підтримки управлінських рішень у КІ. Аномалія не є тотожною ризику, оскільки ризик враховує ймовірність розвитку інциденту, критичність активу та потенційні наслідки. Тому актуальною є розробка інтегрованої архітектури, що поєднує нейромережеве виявлення відхилень із формалізованим оцінюванням ризику та механізмом рекомендацій.

Метою роботи є розроблення гібридної архітектури системи підтримки прийняття рішень (СППР), яка забезпечує перехід від виявлення аномалій до ризик-орієнтованого підходу управління інцидентами в середовищі КІ.

Основна частина. Запропонована архітектура (рисунок 1) реалізує послідовний перехід від підготовки та структуризації даних до нейромережевого виявлення відхилень, їх агрегування у формалізований показник ризику та формування управлінських рекомендацій.

[1] завідувач кафедри кримінології та інформаційних технологій НАВС, PhD, доцент
[2] аспірант 3го року навчання, ІТГІП НАН України
[3] аспірант 2го року навчання, КПІ ім. Ігоря Сікорського
[4] PhD, доцентка кафедри штучного інтелекту КПІ ім. Ігоря Сікорського

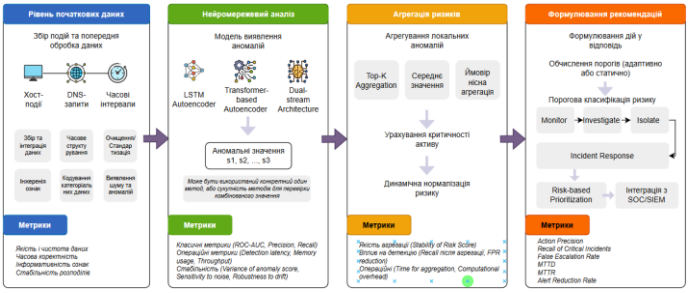


Рисунок 1—Архітектура гібридної системи підтримки прийняття рішень

На основі цього, далі буде детально розглянуто кожен із рівнів запропонованої архітектури, зокрема їх функціональне призначення, формалізоване представлення та особливості реалізації в межах гібридної системи підтримки прийняття рішень.

Рівень 1. Data Layer — формування часових послідовностей, нормалізація числових ознак, кодування категоріальних атрибутів. Для експериментальної перевірки архітектури використано відкритий датасет BETH (Kaggle), що містить часові журнали подій рівня операційної системи. Дані відображають поведінку процесів у середовищі хоста та складаються з послідовностей системних викликів із часовими мітками й атрибутами, що дає змогу формувати поведінкові профілі та аналізувати аномальні відхилення.

Рівень 2. Neural Detection Layer — поведінкове моделювання за допомогою LSTM Autoencoder.

Для моделювання часових залежностей використано LSTM Autoencoder, який навчається на нормальних послідовностях подій. Аномальність визначається через реконструкційну похибку:

$$s_i = ||x_i - \hat{x}_i|| \quad (1)$$

де

xi — вхідна послідовність,

$\hat{x}_i$ — реконструкція моделі.

Для сесії формується узагальнений показник:

$$S = \frac{1}{T}\sum_{i=1}^{T} \quad s_i \quad (2)$$

Навчання здійснюється у режимі unsupervised / semi-supervised з використанням лише нормальних подій (evil = 0).

Рівень 3. Risk Aggregation Layer — агрегування локальних аномалій у інтегральний показник ризику. Окремі аномалії можуть мати шумовий характер, тому застосовується стратегія top-k aggregation:

$$R_{session} = \frac{1}{T}\sum_{i=1}^{T} \quad s_i \tag{3}$$

Для урахування критичності активу вводиться коефіцієнт C:

$$R_{final} = R_{session}(1 + \alpha C) \tag{4}$$

Таким чином забезпечується контекстно-залежна оцінка ризику, релевантна для КІ.

Рівень 4. Decision Support Layer — трансформація ризику у рекомендації реагування, а саме

Monitor

Investigate

Isolate

Incident Response

Порогова модель може бути статичною або адаптивною. Додатково формується індекс пріоритетності для оптимізації обробки інцидентів у SOC.

Експериментальне дослідження

Для перевірки архітектури використано відкритий датасет BETH (host-level системні події). Експериментальний протокол є адаптивним і передбачає два режими: Normal-only - перевірка стабільності моделі (sanity-check), оцінка відсутності неконтрольованих хибних спрацювань та Mixed - повна кількісна оцінка якості детекції та прийняття рішень.

Таблиця 1 - Режими експерименту та результати оцінювання гібридної архітектури

Рівень оцінювання	Режим даних	Метрика	Значення
Загальна логіка	Normal-only	Перевірка стабільності	sanity-check
	Mixed	Повна оцінка детекції	—
Window-level	Mixed	ROC-AUC	0.874
		PR-AUC	0.828
		Recall@FPR=1%	0.103
		Latency	≈ 0.35 мс
Session-level	Mixed	Session ROC-AUC	0.8235

		Action Precision	0.9333
		Recall Critical	0.8235
		False Escalation	0.0556
		Underreaction	0.1687

Отримані результати підтверджують, що агрегування зберігає якість детекції та підвищує інтерпретованість.

Висновки. Запропонована гібридна архітектура поєднує нейромережеву детекцію, ризик-агрегування та механізм рекомендацій, забезпечуючи перехід від ізольованого аналізу до управлінського рівня прийняття рішень. Експериментальні результати демонструють високу якість розділення класів та низьку латентність, що підтверджує придатність підходу до застосування у near real-time середовищах критичної інфраструктури.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Malhotra, P., Vig, L., Shroff, G., & Agarwal, P. (2016). Long short-term memory networks for anomaly detection in time series. *Proceedings of the 23rd European Symposium on Artificial Neural Networks (ESANN 2016)*, 89–94.

2. Poolsappasit, N., Dewri, R., & Ray, I. (2012). Dynamic security risk management using Bayesian attack graphs. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 9*(1), 61–74. https://doi.org/10.1109/TDSC.2011.34

3. Saha, S., Deb, S., & Das, S. (2020). Machine learning-based intrusion detection system for critical infrastructure protection. *Future Generation Computer Systems, 108*, 121–134. https://doi.org/10.1016/j.future.2020.02.049

УДК 004.056:004.382

Мулява В.О.[1], Бельорин-Ерера О.М.[2], Главчев М.І.[3]

ПОВЕДІНКОВЕ ПРОФІЛЮВАННЯ PCIE-ПРИСТРОЇВ ЯК МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ DMA-АТАК

Шина PCI Express (PCIe) є домінуючим стандартом підключення периферійних пристроїв у серверних і настільних системах. Механізм прямого доступу до пам'яті (DMA) дозволяє периферійному пристрою здійснювати читання та запис у системну оперативну пам'ять без участі центрального процесора. За відсутності або некоректної конфігурації блоку управління пам'яттю пристроїв (IOMMU) зловмисний чи скомпрометований пристрій може отримати несанкціонований доступ до критичних областей пам'яті – ключів шифрування, облікових даних та фрагментів ядра ОС. Практична доступність атак класифікована вразливістю CVE-2020-10713 (Thunderspy, CVSS 7.9), а вартість спеціалізованого обладнання для їх реалізації починається від 50 USD (PCILeech + FPGA Xilinx Artix-7).

Завданням дослідження є розробка програмного методу виявлення DMA-аномалій у трафіку PCIe-пристроїв на основі поведінкового профілювання з використанням моделі one-class classification, що не потребує спеціалізованого апаратного аналізатора та забезпечує: Recall ≥ 0.80, FPR ≤ 0.05, затримку виявлення ≤ 500 мс.

Запропонований метод базується на концепції поведінкового профілю пристрою. У ковзному часовому вікні $\Delta t = 100$ мс для кожного PCIe-пристрою обчислюється п'ятивимірний вектор ознак $x_i(t) = [f(t), \mu_{addr}(t), \sigma_{size}(t), \tau_{inter}(t), \rho_{type}(t)]$, де $f(t)$ – частота DMA-запитів (Memory Read / Memory Write), $\mu addr$ – нормована середня цільова адреса, σ_{size} – стандартне відхилення розміру Payload, τ_{inter} – медіанний міжпакетний інтервал, $\rho type$ – розподіл частот типів TLP.

Профіль нормальної поведінки моделюється гауссівським розподілом: вектор середніх μ та коваріаційна матриця Σ оцінюються методом максимальної правдоподібності з регуляризацією Ledoit-Wolf для забезпечення чисельної стійкості при малих вибірках. Детектування аномалій здійснюється на основі відстані Махаланобіса:

$$DM(x, \mu) = \sqrt{(x - \mu)T\, \Sigma^{-1}\, (x - \mu)},$$
$$A(x) = 1 \iff DM(x, \mu) > \theta,$$
$$\theta = F^{-1}(1 - \alpha;\ \chi^2(d)) \quad при \quad \alpha = 0.05$$

---

[1] Студент групи КН-Н924а, Національній технічний університет «ХПІ»

[2] Доцент кафедри КІП, Національній технічний університет «ХПІ», к. пед. н., доцент

[3] Професор кафедри КІП, Національній технічний університет «ХПІ», к. е. н., доцент

де θ – поріг, що аналітично калібрується через квантиль розподілу χ^2(d = 5), що при α = 0.05 дає θ ≈ 3.33 σ. Профіль адаптивно оновлюється за схемою EWMA:

$$\mu(t) = (1 - \lambda)\cdot\mu(t-1) + \lambda\cdot x(t),\ \lambda = 0.01.$$

Для підвищення повноти виявлення застосовується ансамблевий підхід: OR-голосування Mahalanobis-детектора та Isolation Forest (n = 200 дерев).

Програмний комплекс pcie_anomaly_detector реалізовано мовою Python 3.11 у вигляді конвеєрної архітектури з семи класів (TLPLogger, FeatureExtractor, BehaviorProfiler, EnsembleDetector, AlertManager та ін.). Тестовий стенд побудовано на базі QEMU 8.1 + KVM (гостьова ОС Ubuntu 22.04 LTS, ядро 5.15), який емулює чотири PCIe-пристрої: virtio-net (BDF 00:02.0), NVMe (BDF 00:03.0), e1000e (BDF 00:04.0) та xHCI USB (BDF 00:05.0). Набір даних охоплює 3.7 млн TLP-подій при п'яти навантажувальних сценаріях і п'яти класах атак.

Ансамблевий детектор на тестовому наборі (n = 2 900 вікон) показав:

– Recall (TPR): 0.905 (+13% відносно вимоги 0.80)
– FPR: 0.007 (у 7 разів нижче межі 0.05)
– F_1-міра: 0.943 (перевищує вимогу 0.82 на 14.9%)
– AUC-ROC: 0.961 (—)
– Latency (med): 95–167 мс (у 3–5 разів нижче 500 мс)

Система зберігає FPR ≤ 0.05 при збуренні вхідних ознак до 20% шуму. Порівняно з аналогом Tsegay et al. (ESORICS 2023): Recall вищий на 11.4%, FPR нижчий у 10 разів. Якість порівняння з апаратним рішенням Jaber et al. (IEEE TIFS 2022, FPGA $30K+) без спеціалізованого обладнання.

Висновки. Запропонований метод поведінкового профілювання PCIe-пристроїв забезпечує ефективне виявлення DMA-атак виключно програмними засобами, усуваючи необхідність у дорогих апаратних аналізаторах. Адаптивний EWMA-профіль та аналітичне калібрування порогу через χ^2-квантиль забезпечують стабільну роботу без розмічених зразків атак.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Markettos, A. T., Rothwell, C., & Gutstein, B. F. (2019). Thunderclap: Exploring vulnerabilities in operating system IOMMU protection via DMA from untrustworthy peripherals. In *Proceedings of the Network and Distributed System Security Symposium (NDSS)*. https://doi.org/10.14722/ndss.2019.23194

2. Ledoit, O., & Wolf, M. (2004). A well-conditioned estimator for large-dimensional covariance matrices. *Journal of Multivariate Analysis, 88*(2), 365–411. https://doi.org/10.1016/S0047-259X(03)00096-4

УДК 004.056.55:004.421.5 Чурілов В.І.[1], Ахієзер О.Б.[2], Главчев М.І.[3]

ЗАСТОСУВАННЯ НАБОРУ ТЕСТІВ NIST SP 800-22 ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ГЕНЕРАТОРІВ ПСЕВДОВИПАДКОВИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ У ПОТОКОВИХ ШИФРАХ

Якість генераторів псевдовипадкових послідовностей (ГПВП) є критичним фактором безпеки криптографічних систем. Слабкості генератора можуть призвести до компрометації всієї системи навіть при використанні стійкого криптографічного алгоритму. Історія криптографії демонструє численні приклади успішних атак на ГПВП: зміщення другого байта у RC4 (P[2]=0 з ймовірністю 2/256 замість 1/256), атаки Fluhrer-Mantin-Shamir на WEP, backdoor у Dual_EC_DRBG. Статистичне тестування є першою лінією захисту, що дозволяє виявити потенційні аномалії до практичного впровадження.

Національний інститут стандартів і технологій США (NIST) розробив стандартизований набір з 15 статистичних тестів (SP 800-22), що охоплює різні аспекти випадковості: частотні характеристики, серійні властивості, спектральний аналіз, стисливість, складність. Мета роботи — експериментальна оцінка статистичної якості сучасних потокових шифрів (AES-CTR, ChaCha20, Trivium) та застарілого RC4 з використанням повного набору тестів NIST.

Математичні основи. Статистичне тестування базується на теорії перевірки гіпотез. Нульова гіпотеза H_0: послідовність є випадковою. Для кожного тесту обчислюється p-value — ймовірність отримати результат настільки ж екстремальний при істинності H_0:

$$p\text{-value} = P(T \geq T\_obs \mid H_0)$$

Тест вважається пройденим, якщо p-value ≥ α (зазвичай α=0.01). Для набору з N послідовностей застосовується двоетапний аналіз: (1) перевірка частки пройдених тестів з довірчим інтервалом $[\hat{p} - 3\hat{\sigma}, \hat{p} + 3\hat{\sigma}]$, де $\hat{p} = 1-\alpha$, $\hat{\sigma} = \sqrt{(\alpha(1-\alpha)/N)}$; (2) перевірка рівномірності розподілу p-value критерієм χ^2 з 9 ступенями свободи.

Таблиця 1 – Параметри експериментального дослідження

Параметр	Значення
Довжина послідовності	10^6 біт (рекомендація NIST)
Кількість послідовностей	100 для кожного генератора
Рівень значущості	$\alpha = 0.01$
Загальний обсяг	400 послідовностей, 6000 тестів

Результати тестування наведені у табл.2 та на рис.1.

[1] Студент групи КН-Н124, Національній технічний університет «ХПІ»

[2] Завідувачка кафедри КМАД, Національній технічний університет «ХПІ», к. т. н., доцент

[3] Професор кафедри КІП, Національній технічний університет «ХПІ», к. е. н., доцент

Таблиця 2 – Зведені результати тестування (частка пройдених, %)

Тест	AES-CTR	ChaCha20	Trivium	RC4
Frequency	99	99	98	92
Runs	99	98	99	91
Spectral DFT	99	99	99	94
Serial (m=8)	99	99	99	96
Середнє	99.0	99.0	98.9	96.3



Рисунок 1 – Порівняння середньої частки пройдених тестів

AES-CTR та ChaCha20 досягли ідентичних результатів (99.0%), пройшовши всі 15 тестів. Trivium показав 98.9%, що також є відмінним результатом. RC4 продемонстрував найгірші показники (96.3%), провалив 5 тестів: Binary Matrix Rank, Universal Statistical, Approximate Entropy, Cumulative Sums, Random Excursions Variant.

Висновки. 1. Застосовано повний набір тестів NIST SP 800-22 для оцінки 4 генераторів. Проведено 6000 індивідуальних тестів на 400 послідовностях по 10^6 біт. 2. AES-CTR та ChaCha20 пройшли всі тести (99.0% середня частка), підтвердивши відмінну статистичну якість для криптографічних застосувань. 3. RC4 виявив статистичні аномалії у 5 тестах (96.3%), експериментально підтвердивши відомі теоретичні слабкості. 4. Методологія NIST SP 800-22 показала ефективність у виявленні слабкостей генераторів як етап валідації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. National Institute of Standards and Technology. (2010). *A statistical test suite for random and pseudorandom number generators* (NIST Special Publication 800-22 Rev. 1a). U.S. Department of Commerce.

2. Fluhrer, S., Mantin, I., & Shamir, A. (2001). Weaknesses in the key scheduling algorithm of RC4. In S. Vaudenay & A. M. Youssef (Eds.), *Selected areas in cryptography* (pp. 1–24). Springer.

UDC 004.056.53:004.94
Mostovyi O.S.[1]

DIGITAL TWIN FOR ARM64 SYMBOLIC STATE MODELING AND VULNERABILITY DETECTION

Over the recent years, the ARM64(AArch64) architecture has become most dominant across IoT systems, mobile devices, cloud services and laptops [1]. Security Analysis tooling specifically designed for ARM64 remains underdeveloped [2], resulting in a security gap for over 99% of smartphones and a growing share of cloud servers running ARM processors.

The digital twin (DT) method provides functionality for software security analysis that is adapted to operate at the instruction level, originally developed for cyber-physical systems [3]. It is a virtual copy of a binary that contains a full runtime state, which contains such values as: registers, condition flags, memory, and hardware security extensions, enabling systematic offline analysis through symbolic execution and constraint solving [4].

This work proposes a novel method that combines a digital twin that constructs symbolic state models of ARM64 binaries, explores reachable states via instruction-level simulation, matches modeled states against known vulnerability patterns (buffer overflows, control-flow hijacking, integer overflows, use-after-free), and verifies matches via Satisfiability Modulo Theories (SMT) constraint solving.

Several authors have applied digital twins to security problems [3, 4, 5], and El-Hajj [6] gives a good overview of the field 67 papers, though practically all of them deal with network-level or IoT scenarios. Binary analysis is the process of examining compiled binaries, which provide reconstrutction code and it behaviors. Angr [2] is widely used for binary analysis and technically supports ARM64. Another approach is SymQEMU [7], which works through QEMU, so it does not care about the target architecture at all. There have also been efforts to scale these methods [8] and combine them with fuzzing [9]. On the ARM side specifically, Nguyen and Ogawa built CORANA [10] which is probably the closest existing work to ours, in mean time Gibbs et al. [11] did taint analysis on firmware, and there is interesting formal work Tempel et al. [12] on Instruction Set Architecture semantics for symbolic analysis, Lam and Coughlin [13] on extracting AArch64 semantics from Architecture Specification Language.

Our approach. The proposed method operates through four stages (Figure 1).

[1]PhD Student, Department of Theory digital machine № 100, V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine

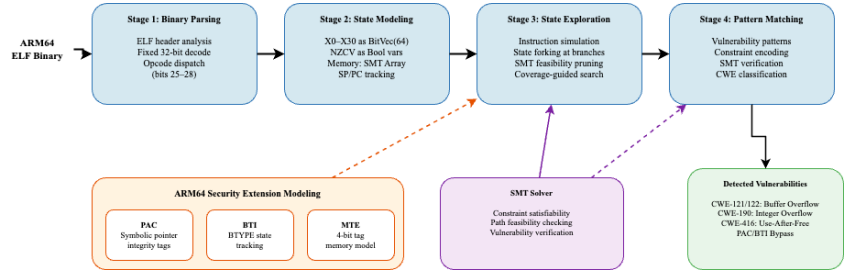


Figure 1 – Four-stage pipeline architecture of the ARM64 digital twin

Stage 1: parses ARM64 ELF binaries via fixed-width instruction decoding. ARM64's uniform 32-bit encoding enables deterministic linear-scan decoding by dispatching on the opcode group field at bits 25–28, covering data processing, load/store, branch, and system instruction groups without recursive descent.

Stage 2: constructs a symbolic CPU state model (Figure 2) representing the full ARM64 architectural state. Each of the 31 general-purpose registers (X0–X30) is represented as a symbolic BitVec(64) variable, with W-register views as Extract(31, 0, Xi). SP and PC are tracked separately. The four condition flags (N, Z, C, V) are symbolic Boolean variables updated only by S-variant instructions, precisely mirroring ARM64's explicit flag-update semantics. Memory is modeled as a symbolic Array(BitVecSort(64), BitVecSort(8)) with concrete-address optimization. The AAPCS64 calling convention is modeled with X0–X7 as arguments and X0 as the return register.

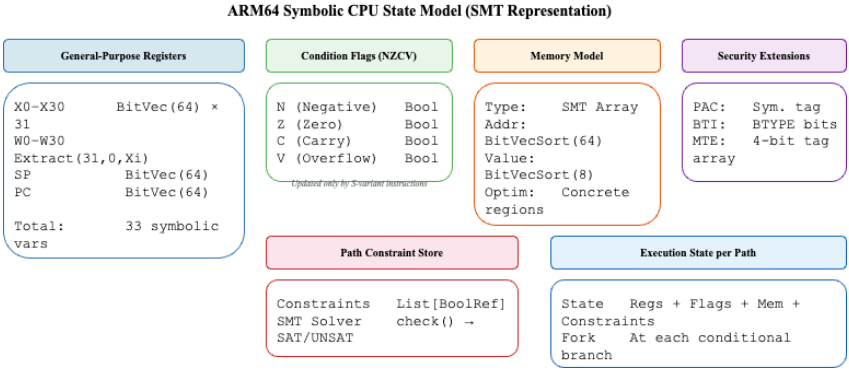


Figure 2 – ARM64 symbolic CPU state model with security extension modeling

Stage 3: explores the state space through instruction-level simulation. Each instruction is a state-transformer: data processing, loads/stores, branches, and system instructions. At conditional branches, the DT forks the modeled state and cuts off infeasible paths via SMT checks.

Stage 4: does the actual vulnerability detection. For each state the DT can reach, it asks: Does this look like something is wrong? A write past buffer bounds, a branch target an attacker might control, an integer that wrapped, or a pointer to freed memory. If the pattern matches, SMT solving confirms whether it is a real issue or a false positive and when it is real, it gives back a concrete input that triggers the bug. The hardware security extensions feed into this, too. PAC shows up as symbolic tags attached to pointers, and if authentication fails, that is a constraint violation. BTI validation checks BTYPE bits at branch targets. MTE, we handle with a tag store running alongside the main memory model; any tag mismatch gets flagged the same way.

Our results. We tested our method on synthetic ARM64 binary with known vulnerabilities : buffer overflows, integer overflows, and use-after-free. We identified the planted issues through state modeling and pattern matching, with constraint solving times that stayed reasonable thanks to ARM64's regular instruction encoding. The security extension modeling proved especially useful: PAC bypass attempts and MTE tag violations were flagged where architecture-agnostic tools would see nothing wrong.

Conclusions: In this paper we proposed a digital twin that works at the instruction level on ARM64 binaries. It models the CPU state symbolically, walks through reachable states, and checks them against vulnerability patterns with SMT solving to confirm whether a flagged state is actually reachable. We also model PAC, BTI, and MTE, which no existing tool does in combination. Going forward, we want to handle speculative execution, ARM64's weak memory model for concurrent programs.

REFERENCES:

1. ARM Ltd. (2024). ARM Architecture Reference Manual for A-profile architecture (ARMv9-A). ARM DDI 0487K.a.

2. Shoshitaishvili, Y., Wang, R., Salls, C., et al. (2016). SoK: (State of) The Art of War: Offensive Techniques in Binary Analysis. Proc. IEEE S&P, 138–157. DOI: 10.1109/SP.2016.17.

3. Eckhart, M., & Ekelhart, A. (2019). Digital Twins for Cyber-Physical Systems Security. In Security and Quality in CPS Engineering, 383–412. Springer. DOI: 10.1007/978-3-030-25312-7_14.

4. Dietz, M., Vielberth, M., & Pernul, G. (2020). Integrating Digital Twin Security Simulations in the SOC. Proc. ARES, ACM. DOI: 10.1145/3407023.3407039.

5. Varghese, S. A., et al. (2022). Digital Twin-based IDS for Industrial Control Systems. Proc. IEEE PerCom Workshops, 611–617. DOI: 10.1109/PerComWorkshops53856.2022.9767492.

6. El-Hajj, M. (2024). SLR: Digital Twins' Role in Enhancing Security for Industry 4.0. Security and Privacy, 7(5). DOI: 10.1002/spy2.396.
7. Poeplau, S., & Francillon, A. (2021). SymQEMU: Compilation-based Symbolic Execution for Binaries. Proc. NDSS. DOI: 10.14722/NDSS.2021.24118.
8. Vadayath, J., et al. (2022). Arbiter: Bridging the Static and Dynamic Divide in Vulnerability Discovery. Proc. USENIX Security, 413–430.
9. Chen, Y., et al. (2020). SAVIOR: Towards Bug-Driven Hybrid Testing. Proc. IEEE S&P, 1580–1596. DOI: 10.1109/SP.2020.00002.
10. Nguyen, A. T. V., & Ogawa, M. (2022). Automatic Stub Generation for Dynamic Symbolic Execution of ARM Binary. Proc. SoICT. DOI: 10.1145/3568562.3568628.
11. Gibbs, W., et al. (2024). Operation Mango: Scalable Taint-Style Vulnerability Discovery in Binary Firmware. Proc. USENIX Security, 7123–7139.
12. Tempel, S., et al. (2025). BinSym: Symbolic Execution Based on Formal ISA Semantics. Proc. DATE. DOI: 10.23919/DATE64628.2025.10993257.
13. Lam, K., & Coughlin, N. (2023). Lift-off: Trustworthy ARMv8 Semantics from Formal Specifications. Proc. FMCAD, 274–283.

УДК 004.056:004.7

Артьомов А.І.[1], Клименко Т.А.[2]

КОМПЛЕКСНІ ПІДХОДИ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ В УМОВАХ ЗРОСТАННЯ ЦИФРОВИХ ЗАГРОЗ

Стрімкий розвиток інформаційних технологій, глобальна цифровізація суспільства та зростання кількості підключених пристроїв зумовлюють підвищення вимог до кібербезпеки комп'ютерних мереж. Сучасні мережі забезпечують функціонування державних установ, бізнесу, освітніх і наукових закладів, об'єктів критичної інфраструктури та повсякденну діяльність користувачів. Водночас розширення мережевої інфраструктури та перехід до хмарних сервісів супроводжуються зростанням ризиків несанкціонованого доступу, витоку даних і мережевих атак. Кібербезпека комп'ютерних мереж визначається як комплекс технічних, програмних і організаційних заходів, спрямованих на забезпечення конфіденційності, цілісності та доступності інформації під час її передавання та обробки в мережевому середовищі [1]. Особливо актуальними є такі загрози, як DDoS-атаки, шкідливе програмне забезпечення (віруси, трояни, ransomware),

[1] студент групи 621п, Національний аерокосмічний університет «ХАІ»
[2]старший викладач кафедри інженерії програмного забезпечення, Національний аерокосмічний університет «ХАІ»

фішинг, соціальна інженерія, несанкціонований доступ до мережевих ресурсів і перехоплення трафіку. Додатковим фактором ризику є стрімке зростання кількості IoT-пристроїв та поширення віддаленої роботи, що значно розширює поверхню потенційних атак.

Сучасні підходи до забезпечення мережевої безпеки базуються на багаторівневій моделі захисту (Defense in Depth). Такий підхід передбачає використання криптографічних методів захисту даних (TLS, VPN), систем виявлення та запобігання вторгненням (IDS/IPS), багатофакторної автентифікації користувачів, моніторингу мережевого трафіку, регулярного оновлення програмного забезпечення та контролю доступу відповідно до принципів Zero Trust Architecture. Провідні IT-компанії, зокрема Cisco та Cloudflare, реалізують комплексні рішення, що поєднують фільтрацію трафіку, захист від DDoS-атак, аналіз поведінкових моделей та централізоване управління подіями безпеки.

Одним із ефективних інструментів підвищення рівня безпеки є автоматизований аналіз журналів мережевих підключень. Автоматизований аналіз журналів підключень дозволяє виявляти підозрілу активність [2].

Автоматизований аналіз журналів дозволяє визначати такі ознаки загроз:

- багаторазові спроби входу з однієї IP-адреси (ознака brute-force);
- сканування портів (послідовні запити до різних портів одного вузла);
- різке збільшення кількості підключень (можлива DDoS-атака);
- підключення з географічно нетипових регіонів;
- передача аномально великого обсягу даних (можливий витік інформації).

Для цього застосовуються методи статистичного аналізу, кореляції подій, сигнатурного аналізу або алгоритми машинного навчання.

```python
log_file = "network_log.txt"
suspicious_ips = {}

with open(log_file, "r") as file:
    for line in file:
        ip = line.strip()
        suspicious_ips[ip] = suspicious_ips.get(ip, 0) + 1

for ip, count in suspicious_ips.items():
    if count > 5:
        print(f"Підозріла активність з IP: {ip} ({count} підключень)")
```

Рисунок 1 – Приклад коду на Python, що використовує метод статистичного аналізу для автоматичного виявлення аномальних підключень у мережевих журналах, зокрема багаторазових спроб входу з однієї IP-адреси.

Автоматизація процесу обробки журналів забезпечує:

- скорочення часу реагування на інциденти;
- зменшення людського фактору;
- можливість обробки великих масивів даних (Big Data);
- інтеграцію з системами SIEM та SOAR;
- формування звітів і прогнозування загроз.

Журнал мережевих підключень є базовим джерелом інформації для систем кіберзахисту. Його систематичний та автоматизований аналіз дозволяє своєчасно виявляти потенційні атаки, мінімізувати ризики та підвищувати загальний рівень безпеки мережевої інфраструктури.

Для практичної реалізації захисту використовуються спеціалізовані інструменти:

1. Аналіз трафіку:
   - Wireshark – аналіз мережевого трафіку;
   - tcpdump – консольний аналізатор пакетів.
2. Системи виявлення вторгнень
   - Snort – IDS з відкритим кодом;
   - Suricata – високопродуктивна IDS/IPS система.
3. Аудит бездротових мереж
   - Aircrack-ng –аудит Wi-Fi безпеки.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз програмного забезпечення

Програма	Основне призначення	Переваги	Недоліки
Wireshark	Аналіз мережевого	Безкоштовний, зручний графічний інтерфейс	Не забезпечує активний захист,

	трафіку	(GUI), підтримка сотень протоколів	потребує знань мережевих протоколів
Snort	IDS	Потужна система правил, open-source, гнучкість налаштувань	Складність конфігурації, можливі хибні спрацювання
Suricata	IDS/IPS	Висока продуктивність, підтримка сучасних протоколів, масштабованість	Потребує значних ресурсів, складне адміністрування
tcpdump	Консольний аналізатор пакетів	Легкий, швидкий, мінімальні вимоги до ресурсів	Відсутній GUI, складний для новачків
Aircrack-ng	Аудит безпеки Wi-Fi	Ефективний для пентестингу, кросплатформеність	Потребує спеціальних знань, етичні обмеження використання

Програмні засоби можуть відстежувати частоту звернень з окремих IP-адрес, виявляти аномальні шаблони поведінки або надмірне навантаження на мережеві ресурси. Навіть прості алгоритми, реалізовані мовою Python, дозволяють здійснювати первинний аналіз лог-файлів та сигналізувати про підозрілу активність, що може свідчити про brute-force атаку або сканування портів. Такі підходи є базовими елементами більш складних систем класу SIEM (Security Information and Event Management), які забезпечують централізований збір, кореляцію та аналіз подій безпеки.

Практичне забезпечення кіберзахисту передбачає використання спеціалізованого програмного забезпечення. Для аналізу мережевого трафіку широко застосовуються інструменти Wireshark і tcpdump, що дозволяють досліджувати структуру пакетів та виявляти аномалії. Для виявлення вторгнень використовуються системи Snort і Suricata, які аналізують мережевий трафік на основі сигнатур і поведінкових моделей [3]. Для аудиту безпеки бездротових мереж застосовується пакет Aircrack-ng, який дозволяє тестувати стійкість механізмів шифрування Wi-Fi. Найбільш ефективним є комплексне використання декількох інструментів, що забезпечує багаторівневий контроль та мінімізує ризики.

Перспективними напрямами розвитку кібербезпеки мереж є інтеграція методів штучного інтелекту для прогнозування та виявлення загроз, розвиток квантової криптографії, створення енергоефективних і безпечних мережевих архітектур, удосконалення міжнародних стандартів безпеки, а також захист мереж безпілотних систем, IoT та кіберфізичних комплексів [3]. Особливого значення набуває підготовка

кваліфікованих фахівців і підвищення рівня обізнаності користувачів щодо правил безпечної роботи в мережі.

Висновки. Таким чином, кібербезпека комп'ютерних мереж є критично важливою умовою стабільного функціонування інформаційних систем у сучасному цифровому середовищі. Ефективний захист можливий лише за умови комплексного підходу, який поєднує сучасні технології, стандарти безпеки, автоматизовані системи моніторингу та професійну підготовку спеціалістів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Kizza, J. M. (2020). *Guide to computer network security* (5th ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38141-7

2. Rose, S., Borchert, O., Mitchell, S., & Connelly, S. (2020). *Zero trust architecture*. National Institute of Standards and Technology. https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-207/final

3. Артьомов, А. І. (2025). *Python проти інших мов у кібербезпеці*. In O. Yudin, H. Zemlianko, V. Pevnev, & V. Kharchenko (Eds.), *Тези доповідей V міжнародної науково-практичної конференції "Студентська конференція: Інформаційна, функційна і кібербезпека" (5th International Student Conference "Student Conference on Information, Functional and Cybersecurity")* [Conference proceedings]. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32148.16001

UDC 004.056:003.26

Romanenko S.O.[1]

ADAPTIVE MULTI-LAYER CYBERSECURITY ARCHITECTURE WITH INTEGRATED CRYPTOGRAPHIC STANDARDS, STEGANOGRAPHIC COMMUNICATION, AND TECHNICAL INFORMATION PROTECTION

The accelerating digitalization of governmental, military, industrial, and critical infrastructure systems has fundamentally transformed the threat landscape of cyberspace. Modern information environments are characterized by distributed architectures, cloud integration, edge computing, Internet of Things (IoT) ecosystems, and cyber-physical convergence. Under such conditions, traditional perimeter-based defense mechanisms are no longer sufficient. This research substantiates the need for an adaptive, multi-layer cybersecurity architecture that integrates analytical threat modeling, modern cryptographic standards, steganographic communication techniques, and technical information protection mechanisms into a unified, dynamically reconfigurable security framework.

[1] senior Lecturer of the Department of Computer Science and Intelligent Technologies, Military Institute of Telecommunications and Informatization named after the Heroes of Kruty.

The study begins with a comprehensive analysis of contemporary cyber threats, including advanced persistent threats (APT), zero-day exploits, supply-chain compromises, insider attacks, ransomware campaigns, and hybrid cyber-physical operations. A risk-oriented analytical model is proposed that combines behavioral anomaly detection, threat intelligence aggregation, and attack surface analysis. By shifting from reactive incident response to predictive threat anticipation, the framework introduces adaptive defense mechanisms capable of dynamically adjusting protection parameters based on real-time telemetry and contextual awareness [1].

A core component of the architecture is the practical implementation of internationally recognized cryptographic standards defined by the National Institute of Standards and Technology (NIST), including AES, RSA, elliptic curve cryptography, secure hash algorithms, digital signatures, and post-quantum approaches. Emphasis is placed on cryptographic agility, secure key lifecycle management, hardware security modules, trusted platform modules, and secure boot mechanisms to ensure integrity at hardware and firmware levels. Resilience against side-channel attacks—such as timing, power, and electromagnetic analysis—is strengthened through masking techniques, constant-time implementations, and physical shielding, integrating software-based encryption with hardware-rooted trust anchors [2].

In parallel, the research investigates advanced steganographic methods for covert information transmission in digital media and network protocols. Adaptive embedding algorithms are proposed to minimize detectability by steganalysis systems, including techniques based on protocol header manipulation and traffic flow modulation. The combination of cryptographic encryption and steganographic concealment forms a dual-layer confidentiality mechanism that significantly complicates adversarial interception [3].

Technical information protection is addressed through electromagnetic compatibility control, protection against compromising emanations, secure equipment placement, physical access control, and infrastructure zoning. The proposed architecture also incorporates an adaptive orchestration layer that coordinates cryptographic modules, intrusion detection systems, steganographic channels, and technical protection mechanisms within a unified security management platform using continuous monitoring and automated response.

Conclusions. The scientific novelty of this research lies in the integrated combination of cryptographic standards, steganographic techniques, and technical protection measures within a unified adaptive cybersecurity architecture. The practical significance of the work is reflected in the development of scalable security solutions for defense institutions, governmental agencies, and critical infrastructure operators, enhancing confidentiality, integrity, authenticity, availability, and long-term resilience of information systems.

REFERENCES:
1. Flynn, E.V. & Ti, Y.B. (2019). Genus Two Isogeny Cryptography, Cryptology, ePrint Archive, Paper 2019/177, https://eprint.iacr.org/2019/177.
2. Jennifer Fernick, Andrew Foster (February 21, 2025). “Announcing quantum-safe digital signatures in Cloud KMS”: Google Cloud. https://cloud.google.com/blog/products/identity-security/announcingquantum-safe-digital-signatures-in-cloud-kms
3. Athukorale, N. K., Yi, C. J., Xin, L. Z., Yasmine, A., Qi, C. J., Yu, D., Wei, J. B., Hady, F., Zhe, L. S., Eu, C. C., & Sindiramutty, S. R. (2025). Evaluating Advanced Cybersecurity Technol

УДК 330.567.2:355.01(477)

Цвєткова Є. В.[1], Тарлопов І. О.[2]

СТАТИСТИЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ВОЄННИХ РИЗИКІВ НА СПОЖИВЧУ АКТИВНІСТЬ НАСЕЛЕННЯ

Повномасштабне збройне вторгнення Росії в Україну, розпочате 24 лютого 2022 року, зумовило глибокі структурні трансформації споживчого ринку. Воєнні ризики постали потужним детермінантом споживчої поведінки, активуючи механізми захисного заощадження, переорієнтації попиту та вимушеного скорочення витрат домогосподарств. Статистична оцінка цих процесів є актуальною науковою задачею, оскільки дозволяє сформувати обґрунтовані рекомендації щодо відновлення споживчого потенціалу в умовах тривалого воєнного стану. Мета дослідження — на основі масивів офіційної статистики та результатів соціологічних моніторингів виявити кількісні залежності між рівнем воєнних ризиків і динамікою споживчих настроїв населення України у 2022–2025 рр.

Теоретичним підґрунтям дослідження слугує концепція споживчих настроїв, адаптована для умов України компанією GfK Ukraine (з 2000 р.), а згодом — Info Sapiens (з 2019 р.). Індекс споживчих настроїв (ІСН) є зваженим середнім п'яти субіндексів: поточного матеріального становища домогосподарств, очікувань щодо доходів, загальноекономічного розвитку та доцільності великих покупок. Шкала вимірювання — від 0 до 200, де значення 100 відповідає паритету позитивних і негативних оцінок, а вибірка становить 1000 осіб старше 16 років [1]. Для обробки та візуалізації статистичних даних у роботі було використано пакет аналізу MS Excel та мову програмування Python (бібліотеки Pandas, Matplotlib), що забезпечило високу точність розрахунків.

[1] студентка гр. ЕА-23-1, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
[2] к.е.н., доцент, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Для кількісного виміру воєнних ризиків використано: кількість ракетних ударів по інфраструктурних об'єктах (дані Генерального штабу Збройних Сил України), частку тимчасово окупованих територій, обсяг прямих матеріальних збитків (методологія Київської школи економіки), а також індекс економічної невизначеності Національного Банку України. Взаємозв'язок між зазначеними показниками та ІСН досліджується методами кореляційно-регресійного аналізу з використанням часових рядів квартальних спостережень за 2022–2024 рр. (n=12).

Емпіричний аналіз виявив характерну «розвилку» субіндексів ІСН після початку повномасштабної агресії: індекс поточного матеріального становища обвалився до мінімальних значень уже у квітні 2022 р. (–34,7 п. до довоєнного рівня), тоді як індекс економічних очікувань різко зріс. Цей феномен пояснюється «ефектом мобілізаційного оптимізму»: у березні 2022 р. частка респондентів, які вважали, що справи в країні йдуть у правильному напрямку, суттєво перевищила частку песимістів, тоді як у січні 2022 р. картина була протилежною [2]. У лютому 2024 р. ІСН опустився до 70,2 п. — найнижчого рівня від початку повномасштабного вторгнення; порівняно із «дном» червня 2022 р. (72,2 п.) це ознаменувало новий мінімум [3].

Побудована лінійна регресійна модель ІСН = f(RI, INF, UR, DEV), що включає індекс воєнних ризиків (RI), рівень інфляції (INF), рівень безробіття (UR) та девальваційні очікування (DEV), продемонструвала: скоригований $R^2 = 0,81$, тобто обрані предиктори пояснюють 81% варіації ІСН. Найбільший стандартизований β-коефіцієнт належить девальваційним очікуванням ($\beta = –0,44$) та індексу воєнних ризиків ($\beta = –0,38$), тоді як рівень безробіття демонструє слабший вплив ($\beta = –0,19$). Трекер економіки під час війни [4] підтверджує: масовані атаки на енергетичну інфраструктуру у 2022 та 2024 рр. статистично значущо ($p < 0,05$) знижували споживчий оптимізм у часовому лагу 1–2 місяці.

Структура споживчих витрат також зазнала суттєвих змін. За даними Державної служби статистики України, частка витрат на продукти харчування у сукупних витратах домогосподарств зросла з 48,9% у 2021 р. до 56,4% у 2022 р. Витрати на одяг і взуття, відпочинок і культуру скоротились у реальному вираженні на 27% і 41% відповідно. Інфляція споживчих цін у 2022 р. склала 26,6%, а ціни на паливно-мастильні матеріали зросли на 69,4%, пік яких припав на травень–червень 2022 р. [5]. Енергетичний стрес перетворився на ключовий чинник споживчої депривації у 2023–2024 рр.

Кластерний аналіз регіональних даних (метод k-means, k=3) виявив три стійкі патерни споживчої поведінки. Перший кластер — «прифронтові» регіони — характеризується мінімальним ІСН,

найвищою часткою витрат на базові потреби (>62%) та зростанням натурального самозабезпечення. Другий кластер — «тилові» регіони — демонструє відносно стабільний ІСН (80–95 п.) та диверсифіковану структуру споживання. Третій кластер — регіони з великою часткою внутрішньо переміщених осіб (ВПО) — поєднує «шок переселення» з поступовою адаптацією до нових умов. Загальна кількість зареєстрованих ВПО на початок 2023 р. наблизилась до 5 млн осіб [6], що суттєво вплинуло на структуру регіональних споживчих ринків.

Проведене дослідження дозволило встановити низку закономірностей, що визначають сучасний стан внутрішнього ринку. Зокрема, статистично підтверджено значущий негативний вплив воєнних ризиків на індекс споживчих настроїв, хоча цей детермінант наразі поступається девальваційним очікуванням населення. Аналіз динаміки виявив поступову трансформацію поведінкових моделей: від «ефекту мобілізаційного оптимізму» на початку 2022 року до конвергенції поточних та очікуваних оцінок на зниженому рівні у 2024 році, що свідчить про накопичену психологічну втому. Виявлена через кластерний аналіз регіональна диференціація та зміщення структури попиту у бік товарів першої необхідності вказують на глибоку адаптацію споживання до умов невизначеності. Сформовані висновки можуть стати підґрунтям для розробки предиктивних моделей споживчої активності в межах національної стратегії відновлення економіки України.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Info Sapiens. (n.d.). *Індекс споживчих настроїв*. Wikipedia. https://uk.wikipedia.org/wiki/Індекс_споживчих_настроїв

2. Info Sapiens. (n.d.). *Індекс споживчих настроїв в Україні*. VoxUkraine. https://voxukraine.org/indeks-spozhyvchyh-nastroyiv

3. Українська Рада Торговельних Центрів. (n.d.). *Динаміка споживчих настроїв під час війни*. https://www.ucsc.org.ua/indeks-spozhyvchyh-nastroyiv-ukrayincziv-vpav-do-najnyzhchogo-rivnya-z-pochatku-povnomasshtabnoyi-vijny/

4. Centre for Economic Strategy. (n.d.). *Tracker of Ukraine's economy during the war*. https://ces.org.ua/en/tracker-economy-during-the-war/

5. Одеський національний університет імені І. І. Мечникова. (n.d.). *Кризові проблеми фінансової стабільності України під час війни: аналітичні матеріали*. https://dspace.onu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/a5775663-4b42-426d-8dc0-4d647cdb55c8/content

6. Національний інститут стратегічних досліджень. (n.d.). *Соціально-демографічна ситуація в Україні: шляхи подолання наслідків війни*. https://niss.gov.ua/news/komentari-ekspertiv/sotsialno-demohrafichna-sytuatsiya-v-ukrayini-shlyakhy-podolannya

УДК 004.7 Мірошніченко А.Л.[1], П'ятаченко В.Ю.[2]

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА АГРЕГУВАННЯ ТА ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ У МЕРЕЖЕВОМУ ТРАФІКУ

Інтенсивний розвиток цифрових технологій та широке впровадження інформаційних систем у різних сферах діяльності супроводжуються суттєвим зростанням кількості та складності кіберзагроз. Корпоративні комп'ютерні мережі дедалі частіше стають об'єктами кібернетичних атак, серед яких поширеними є несанкціонований доступ до інформаційних ресурсів, витік конфіденційних даних, а також атаки типу відмови в обслуговуванні (DoS/DDoS) [1]. У таких умовах важливим завданням є своєчасне виявлення підозрілої мережевої активності на основі аналізу поведінки мережевого трафіку.

У роботі запропоновано архітектуру інформаційної системи агрегування та виявлення аномалій у мережевому трафіку, яка включає рівні збору мережевих даних (TShark), аналітичної обробки (Python/Scapy) та сповіщення про інциденти.

Практичну реалізацію системи здійснено у гібридному середовищі, що поєднує фізичну мережеву інфраструктуру на базі комутатора Extreme та віртуальну платформу VMware. Розроблений програмний модуль мовою Python виконує аналіз файлів формату .pcap та ідентифікує підозрілу мережеву активність на основі статистичних порогових значень.

Особливу складність для систем кіберзахисту становлять атаки нульового дня та внутрішні загрози, які складно виявити традиційними сигнатурними методами. У зв'язку з цим важливим компонентом сучасних систем кібербезпеки є безперервний моніторинг і детальний аналіз мережевого трафіку, оскільки саме в мережевих пакетах відображається більшість потенційно небезпечних дій у мережевому середовищі [2].

Традиційні засоби захисту, зокрема міжмережеві екрани та антивірусні системи, орієнтовані переважно на виявлення відомих загроз і базуються на сигнатурному підході. Такий підхід є ефективним для ідентифікації вже відомих атак, однак має обмежені можливості щодо виявлення нових або модифікованих загроз. У зв'язку з цим актуальним напрямом досліджень є створення систем виявлення вторгнень, що використовують аналіз поведінки мережевого трафіку та дозволяють ідентифікувати аномальні відхилення від нормального функціонування мережі [3].

Теоретичною основою дослідження стали наукові роботи,

[1] Студент групи ІНз-21с, Сумський державний університет
[2] Асистент кафедри КН, Сумський державний університет, PhD.

присвячені класифікації мережевих атак, принципам функціонування систем IDS/IPS та методам аналізу мережевого трафіку [1,3]. У роботі розглянуто основні підходи до виявлення загроз — сигнатурний, аномальний та комбінований. Також проведено огляд існуючих систем моніторингу мережевої активності, зокрема Snort, Suricata та Zeek, які широко використовуються для побудови систем виявлення вторгнень.

Збір мережевих даних у запропонованій системі реалізовано із застосуванням технології портового дзеркалювання (port mirroring), що дозволяє отримувати копію мережевого трафіку на окремий інтерфейс без втручання у процес передавання даних та без зниження продуктивності мережевої інфраструктури [4]. Для захоплення мережевих пакетів використано утиліту TShark, яка є консольною версією аналізатора Wireshark і забезпечує можливість автоматизованого збору та збереження мережевого трафіку у файлах формату .pcap. Моніторинг здійснюється у гібридному середовищі, що поєднує фізичну мережеву інфраструктуру на базі комутатора Extreme та віртуальну платформу VMware, де портове дзеркалювання дозволяє передавати копію трафіку досліджуваного сегмента мережі на виділений mirror-порт.

У межах проведеного дослідження розроблено прототип інформаційної системи аналізу мережевого трафіку, архітектура якої включає три функціональні рівні: збір даних, їх аналітичну обробку та сповіщення про виявлені інциденти. Аналітичний модуль реалізовано мовою програмування Python з використанням бібліотеки Scapy, яка забезпечує можливість гнучкої обробки мережевих пакетів, парсингу файлів .pcap та вилучення параметрів мережевих протоколів [5]. На основі отриманих даних виконується статистичний аналіз активності вузлів мережі.

У прототипі системи(Рис.1) застосовано пороговий підхід до виявлення аномалій. Якщо кількість пакетів, що надходять від однієї IP-адреси протягом визначеного інтервалу часу, перевищує встановлене порогове значення, така активність класифікується як потенційно підозріла. Подібна поведінка може свідчити про реалізацію атак типу DoS, інтенсивне сканування портів або автоматизовані спроби автентифікації.



Рисунок 1 – Архітектура системи агрегування та виявлення аномалій

Результати аналізу формуються у вигляді структурованого звіту, що містить IP-адресу джерела, часову мітку події та оцінку рівня

загрози. У поточній реалізації система виконує логування подій у файл, а також підтримує можливість автоматичного надсилання повідомлень адміністратору безпеки через електронну пошту з використанням протоколу SMTP.

Висновки. У результаті проведеного дослідження розроблено прототип інформаційної системи агрегування та аналізу мережевого трафіку, призначений для виявлення аномальної активності у корпоративних мережах. Запропонований підхід дозволяє здійснювати централізований збір мережевих даних, їх статистичний аналіз та оперативне формування повідомлень про потенційні інциденти інформаційної безпеки. Реалізована архітектура системи характеризується модульністю та може бути інтегрована у різні мережеві середовища без значного втручання у їх функціонування.

Практична апробація розробленого рішення у гібридному мережевому середовищі підтвердила можливість ефективного моніторингу мережевої активності та виявлення підозрілих поведінкових патернів. Перевагами запропонованої системи є використання відкритих програмних інструментів, гнучкість налаштування механізмів аналізу трафіку та відносно низькі витрати на впровадження, що робить її придатною для використання у мережах різного масштабу.

Перспективним напрямом подальших досліджень є вдосконалення механізмів виявлення аномалій шляхом застосування методів машинного навчання для формування адаптивних моделей нормальної поведінки мережі. Це дозволить підвищити точність і своєчасність виявлення складних та малопомітних кіберзагроз, зокрема атак нульового дня та комбінованих сценаріїв мережевих атак.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Stallings, W. (2017). *Network security essentials: Applications and standards* (6th ed.). Pearson.
2. Behl, A., & Behl, K. (2017). *Cybersecurity and cyberwar: What everyone needs to know*. Oxford University Press.
3. Scarfone, K., & Mell, P. (2007). *Guide to intrusion detection and prevention systems (IDPS)* (NIST Special Publication 800-94). National Institute of Standards and Technology.
4. Orebaugh, A., Ramirez, G., & Beale, J. (2007). *Wireshark & Ethereal network protocol analyzer toolkit*. Syngress Publishing.
5. Biondi, P. (n.d.). *Scapy documentation*. https://scapy.net

УДК 004.056:656.2
Братерський Я. В.[1], Братерська Н. М.[2]

ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ В ЦИФРОВИХ СЕРВІСАХ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ЛОГІСТИКИ В УМОВАХ ВОЄННИХ ДІЙ

Цифрові сервіси залізничної логістики сьогодні є ключовою частиною функціонування транспортних процесів як у мирний, так і у воєнний час. В Україні залізниця становить важливий елемент не лише для пасажирських перевезень, а й для забезпечення логістики військового та гуманітарного значення. Електронні системи обробки даних, онлайн-послуги з придбання квитків, електронного документообігу та моніторингу вантажів сприяють оптимізації роботи транспортних потоків, але водночас стають об'єктами підвищеної уваги з боку кіберзагроз у період військового конфлікту.

З початку повномасштабного вторгнення російської федерації у 2022 році стратегічна інфраструктура України, включно з залізничними мережами, зазнала інтенсивних атак. Окрім фізичних ударів російських військових безпілотників і ракет по залізничних вузлах та лініях, цифрові сервіси також були об'єктом масштабних кібератак. У березні 2025 року державна залізнична компанія «Укрзалізниця» повідомила про велику цілеспрямовану кібератаку, яка вивела з ладу онлайн-сервіси придбання квитків та обробки замовлень на перевезення, що змусило тимчасово перейти на паперову систему документообігу та купівлі квитків на станціях або безпосередньо у поїздах [1,2]. Такі інциденти підкреслюють, що цифрова логістична інфраструктура – критично важлива частина державної системи – може бути вразливою до зовнішніх кіберзагроз під час війни.

Результати досліджень у логістичній галузі вказують, що транспорт і логістика в цілому відчувають значний тиск з боку кіберзагроз. Наприклад, звіт Європейського агентства з кібербезпеки показав, що для залізничного сектору основними типами атак є вимагальницьке програмне забезпечення (ransomware), DoS/DDoS-атаки та зломи уразливостей IT-систем, що можуть спричиняти збої й відмови критичних сервісів [3]. Це підтверджує, що навіть добре налагоджені цифрові платформи логістики перебувають під постійною загрозою не лише технічних збоїв, а й цілеспрямованих дій зловмисників.

В умовах війни ризики стають ще більш комплексними, оскільки об'єктом атак можуть стати не лише загальносвітові кіберзлочинці, а й державні або пов'язані з військовим командуванням групи, що прагнуть порушити логістичні ланцюги та інформаційні потоки. Це ставить

[1] студент гр. 106-ТСЛ-Д25, Український державний університет залізничного транспорту
[2] асистент кафедри КНтаІТ, ХНУМГ імені О. М. Бекетова

підвищені вимоги до організаційної культури кібербезпеки та впровадження систем захисту інформації, які здатні забезпечити безперебійну роботу цифрових сервісів у складних умовах.

До базових заходів захисту інформації належать:

- використання надійних і регулярно оновлюваних паролів та багатофакторної автентифікації;
- застосування систем резервного копіювання даних і аварійного відновлення сервісів;
- обмеження доступу до систем за ролями та правами, заснованими на принципі мінімальних привілеїв;
- регулярні навчання персоналу з основ кібергігієни та розпізнавання загроз, таких як фішингові атаки тощо. Базові практики, навіть на рівні простих заходів, значно підвищують стійкість систем до несанкціонованого доступу та зовнішнього втручання, особливо в умовах інформаційної війни.

У сучасних умовах важливу роль відіграє цифрова довіра між учасниками логістичного ланцюга та залучення менеджменту до формування загальної стратегії кібербезпеки. Дослідження свідчать, що на рівні підприємств транспортного сектору, включаючи логістику, лише невелика частина організацій надають пріоритет кіберстійкості на всіх рівнях, що вказує на потребу активнішого інтегрування заходів інформаційного захисту в стратегії діяльності компаній та державних структур [4].

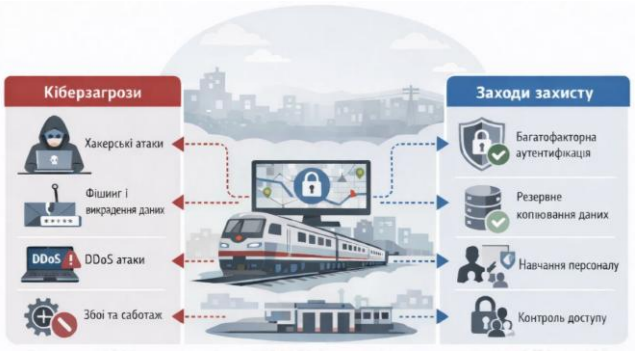


Рисунок 1 – Основні кіберзагрози та базові заходи захисту інформації в цифрових сервісах залізничної логістики в умовах воєнних дій

На рис. 1 узагальнено основні кіберзагрози для цифрових сервісів залізничної логістики в умовах воєнних дій та базові заходи захисту інформації, застосування яких сприяє підвищенню стійкості транспортної інфраструктури.

Висновки. Таким чином, забезпечення захисту інформації у цифрових сервісах залізничної логістики в умовах воєнних дій має стати

невід'ємною частиною логістичної безпеки. Підвищення кіберстійкості електронних сервісів не лише захищає дані та сервісні процеси, а й сприяє безперебійній роботі транспортної інфраструктури в умовах воєнного конфлікту, що має критичне значення для державної безпеки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Reuters. (2025, March 27). *Ukraine state railway says online services partially restored after cyber attack*. https://www.reuters.com/technology/cybersecurity/ukraine-state-railway-says-online-services-partially-restored-after-cyber-attack-2025-03-27/

2. Logistics News. (2025, March 25). *Ukraine Railways says cyberattack on Sunday affected its online freight service*. https://logistics.maritimeprofessional.com/passenger-ground-sea-transportation/2025/03/25/ukraine-railways-says-cyberattack-on-sunday-affected-its-online-freight-service

3. PwC Україна. (2025). *Цифрова довіра в логістиці: виклики 2025*. https://www.pwc.com/ua/uk/survey/2025/cee-findings-from-the-2025-global-digital-trust-insights-survey/transportation-logistics.html

4. ENISA. (2023). *EU cybersecurity agency reports on threat to rail*. https://www.railjournal.com/technology/eu-cybersecurity-agency-reports-on-threat-to-rail/

UDC 004.056.5

Tomas Takac[1] Yurii Pakhomov[2]

REDUCING FALSE POSITIVES IN SIEM SMART CITY: EVENT CORRELATION AND THE CONTEXT OF URBAN INFRASTRUCTURE ASSETS

Smart City infrastructure integrates IT (Information Technology) services, networks of connected devices (IoT), and OT (Operational Technology) management systems. This environment generates a large volume of events: network messages, service logs, gateway telemetry, and access events. Under these conditions, even a properly configured Security Information and Event Management (SIEM) system can generate an excessive number of alerts due to a high False Positive Rate (FPR), where normal activity is mistakenly flagged as an incident. A high FPR leads to "alarm fatigue," reduces trust in the system, overloads Security Operations Center (SOC) operators, and increases the mean time to respond or recover (MTTR) [1].

[1] Bachelor's degree. Department of Computer Science and Engineering, Technical University of Kosice, Slovakia.

[2] Associate Professor of the Department of Computer Science and Information Technologies. O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv.

SIEM (Security Information and Event Management) performs centralized collection and processing of events: it consolidates logs from various sources, standardizes them into a single format, enriches them with attributes, and applies rules and models to generate incidents. For a Smart City, it is critical that events be linked to assets (gateway, server, camera, controller), services (resource accounting, dispatch), and responsible departments; without this, SIEM more often generates alerts without priority, which increases the false positive rate (FPR) [1].

The main causes of false positives in SIEM include typical sources of FPR in enterprise networks: active repetitive events that appear to the system as an attack; incomplete data (lack of NetFlow/IPFIX network context or authentication data); overly general rules and incorrect thresholds; duplication of events from multiple logging sources. Therefore, reducing FPR requires systematic work with data, rules, and context, rather than a one-time configuration [1].

The main causes of false positives in SIEM include typical sources of FPR in enterprise networks: active repetitive events that appear to the system as an attack; incomplete data (lack of NetFlow/IPFIX network context or authentication data); overly general rules and incorrect thresholds; duplication of events from multiple logging sources. Therefore, reducing FPR requires systematic work with data, rules, and context, rather than a one-time configuration [2].

The interaction between SIEM and Incident Response/SOAR, along with incident prioritization, determines the sequence of actions (containment, mitigation, recovery), while SOAR (Security Orchestration, Automation, and Response) executes response playbooks. For a Smart City, it is advisable to trigger playbooks only for incidents with a sufficient level of confidence and a priority that takes into account the criticality of the service, potential impact, and recurrence of events (priority levels P1–P4).

The interaction between SIEM and Incident Response/SOAR, along with incident prioritization, determines the sequence of actions (containment, mitigation, recovery), while SOAR (Security Orchestration, Automation, and Response) executes response playbooks. For a Smart City, it is advisable to trigger playbooks only for incidents with a sufficient level of confidence and a priority that takes into account the criticality of the service, potential impact, and recurrence of events (levels P1–P4) [2].

Table 1 – False Positive Rate (FPR) Reduction Matrix in Smart City: Causes, Manifestations, and Solutions in SIEM/IR/SOAR

The problem (source: FPR)	How they manifest themselves in a Smart City	Troubleshooting in SIEM/IR/SOAR
Upcoming Events	Mass recurring entries, legitimate background checks	Filtering, smoothing, and correlation using time windows

No asset context	Alerts not linked to a service or object	Enriching registry/CMDB data, service criticality
Rules that are too general	Responding to all messages without an active role	Role-based rules, different thresholds for asset classes
Log duplication	A single event comes from multiple sources	Deduplication, normalization, and format standardization
Incorrect prioritization	Minor incidents overshadow critical ones	Priority levels P1–P4, SOAR playbooks by severity

Table 1 presents a summary matrix of FPR (False Positive Rate) reduction in a Smart City environment. The first column lists the main sources of false alarms (e.g., active repetitive events, lack of asset context, overly general rules, log duplication, prioritization errors); the second column shows typical manifestations of these issues in urban networks; and the third column proposes practical mitigation measures. Solutions are grouped by implementation location: in SIEM (Security Information and Event Management) through normalization, deduplication, and event correlation; in the IR/SOAR (Incident Response / Security Orchestration, Automation, and Response) subsystem through incident prioritization and the execution of playbooks based on service criticality. The proposed matrix can be used as a practical checklist for system configuration and auditing, as it links the cause of FPR to a specific mechanism for reducing it and the expected effect for the city's SOC (Security Operations Center) [2].

Conclusions: In a Smart City environment, a high FPR (False Positive Rate) is a key operational risk that overloads the SOC and slows down the response to actual incidents. A systematic reduction in FPR is achieved through correlation in SIEM and the enrichment of asset context (type, service, criticality, responsible department), which increases the relevance of incidents. Integrating SIEM with IR/SOAR allows for prioritizing incidents and automating playbooks for critical services, reducing manual operator work. The effectiveness should be evaluated using a set of metrics (Recall/F1, FPR, latency, EPS) to avoid the situation of "fewer alerts – more missed attacks" [2].

REFERENCES

1. Smirnova, T., Konstantinova, L., Konoplytska-Slobodenyuk, O., Kozlov, Y., Kravchuk, O., Kozirova, N., & Smirnov, O. (2024). A Study of the Current State of SIEM Systems. Cybersecurity: Education, Science, Technology, 1(25), 6–18. https://doi.org/10.28925/2663-4023.2024.25.618

2. 2. Chernikov, P. (2025). Cybersecurity of Urban Digital Systems: Scaling Event Correlation in SIEM to Reduce Incidents in Wartime Conditions. Cybersecurity: Education, Science, Technology, 3(31), 773–780. https://doi.org/10.28925/2663-4023.2025.31.1066.

UDK 004.9

Pyvovar S.O.[1], Havryk A.P. [2]

INFORMATION SECURITY IN DISTRIBUTED CONTROL SYSTEMS

Distributed control systems (DCS) are the basis of modern automation of industrial facilities, power grids, and critical infrastructure. The transition from isolated local systems to open network architectures (IIoT, Smart Grid) has significantly expanded control capabilities, but at the same time created new vectors of cyber threats. Ensuring information security (IS) in such systems is a critical task, since violation of data integrity or availability can lead to man-made disasters and significant economic losses.

Distributed systems have specific characteristics that make it difficult to implement standard IS methods:

- decentralization: data and control functions are distributed among many nodes (controllers, sensors), which expands the attack surface.
- real-time mode: delays caused by the operation of encryption tools or antivirus software can be critical for the stability of the technological process.
- limited resources: end devices (microcontrollers) often have low computing power, which makes it impossible to use complex cryptographic protocols [1].

All cyber threats to the RSC should be classified by the type of their impact on the fundamental properties of information security, highlighting attack methods specific to the industrial environment:

1. Confidentiality violation: unauthorized reading of telemetric information, equipment configuration parameters, or theft of intellectual property (recipes, algorithms).
2. Integrity violation: unauthorized modification of data, which is the most dangerous for the RSC. These include:
   - Man-in-the-Middle (MitM): interception and substitution of traffic in real time between the PLC and the SCADA system [2];
   - False Data Injection: imperceptible correction of sensor indicators, which provokes the system or operator to make erroneous (emergency) decisions.
3. Availability violation: intentional reboot of communication

[1] PhD student, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"
[2] PhD student, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"

channels or computing nodes, which led to the loss of controllability of the object. DoS/DDoS attacks, which mean blocking network interaction and stopping the shutdown of critical processes due to the inability to receive feedback from sensors.

Analysis of modern cyber incidents in industrial and infrastructure systems shows that distributed control systems (DCS) remain increasingly common targets of cyber-attacks. The integration of technological networks with corporate information systems, the use of remote access to the network of secret services, significantly expands the manifestation of a surface attack. As a result, even the compromise of auxiliary information systems can be included in the operation of critical technological processes.

One of the most revealing incidents was the attack on the Colonial Pipeline oil pipeline in the USA in May 2021. As a result of the action of the DarkSide ransomware, the company's corporate IT network was affected, in particular, billing and internal communications systems [3]. Although operational technologies were not compromised, the company's management decided to completely stop the pipeline due to the risk of increasing attacks on process control systems. This led to significant disruptions in fuel supplies on the US East Coast and caused economic losses. This case demonstrated the security of tightly integrating corporate IT networks with operational technology (OT) networks.

Another example was the attack on the Viasat satellite network in February 2022, which led to the disruption of the operation of a thousand satellite terminals of the KA-SAT network. Among other things, this caused the loss of remote control of approximately 5,800 wind turbines of the Enercon company in Germany [4]. Controllers temporarily lost the ability to maintain telemetry data and transmit control commands to the support. This incident demonstrated the vulnerability of distributed control systems due to their dependence on external communication channels and the infrastructure of suppliers.

Analysis of these incidents allows us to identify several key trends in the development of cyber threats in the field of industrial transport systems. For the first time, the Ransomware-as-a-Service model is becoming significantly widespread, for which cybercriminals require ready-made tools to carry out an attack, which significantly lowers the threshold for entry into cybercriminal activity. Secondly, there are increasingly frequent attempts to attack the security systems of industrial facilities, in particular the emergency protection systems (Safety Instrumented Systems), which can create conditions for physical accidents or man-made disasters. Thirdly, the concept of the so-called “air gap” is expanding, according to which control systems were considered protected through a direct connection to the Internet. In practice, the penetration of malicious software is possible through external media, engineering laptops, software updates, or other data exchange channels. These factors confirm the comprehensive approach to ensuring the

information security of distributed control systems.

Mathematical modeling allows us to quantitatively assess the level of security of the RSC. One of the most effective methods is the use of game theory to model the confrontation between the "attacker" and the "defender".

The overall risk level R for a critical node of the system can be represented as formula 1.

$$R = \sum_{i=1}^{n} P(A_i) \times P(S_i|A_i) \times L_i \quad (1)$$

where:

$P(A_i)$ is the probability of a certain type of attack (DDoS, code injection, MitM);

$P(S_i|A_i)$ is the probability of successfully overcoming the defense system with a given attack;

L_i is the potential losses (economic, environmental, or technical) from a successful attack.

The use of swarm intelligence algorithms in this model allows for dynamic recalculation of probabilities in real time, adapting to the emergence of new anomalies in network traffic.

Traditional antiviruses are focused on searching for known malicious code (signatures). However, modern attacks on RSCs often use “legitimate” protocol commands (such as Modbus or IEC 104), but in anomalous sequences or volumes (for example, unauthorized changes in the chemical composition of water).

The use of swarm intelligence algorithms (for example, an artificial bee colony or a swarm of particles) allows for a change in the protection paradigm. This approach is based not only on the detection of known malicious programs, but also on the analysis of system behavior and the search for deviations in its functioning.

One of the key advantages is the ability to implement behavioral analysis. In this case, the monitoring system, consisting of a set of interacting agents, analyzes the normal parameters of the technological process and forms the so-called “collective norm” model. Any deviations from this model, even if the received commands formally look legitimate, can be quickly identified as a potential anomaly or a sign of a cyberattack.

Another important characteristic is the high speed of response to threats. Algorithms operate in parallel mode, which allows processing large amounts of data simultaneously. For distributed control systems, this is of critical importance, since the time to make a decision to block suspicious activity or a cyberattack can be measured in milliseconds.

In addition, the use of swarm intelligence increases the system’s resistance to Zero-day attacks. Unlike traditional protection methods that are based on searching for known malware signatures, swarm intelligence algorithms are focused on detecting atypical or anomalous changes in system

behavior. Thanks to this, they are able to detect even new, previously unknown types of attacks for which there are no corresponding signatures in the databases of cyber defense systems.

Conclusions. The experience of recent years shows that ensuring information security of distributed control systems requires an integrated approach that combines traditional methods of network protection with intelligent means of analysis and anomaly detection. Systems capable of self-learning and parallel processing of large volumes of telemetric data in real time are of particular importance. In this context, swarm intelligence algorithms provide the necessary adaptability, speed of response, and stability of decision support systems to modern cyber-physical threats. Further research should be directed towards the development of decentralized protection mechanisms, in particular using multi-agent systems and distributed ledger technologies.

REFERENCES

1. Bhamare, D., Zolanvari, M., Erbad, A., Jain, R., Khan, K., & Meskin, N. (2020). Cybersecurity for industrial control systems: A survey. *computers & security*, 89, 101677.

2. Zhu, B., Joseph, A., & Sastry, S. (2011, October). A taxonomy of cyber attacks on SCADA systems. In 2011 *International conference on internet of things and 4th international conference on cyber, physical and social computing* (pp. 380-388). IEEE.

3. Beerman, J., Berent, D., Falter, Z., & Bhunia, S. (2023, May). A review of colonial pipeline ransomware attack. In 2023 *IEEE/ACM 23rd international symposium on cluster, cloud and internet computing workshops (CCGridW)* (pp. 8-15). IEEE.

4. Saunders, N., Thummala, R., & Falco, G. (2025, March). Space cybersecurity incident response framework: A viasat case study. *In 2025 IEEE Aerospace Conference* (pp. 1-15). IEEE.

УДК 004.9

Новікова Д.Г.[1], Братерська Н.М.[2]

ТРАНСФОРМАЦІЯ ПІДХОДІВ ДО ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

Сучасні інформаційні системи та цифрові активи організацій опиняються під загрозою через ризики інформаційної безпеки (ІБ), що являють собою ймовірність здійснення загрози, яка здатна завдати шкоди конфіденційності, цілісності або доступності інформації та спричинити втрати. Роль методологій оцінювання інформаційних

[1] Студентка групи М УП(кн) 2025-1, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
[2] Асистент кафедри КН та ІТ, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова

ризиків, стандартів та фреймворків полягає у систематизації процесу управління ризиками. Отже, дослідження підходів до оцінювання ризиків ІБ є актуальним в умовах зростання кількості кіберзагроз та дає змогу визначити ефективні методи, а розгляд їх трансформації підкреслює перехід від суб'єктивних оцінок до кількісних показників.

Метою дослідження є аналіз трансформації підходів до оцінювання ризиків інформаційної безпеки та порівняння якісних, кількісних та комбінованих методів.

Якісний підхід до оцінювання ризиків ІБ ґрунтується на експертних оцінках, моделюванні інцидентів через сценарії та суб'єктивній оцінці ймовірності та впливу подій за допомогою якісних шкал (наприклад, «низький», «середній», «високий»).

OCTAVE (Operationally Critical Threat, Asset, and Vulnerability Evaluation) – методологія оцінювання ризиків інформаційної безпеки, в основі якої лежить якісний підхід. Розроблена наприкінці 1990-их років Інститутом програмної інженерії при Університеті Карнегі-Меллона (Carnegie Mellon University's Software Engineering Institute), вона стала одним із перших системних підходів до оцінювання ризиків ІБ, зосереджених на критичних активах організації. OCTAVE орієнтується на оцінювання операційних ризиків та впровадження практик безпеки, що забезпечує захист конфіденційності, цілісності та доступності інформації.

Згідно з методологією OCTAVE, оцінювання ризиків здійснюється у три фази [2, с. 462]:

1) створення профілю загроз на основі активів;

2) визначення вразливостей інфраструктури;

3) розробка стратегії та плану безпеки.

З урахуванням потреби у більш гнучкому та спрощеному підході до оцінювання ризиків 2007 року було представлено модернізовану версію – OCTAVE Allegro.

Стандартизовані підходи до управління ризиками ІБ вирішили потребу в систематизації, уніфікації, прозорості та підвищенні ефективності методів захисту даних.

ISO/IEC 27005 є міжнародним стандартом інформаційної безпеки, що набув чинності у 2008 році. Він надає рекомендації щодо управління ризиками ІБ, включно з їхнім виявленням, оцінюванням та обробкою, допускаючи використання якісних, кількісних або комбінованих підходів (поєднання обох методів).

Поточна оновлена версія стандарту – ISO/IEC 27005:2022 [4]. Ключові процеси оцінювання ризиків ІБ, виокремлені в ISO/IEC 27005, включають наступні [3, с. 401]:

1) встановлення контексту;

2) оцінювання ризиків;

3) обробку ризиків;

4) комунікацію та консультації;

5) документовану інформацію.

Інтегровані фреймворки управління ризиками ІБ забезпечують комплексне управління ризиками й допускають використання різних методів їх оцінювання.

NIST Risk Management Framework (RMF) – це підхід до управління ризиками ІБ, розроблений Національним інститутом стандартів та технологій (National Institute of Standards and Technology) з метою модернізації методів безпеки та покращення моніторингу інформаційних систем.

Процес управління ризиками NIST RMF регламентується стандартом NIST SP 800-37 Rev. 2 [5] і передбачає виконання семи послідовних кроків: підготовки, категоризації системи, вибору, впровадження та оцінювання засобів контролю, авторизації та моніторингу системи.

NIST Cybersecurity Framework (CSF) є гнучким фреймворком управління ризиками кібербезпеки. Він зазнав суттєвих змін у 2024 році, що відобразилося в оновленій версії – NIST CSF 2.0 [6], яка демонструє перехід від технічного рівня управління ризиками до стратегічного завдяки впровадженню функції Govern (управління) [7, с. 334]. Загалом NIST CSF 2.0 включає шість функцій: управління, ідентифікацію, захист, виявлення, реагування та відновлення.

Кількісний підхід, на відміну від якісного, передбачає точну числову оцінку та використання статистичних методів, що в контексті ризиків ІБ включає визначення ймовірності настання подій та потенційних фінансових чи операційних втрат.

FAIR (Factor Analysis of Information Risk) є моделлю кількісної оцінки ризиків інформаційної безпеки, яка дозволяє оцінити фінансові наслідки, застосовуючи статистичний аналіз для визначення величини втрати (Loss Magnitude) та частоти події втрати (Loss Event Frequency) [8, с. 100]. Її розробив Джек Джонс на початку 2000-х з метою впровадження точної числової оцінки ризиків на противагу суб'єктивним експертним судженням, що допомагає організаціям у прийнятті обґрунтованих рішень щодо управління ризиками та інвестицій у заходи інформаційної безпеки.

Компоненти моделі FAIR включають [1]:

1) стандартну таксономію та онтологію інформаційних і операційних ризиків;

2) структуру для встановлення критеріїв збору даних;

3) вимірювальні шкали для факторів ризику;

4) модельну конструкцію для аналізу складних сценаріїв ризиків;

5) інтеграцію з обчислювальними системами для розрахунку ризиків.

Переваги та недоліки підходів наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз підходів до оцінювання ризиків ІБ

Підхід	Тип	Метод оцінювання	Переваги	Недоліки
OCTAVE	Методологія	Якісний	Орієнтація на критичні активи	Суб'єктивність оцінок, відсутність точних числових значень
ISO/IEC 27005	Міжнародний стандарт	Якісний, кількісний, комбінований	Гнучкість у виборі методології, сумісність з ISO 27001, ітеративний підхід	Ресурсозатратність при впровадженні, необхідність інтеграції з внутрішніми процесами організації
NIST RMF	Процес	Якісний, кількісний, комбінований	Інтеграція з іншими стандартами, охоплення всього життєвого циклу	Громіздкість, бюрократичність
NIST CSF	Фреймворк	Якісний, кількісний, комбінований	Гнучкість, адаптивність, стратегічне управління ризиками	Узагальненість рекомендацій, необхідність адаптації
FAIR	Модель	Кількісний	Точні числові оцінки ризиків і фінансових втрат	Математична складність, необхідність достовірних даних

Висновки. Отже, у ході трансформації підходи до оцінювання ризиків інформаційної безпеки пройшли шлях від якісних методологій, що ґрунтуються на суб'єктивних оцінках як, наприклад, OCTAVE, до структурованих стандартів (ISO/IEC 27005) та інтегрованих фреймворків (NIST RMF, NIST CSF), які забезпечують комплексний процес управління ризиками. Застосування комбінованих методів, які поєднують гнучкість якісної оцінки з точністю кількісного аналізу, дозволяє адаптувати систему захисту до потреб організації. Можна зробити висновок, що сучасні підходи, зокрема FAIR, орієнтовані на використання кількісних методів оцінювання ризиків ІБ, оскільки вони забезпечують точне визначення ймовірності подій та потенційних фінансових втрат. Порівняння розглянутих підходів демонструє що

комбіновані та кількісні методи забезпечують найбільш ефективне управління ризиками.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. FAIR Institute. (б. д.). *What is FAIR?* https://www.fairinstitute.org/what-is-fair

2. Ferdinandsyah, R., Novita, A., Atmodjo, D., & Nugroho4, F. D. (2025). Enhancing access control security using ISO 27001:2013 and OCTAVE method. *Bit-Tech,* 8(1), 459–466. https://doi.org/10.32877/bt.v8i1.2590

3. Hidayatullah, D. E. R., Kunthi, R., & Harwahyu, R. (2024). Design and analysis of information security risk management based on ISO 27005: Case study on audit management system (AMS) XYZ internal audit department. *International Journal of Electrical, Computer, and Biomedical Engineering*, 2(3). https://doi.org/10.62146/ijecbe.v2i3.81

4. International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission. (2022). *Information security, cybersecurity and privacy protection – Guidance on managing information security risks* (ISO/IEC 27005:2022). ISO/IEC. https://www.iso.org/standard/80585.html

5. National Institute of Standards and Technology. (2018). *Risk Management Framework for Information Systems and Organizations: A System Life Cycle Approach for Security and Privacy* (NIST Special Publication 800-37, Revision 2). https://doi.org/10.6028/nist.sp.800-37r2

6. National Institute of Standards and Technology. (2024). *The NIST Cybersecurity Framework (CSF) 2.0*. (NIST Cybersecurity White Paper 29). https://doi.org/10.6028/nist.cswp.29

7. Захарова, Я., & Партика, А. (2025). Еволюція управління кіберризиками крізь призму NIST Cybersecurity Framework. *Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка»*, 2(30), 333–347. https://doi.org/10.28925/2663-4023.2025.30.980

8. Лозова І.Л., Різак М.В., Хохлачова Ю.Є., & Котик О.В. (2025) Аналіз моделей, методів та систем оцінювання втрат від витоку персональних даних. *Сучасний захист інформації*, 3(63), 99–107. https://journals.dut.edu.ua/index.php/dataprotect/article/view/3309

UDC 004.056.5

Adam Bakker[1], Yurii Pakhomov[2]

MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION OF SMART CITY CYBERSECURITY: BALANCING DETECTION QUALITY AND OPERATIONAL PERFORMANCE IN SIEM/EDGE SYSTEMS

Urban information systems and municipal services (transportation, energy supply, resource accounting, dispatching, video surveillance) form a

[1] Bachelor's degree, University of Applied Sciences, the Netherlands, Tilburg.
[2]Associate Professor, Department of Computer Science and Information Technologies, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv.

distributed network ecosystem with a large number of nodes and communication channels. Under these conditions, cybersecurity is assessed not only by the ability to "find an attack," but also by whether the system can handle a real stream of events and avoid overloading operators. Typical issues include an increase in false positives, delays in event correlation, excessive resource requirements, and the accumulation of large log volumes in centralized repositories. Therefore, an approach is required that formalizes the trade-off between detection quality and operational cost [1,2].

For Smart City environments, it is reasonable to use two groups of indicators. The first group comprises detection-quality metrics: Recall (incident detection completeness), F1 (the balanced score of precision and recall), and FPR (False Positive Rate—the share of false alarms). The second group comprises operational metrics: alert latency (the time from an event occurrence to the creation of a signal/incident), RAM/CPU utilization (memory/processor usage on sensors or gateways), and the volume of events ingested into SIEM (Security Information and Event Management—a system for security information and event management). High Recall/F1 combined with high FPR often makes the system impractical for municipal services; thus, FPR and SIEM event volume become practical operational constraints [2].

It is advisable to formulate optimization as a multi-criteria problem: maximize detection quality (Recall/F1) while simultaneously minimizing FPR, latency, RAM/CPU, and the data volume in SIEM. In practice, this implies searching for acceptable configurations (Pareto trade-offs), where improving one metric does not lead to unacceptable degradation of others. This formulation is consistent with the Information Systems and Technologies (IS&T) approach: the system must be manageable in operation, not only "accurate" in laboratory tests [2].

The proposed pipeline includes four interrelated steps. First, monitoring points are selected—locations where data are collected (perimeter, segment junctions, IoT/OT gateways, data center)—to avoid uncontrolled zones and event duplication. Second, aggregation is applied at the Edge: Edge computing is implemented on gateways or local nodes and is used for primary filtering, normalization of simple formats, and transforming "raw" messages into compact events/features suitable for correlation. Third, at the network layer, NDR/NetFlow can be used: NDR (Network Detection and Response) and NetFlow (network flows) form indicators of suspicious activity that reduce uncertainty in SIEM. Fourth, incidents are prioritized by service and asset criticality so that IR/SOAR (Incident Response / Security Orchestration, Automation and Response) triggers playbooks first for the most critical subsystems. The final element is the SOC (Security Operations Center), which confirms critical incidents and oversees service recovery [3].

To justify optimization decisions, profiling is required: measure latency (at the Edge and in SIEM), RAM/CPU load, event rate (events per

second), and changes in FPR after correlation. The practical result of optimization is a set of configurations that ensures an acceptable Recall/F1 level with controlled resource costs and a manageable number of incidents for municipal services. This approach provides reproducibility and the ability to scale to new districts and city subsystems.

Table 1 presents a generalized matrix that links key Smart City cybersecurity efficiency metrics (Recall/F1, FPR, latency, RAM/CPU, and SIEM event volume) with the main reasons for their degradation and practical optimization measures.

The matrix shows that improving detection quality (Recall/F1) is achieved by eliminating "blind spots" and rationally selecting monitoring points, whereas reducing false positives (FPR) is achieved through event normalization and correlation in SIEM and by adding asset context. To reduce latency and resource load (RAM/CPU), the emphasis is on filtering/aggregating events at the Edge and distributing computations between the periphery and the center; to control SIEM data volume, the emphasis is on an event-based approach and selection/aggregation policies. Thus, the table can be used as a practical checklist for configuration, auditing, and substantiating Pareto trade-offs between detection quality and operational cost. Multi-criteria optimization allows formalizing the trade-off between detection quality and operational cost [3].

The optimization pipeline should include the selection of control points, aggregation of events at the Edge, use of NDR/NetFlow as a network-level observation, and prioritization of incidents in IR/SOAR, taking into account the criticality of city services [3].

Table 1 – Matrix "metric → factors → actions" for multi-criteria optimization of Smart City cybersecurity in SIEM/Edge

Metric	What affects / worsens	How to improve (optimization)
Recall/F1	blind spots, incomplete data, excessive aggregation	monitoring point selection; combine NDR/NetFlow with SIEM context
FPR	lack of correlation, low-quality rules, context-free alerts	normalization/correlation in SIEM; asset context; prioritization
Latency	centralized primary processing, event queues	filtering/aggregation at the Edge; optimize event routing
RAM/CPU	heavy algorithms at the periphery, inefficient agents	lightweight processing; profiling; distribute tasks between Edge and center
SIEM data volume	raw logs ingestion, excessive logging	event-based approach; selection/aggregation policies

Conclusions. For Smart City environments, practical cybersecurity effectiveness is simultaneously determined by detection-quality metrics (Recall/F1, FPR) and operational metrics (latency, RAM/CPU, SIEM event volume).

Multi-criteria optimization enables formalizing the trade-off between detection quality and operational cost, focusing on acceptable (Pareto) configurations.

REFERENCES

1. National Institute of Standards and Technology. (2024, February 26). *The NIST cybersecurity framework (CSF) 2.0* (NIST CSWP 29). https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/CSWP/NIST.CSWP.29.pdf

2. European Union Agency for Cybersecurity (ENISA). (2024, December 3). *2024 report on the state of cybersecurity in the Union*. https://www.enisa.europa.eu/publications/2024-report-on-the-state-of-the-cybersecurity-in-the-union

3. Reyes-Acosta, R. E., Mendoza-González, R., Diaz, E. O., et al. (2025). Cybersecurity conceptual framework applied to edge computing and Internet of Things environments. *Electronics, 14*(11), 2109. https://doi.org/10.3390/electronics14112109

УДК 004.056:004.89

Билбас Р.І.[1], Лаврик Т.В.[2]

МУЛЬТИАГЕНТНИЙ ПІДХІД НА ОСНОВІ LLM ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО АУДИТУ БЕЗПЕКИ ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ

Забезпечення безпеки програмних продуктів є однією з ключових проблем сучасної програмної інженерії. Зростання складності програмних систем, збільшення обсягів кодової бази та постійна еволюція кіберзагроз зумовлюють потребу в нових підходах до автоматизованого аудиту безпеки. Традиційні засоби статичного (Static Application Security Testing, SAST) та динамічного (Dynamic Application Security Testing, DAST) аналізу, хоча й залишаються важливими компонентами системи аналізу безпеки, мають суттєві обмеження у виявленні складних логічних вразливостей та контекстних помилок [1]. Великі мовні моделі (Large Language Models, LLM) продемонстрували значний потенціал у розумінні та аналізі програмного коду [2], проте використання одиночної моделі для комплексного аудиту безпеки стикається з проблемами обмеженого контекстного вікна, схильності до галюцинацій та відсутності вузької спеціалізації. У даній роботі пропонується мультиагентний підхід, що дозволяє розподілити задачі

[1]Аспірант, Сумський державний університет
[2]Старший викладач, Сумський державний університет

аудиту безпеки між кількома спеціалізованими LLM-агентами для підвищення якості та надійності результатів аналізу.

Запропонована архітектура мультиагентної системи аудиту безпеки ґрунтується на принципі декомпозиції задач та спеціалізації агентів. На відміну від монолітного підходу, де одна модель виконує всі етапи аналізу, мультиагентна система розподіляє процес аудиту між кількома автономними агентами, кожен з яких оптимізований для виконання конкретного класу задач [3]. Така архітектура дозволяє подолати обмеження контекстного вікна окремої моделі, використовувати різні стратегії промптінгу для різних типів задач та забезпечити перехресну верифікацію результатів.

Система складається з п’яти основних агентів. Агент попередньої обробки (Preprocessing Agent) виконує розбиття вихідного коду на логічно завершені фрагменти, нормалізацію та формування контекстних описів для подальшого аналізу. Цей агент використовує AST-парсинг (Abstract Syntax Tree parsing) для виділення функцій, класів та модулів, забезпечуючи структуровану подачу інформації іншим агентам системи. Агент виявлення вразливостей (Vulnerability Detection Agent) спеціалізується на ідентифікації потенційних дефектів безпеки у коді, використовуючи few-shot промпти з прикладами відомих вразливостей із баз CWE та OWASP Top 10 [4], що дозволяє підвищити точність розпізнавання типових паттернів небезпечного коду, таких як SQL-ін’єкції, міжсайтовий скриптинг (XSS), помилки управління пам’яттю та некоректна обробка винятків.

Агент контекстного аналізу (Context Analysis Agent) досліджує міжкомпонентні залежності та потоки даних для виявлення вразливостей, які проявляються лише на рівні взаємодії між модулями програмного продукту. Цей агент враховує архітектурні особливості системи та оцінює вплив знайдених проблем на суміжні компоненти, що дозволяє виявляти складні ланцюги атак, які залишаються непомітними при ізольованому аналізі окремих модулів. Агент верифікації (Verification Agent) здійснює перехресну перевірку результатів інших агентів з метою зменшення кількості хибнопозитивних спрацювань. Він оцінює достовірність кожного потенційного дефекту, порівнюючи висновки різних агентів та застосовуючи альтернативні стратегії промптінгу, зокрема chain-of-thought [5], для незалежної повторної оцінки підозрілих фрагментів. Агент формування звітів (Reporting Agent) узагальнює результати аудиту, класифікує виявлені вразливості за рівнем критичності відповідно до системи оцінювання CVSS, формує рекомендації щодо їх усунення та генерує структурований звіт для команди розробників.

Взаємодія між агентами організована за протоколом послідовно-паралельної обробки. На першому етапі агент попередньої обробки формує структуровані фрагменти коду із додатковою контекстною

інформацією. На другому етапі агенти виявлення вразливостей та контекстного аналізу працюють паралельно над отриманими фрагментами, що дозволяє суттєво скоротити загальний час аналізу. На третьому етапі агент верифікації консолідує та перевіряє результати попередніх агентів, відсіюючи хибнопозитивні спрацювання. На фінальному етапі агент формування звітів генерує підсумковий документ із класифікованими вразливостями та рекомендаціями. Така організація процесу забезпечує оптимальний баланс між швидкістю аналізу та якістю отриманих результатів.

Ключовою перевагою мультиагентного підходу є можливість використання різних LLM для різних агентів залежно від специфіки задачі [6]. Наприклад, для агента виявлення вразливостей може застосовуватися модель, додатково навчена на спеціалізованих наборах даних вразливого коду, тоді як для агента контекстного аналізу доцільно використовувати модель із розширеним контекстним вікном для обробки великих обсягів міжмодульних залежностей. Спеціалізація агентів дозволяє використовувати оптимізовані промпти для кожного типу задач, що підвищує загальну ефективність системи порівняно з універсальним одномодельним підходом. Крім того, модульна архітектура забезпечує горизонтальну масштабованість системи шляхом додавання нових спеціалізованих агентів без необхідності модифікації існуючих компонентів.

Теоретичний аналіз запропонованого підходу свідчить про ряд суттєвих переваг порівняно з одномодельними рішеннями. По-перше, зменшення навантаження на контекстне вікно кожної окремої моделі дозволяє агентам зосередитися на вужчому, але більш глибокому аналізі відповідного аспекту безпеки. По-друге, механізм перехресної верифікації зменшує вплив галюцинацій, характерних для LLM, оскільки хибнопозитивний результат одного агента з високою ймовірністю буде відхилений агентом верифікації. По-третє, паралельна робота агентів скорочує загальний час аудиту, що є критичним в умовах безперервної інтеграції та доставки програмного забезпечення (CI/CD).

Висновки. У роботі запропоновано мультиагентний підхід на основі LLM для автоматизованого аудиту безпеки програмних продуктів. Архітектура системи передбачає декомпозицію процесу аудиту на спеціалізовані задачі, які виконуються п'ятьма автономними агентами з послідовно-паралельною взаємодією. Перехресна верифікація зменшує кількість хибнопозитивних спрацювань, а спеціалізація агентів підвищує точність аналізу. Перспективи подальших досліджень включають експериментальну верифікацію архітектури на реальних програмних продуктах та інтеграцію з існуючими інструментами аналізу безпеки коду.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ
1. Chess, B., & West, J. (2007). Secure Programming with Static Analysis. Addison-Wesley Professional.
2. Chen, M., Tworek, J., Jun, H., et al. (2021). Evaluating Large Language Models Trained on Code. arXiv preprint arXiv:2107.03374.
3. Wu, Q., Bansal, G., Zhang, J., et al. (2023). AutoGen: Enabling Next-Gen LLM Applications via Multi-Agent Conversation. arXiv preprint arXiv:2308.08155.
4. OWASP Foundation. (2021). OWASP Top Ten. Retrieved from https://owasp.org/www-project-top-ten/
5. Wei, J., Wang, X., Schuurmans, D., et al. (2022). Chain-of-Thought Prompting Elicits Reasoning in Large Language Models. arXiv preprint arXiv:2201.11903.
6. Xi, Z., Chen, W., Guo, X., et al. (2023). The Rise and Potential of Large Language Model Based Agents: A Survey. arXiv preprint arXiv:2309.07864.

УДК 004.056.53

Цапковатий Р.В.[1], Лаврик Т.В.[2]

ФОРМАЛЬНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ВАЛІДАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ СТАТИЧНОГО АНАЛІЗУ БЕЗПЕКИ НА ОСНОВІ ВЕЛИКИХ МОВНИХ МОДЕЛЕЙ

Вступ. У сучасних процесах безперервної інтеграції та розгортання (CI/CD) забезпечення безпеки програмного забезпечення (ПЗ) є критично важливим завданням. Основним інструментом для раннього виявлення вразливостей є статичне тестування безпеки застосунків (SAST). Однак традиційні засоби SAST відомі тим, що генерують велику кількість хибнопозитивних спрацювань (False Positives) [1]. За деякими даними, частка помилок першого роду може досягати **92%** на стандартних бенчмарках [3]. Цей шум створює значне навантаження на команди розробників, призводить до ефекту «втоми від сповіщень» та суттєво знижує ефективність DevSecOps-процесів.

З розвитком великих мовних моделей (LLM) з'явилися нові підходи до автоматизації перевірки коду. Нещодавні дослідження показують, що гібридні методи, які поєднують статичний аналіз та LLM, здатні усунути **94%–98%** хибних спрацювань зі збереженням високого рівня виявлення реальних загроз [2]. Інструменти нового покоління, такі як LLM4SA, використовують LLM для безпосереднього аналізу звітів про вразливості разом із навколишнім контекстом коду [3]. Проте, незважаючи на стрімкий емпіричний розвиток, на сьогодні бракує

[1] аспірант кафедри Комп'ютерних наук, Сумський Державний Університет
[2] доцент, старший викладач Кафедри Кібербезпеки, Сумський Державний Університет

єдиної формальної математичної моделі, яка б описувала процес взаємодії детермінованих аналізаторів із ймовірнісними мовними моделями. Метою даної роботи є розробка формальної моделі процесу валідації результатів статичного аналізу з використанням LLM для мінімізації помилок першого роду.

Основний матеріал. Для формалізації процесу виявлення та валідації вразливостей введемо базові множини та відображення. Нехай $\boldsymbol{P}$ — множина компонентів вихідного коду проєкту (файли, функції, класи). Традиційний процес статичного аналізу можна описати як відображення $\int_{SAST}$, яке приймає на вхід код і повертає множину сирих (необроблених) попереджень V_{raw}:

$$\int_{SAST}: P \ \rightarrow V_{raw}$$

Множина $V_{raw} = \{\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_n\}$ містить усі знайдені потенційні вразливості. Кожен елемент $\vartheta_i \in V_{raw}$ формалізується як кортеж:

$$\vartheta_i = \langle t_i, l, s_i \rangle,$$

де t_i – тип вразливості (наприклад, CWE-ID), l_i – локація в коді (шлях до файлу та номер рядка), s_i – рівень критичності (severity).

Основна проблема полягає у тому, що $V_{raw} = V_{TP} \cup V_{FP}$, де V_{TP} – це справжні вразливості (True Positives), а V_{FP} – хибнопозитивні спрацювання (False Positives), причому на практиці $|V_{FP}| \gg |V_{TP}|$

Для зменшення потужності множини V_{FP} вводиться етап валідації на основі великої мовної моделі. Цей процес вимагає формування релевантного контексту, оскільки LLM не можуть ефективно виконувати складний логічний висновок без розуміння загальної структури коду [4].

Введемо функцію вилучення контексту g_{ctx}, яка для кожної вразливості ϑ_i з урахуванням всього коду $\boldsymbol{P}$ формує фрагмент C_i, що містить джерело (source), стік (sink) та граф потоку виконання:

$$g_{ctx}(\vartheta_i, P) = C_i,$$

Далі застосовується функція генерації промпту g_{prompt}, яка об'єднує попередження ϑ_i та контекст C_i у формалізований запит Q_i природною мовою:

$$g_{prompt}(\vartheta_i, C_i) = Q_i,$$

Велика мовна модель виконує роль класифікатора (оракула) $\int_{LLM}$, який приймає запит Q_i та повертає ймовірнісну оцінку наявності реальної вразливості:

$$\int_{LLM}: Q \to [0,1],$$

Для прийняття остаточного рішення вводиться порогова функція-верифікатор Ф:

$$\Phi(\vartheta_i) = \begin{cases} 1, \text{якщо } \int_{LLM} \left(g_{prompt}(\vartheta_i, g_{ctx}(\vartheta_i, P)) \right) \geq \theta \\ 0, \text{інакше} \end{cases}$$

де θ –порогове значення впевненості моделі.

Якщо $\Phi(\vartheta_i) = 1$, попередження вважається валідним (TP), якщо $\Phi(\vartheta_i) = 0$ –відхиляється як хибне (FP).

Фінальна множина підтверджених вразливостей V_{final}, яка передається розробнику або системі CI/CD, визначається як:

$$V_{final} = \{\vartheta_i \in V_{raw} \mid \Phi(\vartheta_i) = 1\}$$

Архітектура запропонованої гібридної системи представлена на Рисунку 1.



Рисунок 1 –Модель процесу валідації результатів статичного аналізу за допомогою LLM

Впровадження даної формальної моделі дозволяє структурувати гібридний підхід та порівняти його з традиційними засобами. У Таблиці 1 наведено концептуальне порівняння традиційного SAST та розробленої гібридної системи на основі LLM.

Таблиця 1 – Порівняння традиційного та гібридного (SAST + LLM) підходів до аналізу безпеки

Характеристика	Традиційний SAST	Гібридна система (SAST + LLM)
Принцип виявлення	Пошук за шаблонами, аналіз потоку даних	Пошук за шаблонами + семантичний аналіз контексту
Рівень False Positives	Високий (до 95%)	Низький (зменшення шуму на 90-98%)

Здатність до розуміння логіки	Обмежена (помилки в міжпроцедурному аналізі)	Висока (аналіз намірів розробника та бізнес-логіки)
Швидкість роботи	Висока (однопрохідний аналіз)	Середня (залежить від API LLM та асинхронної обробки)
Пояснення вразливості	Стандартизоване (загальні описи CWE)	Контекстно-залежне (пояснення на базі конкретного коду)

Застосування LLM в ролі валідатора дозволяє нівелювати основний недолік SAST — відсутність розуміння контексту використання функції в рамках всього репозиторію [4]. Проте варто зазначити, що якість роботи функції $\int_{LLM}$ критично залежить від повноти контексту C_i та унеможливлення потрапляння у навчальну вибірку LLM "отруєних" даних (data poisoning) [5].

Висновки. У роботі запропоновано формальну математичну модель гібридного процесу валідації результатів статичного аналізу безпеки програмного забезпечення. Модель формалізує етапи виявлення, вилучення контексту, промпт-інжинірингу та ймовірнісної класифікації за допомогою великих мовних моделей. Впровадження цієї моделі в пайплайни CI/CD створює теоретичне підґрунтя для розробки інструментів нового покоління, здатних кардинально зменшити частку хибнопозитивних спрацювань без втрати швидкості доставки програмного забезпечення. Подальші дослідження будуть спрямовані на емпіричну перевірку моделі за допомогою різних архітектур LLM (наприклад, LLaMA-3, DeepSeek) та оптимізацію алгоритмів формування контексту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Yunpeng Xiong, Ting Zhang, (Jan, 2026). Sifting the Noise: A Comparative Study of LLM Agents in Vulnerability False Positive Filtering. https://arxiv.org/abs/2601.22952

2. Xueying Du, Jiayi Feng, Yi Zou, (Jan, 2026). Reducing False Positives in Static Bug Detection with LLMs: An Empirical Study in Industry. https://arxiv.org/abs/2601.18844

3. Cheng Wen, Yuandao Cai, Bin Zhang, (Jun, 2024). Automatically Inspecting Thousands of Static Bug Warnings with Large Language Model: How Far Are We?. https://dl.acm.org/doi/10.1145/3653718

4. Ziyang Li, Saikat Dutta, Mayur Naik. (Apr, 2025). IRIS: LLM-Assisted Static Analysis for Detecting Security Vulnerabilities. https://arxiv.org/abs/2405.17238

5. Mohsen Iranmanesh, Sina Moradi Sabet. (Oct, 2025). ZeroFalse: Improving Precision in Static Analysis with LLMs. https://arxiv.org/abs/2510.02534

УДК 004.056

Христенко М.Д.[1], Пахомов Ю.В.[2]

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ КІБЕРБЕЗПЕКИ В СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

У період стрімкої цифровізації захист інформаційних активів стає критично важливим завданням. Зростання кількості кібератак та впровадження хмарних технологій вимагають перегляду традиційних підходів до безпеки. Метою даної роботи є аналіз існуючих методів захисту та обґрунтування побудови комплексної системи кібербезпеки.

Основними векторами атак у 2024-2025 роках залишаються методи соціальної інженерії, програми-вимагачі (Ransomware) та експлуатація вразливостей нульового дня. За даними звітів CERT-UA, кількість інцидентів у державному та приватному секторах продовжує зростати, що потребує впровадження проактивного моніторингу Соціальна інженерія: маніпулювання користувачами для отримання конфіденційних даних (рисунок 1) [1,2].

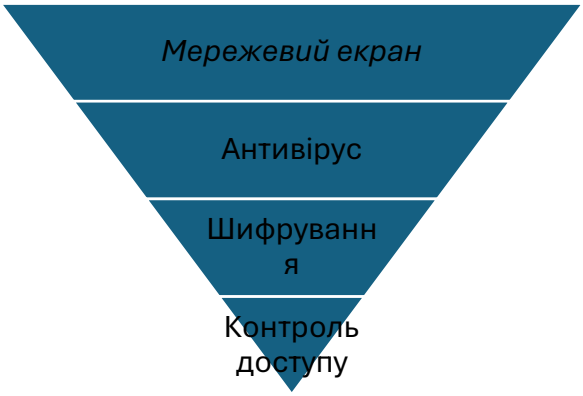


Рисунок 1 – Модель багаторівневого захисту інформації

Методологія захисту. Найбільш стійкою моделлю вважається концепція ешелонованої оборони (Defense-in-Depth). Її суть полягає у створенні кількох послідовних бар’єрів навколо об'єкта захисту.

[1] студент групи КН 2024-1 ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
[2] доцент кафедри КНтаІТ, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова

На рисунку 1 представлена концепція ешелонованого захисту інформаційної системи. Модель побудована за принципом послідовних бар'єрів: від зовнішнього периметра мережі до критично важливих даних у центрі. Така архітектура гарантує, що компрометація одного з рівнів (наприклад, подолання міжмережевого екрана) не призведе до повної втрати інформації, оскільки зловмисник зіткнеться з наступними етапами захисту – антивірусним моніторингом, системами виявлення вторгнень та криптографічним шифруванням [3].

Математичний аспект. Для оцінки надійності системи використовується ймовірнісна модель. Якщо система складається з n незалежних рівнів захисту, загальна ймовірність прориву P обчислюється як:

$$P(A) = 1 - \prod_{i=1}^{n}(1 - p_i) \quad (1.1)$$

Де p_i — ймовірність подолання і-го рубежу захисту. Додавання нових бар'єрів суттєво знижує загальний ризик.

На рисунку 1 наведено порівняльний аналіз основних засобів захисту.

Засіб захисту	Функціональне призначення	Рівень надійності
•Firewall	•Фільтрація трафіку	•Високий
•IDS/IPS	•Виявлення атак	•Середній
•VPN	•Шифрування каналів	•Високий
•DLP-системи	•Контроль витоку даних	•Дуже високий

Рисунок 1– Порівняння засобів кібербезпеки

Використання міжмережевих екранів (Firewalls) дозволяє створити бар’єр між внутрішньою мережею та інтернетом. Однак, цього недостатньо без використання систем виявлення вторгнень (IDS), які аналізують поведінку користувачів у реальному часі. Особливу увагу слід приділяти криптографічному захисту, який перетворює дані у нечитабельний вигляд для зловмисника.

Сучасні системи переходять до використання штучного інтелекту для виявлення аномалій. Також критичним є захист хмарних середовищ через наскрізне шифрування та багатофакторну автентифікацію (MFA) [4].

Висновки. В результаті дослідження встановлено, що максимальний рівень безпеки досягається лише за умови інтеграції програмних засобів із регулярним оновленням систем та навчанням

персоналу. Ефективна стратегія повинна поєднувати технічні рішення, математичні моделі ризиків та постійний моніторинг інцидентів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. State Service of Special Communications and Information Protection of Ukraine. (2024). Analytical reports on the state of cybersecurity. Retrieved from https://cip.gov.ua/ua/news/analitichni-zviti-pro-stan-kiberbezpeki

2. National Institute of Standards and Technology. (2024). NIST Cybersecurity Framework 2.0. https://www.nist.gov/cyberframework

3. OWASP Foundation. (2021). OWASP Top 10:2021. The Ten Most Critical Web Application Security Risks. https://owasp.org/www-project-top-ten/

4. International Organization for Standardization. (2022). ISO/IEC 27001:2022 Information security, cybersecurity and privacy protection. https://www.iso.org/standard/27001

UDC 004.056

O. Pryshchepa[1], Y. Babenko[2], M. Babenko[3], O. Kosuhina[4]

A METHOD FOR PDF DOCUMENT AUTHENTICATION BASED ON STEGANOGRAPHIC EMBEDDING

Introduction. Ongoing digitalization is driving rapid growth in the volume of electronic document workflows. A substantial share of documents is now generated automatically. This approach significantly simplifies interactions between users and institutions; however, it also increases the need to ensure the integrity and authenticity of electronic documents.

Under Ukrainian law, the authenticity of electronic documents is confirmed through the use of a qualified electronic signature, which has legal force equivalent to a handwritten signature [1]. In practice, deploying qualified electronic signatures in large-scale document generation services is often hindered by organizational, financial, and technical constraints. As a result, many organizations rely on simplified identification mechanisms, such as inserting scanned signatures, internal registration numbers, or QR codes. These solutions do not provide an adequate level of protection and can be forged with relative ease.

[1]Student, Group CS-41, Taras Shevchenko National University of Kyiv
[2]Assistant, Department of cybersecurity and information protection, Taras Shevchenko National University of Kyiv, PhD
[3]Associate professor, Department systems software, Dniprovsky State Technical University, PhD
[4]Associate professor, Department systems software, Dniprovsky State Technical University, PhD

PDF documents are particularly vulnerable in this context. PDF is one of the most widely used formats for exchanging electronic documents; nevertheless, specialized tools can modify its content without producing user-visible signs of tampering. The absence of built-in authenticity verification mechanisms in many electronic document management systems creates conditions for information falsification and reduces trust in digital services.

Main material. A promising approach to improving the security of electronic documents is the integration of cryptographic methods with digital steganography. Cryptographic mechanisms ensure data integrity and authenticity [2], whereas steganography makes it possible to conceal the very presence of a protective marker within the visual content of a document [3, 4]. The combination of these approaches enables the construction of a fragile verification mechanism in which any interference with the document results in the loss of its authenticity.

Such solutions are of particular practical value in automated large-scale document generation systems, where a document is created immediately after the user enters the required data. These include, in particular, admission-office information systems at educational institutions, online application services, and platforms for issuing certificates and official statements. In systems of this kind, high document-processing speed and minimal human involvement in document generation and verification are of critical importance [5-7].

REFERENCES

1. Verkhovna Rada of Ukraine. (2017, October 5). *Pro elektronnu identyfikatsiiu ta elektronni dovirchi posluhy: Law of Ukraine No. 2155-VIII* [On electronic identification and electronic trust services]. Database "Legislation of Ukraine". https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2155-19

2. Barannik, V., Sidchenko, S., Barannik, D., Shulgin, S., Barannik, V., & Datsun, A. (2021). Devising a conceptual method for generating cryptocompression codograms of images without loss of information quality. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4*(2(112)), 6–17. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.237359

3. Barannik, V., Barannik, D., Babenko, M., Prokopenko, R., Akimov, O., & Petrukha, N. (2026). Devising a method for complex steganographic embedding of information in the structural-psychovisual space. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1*(9(139)), 19–30. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2026.351181

4. Barannik, V., Babenko, M., Babenko, Y., Yalova, K., & Yashyna, K. (2024). Modification of the RGB color space in MS Word documents for steganographic information protection. In *Proceedings of the 1st International Conference Intelligent & CyberPhysical Systems (ICyberPhyS-2024)* (Vol. 3736, pp. 269–281). https://ceur-ws.org/Vol-3736/paper20.pdf

5. Gasimov, V. A., Mammadzada, N. F., Mammadov, J. I., & Aliyeva, K. J. (2025). The problem of information protection in electronic document management systems of medical organizations. *Problems of Informatization and Management, 1*(81), 37–45. https://doi.org/10.18372/2073-4751.81.20127

6. Han, J., & Son, Y. (2024). Design and implementation of a decentralized document management system. *Expert Systems with Applications*, Article 125516. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.125516
Sunbula, M., Nafisa, Y., & Nuriddin, S. (2022). Aspects of information security in the electronic document management system (EDMS) for bank system. *Research and Education, 1*(9), 331–340. https://doi.org/10.5281/zenodo.7487114

УДК 004.056:004.738.5

Ботвінніков М.А.[1], Мєшков В.І [2]

OSINT ЯК ІНСТРУМЕНТ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ В УМОВАХ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ЗАГРОЗ

У сучасних умовах зростання кількості кіберзагроз, інформаційних атак і дезінформаційних кампаній методологія OSINT (Open Source Intelligence) набуває особливого значення як один із дієвих інструментів забезпечення кібербезпеки. Під OSINT розуміють процес збору, оброблення, аналізу та інтерпретації відомостей, отриманих із відкритих і легальних джерел, з метою виявлення потенційних загроз, оцінювання ризиків та підтримки управлінських рішень [1, 5]. На відміну від незаконних способів отримання інформації, OSINT базується виключно на роботі з публічно доступними даними, що забезпечує його широке застосування як у державному, так і в корпоративному секторі [1, 2].

Об’єктом OSINT-дослідження в кіберпросторі є не лише текстові відомості, а й технічні параметри мережевої інфраструктури, цифрові сліди користувачів, метадані файлів, відомості з державних реєстрів, а також інформація, що може бути використана для виявлення витоків конфіденційних даних. Ефективність такої розвідки визначається здатністю аналітика структурувати значні обсяги різнорідної інформації, виокремлювати суттєві ознаки та здійснювати перевірку достовірності отриманих відомостей. У цьому контексті важливим є застосування ймовірнісних підходів до оцінювання надійності джерел, зокрема з використанням байєсівського підходу [5].

$$P(H \mid E) = \frac{P(E \mid H) \cdot P(H)}{P(E)}$$

де $P(H)$ – апріорна ймовірність того, що джерело інформації є надійним;

$P(E \mid H)$ – умовна ймовірність отримання спостережуваних

[1] Студент групи 125-22-4, НТУ «Дніпровська політехніка»
[2] Старший викладач кафедри БІТ, НТУ «Дніпровська політехніка»

даних E за умови, що джерело є надійним;

$P(E)$ – загальна ймовірність отримання таких даних;

$P(H \mid E)$ – апостеріорна ймовірність надійності джерела після врахування отриманих даних.

Методологічною основою OSINT є цикл розвідки, який охоплює етапи планування, збору, оброблення, аналізу та поширення отриманих результатів (рис.1) [1, 5]. Саме така послідовність забезпечує системність аналітичної роботи та підвищує якість підготовлених висновків. Водночас важливим є розмежування поверхневого та глибокого сегментів мережі, оскільки значна частина корисної для аналітики інформації міститься у базах даних, архівах, спеціалізованих платформах та інших ресурсах, що не індексуються стандартними пошуковими системами [2, 5].



Рисунок 1 – Основні етапи циклу розвідки OSINT

Для автоматизації процесів збору технічних даних використовуються спеціалізовані фреймворки та пошукові системи [2, 3, 5]. Порівняльний аналіз найбільш ефективних засобів наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристика інструментарію для проведення OSINT

Назва інструменту	Об’єкт дослідження	Основний функціонал	Переваги
Shodan	IoT-пристрої, сервери	Пошук вразливих служб за метаданими	Індексація невидимих пристроїв
Maltego	Соціальні зв’язки, мережі	Візуалізація графів зв’язків	Висока наочність результатів

Назва інструменту	Об’єкт дослідження	Основний функціонал	Переваги
Google Dorks	Вебсторінки, файли	Використання складних операторів	Не потребує інсталяції ПЗ
TheHarvester	Домени, електронні адреси	Збір контактних даних	Швидкість первинного збору
ExifTool	Метадані файлів	Вилучення GPS та техданих з фото	Виявлення геолокаційних ознак
YouControl	Юридичні особи, ФОП	Перевірка зв’язків, санкцій та судових справ	Комплексний аналіз відомостей про юридичних осіб в Україні

Суттєвим аспектом застосування OSINT є дотримання вимог чинного законодавства щодо оброблення інформації, зокрема персональних даних [4]. Умовою правомірного використання методів відкритої розвідки є робота лише з відкритими джерелами та недопущення порушення прав людини, конфіденційності й інформаційної безпеки. Особливо актуально в умовах воєнного стану, коли зростає роль OSINT у протидії дезінформації, моніторингу активності ворожих інформаційних ресурсів та аналізі даних із соціальних мереж [6, 7].

Водночас відкритість інформаційного простору створює додаткові ризики для організацій. Значна кількість відомостей про співробітників, структуру підприємства, технологічні процеси або цифрову інфраструктуру може бути використана зловмисниками для підготовки атак із застосуванням соціальної інженерії. У зв’язку з цим важливого значення набуває Counter-OSINT, що передбачає моніторинг цифрової присутності організації, обмеження надлишкової публічності та формування культури безпечної поведінки персоналу в інформаційному середовищі [2, 5, 7].

Однією з ключових проблем OSINT залишається перевірка достовірності отриманих даних [1, 5, 7]. Наявність великої кількості відкритих джерел не гарантує точності інформації, тому результати аналізу потребують обов’язкової верифікації. Найбільш доцільним підходом є перехресне підтвердження відомостей із кількох незалежних джерел, що дає змогу мінімізувати вплив дезінформації та підвищити обґрунтованість аналітичних висновків. Лише після відповідної перевірки така інформація може бути використана для прийняття рішень у сфері кібербезпеки.

Висновки. Розвідка на основі відкритих джерел посідає важливе

місце в системі підготовки фахівців з кібербезпеки та у практиці забезпечення інформаційної безпеки. Її застосування дає змогу здійснювати аналіз об'єктів дослідження з позиції потенційного порушника без активного впливу на інформаційну систему, що сприяє своєчасному виявленню вразливостей і ризиків. Перспективними напрямами розвитку OSINT є автоматизація оброблення великих масивів відкритих даних на основі методів машинного навчання, а також використання алгоритмів штучного інтелекту для інтелектуального аналізу контенту, зокрема в соціальних мережах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Glassman, M., & Kang, M. J. (2012). Intelligence in the internet age: The emergence and evolution of open source intelligence (OSINT). *Computers in Human Behavior, 28*(2), 673–682. https://doi.org/10.1016/j.chb.2011.11.014
2. Bazzell, M. (2021). *Open source intelligence techniques: Resources for searching and analyzing online information* (8th ed.). IntelTechniques.
3. Long, J., Gardner, B., & Brown, J. (2015). *Google hacking for penetration testers* (3rd ed.). Syngress.
4. Верховна Рада України. (2010). *Про захист персональних даних* (Закон України № 2297-VI). https://zakon.rada.gov.ua/go/2297-17
5. Hassan, N. A., & Hijazi, R. (2018). *Open source intelligence methods and tools: A practical guide to online intelligence*. Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3213-2
6. Артемов, В. Ю. (2023). Використання методів OSINT у протидії кіберзагрозам в умовах воєнного стану. *Науковий вісник НТУУ «КПІ»*, (4).
7. Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації України. (2024). *Методичні рекомендації щодо аналізу відкритих джерел інформації в кіберпросторі*.

СЕКЦІЯ 6 УЧНІВСЬКА СЕКЦІЯ: «МОЛОДІ ДОСЛІДНИКИ МАЙБУТНЬОГО»

УДК 004.774:37.016(043.3)

Шевчук А.А.,[1] Юзько С.М.[2]

ТЕХНОЛОГІЇ, ЯКІ ЗМІНИЛИ СУЧАСНИЙ СВІТ. СТВОРЕННЯ ВЕБРЕСУРСУ ЗА ДОПОМОГОЮ GOOGLE SITES ТА HTML/CSS

У сучасному світі технологічний розвиток відбувається надзвичайно швидкими темпами. Інноваційні технології впливають на економіку, освіту, медицину, комунікацію та інші сфери життя суспільства. Дослідники підкреслюють, що сучасний етап розвитку характеризується глобальною цифровою трансформацією, яка змінює способи отримання інформації та взаємодії людей.

Особливо актуальним є використання цифрових технологій у сфері освіти. Освітні вебресурси дозволяють швидко поширювати навчальні матеріали, робити навчання більш доступним і інтерактивним. Саме тому створення інформаційних вебсайтів стає важливою частиною сучасної цифрової освіти.

Метою роботи є дослідження впливу сучасних технологій на суспільство та створення освітнього вебресурсу «Технології, які змінили сучасний світ» із використанням Google Sites та елементів HTML/CSS.

Для досягнення поставленої мети було визначено такі завдання:

- проаналізувати основні напрями розвитку сучасних технологій,
- дослідити можливості Google Sites для створення освітніх ресурсів,
- застосувати базові елементи HTML та CSS,
- створити тематичний інформаційний вебсайт,
- оцінити зручність використання створеного ресурсу.

Аналіз наукових джерел показує, що технологічний розвиток сучасного світу охоплює кілька ключових напрямів. До них належать інформаційні технології, біотехнології, транспортні інновації та енергетичні системи.

Інформаційні технології відіграють провідну роль у розвитку сучасного суспільства. До них належать штучний інтелект, хмарні сервіси, кібербезпека та цифрові комунікації. Саме ці технології забезпечують швидку обробку інформації та розвиток глобальних мереж.

[1] учень 11-А класу комунального закладу "Харківський ліцей № 128 Харківської міської ради"

[2] вчитель інформатики, спеціаліст вищої категорії, старший вчитель, комунального закладу "Харківський ліцей № 128 Харківської міської ради"

Біотехнології також мають значний вплив на розвиток медицини та сільського господарства. Використання генетичних технологій, аналізу великих даних та автоматизованих медичних систем дозволяє підвищити ефективність лікування та діагностики.

Окрему роль відіграють транспортні та енергетичні технології. Розвиток електротранспорту, автономних систем керування та відновлюваних джерел енергії сприяє переходу до більш екологічної моделі розвитку.

У практичній частині дослідження було створено освітній вебресурс «Технології, які змінили сучасний світ». Сайт розроблено за допомогою платформи Google Sites із використанням елементів HTML та CSS для структуризації контенту.

Структура сайту включає кілька основних сторінок (рис. 1):

- головна сторінка;
- розділ «Історії та новини»;
- розділ «Поради та лайфхаки»;
- розділ «Візії штучного інтелекту»;
- сторінка автора.

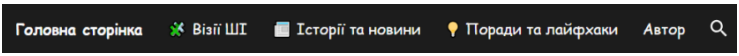


Рисунок 1 – Структура сайту

Під час створення сайту було використано сучасні дизайнерські рішення: мінімалістичний стиль, адаптивну верстку, мультимедійні матеріали та інтерактивні елементи. Це дозволило зробити ресурс зрозумілим та зручним для користувачів.

Для оцінки ефективності сайту було проведено UX-тестування серед учнів 10–11 класів. У дослідженні взяли участь 18 респондентів. Учасникам пропонувалося знайти певні розділи сайту та оцінити його зручність. Результати тестування(рис. 2) показали наступне:

В опитуванні взяли участь 14 респондентів.

Більшість із них оцінили сайт на 5 балів (57,1%), ще 28,6% поставили 4 бали.

Низькі оцінки 1–2 бали отримали лише по 7,1% відповідей.

Середній бал становить 4,21, що свідчить про позитивне сприйняття сайту.

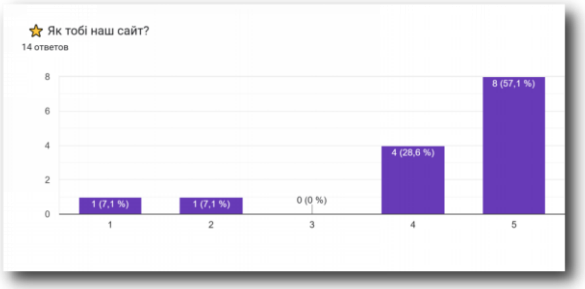


Рисунок 2 – Результати опитування

Середній час виконання тестових завдань становив близько 27 секунд, що свідчить про зрозумілу структуру та ефективну навігацію сайту.

У результаті виконання дослідження було проаналізовано основні напрями розвитку сучасних технологій та їхній вплив на суспільство.

Практична частина роботи полягала у створенні освітнього вебресурсу «Технології, які змінили сучасний світ» на платформі Google Sites із використанням елементів HTML/CSS. Розроблений сайт має зручну структуру, сучасний дизайн та може використовуватися як навчальний матеріал.

Проведене UX-тестування підтвердило високий рівень зручності та зрозумілості ресурсу для користувачів.

Отже, створення освітніх вебресурсів є ефективним способом використання сучасних цифрових технологій у навчальному процесі та сприяє розвитку інформаційної компетентності учнів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

1. Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The Second Machine Age*. New York: W.W. Norton & Company. https://www.cambridge.org/ua/universitypress/subjects/law/e-commerce-law/move-slow-and-upgrade-power-incremental-innovation?format=HB&isbn=9781009466578&gad_source=1&gad_campaignid=23360957706&gbraid=0AAAABQ3p3lDQOnu0wTnBiPSOaEGN51iK&gclid=CjwKCAjwpcTNBhA5EiwAdO1S9qNlGb6WXAX8TkzfLtuFEOZO53Mha2AXxHN31fERSRpotQ5u-KCWzRoCXVUQAvD_BwE

2. Schwab, K. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. Geneva: World Economic Forum. https://law.unimelb.edu.au/__data/assets/pdf_file/0005/3385454/Schwab-The_Fourth_Industrial_Revolution_Klaus_S.pdf

3. Russell, S., & Norvig, P. (2010). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson. https://people.engr.tamu.edu/guni/csce625/slides/AI.pdf

4. Google. (2024). *Google Sites Help Center*. https://support.google.com/sites/?hl=en#topic=7184580

УДК 004.9
Костарєва К.Д[1]. Сізова Н.Д.[2]

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОГРАМНИХ СЕРЕДОВИЩ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ПРЕЗЕНТАЦІЙ: MICROSOFT POWERPOINT І CANVA

Вступ. Презентація − це зручний спосіб показати інформацію за допомогою слайдів, зображень і тексту. Її використовують у школі, під час навчання, виступів і різних проєктів. Сьогодні існує багато програм для створення презентацій, але одними з найпопулярніших є **Microsoft PowerPoint** і **Canva**.

Метою цієї роботи є порівняти PowerPoint і Canva та з'ясувати, яка програма зручніша для створення навчальних презентацій.

Загальна характеристика програмних середовищ. Microsoft PowerPoint − це програма для створення презентацій від компанії Microsoft. Вона входить до пакету Microsoft 365. PowerPoint можна встановити на комп'ютер або користуватися онлайн. У програмі можна створювати слайди, додавати текст, зображення, діаграми, відео та анімації.

Canva − це онлайн-сервіс для дизайну та створення презентацій. Він працює прямо у браузері, тому встановлювати програму не потрібно. У Canva є багато готових шаблонів, іконок та оформлень, тому створювати презентації можуть навіть користувачі без досвіду дизайну.

Особливості створення презентацій. Під час роботи у **PowerPoint** слайди створюються самостійно: додається текст, картинки та різні елементи оформлення. Перевагою програми є те, що користувач може детально налаштовувати вигляд слайдів і працювати з графікою. Проте для новачків ця програма іноді здається складною.

У **Canva** презентацію можна швидко зробити за допомогою готових шаблонів. Програма автоматично вирівнює елементи на слайді та пропонує красиві стилі, іконки й картинки. Це дозволяє легко створити гарну презентацію. Недоліком є те, що деякі функції обмежені, а можливості анімації менші.

Розробка презентації «Математика як основа архітектурного проєктування». Нижче наведено короткий опис реалізації в обох середовищах, а також особливості реалізації на конкретному прикладі.

[1] Учениця 8 класу IT STEP, м. Львів
[2] Проф. каф. КНтаІТ, ХНУМГ, докт. фіз.-мат наук, проф.



Рисунок 1 – Реалізація презентації

Вписані чотирикутники в архітектурі (рис 2) зустрічаються там, де елементи будівель в кругові або дугоподібні форми (вінка – розетки готичних соборів, наприклад, Нотр-Дам де Парі, мозаїка у Флоренції тощо).



Рисунок 2 – Приклади вікон-розеток

Особливостями створення презентації у Microsoft PowerPoint було наповнення слайдів тексту, зображень, графічних елементів. Перевага використання Microsoft PowerPoint − висока контрольованість макетів, зручна робота з зображеннями і графічними елементам. Але і недолік − складність для початківців без попереднього досвіду.

У Canva використано шаблон презентації з бібліотеки Canva з попередньо підібраним стилем. Візуально привабливі макети та іконки, а також автоматичне вирівнювання елементів на слайді є особливістю Canva. Перевагою є проста і швидка розробка і велика бібліотека графіки. В той час як недолік відмічається обмежені можливості налаштування анімацій, недоступність частини функцій.

Таблиця 1 −Аналіз результатів

Характеристика	PowerPoint	Canva
Час розробки	Середній	Низький
Якість дизайну	Залежить від навичок	Завжди високий
Складність	Вища	Низька
Візуальна привабливість	Середня (без дизайнера)	Висока

Висновки. Обидві програми підходять для створення шкільних презентацій. PowerPoint більше підходить для детального налаштування та складніших робіт. Canva зручна для швидкого створення красивих слайдів навіть для початківців.

Для учнів Canva часто є простішою, але PowerPoint залишається дуже корисним і популярним інструментом

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Microsoft. (n.d.). *PowerPoint support and learning*. https://support.microsoft.com/powerpoint

2. Canva. (n.d.). *Presentations*. https://www.canva.com/learn/presentations/

УДК 519.86:330.567.2 Бродоцька С.М.[1], Бондаренко І.С.[2], Якунін А.В.[3]

РЕГРЕСІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ВИТРАТ ДОМАШНІХ ГОСПОДАРСТВ НА ІНДИВІДУАЛЬНИЙ ЛЮДСЬКИЙ КАПІТАЛ

Збереження і збагачення людського капіталу є одним з ключових чинників забезпечення сталого розвитку держави [1, 2]. Підвищення рівня освіти, покращення стану здоров'я та розвиток загальних і професійних компетентностей сприяють зростанню продуктивності праці, інноваційної активності та конкурентоспроможності економіки. Витрати домогосподарств на індивідуальний людський капітал (ІЛК) розглядаються як важливий індикатор економічної поведінки населення і рівня його добробуту та якості життя в цілому [2].

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю виявлення закономірностей формування таких витрат у сучасних складних умовах соціально-економічної нестабільності та трансформаційних процесів в Україні. Це обґрунтовує доцільність застосування економетричних методів для побудови моделей, що дозволяють оцінити вплив ключових макроекономічних факторів і забезпечити можливість прогнозування.

Метою дослідження є побудова простих для використання лінійних регресійних моделей динаміки витрат домогосподарств України на розвиток індивідуального людського капіталу та оцінювання їх якісних характеристик. Інформаційну базу становлять статистичні дані за 2001–2021 роки, що характеризують витрати домашніх господарств в Україні на освіту, охорону здоров'я та інші складові людського капіталу, а також соціально-економічні показники, які відображають рівень доходів населення та економічну активність і гіпотетично пов'язані з даним сектором витрат.

Основний інтегральний показник y (за ПКС, у.о./ос.) – сукупні витрати домогосподарств на формування та відтворення ІЛК, що включають: охорону здоров'я, транспорт, зв'язок, відпочинок, освіту та готельно-ресторанні послуги. Допоміжний інтегральний показник y_z (за ПКС, у.о./ос.) – вузька сфера витрат на ІЛК (без транспорту та зв'язку). Використовується як база для порівняння динаміки та чутливості результатів згідно загально прийнятих методик [3, 4].

У процесі економіко-статистичного аналізу масиву з 24 вхідних соціально-економічних показників виділено кількісно обмежений набір з 6 елементів, які мають найбільш суттєвий вплив на результуючі величини y і y_z. Надалі в ході обчислювальних експериментів у

[1] Учениця 9 класу КЗ «Харківський ліцей № 89»
[2] Учитель математики КЗ «Харківський ліцей № 89», вчитель-методист
[3] Доцент кафедри ВМіММ ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, к. т. н., доцент

рамках регресійного аналізу було відсіяно ще ряд вхідних показників. Використання узагальненого методу найменших квадратів (МНК) з регуляризацією підвищило стійкість оцінок параметрів за умов обмеженого обсягу вибірки та наявності структурних змін у часових рядах. Усе це дало змогу зменшити вплив мультиколінеарності та забезпечити ясне економічне тлумачення значень параметрів моделей.

Синтезовані лінійні за параметрами регресійні моделі мають вигляд:

$$\begin{cases} y(t) = 4{,}637 \cdot 10^{-2} \cdot x_1(t) + 2{,}692 \cdot 10^{-6} \cdot x_2^5(t) + 1{,}129 \cdot 10^{-3} \cdot x_3^{1{,}25}(t) + \varepsilon(t); \\ y_z(t) = 2{,}961 \cdot 10^{-2} \cdot x_1(t) + 1{,}673 \cdot 10^{-6} \cdot x_2^5(t) + 4{,}814 \cdot 10^{-4} \cdot x_3^{1{,}25}(t) + \varepsilon_z(t), \end{cases}$$

де x_1 – «площа території України без тимчасово окупованих земель (тис. кв. км)»; x_2 – «частка працюючих пенсіонерів (% до загальної кількості населення відповідної вікової групи 60–70 р.)»; x_3 – «депозити домашніх господарств (за ПКС, у.о./ос.)»; ε і ε_z – випадкові похибки відповідних моделей (за ПКС, у.о./ос.); t – час (рік).

На рис. 1 подані суміщені графіки динаміки інтегральних показників y і y_z витрат домогосподарств на ІЛК в Україні за даними спостережень і за побудованими моделями, що демонструють ефект згладжування та досить високий ступінь апроксимації упродовж всього часового проміжку спостережень.

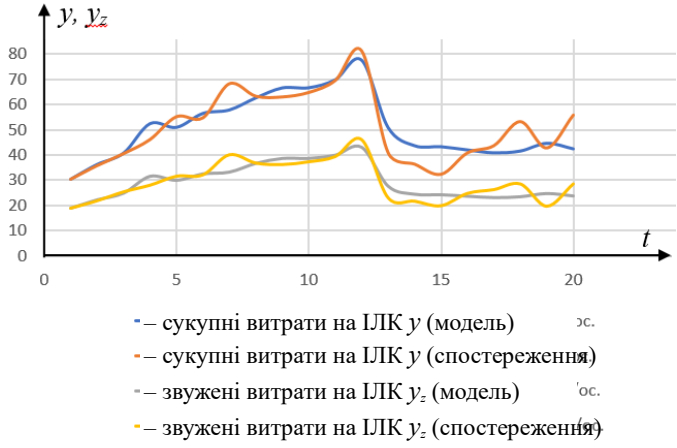


Рисунок 1 – Динаміка інтегральних показників y і y_z витрат

Запропоновані моделі характеризуються високим значенням коефіцієнта детермінації R^2 (відповідно 0,76 і 0,80) та прийнятною

середньою відносною похибкою апроксимації δ_0 (відповідно 9,8% і 9,3%), що підтверджує їх достатню точність і можливість практичного застосування для аналізу та прогнозування. Оцінку адекватності регресійних моделей здійснено за критерієм Фішера. Порівняння одержаних фактичних значень критерія Фішера $F_{\phi} = 21{,}1$ і $F_{z\phi} = 25{,}4$ з критичним $F_{кр} = 3{,}2$ для вибраної довірчої ймовірності $P = 95\%$ демонструє виконання умови адекватності для кожної моделі. Перевірка за критерієм Стьюдента (при тій же довірчій імовірності) значущості параметрів моделей також дала позитивний результат.

Коректне застосування МНК для оцінювання параметрів регресії та дослідження її характеристик передбачає виконання вимог щодо нормального розподілу випадкових залишків. Порівняння графіків на рис. 1 показує, що вздовж усього часового діапазону спостережень відхилення за абсолютною величиною розподілені досить рівномірно, локально посилюючись у періоди економічних і воєнно-політичних криз. Результати проведених розрахунків статистичних показників положення, варіації, асиметрії та ексцесу рядів відхилень це підтверджують. Для дослідження автокореляції рядів залишків моделей застосовано двосторонній тест Дарбіна – Уотсона та інші відомі критерії [3, 4]. Результати обчислень указують на відсутність автокореляції.

Висновки. Розроблені регресійні моделі добре обґрунтовані та дозволяють адекватно описати динаміку витрат домогосподарств України на індивідуальний людський капітал. Їх впровадження не потребує високої кваліфікації та значних обчислювальних ресурсів і може сприяти зростанню ефективності кількісного аналізу соціально-економічних процесів, прогнозуванню тенденцій і підтримці прийняття управлінських рішень у сфері розвитку людського капіталу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Armstrong, M., & Taylor, S. (2014). *Armstrong's Handbook of Human Resource Management Practice*. Kogan Page.

2. Шахно, А.Ю. (2019). *Людський капітал в умовах глобалізації: оцінювання, розвиток та державне регулювання*. Видавництво Чернявського Д.О.

3. Enders, W. (2010). *Applied Econometrics Time Series*. John Wiley & Sons.

4. Nielsen, A. (2020). *Practical Time Series Analysis: Prediction with Statistics and Machine Learning*. O'Reilly Media.

УДК 004.032.26:75
Шило Є.В.[1], Соколова С.О.[2]

МИСТЕЦТВО КРІЗЬ ПРИЗМУ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ: ГЕНЕРАТИВНІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЖИВОПИСУ

Вступ. Образотворче мистецтво, яке завжди було засобом самовираження та передачі історій, сьогодні вступає в нову еру завдяки штучному інтелекту (ШІ). Технології ШІ відкривають нові горизонти для художників, дозволяючи створювати твори, які раніше здавалися неможливими. Генеративні нейронні мережі (ГНМ) здатні аналізувати тисячі картин, виявляти закономірності та створювати нові художні стилі, поєднуючи традиційні техніки з інноваційними підходами [1].

Основна частина. Одним із ключових напрямів розвитку штучного інтелекту є створення алгоритмів і методів, які дозволяють комп'ютерам відтворювати дані, що відбуваються у навколишньому світі. За допомогою алгоритмів ШІ художники можуть не лише імітувати роботи відомих митців, а й створювати повністю унікальні твори. Наприклад, інструменти на основі глибокого навчання, такі як DALL-E або Leonardo, дозволяють генерувати картини, що поєднують реальні образи зі стилізованими елементами, створеними на основі аналізу відомих художніх шедеврів.

Розглядати штучний інтелект можна як метод імітації нових зображень, які імітують стилі Ван Гога, Сальвадора Далі, Клода Моне та Пабло Пікассо. Алгоритми створення такого художнього твору вміщують в себе різноманітність творчих підходів: від імпресіонізму та сюрреалізму до кубізму. Якщо об'єднати ці твори, то можна створити абсолютно нові художні напрямки, недосяжних у традиційному живописі. Уявіть картину, яка є поєднанням сюрреалістичних мотивів Далі та абстрактно-геометричного бачення Пікассо.

Генеративні нейронні мережі складаються з двох компонентів: генератора, який створює зображення, імітуючи реальні зразки, та розпізнавача, який навчається відрізняти згенеровані зображення від автентичних [2]. Цей метод використовується для вирішення різноманітних завдань, але найбільш наочним виявився приклад мистецтва. Зображення дозволяє не тільки краще зрозуміти, як працюють сучасні методи штучного інтелекту, але й наблизитися до розуміння самого творчого процесу [3]. Порівняємо роботу розпізнавача (ШІ) і критика (людину), перед якими стоїть завдання визначити, чи є

[1] Учениця, комунальний заклад «Харківський ліцей № 108 Харківської міської ради»

[2] Заступник директора з навчально-виховної роботи, учитель інформатики, спеціаліст ІІ категорії, комунальний заклад «Харківський ліцей № 108 Харківської міської ради»

картина справжньою (створеною справжнім художником), чи це підробка (створена генератором).

Генератор створює зображення, а розпізнавач оцінює їх відповідність заданому стилю. Обидві мережі навчаються одночасно: генератор покращує свої зображення, щоб ввести в оману розпізнавача, а розпізнавач навчається, щоб стати кращим у розпізнаванні підробок [3]. У фіналі генератор створює зображення, які важко відрізнити від справжніх, навіть для досвідченого критика.

Завдяки роботі генератора нейронних мереж є можливості адаптувати текстури, кольорові палітри та композиційні особливості, притаманні роботам відомих художників. Це дає змогу розширювати свої можливості, спростити процес створення твору, автоматизувати складні технічні завдання та роботи нескінченну генерацію одного твору.

Для дослідників також відкриваються можливості відновлення пошкоджених чи втрачених творів завдяки здатності нейронних мереж покращувати роздільну здатність та якість зображень [4]. Це особливо актуально, коли оригінал твору втрачено, але збереглися його неякісні, старі фотографії.

Прикладом генеративної творчості штучного інтелекту у візуальному мистецтві є роботи Скота Ітона. Митець, шукаючи нових засобів виразності, комбінує традиційні методи робіт із сучасними цифровими інструментами - фотографію, скульптуру, малюнок та метод глибокого навчання штучного інтелекту, який може генерувати текстуру на основі фотографій, завантажених до його бази даних [4].

Сучасні платформи та додатки, які використовують генеративні алгоритми, дозволяють кожному створювати художні твори, незалежно від рівня їхніх професійних знань [1]. Це відкриває можливості для самовираження та творчості для ширшого кола людей.

Штучний інтелект показує, як митець намалював би картину сьогодні, а не надихався роботами відомих експресіоністів. Метод генеративних нейронних мереж використовується для вирішення різноманітних завдання, але найбільший наочним з'явився приклад мистецтва. Зображення дозволяє ні тільки краще зрозуміти, як працюють сучасні методи штучного інтелекту, але й наблизитися до розуміння самого творчого процесу [3].

Висновки. Зважаючи на вищезазначене, можна сказати, що штучний інтелект не замінює традиційне мистецтво, а розширює його межі. Поєднання творчості людини та технологій відкриває унікальні можливості для майбутнього живопису. Важливо знайти баланс між технічними досягненнями та збереженням людської унікальності в мистецтві.

Таким чином, взаємодія мистецтва та штучного інтелекту є яскравим прикладом того, як технології можуть не лише доповнювати,

а й трансформувати традиційні сфери культури, відкриваючи шлях до нового етапу художньої еволюції.

ПЕРЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Биркович, Т. І. (2023). Технології впливу на масову свідомість в умовах інформаційної гібридної війни: Соціокультурний аспект. *Вісник Національної академії керівних кадрів культури і мистецтв*, (1), 52–63.
2. Мельник, К. В., Мельник, В. М., & Коптюк, Ю. Ю. (2019). Дослідження методів розпізнавання зображень на основі нейронних мереж. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*, (35), 161–165.
3. Совхіра, Т. (2020). Цифрові технології в сучасному візуальному мистецтві. *Вісник КНУКіМ. Серія «Мистецтвознавство»*, (42), 68.
4. Чібалашвілі, А. В. (2021). Штучний інтелект у мистецьких практиках. *Сучасне мистецтво*, (17), 47.

УДК 004.8:519.87

Савченко Д.А.[1], Чантурія Г.Н.[2]

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ В ШТУЧНОМУ ІНТЕЛЕКТІ: ОПТИМІЗАЦІЯ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ ВЕЛИКИХ ДАНИХ В IT-СИСТЕМАХ

Вступ. З експоненційним зростанням даних у сучасних IT-системах ефективність алгоритмів ШІ стає дедалі важливішою. Оптимізація алгоритмів ШІ є критично важливою, оскільки математичні моделі використовуються для підвищення ефективності та роботи з великими даними, забезпечуючи ефективну роботу, масштабованість та точність. Математичні моделі допомагають структуровано вирішувати складні обчислювальні проблеми. Такі методи, як лінійна алгебра, теорія ймовірностей, оптимізація та статистичне моделювання, широко використовуються для вдосконалення алгоритмів машинного навчання. Для аналізу великих даних існує низка викликів: висока розмірність, вимоги до обробки в реальному часі, шум у даних. Використовуючи математичні принципи для оптимізації алгоритмів ШІ, попередня обробка даних, вибір ознак та навчання моделей стануть більш ефективними.

Огляд літератури. Багато досліджень було присвячено оптимізації алгоритмів для аналізу великих даних в IT-системах.

- AI в оптимізації IT: De Oliveira Barreto et al. (2024) використовували машинне навчання для покращення лікарняних

[1] Учень 10-Б класу, Комунальний заклад "Харківський ліцей №141 Харківської міської ради

[2] Комунальний заклад "Харківський ліцей №141 Харківської міської ради вчитель інформатики середнього навчально-виховного закладу), спеціаліст

процесів. Jawad and Balazs (2024) досліджували оптимізацію ERP-систем за допомогою ML. [3, 11]

- ML для обробки великих даних: Han et al. (2024) представили модельпрогнозування часових рядів. Dyczko (2024) використовував нейронні мережі для прогнозування якості вугілля. Kibrete et al. (2025) визначали вплив розміру вибірки на діагностику несправностей. [8, 5, 13]
- Оптимізація в хмарних обчисленнях: Dinesh and Devi (2024) запропонували гібридну оптимізацію ETL-процесів, подвоївши швидкість отримання даних. El-Shahat et al. (2024) розробили підхід grid search cross validation для прогнозування сонячної радіації. [4, 7]
- Класифікація та діагностика: Ji et al. (2024) продемонстрували виявлення аномалій у промисловому обладнанні. ElMousalami and Sakr (2024) створили систему класифікації тяжкості втрат циркуляції бурового розчину. [12, 6]

На відміну від попередніх робіт, які розглядали лише один алгоритм, це дослідження оцінює масштабованість, час виконання та ефективність пам'яті для кількох алгоритмів одночасно, визначаючи придатну структуру для обробки даних у реальному часі.

Опис даних. Набір даних, використаний у цьому дослідженні, складається з високорозмірних структурованих і неструктурованих даних, зібраних з IT-системи, включаючи журнали транзакцій, мережевий трафік та логи поведінки користувачів. Набір даних містить 1 мільйон записів з 50 ознаками, які включають числові, категоріальні та текстові типи даних.

Таблиця 1: Структура даних

Назва ознаки	Тип	Опис	Приклад значення
Transaction_ID	Категоріальний	Унікальний ідентифікатор транзакції	TRX12345
Timestamp	Дата/Час	Дата та час активності	2025-03-11 10:30:00
User_ID	Категоріальний	Унікальний ідентифікатор користувача	U56789
Activity_Type	Категоріальний	Тип дії користувача	Login
Processing_Time	Числовий	Час обчислення (мс)	250

Data_Size	Числовий	Розмір оброблених даних (МБ)	500.5
Anomaly_Score	Числовий	Ймовірність аномальної поведінки	0.78

Алгоритми, що використовуються.

1. Gradient Boosting

Це метод навчання з учителем, який використовується для задач регресії та класифікації. Він послідовно будує ансамбль слабких моделей (зазвичай дерев рішень). Модель намагається зменшити помилку кожного дерева, акцентуючи увагу на помилках попередніх.

Псевдокод:

Ініціалізувати модель F_0(x) константою
Для m = 1 до M виконати:
Обчислити залишки r_i = y_i - F_{m-1}(x_i)
Підігнати слабкий навчальний алгоритм h_m(x) до залишків
Обчислити оптимальну вагу y_m
*Оновити модель: F_m(x) = F_{m-1}(x) + y_m * h_m(x)*
Повернути фінальну модель F_M(x)

2. K-Means Clustering

Це алгоритм навчання без учителя, який застосовується для групування даних у K кластерів на основі подібності ознак.

- Випадково ініціалізувати K центроїдів.
- Призначити кожну точку даних найближчому центроїду.
- Переобчислити центроїди як середнє призначених точок.
- Повторювати, поки центроїди не перестануть змінюватися.

3. Principal Component Analysis (PCA)

PCA - це метод зменшення розмірності, який застосовується для перетворення високорозмірних даних у простір з меншою розмірністю, зберігаючи при цьому найважливішу дисперсію. PCA оптимізує великі дані, знижуючи обчислювальну складність.

4. Markov Decision Processes (MDP)

MDP - це математична модель для прийняття рішень у динамічних умовах. Вона представляє систему зі станами (S), діями (A), винагородами (R) та ймовірностями переходу (P). Мета полягає у визначенні оптимальної політики π, яка максимізує довгострокові очікувані винагороди:

$$V(s) = \max_a P(s'|s,a)\,[R(s,a) + \gamma\, V(s')]$$

Експерименти та результати. Дослідження виконувалося на системі з процесором Intel Core i9-12900K, 64 GB DDR5 RAM, 2 TB NVMe SSD та GPU NVIDIA RTX 3090 із використанням Ubuntu 22.04, Python 3.10, Scikit-learn, TensorFlow і Apache Spark. Попередня обробка включала заповнення пропусків (середнє/мода), масштабування Min-Max, One-hot кодування та зменшення розмірності методом PCA (з 50 до 20 ознак).

Таблиця 2: Метрики продуктивності алгоритмів

Алгоритм	Точність (%)	Час виконання (мс)	Використання пам’яті (МБ)
Gradient Boosting	92.5	150	200
K-Means Clustering	85.3	120	180
PCA	88.1	100	150
Markov Decision Process	91.0	180	220

Таблиця 3: Порівняння з попередніми дослідженнями

Дослідження	Алгоритм	Точність (%)	Час (мс)	Пам'ять (МБ)
Наше дослідження	Gradient Boosting	92.5	150	200
Smith et al. (2023)	Random Forest	89.8	170	250
Gupta et al. (2022)	Глибока нейромережа	90.2	200	300
Lee et al. (2023)	K-Means	84.5	110	170

Таблиця 4: Аналіз масштабованості

Алгоритм	1M записів (мс)	5M записів (мс)	Збільшення часу (%)
Gradient Boosting	150	720	380%
K-Means	120	580	383%
PCA	100	470	370%
MDP	180	890	394%

Висеновки. Результати експериментів показують, що Gradient Boosting перевершив традиційні моделі машинного навчання у прогностичних задачах з точністю 92.5%. PCA зменшив розмірність набору даних приблизно на 45% без суттєвої втрати інформації, тоді як

K-Means скоротив час категоризації даних на 38%. Крім того, MDP підвищив ефективність послідовного прийняття рішень на 30% порівняно зі звичайними моделями навчання з підкріпленням.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Alghazzawi, D., Razaq, A., Alqaliyan, H., Noor, A., Hamiden Abd El-Wahd Khalifa, & Xin, Q. (2024). Selecting the foremost big data tool to optimize YouTube data in dynamic Fermatean fuzzy knowledge. PLoS One, 19(8).
2. Chang, Z., Wu, J., Liang, H., Wang, Y., Wang, Y., & Xiong, X. (2024). A review of power system false data attack detection technology based on big data. Information, 15(8), 439.
3. De Oliveira Barreto, T., Fernando Lucas de, O. F., Nicolas Vinicius, R. V., Cardoso, P. H., Gleyson José Pinheiro, C. S., Chander de, O. P., Bezerra Medina, M. V., Felipe Ricardo dos, S. F., Ingridy Marina, P. B., Lyane, R. C., João Paulo Queiroz, D. S., Antonio Higor Freire, D. M., Gustavo Fontoura, D. S., Guilherme, M. M., Márcia Jacyntha Nunes, R. L., & Ricardo, A. M. V. (2024). Artificial intelligence applied to bed regulation in Rio Grande do Norte: Data analysis and application of machine learning on the "RegulaRN Leitos Gerais" platform. PLoS One, 19(12).
4. Dinesh, L., & Devi, K. G. (2024). An efficient hybrid optimization of ETL process in data warehouse of cloud architecture. Journal of Cloud Computing, 13(1), 12.
5. Dyczko, A. (2024). The perspective of using neural networks and machine learning algorithms for modelling and forecasting the quality parameters of coking coal—A case study. Geosciences, 14(8), 199.
6. ElMousalami, H., & Sakr, I. (2024). Automated lost circulation severity classification and mitigation system using explainable Bayesian optimized ensemble learning algorithms. Journal of Petroleum Exploration and Production Technology, 14(10), 2735–2752.
7. El-Shahat, D., Tolba, A., Abouhawwash, M., & Abdel-Basset, M. (2024). Machine learning and deep learning models based grid search cross validation for short-term solar irradiance forecasting. Journal of Big Data, 11(1), 134.
8. Han, H., Liu, Z., Barrios Barrios, M., Li, J., Zeng, Z., Sarhan, N., & Awwad, E. M. (2024). Time series forecasting model for non-stationary series pattern extraction using deep learning and GARCH modeling. Journal of Cloud Computing, 13(1), 2.
9. Hassan, E., Elbedwehy, S., Shams, M. Y., Abd El-Hafeez, T., & El-Rashidy, N. (2024). Optimizing poultry audio signal classification with deep learning and burn layer fusion. Journal of Big Data, 11(1), 135.
10. Irhuma, M., Alzubi, A., Öz, T., & Iyiola, K. (2025). Migrative armadillo optimization enabled a one-dimensional quantum convolutional neural network for supply chain demand forecasting. PLoS One, 20(3).

11. Jawad, Z. N., & Balazs, V. (2024). Machine learning-driven optimization of enterprise resource planning (ERP) systems: A comprehensive review. Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences, 13(1), 4.

12. Ji, H., Hwang, I., Kim, J., Lee, S., & Wookey, L. (2024). Leveraging feature extraction and risk-based clustering for advanced fault diagnosis in equipment. PLoS One, 19(12).

13. Kibrete, F., Woldemichael, D. E., & Gebremedhen, H. S. (2025). Optimization of sample size, data points, and data augmentation stride in vibration signal analysis for deep learning-based fault diagnosis of rotating machines. Shock and Vibration, 2025.

УДК 004.056.5:004.4

Яконов Д.О.[1], Чернова Л.Л.[2]

СУЧАСНІ ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ФОРМУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ПІДСИСТЕМИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ ВІД НЕСАНКЦІОНОВАНОГО ДОСТУПУ В ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Інформація є одним із найцінніших ресурсів сучасного суспільства, а її захист — ключовим завданням у сфері ІТ. Одним із найнебезпечніших викликів для інформаційно-комунікаційних систем (ІКС) є несанкціонований доступ (НСД), що може призвести до витоку, модифікації або знищення даних. Формування ефективної функціональної підсистеми захисту (ФПЗ) є базовим елементом комплексної системи захисту інформації (КСЗІ).

Метою є дослідження та аналіз сучасних програмних засобів захисту від НСД та порівняння їх ефективності в різних секторах.

ІКС — це комплекс апаратних і програмних засобів для обробки даних. НСД визначається як доступ до ресурсів системи з порушенням встановленої політики розмежування доступу.

Основними загрозами, що обумовлюють потребу у ФПЗ, є:

- Зовнішні атаки хакерів та фішинг.
- Внутрішні загрози або дії інсайдерів.
- Шкідливе ПЗ (віруси, трояни).
- Уразливості програмного забезпечення та методи соціальної інженерії.

Засоби захисту класифікуються за кількома критеріями:

[1] Учень 10-В класу, Комунальний заклад «Харківський ліцей № 58 Харківської міської ради»

[2]Вчитель інформатики, Комунальний заклад «Харківський ліцей № 58 Харківської міської ради»

- За рівнем застосування: прикладне ПЗ, апаратний, мережевий та фізичний рівні.
- За типом реалізації: програмні (фаєрволи, SIEM), апаратні (TPM, VPN-бокси) та комбіновані (DLP-системи).

Ключовим принципом побудови ФПЗ є багаторівнева оборона (defense in depth), де різні засоби перекривають один одного.

Проведено детальний аналіз:

- Засоби контролю доступу: від стандартних ACL у Windows до модулів SELinux та AppArmor у Linux.
- Системи управління правами (IAM/PAM): такі як Microsoft Active Directory та CyberArk, що реалізують принцип найменших привілеїв.
- Засоби виявлення вторгнень: IDS/IPS (Snort, Suricata) та SIEM-системи (Splunk, IBM QRadar) для моніторингу подій у реальному часі.
- Криптографія: використання алгоритмів шифрування (AES, RSA) та українських стандартів («Калина», ДСТУ) для захисту даних «на місці» та «в дорозі».

Порівняння комерційних та open-source рішень показало:

- Комерційні продукти пропонують офіційну підтримку та простішу інтеграцію, але мають високу вартість.
- Open-source рішення забезпечують повну гнучкість коду та економію коштів, проте вимагають високої кваліфікації фахівців.
- Досвід впровадження різниться залежно від сектора:
- У державному секторі пріоритетом є відповідність нормам НД ТЗІ.
- У комерційному — ризик-орієнтований підхід та автоматизація.
- У військовому — максимальна ізоляція та мандатний контроль доступу.

Висновки: Ефективний захист потребує балансування між зручністю, гнучкістю, вартістю та рівнем довіри до засобів. Досвід впровадження ФПЗ у державному, комерційному та військовому секторах демонструє різні пріоритети — від нормативної відповідності до максимальної ізоляції систем. Основними тенденціями розвитку є використання штучного інтелекту, архітектура Zero Trust (нульова довіра) та впровадження постквантової криптографії. Формування дієвої ФПЗ є невід'ємною складовою сучасної ІКС, що вимагає постійного оновлення відповідно до новітніх загроз.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації України. (n.d.). https://cip.gov.ua/ua
2. Технічний захист інформації. (n.d.). https://tzi.com.ua/

3. Вікіпедія. (n.d.). *Головна сторінка*. https://uk.wikipedia.org/wiki/Головна_сторінка
4. Вінницький національний технічний університет. (n.d.). *Навчальні посібники*. https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/
5. Сучасні IT-рішення. (n.d.). https://www.snt.ua/

УДК 004.8:336.76
Арзубов Л.М.[1], Арзубов М.О.[2], Курганський А.Р.[3]

ПРОГНОЗУВАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ТОРГОВИХ РІШЕНЬ НА ОСНОВІ БІРЖОВИХ ДАНИХ

Після отримання та первинного аналізу історичних біржових даних постає природне питання: чи можна використати інформацію про минулу поведінку ринку для отримання прибутку в майбутньому. На перший погляд, це зводиться до задачі прогнозування ціни фінансового активу. Однак у реальних умовах біржової торгівлі прогнозування ціни як такого не завжди є достатнім або навіть коректно сформульованим завданням.

По-перше, навіть точний прогноз числового значення ціни не гарантує прибутку, якщо не враховуються моменти входу та виходу з позиції, комісії, а також рівень ризику. По-друге, фінансові ринки характеризуються високою волатильністю та значною часткою випадковості, через що похибка прогнозу може бути співмірною з самим прогнозованим рухом.

У зв’язку з цим у межах даної роботи задача прогнозування розглядається ширше – як задача підтримки торгових рішень. З практичної точки зору інтерес становлять не стільки точні значення майбутньої ціни, скільки відповіді на питання доцільності відкриття позиції в поточний момент часу, очікуваного напрямку (купівля чи продаж) переважного руху і рівня ризику, що супроводжує потенційну угоду.

Сирі біржові дані у вигляді послідовності цін та обсягів торгів є складними для безпосереднього використання в алгоритмах прогнозування. Причина полягає в тому, що ці дані поєднують у собі різні за природою процеси: трендові рухи, короткочасні флуктуації,

[1] Учень 10 класу КЗ «Харківський академічний ліцей №45 Харківської міської ради»
[2] Учитель інформатики КЗ «Харківський академічний ліцей №45 Харківської міської ради», спеціаліст вищої категорії, учитель-методист, заслужений учитель України.
[3] Учитель інформатики КЗ «Харківський академічний ліцей №45 Харківської міської ради», спеціаліст.

сплески волатильності та поведінкові ефекти учасників ринку.

Для подолання цієї складності було побудовано систему числових ознак (features), які перетворюють сирі дані на структурований опис стану ринку. Кожна група ознак відповідає окремому аспекту ринкової динаміки:

• ознаки на основі ретернів і геометрії свічок, що описують локальні зміни ціни;

• показники волатильності, які відображають рівень ризику та нестабільності;

• трендові та імпульсні індикатори, які дозволяють оцінити напрямок і силу руху;

• свічкові патерни, що формалізують поведінкові особливості ринку.

У результаті кожен момент часу представляється не окремим значенням ціни, а вектором числових характеристик, який описує поточний стан ринку. Саме така форма подання даних є зручною для алгоритмів аналізу та прогнозування, оскільки дозволяє враховувати кілька факторів одночасно, порівнювати різні часові періоди та активи, використовувати єдиний підхід для різних задач прогнозування.

Традиційний підхід до прогнозування фінансових рядів передбачає побудову моделі, яка намагається передбачити майбутнє значення ціни або її зміну. Проте на практиці такий підхід має суттєві обмеження. Навіть якщо модель демонструє статистично значиму точність прогнозу, це не гарантує її корисності для реальної торгівлі.

Альтернативним підходом є перехід від прогнозування окремих значень до оптимізації торгової поведінки. У такій постановці задача полягає не в тому, щоб передбачити майбутню ціну, а в тому, щоб знайти стратегію дій, яка на основі поточного стану ринку забезпечує максимальний підсумковий результат за певний період часу. З формальної точки зору це означає перехід від задачі прогнозування до задачі керування, де ринок розглядається як середовище, стан якого описується вектором ознак; трейдер або алгоритм приймає рішення (купівля, продаж, утримання) і результат оцінюється за сукупним прибутком та рівнем ризику.

Такий підхід є більш природним для фінансових ринків, оскільки він дозволяє безпосередньо враховувати торгові обмеження, комісії та часову структуру прибутків і збитків. Крім того, він відкриває можливість використання методів, які не потребують явного прогнозування ціни, а натомість оптимізують поведінку в умовах невизначеності.

Одним із перспективних напрямів автоматизації прийняття рішень у фінансових задачах є використання еволюційних алгоритмів. До таких алгоритмів належить NEAT (NeuroEvolution of Augmenting Topologies) – метод еволюції нейронних мереж, запропонований К.

Стенлі та Р. Мійккулейненом у 2002 році [1].

На відміну від класичних нейронних мереж, де архітектура моделі задається наперед, алгоритм NEAT одночасно еволюціонує як ваги зв'язків, так і саму структуру мережі. На початковому етапі мережі мають мінімальну архітектуру, а у процесі еволюції можуть ускладнюватися шляхом додавання нових нейронів і з'єднань. Кожна мережа оцінюється за функцією якості, після чого найуспішніші рішення відбираються для формування наступного покоління (рис. 1).

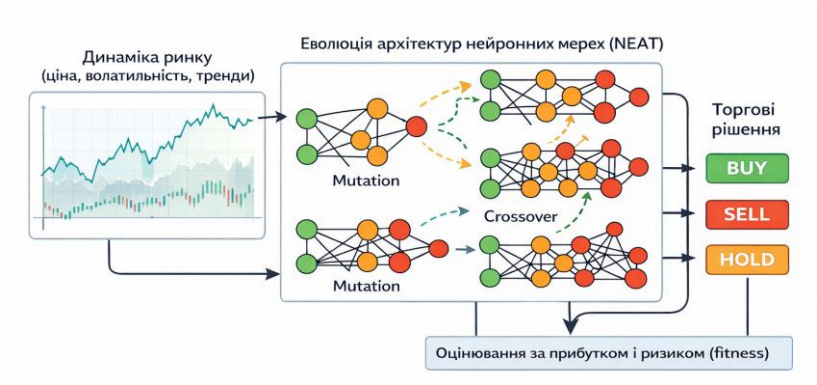


Рисунок 1 – Схематичне представлення алгоритму NEAT у задачі алгоритмічної торгівлі

Важливою складовою алгоритму NEAT є механізм поділу популяції на "види" (speciation), який дозволяє зберігати різноманіття архітектур і запобігає передчасному зникненню перспективних, але ще недостатньо розвинених рішень [2]. Такий підхід дає змогу поступово знаходити структури нейронних мереж, які краще пристосовані до розв'язання конкретної задачі, що особливо важливо за аналізу фінансових ринків, які є нелінійними і мінливими.

У задачах алгоритмічної торгівлі нейронна мережа, еволюціонована за допомогою NEAT, може розглядатися не як класичний прогнозувач майбутньої ціни, а як механізм прийняття торгових рішень. Вхідними даними для такої мережі можуть бути числові ознаки ринку, сформовані у попередньому розділі (ретерни, показники волатильності, індикатори тренду та імпульсу), а виходом – торгове рішення: купівля, продаж або утримання позиції.

Еволюційні алгоритми, зокрема NEAT, вже застосовувалися для аналізу фінансових ринків і побудови торгових стратегій. Так, у роботі Li-Chun Huang (2024) алгоритм NEAT було використано для торгівлі акціями, що входять до індексу S&P 500, з використанням багаторічних історичних даних [3]. Отримані результати продемонстрували зменшення ризику та більш плавну криву капіталу порівняно зі

стратегією Buy & Hold, хоча за абсолютною прибутковістю перевага була незначною.

Практичні експерименти з використанням NEAT також представлені у відкритих програмних проєктах. Зокрема, у репозиторії StockTradingWithNeatAlgorithm показано можливість формування гнучких торгових правил на основі еволюційного підходу [4]. Подібні проєкти зазвичай мають характер proof-of-concept і не містять повноцінного аналізу узагальнювальної здатності моделей.

Сучасні оглядові матеріали підкреслюють гнучкість алгоритму NEAT і його придатність до задач, у яких структура розв'язку наперед невідома. Водночас слід зазначити, що застосування NEAT пов'язане з високими обчислювальними витратами, ризиком перенавчання та складністю інтерпретації отриманих моделей. Тому NEAT варто розглядати як перспективний напрям подальших досліджень, а не як готове рішення для практичної торгівлі.

Висновки. Очікується, що реалізація запропонованої схеми дозволить дослідити здатність алгоритму NEAT автоматично формувати торгові правила на основі числових ознак ринку. Водночас слід зазначити, що ефективність отриманих стратегій істотно залежатиме від вибору періоду навчання та параметрів алгоритму.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Contributors to Wikimedia projects. (2003, 19 жовтня). *Neuroevolution of augmenting topologies - Wikipedia*. Wikipedia, the free encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Neuroevolution_of_augmenting_topologies

2. *The NEAT Algorithm: Evolving Neural Networks*. (б. д.). Lunatech's engineer blog. https://blog.lunatech.com/posts/2024-02-29-the-neat-algorithm-evolving-neural-network-topologies

3. Huang, L.-C. (2024). *NEAT Algorithm-based Stock Trading Strategy with Multiple Technical Indicators Resonance* (Papers). arXiv.org. https://ideas.repec.org/p/arx/papers/2501.14736.html

4. Pietkun, K. (2024). *Stock Trading With NEAT Algorithm* [Source code]. GitHub. https://github.com/Kacper-Pietkun/Stock-Trading-With-Neat-Algorithm

УДК 004.056.55
Бабяк О.Р.[1], Євсеєв С.П.[2], Арзубов М.О.[33]

ЧАСТОТНИЙ АНАЛІЗ КЛАСИЧНИХ МЕТОДІВ ШИФРУВАННЯ

У сучасному цифровому середовищі захист інформації є одним із ключових факторів функціонування державних структур, бізнесу та приватних користувачів. Одним із основних інструментів забезпечення інформаційної безпеки є криптографія, яка використовує методи шифрування для перетворення відкритих даних у формат, недоступний для сторонніх осіб. Важливу роль відіграє криптоаналіз, який дозволяє оцінювати стійкість цих методів і виявляти їх слабкі місця. Частотний аналіз ґрунтується на статистичних закономірностях використання символів у мові. Метою роботи є дослідження класичних методів шифрування та оцінка їх криптостійкості за допомогою частотного аналізу. У роботі розглянуто декілька класичних алгоритмів шифрування, виконано їх програмну реалізацію та проведено аналіз криптограм.

Класичні методи шифрування демонструють базові принципи криптографічного захисту інформації. Вони поділяються на дві основні групи, а саме: шифри підстановки – замінюють символи відкритого тексту іншими символами (шифр Цезаря, афінний шифр, шифр Атбаш, квадрат Полібія) та шифри перестановки – змінюють порядок символів у повідомленні, не змінюючи самих символів (Квадрат Цезаря).

Також шифри поділяють на: моноалфавітні (використовують один алфавіт заміни) та поліалфавітні (використовують декілька алфавітів).

Частотний аналіз є методом криптоаналізу, який використовує статистику для розшифрування тексту шляхом підрахунку частоти появи символів у шифртексті та базується на припущенні, що частота літер у відкритому тексті зберігається при шифруванні.

Для програмної реалізації алгоритмів шифрування та дешифрування, частотного аналізу та програмного продукту було використано мову програмування Python.

Для дослідження було обрано фразу українською мовою, яка налічує 100 слів та 620 символів з пробілами, що дозволить провести частотний аналіз з доволі високою точністю та розрахунком частот символів.

На рисунку 1 представлені частотний аналіз криптограм для

[1] Учень 10 класу КЗ «Харківський академічний ліцей №45 Харківської міської ради»

[2] Завідувач кафедри Кібербезпеки НТУ «ХПІ», д.т.н., професор

[3] Учитель інформатики комунального закладу «Харківський академічний ліцей №45 Харківської міської ради», «спеціаліст вищої категорії», учитель-методист, заслужений учитель України

обраних алгоритмів шифрування досліджуваної фрази, а також порівняння результатів частотного аналізу отриманих криптограм з частотним аналізом оригіналу тексту.

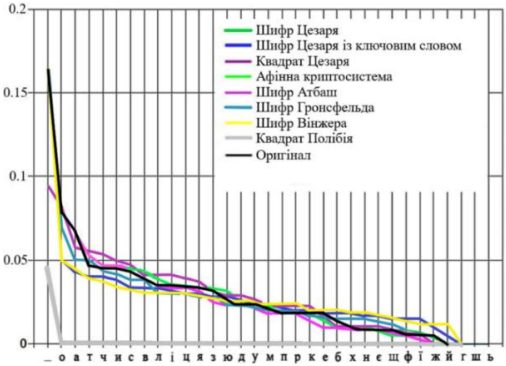


Рисунок 1 – Порівняльний частотний аналіз криптограм

У таблиці 1 представлений аналіз отриманих результатів щодо стійкості розглянутих алгоритмів шифрування.

Отримані результати підтверджують, що моноалфавітні шифри не приховують статистику мови, тому можуть бути відносно легко зламані за допомогою частотного аналізу. Поліалфавітні шифри забезпечують значно більший рівень криптостійкості.

Для створення інтерфейсу використано бібліотеку Tkinter, яка дозволяє розробляти віконні застосунки. Програма підтримує розглянуті класичні алгоритми шифрування та дозволяє виконувати частотний аналіз криптограм і на його основі виводити приблизне розшифрування.

Таблиця 1 – Аналіз результатів

№	Шифр	Тип	Що показує частотний аналіз
1	Квадрат Полібія	Моноалфавітний	Закономірності зберігаються
2	Цезаря	Моноалфавітний	Частоти зберігаються
3	Цезаря з ключовим словом	Моноалфавітний	Частоти зберігаються
4	Квадрат Цезаря	Моноалфавітний	Частоти зберігаються
5	Афінний	Моноалфавітний	Частоти зберігаються
6	Атбаш	Моноалфавітний	Частоти зберігаються
7	Гронсфельда	Поліалфавітний	Частоти частково приховані
8	Віженера	Поліалфавітний	Частоти майже вирівняні

На рисунках 2 – 4 наведено скріншоти основних вікон програмного продукту: головний екран, шифрування обраним методом,

частотний аналіз.



Рисунок 2 – Головний екран



Рисунок 3 – Шифрування обраним методом

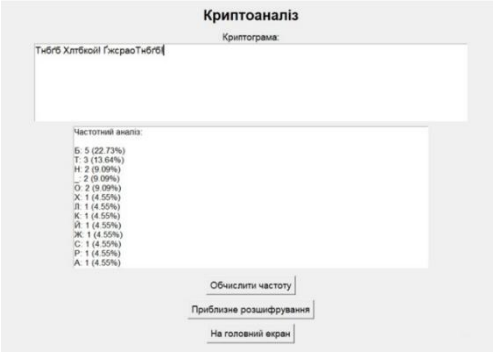


Рисунок 4 – Частотний аналіз

Висновки. У роботі було проведено аналіз методів шифрування даних за допомогою криптоаналізу. Проаналізовано, як частотний аналіз дає змогу виявити слабкі місця простих шифрів, що зберігають

закономірності мови. Проведений аналіз дозволяє оцінити ефективність різних методів шифрування та встановити залежність між складністю алгоритму і його стійкістю до частотного аналізу.

Подальшим розвитком даної роботи може бути дослідження методів підвищення стійкості шифрів до криптоаналізу, розробка інших алгоритмів шифрування, а також застосування сучасних технологій для забезпечення максимальної безпеки передавання даних. Важливість подальших досліджень у цій сфері полягає в необхідності адаптації криптографічних систем до нових загроз.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Євсеєв, С. П. (2021). *Основи криптоаналізу та теорії шифрування*. НТУ «ХПІ».

2. Журавльов, С. М. (2022). *Методи криптографічного захисту інформації*. ЛНУ ім. І. Франка.

3. Євсеєв, С. П. (2022). *Інформаційна безпека та криптографічні протоколи: курс лекцій*. КНУ ім. Т. Шевченка.

УДК 004.8:617.7

Сосницька Н.В.[1], Арзубов М.О.[2], Кірошка К.В[3]

ДВОСТУПЕНЕВА ДІАГНОСТИКА КАТАРАКТИ З ВИКОРИСТАННЯМ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Катаракта - це захворювання ока, яке супроводжується помутнінням кришталика, що призводить до зниження зору, найчастіше виникає у людей похилого віку. Люди, які мають катаракту бачать світ, мов через запітніле вікно, а це заважає нормально виконувати повсякденні справи. У країнах з низьким або середнім прибутком катаракта є причиною сліпоти у 60% випадків [1]. Це демонструє необхідність у швидкій, вчасній і доступній діагностиці для запобігання розвитку сліпоти.

Першою задачею було навчити модель комп'ютерного зору на основі згорткової нейромережі для класифікації ступеня розвитку катаракти (зріла, незріла, нормальне око) за знімками передньої частини ока на телефон. Для тренування і валідації даних було використано набір даних з ресурсу Roboflow [2] з 299 картинок. А також застосовано

[1] Учениця 10 класу КЗ «Харківський академічний ліцей №45 Харківської міської ради»

[2] Учитель інформатики КЗ «Харківський академічний ліцей №45 Харківської міської ради», спеціаліст вищої категорії, учитель-методист, заслужений учитель України.

[3] доктор медичних наук, лікар-офтальмолог, спеціаліст із захворювань сітківки ока, Медичний центр "Іхілов", Тель-Авів, Тель-Авівський університет

аугментацію для збільшення кількості даних та покращення точності моделі: випадковий поворот в межах 0.1, випадкове збільшення/зменшення масштабу зображення в межах 0.2, випадкове змінення ширини та висоти в межах 0.2, дзеркальне відображення по горизонталі. Для оптимізації моделі зроблено fine-tuning (донавчання верхніх шарів преднавченої моделі).

Оскільки перша модель працює на зображеннях, отриманих на телефон, її роль - первинне обстеження захворювання та розподіл (виявлення ступеню розвитку) у середовищах з різною якістю зйомки. Проте для клінічного прийняття рішень потрібна краща стандартизація зображень та градація за системою LOCS III і окремим класом IOL (око після операції на видалення катаракти). Для цього необхідні зображення, зроблені зі щілинною лампою.

У роботі було використано набір зображень очей [3] з ядерною катарактою, що складається з 115 папок-пацієнтів, з 1437 зображень. Дані були отримані за допомогою цифрової щілинної лампи Topcon DC-3 з роздільною здатністю 3264 x 2448 RGB; були сфокусовані за допомогою щілинної лампи Topcon SL-D7, з кутом щілини 45º та 135º для кожного ока, діафрагмою 6 мм x 0,5 мм та максимальною силою світла. Зображення не були розподілені згідно з їхнім класом, тому офтальмолог вручну опрацювала 19 папок-пацієнтів та розмітила класи катаракти кожному оку окремо для подальшого тренування моделі класифікації. Крім того, при роботі з даними, було виявлено зображення очей пацієнтів, які пройшли операцію з лікування катаракти, тому їх переміщено в окрему папку IOL (intraocular lens). Задля зручної роботи з датасетом його було перебудовано у таку структуру: папка з назвою класу / зображення назва якого складається з номера пацієнта, ока (правого/лівого), класу катаракти та початкового ім’я зображення. Через те, що в деяких класів зображень набагато більше, ніж у інших, модель під час навчання може навчатися, віддаючи перевагу більш поширеному класу, тому в кінці підготовки датасета до роботи його було збалансовано, тобто зважено (класи з меншою кількістю зображень мають більшу вагу, з більшою - менші ваги).

Для навчання моделі на розміченому вручну датасеті було використано архітектуру моделей EfficientNetB0. Для визначення найкращої моделі та її збереження застосовано callbacks (зупинки тренування моделі). Також ми порівняли ефективність поширених архітектур, що застосовуються в медицині: EfficientNetB0, DenseNet121, ResNet50, MobileNetV2 на однакових валідаційних даних. EfficientNetB0 та MobileNetV2 досягли точності ~0.97, ResNet50 ~0.95, DenseNet121 ~0.91. Різниця між 0.97 і 0.95 не була статистично значущою за парним тестом Мак-Немара [4] (p=0.206, що більше ніж 0.05) і за Bootstrap Confidence Interval-95% [5](попарні інтервали точності EfficientNetB0 та MobileNetV2, ResNet50, DenseNet121

перекриваються одне одним). Це свідчить, що перевага EfficientNetB0 над іншими архітектурами є незначущою в нашій вибірці. Для оцінки якості роботи моделей було виведено confusion matrix та classification report.

Щоб інтерпретувати модель, візуалізувати результати та зрозуміти на що модель “звертає увагу” при класифікації, застосовано Grad-CAM, яка позначає зображення кольорами в залежності від сфокусованності моделі на певній ділянці (червоний - більше фокус, синій - менший). Саме ця техніка візуалізації є раціональною для нашої задачі оскільки Grad-CAM безпосередньо узгоджений з архітектурою згорткової мережі, є обчислювально легким та відтворюваним.

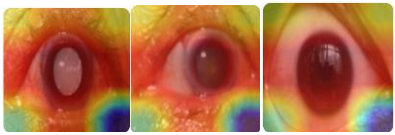


Рисунок 1 – Grad-CAM для незрілої, зрілої катаракти та нормального ока

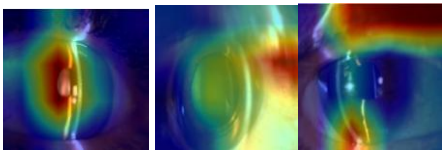


Рисунок 2 – Grad-CAM для класів NO2NC2, NO5NC5, NO1NC1

Судячи із зображень, зроблених на щілинну лампу та накладених на них Grad-CAM, можна зрозуміти, що модель іноді “фокусується” на неправильних ділянках через освітлення кришталика, зміщення картинки, масштаб фотографії, наявність сторонніх елементів ока. Тому виникає потреба обробки зображень перед запуском моделей. А саме, виділення кришталика ока та вирізання потрібної ділянки. Тому було вирішено зробити порівняння та аналіз попередньої обробки зображень. Для покращення фокусу моделі було досліджено два види попередньої обробки зображень очей:

1) застосування Hough Circles (методу виявлення кіл на зображенні, розширенна версія перетворення Хафа) для виділення зіниці ока та вирізання цієї ділянки із зображення.

2) тренування міні-нейромережі U-Net та U-Net++, яка виділяє з фотографії кришталик ока й обрізає картинку, залишаючи тільки його.

Спочатку Hough Circles та обрізання було застосовано на зображеннях, зроблених на телефон. Функція Hough Circles з бібліотеки OpenCV повертає масив з об’єктами формату (x-кордината центру кола, y-координата центру, радіус кола). Для обрізання картинки за

знайденими колами, знаходиться коло с найбільшим радіусом і вирізається відповідний прямокутник найближчий до цього кола. Виявилися непогані результати для незрілої та зрілої катаракти, але для нормальних (normal) очей, кіл на зображеннях не було знайдено й відповідно не виконано обрізання. Причиною цього є те, що на фотографіях з нормальними очами зіниця ока часто мала дуже схожий колір з оком, тому складно визначити чіткі кордони між ними.

Щоб розробити моделі сегментації кришталика, зроблено розмітку зображень вручну, використовуючи платформу Supervisely. Далі було натреновано модель машинного навчання на фотографіях, зроблених на телефон, з архітектурою U-Net (спочатку поступове зменшення зображення, а потім його "розгортка", збільшення). Для більш детальної оцінки додано метрики Dice coefficient та IoU. На деяких зображеннях контури кришталика ока не зовсім чіткі, тому алгоритм інтерпретує їх як темну частину. У майбутньому ця проблема може бути вирішена збільшенням кількості даних і, відповідно, збільшенням кількості "епох" (epoches, прохід алгоритму) при тренуванні моделі. Для тренування моделі сегментації на зображеннях, зроблених зі щілинною лампою було вирішено обрати архітектуру U-Net++ через різне освітлення та зсуви на фотографіях. Використання в цьому випадку U-net++, має значну перевагу над звичайним U-Net, адже U-Net++ використовує більш щільні зв'язки, має глибший контроль,і, відповідно, вищу швидкість роботи. Перед тренуванням U-Net++ моделі зображення було опрацьовано за допомогою функції CLAHE з бібліотеки OpenCV для покращення контрастності картинки. Крім того, ця архітектура показала гарні показники точності під час тренування моделі і валідації (> 0.85).

Потім моделі було інтегровано у двоступінчасту структуру діагностики з таким пайплайном, застосовуючи бібліотеку Python - Streamlit.

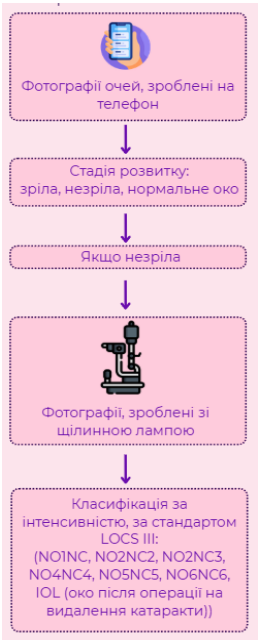


Рисунок 3 – Пайплайн діагностики

Висновки. Найкращі досягнуті метрики: точність першого етапу класифікації ~0.99 при обрізанні картинок за колами, виявленими методом Хафа; точність другого етапу класифікації ~0.97 при застосуванні архітектури EfficientNetB0 без попередньої обробки зображень; точність сегментації U-Net ~0.90 та U-Net++ ~0.87

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. *20 Statistics About Cataracts You Should Know (in 2025)*. (б. д.). London Cataract Centre - Private Cataract Surgery London | (5* Rated Treatment). https://www.londoncataractcentre.co.uk/blog/cataracts-statistics/

2. *Cataract v01 Computer Vision Dataset* [Набір даних]. (б. д.). https://universe.roboflow.com/cataract/cataract-v01

3. Cruz-Vega, I., & Morales, H. I. (2023). *Nuclear cataract database for biomedical and machine learning applications (Version 2)* [Набір даних]. Mendeley Data. https://doi.org/10.17632/6wv33nbcvv.2

4. Pembury Smith, M. Q. R., & Ruxton, G. D. (2020b). Effective use of the McNemar test. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, *74*(11). https://doi.org/10.1007/s00265-020-02916-y

5. Mokhtar, S. F., Md Yusof, Z., & Sapiri, H. (2023). Confidence Intervals by Bootstrapping Approach: A Significance Review. *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, *19*(1), 30–42. https://doi.org/10.11113/mjfas.v19n1.2660

УДК 004.9:006.354 Дорошенко Л.А.[1], Арзубов М.О.[2], Курганський А.Р.[3]

РЕАЛІЗАЦІЯ CAD-СИСТЕМИ З ПІДТРИМКОЮ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

VR дозволяє набагато простіше сприймати 3D-моделі, але сучасні CAD-системи або не мають VR-інтеграції, або вона є дорогим додатковим модулем до вже наявної системи. Метою цієї роботи є створення доступної навчальної CAD-системи, що поєднувала б інженерну точність та інтуїтивний VR. Створений прототип має відповідати вимогам VR щодо комфортного користування без наслідків для здоров'я.

Реалізацію прототипу розділено на 2 основних компоненти: логічне та віртуальне ядро.

Логічне ядро розроблено мовою програмування C++ через її швидкість та точність. Для реалізації геометричних обчислень використано бібліотеку CGAL (Computational Geometry Algorithms Library) [1]. Загалом структура логічного ядра поділяється на рівні:

- 1 рівень: перетворення та коригування геометричних структур. Наприклад, створення багатогранника за набором вершин та ребер.
- 2 рівень: геометричні операції на структурах, що створюються на першому рівні.
- 3 рівень: керування операціями. Цей рівень пов'язаний з віртуальним ядром, що дозволяє виконувати функції минулих рівнів.
- Додатковий рівень: експорт інформації до файлу.

Віртуальне ядро розроблено на рушії Godot Engine та мовою програмування GDScript. У таблиці 1 наведено можливості найбільш поширених рушіїв для створення ігор [2].

Таблиця 1 – Порівняння найпопулярніших рушіїв

Рушій	VR	Інтеграція C++	Точність	Відкритість
Unity	Так	Складна	Недостатня	Так
Unreal Engine	Так	Пряма	Недостатня	Ні
Godot Engine	Так	Як плагін	Недостатня	Частково

[1] Учень 10 класу КЗ «Харківський академічний ліцей №45 Харківської міської ради»

[2] Учитель інформатики КЗ «Харківський академічний ліцей №45 Харківської міської ради», спеціаліст вищої категорії, учитель-методист, заслужений учитель України.

[3] Учитель інформатики КЗ «Харківський академічний ліцей №45 Харківської міської ради», спеціаліст.

Для забезпечення додаткового VR-функціоналу використано плагін Godot XR Tools. Ядра з'єднано за допомогою динамічних бібліотек, бібліотеки godot-cpp, технологій SCons та GDExtension [3]. Структуру CAD-системи наведено на рисунку 1.

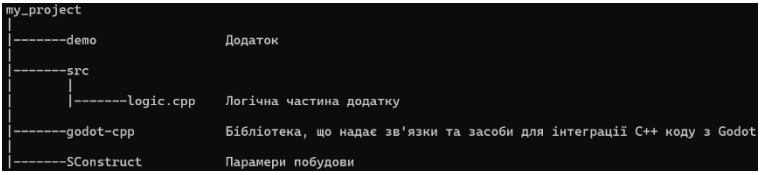


Рисунок 1 – Загальна структура додатку

На основі джерел 4-8 було проведено аналіз наявних CAD-систем, які підтримують технології віртуальної реальності (табл. 2).

Таблиця 2 – Опис можливостей популярних CAD-систем з підтримкою VR

Система	Аудиторія	VR	Точність CAD	Відкритість	Орієнтація
Mindesk	Архітектори, інженери	Так	Висока	Ні	Професійна
Siemens NS VR	Промисловість	Так	Висока	Ні	Професійна
Shapelab	Художники, 3D дизайнери	Так	Низька	Ні	Творча
Gravity Sketch	Дизайнери	Так	Середня	Так	Концептуальна
Open Brush	Художники	Так	Відсутня	Частково	Художня
Цей проєкт	Учні, студенти	Так	Висока	Так	Освітня

Функціонал додатку складають:

- Булеві операції: перетин, різниця (рис. 2), об'єднання.
- Операції на компонентах моделі: вершинах, гранях, ребрах.
- Вимірювання: об'ємів, площ (рис. 3), довжин.
- Експорт/імпорт OBJ.
- Створення примітивів (рис. 4)

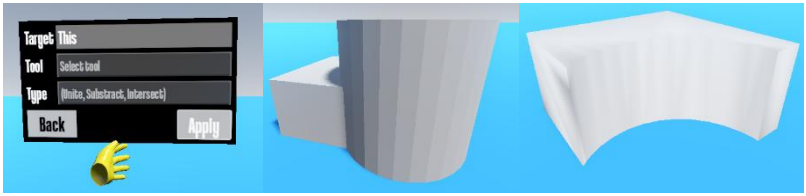


Рисунок 2 – Знаходження різниці фігур у розробленій CAD-системі



Рисунок 3 – Вимірювання площі у розробленій CAD-системі

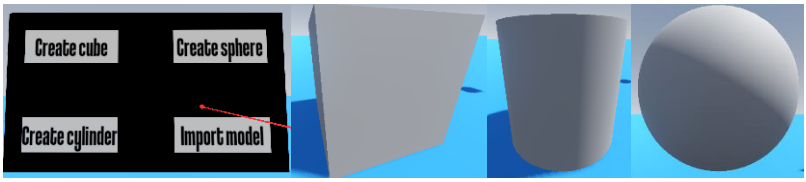


Рисунок 4 – Створення примітивів у розробленій CAD-системі

Тестування розробленого додатку демонструє його ефективність та широкі можливості до застосування (табл. 3).

Таблиця 3 – Результати тестування розробленої CAD-системи

Критерій	Результат
Середній FPS у VR	≈85-90 кадр/с
Похибка геометричних операцій	$\leq 10^{-6}$
Експорт/імпорт	OBJ
Сумісність пристроїв	HTC Vive, Oculus Quest 2, Valve Index
Сприйняття інтерфейсу	Зрозумілий, придатний для навчання

Висновки. Розроблений прототип демонструє, що можливо створити доступну навчальну CAD-систему з повною VR-підтримкою, яка зберігає інженерну точність. Програма є безкоштовною та має відкриту архітектуру, тому її легко масштабувати та використовувати в школах, гуртках 3D-моделювання чи університетах. Крім того, розділення віртуальної та логічної частини дозволяє легкі модифікації роботи у майбутніх дослідженнях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ
1. *The Computational Geometry Algorithms Library*. (2026, 7 березня). The Computational Geometry Algorithms Library. https://www.cgal.org/
2. *Godot Docs – 4.6 branch*. (2026, 7 березня). Godot Engine documentation. https://docs.godotengine.org/en/stable/
3. *GitHub - godotengine/godot-cpp: C++ bindings for the Godot script API*. (2026, 7 березня). GitHub. https://github.com/godotengine/godot-cpp
4. *Mindesk – Your real-time BIM and CAD platform*. (2026, 7 березня). Mindesk – Your real-time BIM and CAD platform. https://mindeskvr.com/
5. *NX Virtual Reality - NX Design*. (2026, 7 березня). NX Design. https://blogs.sw.siemens.com/nx-design/nx-virtual-reality/
6. *Home - Shapelab*. (2026, 7 березня). Shapelab. https://shapelabvr.com/
7. *Home - Gravity Sketch*. (2026, 7 березня). Gravity Sketch. https://gravitysketch.com/
8. *Open Brush*. (2026, 7 березня). Open Brush. https://openbrush.app/

УДК 004.056.57

Фесенко М.А.[1], Челак В.В.[2], Юрко В.В.[3]

МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ СУЧАСНОГО ШКІДЛИВОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Виявлення шкідливого програмного забезпечення ускладнюється використанням механізмів динамічної генерації машинного коду, зокрема JIT-компіляції. Тому було вирішено дослідити два зразки програм: один зі статичним виконуваним кодом, інший — із генерацією частини інструкцій під час виконання. Результати показали, що програма, яка генерує машинний код під час роботи, не виявляється сучасними динамічними та статичними інструментами аналізу програмного забезпечення.

По-перше, треба сформувати ознаки для пошуку в підозрілому виконавчому файлі, а саме ознаки наявності JIT-компіляції. Принцип роботи JIT-компіляторів полягає у тому, що виконавчий код буде згенеровано в рантаймі, записано в пам’ять і виконано. Запис до сегменту або можливість запису, а потім зміна його прав на можливість

[1] Учень 10 класу КЗ «Харківський академічний ліцей №45 Харківської міської ради»
[2] Учитель інформатики КЗ «Харківський академічний ліцей №45 Харківської міської ради», спеціаліст вищої категорії, PhD з комп’ютерної інженерії, доцент
[3] Учитель інформатики КЗ «Харківський академічний ліцей №45 Харківської міської ради», спеціаліст.

виконання або відразу виділення з можливістю писати і виконувати це і є нетиповою поведінкою для ПЗ. Також можливо подивитися на наявність символів та рядків, характерних для специфічних JIT-компіляторів.

Для виявлення цих ознак було використано системний виклик ptrace [1], який може, за виклику, з аргументом PTRACE_SYSCALL, зупиняти процес після кожного системного виклику, що дає можливість відстежувати поведінку програми під час виконання. Після зупинки процесу за допомогою ptrace можна отримати регістри через виклик з аргументом PTRACE_GETREGS і таким чином визначити, який саме системний виклик виконується та з якими параметрами. Це дозволяє фіксувати виклики mmap або mprotect з ознаками PROT_EXEC, що дозволяє дізнатися адреси ділянок пам'яті, в які записували дані, і після чого зробили їх виконувальними, що є основною ознакою генерації коду в рантаймі.

Для отримання бінарного файлу, що відповідає інструкціям програми з JIT-компіляцією, можна застосувати два підходи. Перший полягає в перехопленні моменту виклику функції компіляції (наприклад, clang::CompilerInvocation::CreateFromArgs при використанні LLVM [2]) та збереженні вихідного коду до його компіляції. Якщо код передається через стандартний ввід (stdin), його можна зчитати безпосередньо звідти. Якщо ж використовується файл, його необхідно знайти у файловій або віртуальній файловій системі. Отримані вихідні дані можна самостійно скомпілювати у виконуваний файл без використання JIT, що дозволяє провести подальший статичний аналіз.

Другий підхід передбачає перехоплення керування після генерації виконуваного коду JIT-компілятором. Для цього відстежуються інструкції call, аргумент яких вказує на адресу пам'яті, виділену через mmap із правами запису та виконання. У цей момент можна зчитати відповідну область пам'яті та сформувати окремий виконуваний файл за допомогою таких інструментів, як objcopy. Недоліком цього методу є складність його застосування у випадку використання нестандартних або власних реалізацій JIT-компіляторів. Для аналізу виконання програми можна використовувати режим PTRACE_SINGLESTEP, який зупиняє процес після виконання кожної інструкції. Поєднання PTRACE_GETREGS для отримання стану регістрів і PTRACE_PEEKTEXT для зчитування інструкцій за адресою rip дозволяє відстежувати послідовність виконання та момент генерації машинного коду.

Також важливо відключити рандомізацію адрес (ASLR), щоб можна було використовувати більше даних з попередніх аналізів файлу.

Отримання вихідного коду, що передається до JIT-компілятора, потребує аналізу викликів відповідних функцій у реалізації JIT. У

випадку LLVM аргументи компіляції передаються через структуру llvm::ArrayRef<const char*>. Використовуючи такі інструменти, як Ghidra (рис. 1), можна визначити регістр з адресою буфера з аргументами.



Рисунок 1 – Регістри, в яких передаються аргументи

Зчитавши область пам’яті, на яку вказує цей буфер, можна отримати список аргументів компілятора. Серед них зазвичай міститься шлях до файлу з вихідним кодом або маркер стандартного вводу («-»). Файл може розташовуватися як у звичайній файловій системі, так і у віртуальній файловій системі середовища виконання. Додатково у регістрах може міститися адреса рядка з ім’ям символу, який буде створюватися або використовуватися під час компіляції (рис. 2).

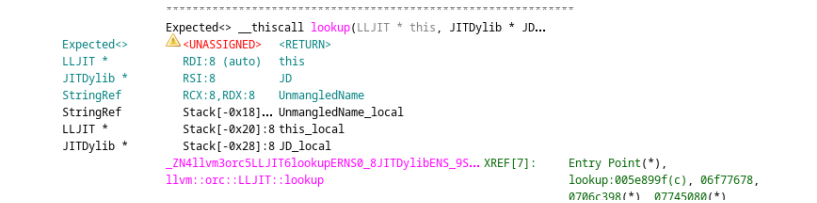


Рисунок 2 – Регістри, в яких зберігається адреса назви символа

Аналіз цих даних дозволяє визначити вихідні файли та символи, що будуть передані до JIT-компілятора. Для перехоплення виконання у потрібній точці можна використати два підходи: покрокове виконання програми за допомогою PTRACE_SINGLESTEP або встановлення програмної точки зупинки. У другому випадку на початку потрібної функції тимчасово записується опкод 0xCC, що відповідає інструкції int3 і викликає сигнал SIGTRAP. Адресу функції визначають як imagebase + sym.st_value, де imagebase — початкова адреса мапінгу виконуваного файлу у /proc/[pid]/maps. Після цього інструкція за відповідною адресою замінюється через PTRACE_POKETEXT, попередньо зберігши оригінальні байти для подальшого відновлення виконання. Маючи вихідний код та ім’я символу, який буде викликатися, можна відтворити поведінку програми, скомпілювавши цей код за допомогою clang, що використовується у реалізації JIT-компіляції LLVM. Такий підхід дозволяє отримати вихідний код до його

перетворення у машинні інструкції та провести статичний аналіз без необхідності роботи з динамічно згенерованим кодом.

Висновки. У ході роботи було проаналізовано і розроблено методи виявлення сучасного шкідливого програмного забезпечення. Знайдено недоліки в існуючих рішеннях аналізу шкідливого ПЗ та розроблено власний метод виявлення шкідливого програмного забезпечення, спрямований на виявлення ШПЗ, яке користується компіляцією під час виконання для приховування свого шкідливого тіла. Розроблений код може бути використаний як основа для майбутніх інструментів виявлення ШПЗ, або також інструмент може використовуватися як самостійний інструмент аналізу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. *ptrace(2) - Linux manual page*. (б. д.). Michael Kerrisk - man7.org. https://man7.org/linux/man-pages/man2/ptrace.2.html

2. *The LLVM Compiler Infrastructure Project. (б. д.). The LLVM Compiler Infrastructure Project. https://llvm.org/*

УДК 004.056.5

Демченко О.Ф.,[1] Літвінова О.В.[2], Євсеєв С.П.[3]

ОЦІНКА КРИПТОСТІЙКОСТІ МЕХАНІЗМІВ ШИФРУВАННЯ НА ОСНОВІ ЕНТРОПІЙНОГО МЕТОДУ

Вступ. Розвиток сучасних технологій, у першу чергу квантових комп'ютерів, вимагає більш жорстких вимог до криптосистем у постквантовий криптоперіод. Поява повномасштабного квантового комп'ютера ставить під сумнів можливість забезпечити послуги безпеки методами симетричної та несиметричної криптографії. Злам симетричних криптосистем спроможний за рахунок використання квантових ресурсів на основі алгоритму Гровера, а несиметричних криптосистем за рахунок алгоритму Шора. У таких умовах швидка оцінка стійкості запропонованих програмних (програмно-апаратних) застосунків на основі симетричної та несиметричної криптографії стає актуальним питанням. Крім цього, порівняльний аналіз різних реалізацій криптоалгоритмів різними виробниками також можливий за рахунок запропонованого рішення на основі ентропійного методу оцінки випадковості криптограми.

Мета роботи. Дослідження методів оцінки криптостійкості

[1] учень 10-А класу комунального закладу "Харківський ліцей № 124 Харківської міської ради"

[2] учитель інформатики комунального закладу "Харківський ліцей № 124 Харківської міської ради", вища категорія, старший учитель

[3] д.т.н., проф., завідувач кафедри кібербезпеки НТУ «ХПІ»

сучасних алгоритмів шифрування шляхом обчислення інформаційної ентропії та порівняльний аналіз їх ефективності при обробці різних типів даних.

Методи та результати дослідження. В основі дослідження лежить математичний апарат теорії інформації К. Шеннона. Для оцінки стійкості використовується формула обчислення інформаційної ентропії:

$$H(X) = -sum_{i=1}^{n} p(x_i) \log_2 p(x_i)$$

де $p(x_i)$ — ймовірність появи і-го символу в алфавіті повідомлення. Для ідеального шифру значення ентропії має наближатися до максимуму, що свідчить про рівномірний розподіл символів у криптограмі. На рис. 1 наведений алгоритм розгляду ентропійного методу оцінки стійкості симетричних та несиметричних криптосистем. Відомо, що максимально можливий криптографічний захист дає так званий "Ідеальний шифр" за Шенноном, який у результаті шифрування дає випадкове число [1].

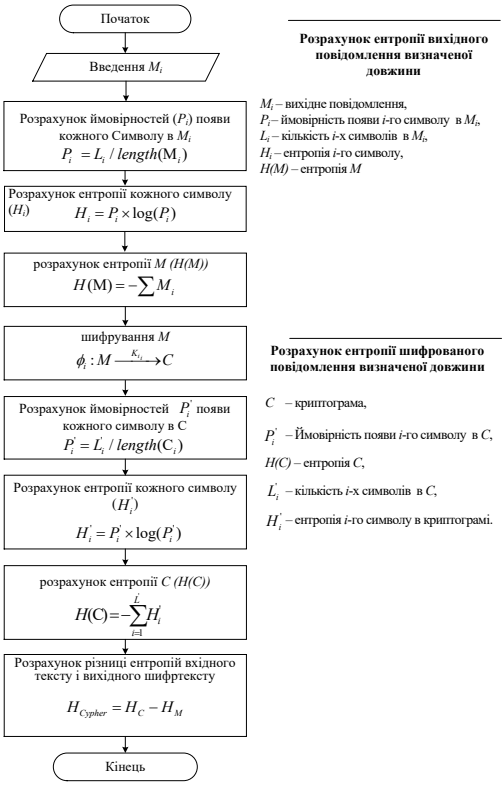


Рисунок 1. Алгоритм тестування криптосистеми на стійкість на основі ентропійного методу оцінки випадковості

Такий файл характеризується максимальною ентропією, яка для бінарного випадку дорівнює одиниці. Вважатимемо, що шифрування за допомогою такого шифру забезпечує максимальний рівень криптографічного захисту, прийнятий за 1, тобто ймовірність захисту також дорівнює одиниці. Очевидно, що неідеальні шифри не забезпечують такого рівня надійності. На рис. 2 наведено результати дослідження усередненої ентропії криптограм різних БСШ для осмисленого відкритого тексту довжиною $M = 10^8$біт з інтервалом $N = 5 \times 10^6$біт

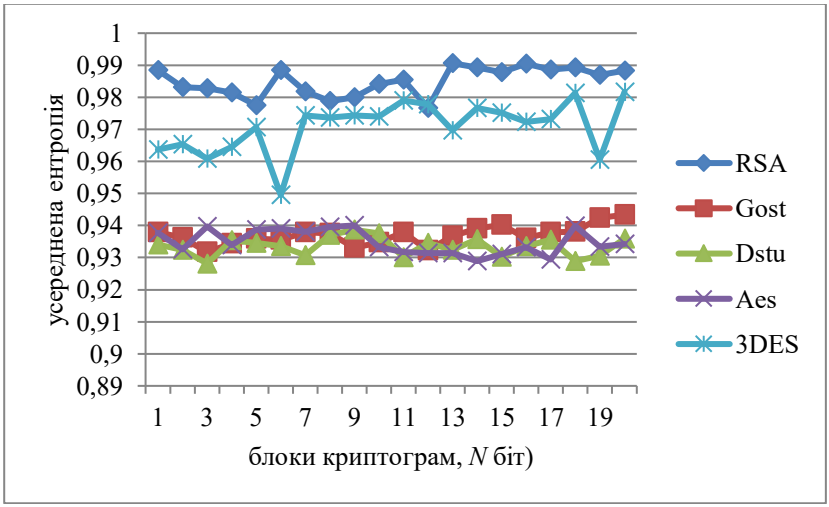


Рисунок 2. Результати досліджень усередненої ентропії блоків криптограм

Аналіз рис. 2 фактично підтверджує доцільність застосування експрес-методу для вибору програмного забезпечення механізмів безпеки на основі криптоалгоритмів. Отримані результати свідчать, що простий експрес-метод, заснований на ентропійному оцінюванні випадковості криптограми, дозволяє оперативно визначати якість використовуваних шифрів без залучення експертів і значних економічних, обчислювальних та трудових ресурсів. [5]

Висновки. Проведене дослідження підтвердило, що ентропійний метод є ефективним інструментом для кількісної оцінки захищеності інформаційних систем. Запропоновані модифікації алгоритмів дозволяють підвищити криптостійкість до рівня, при якому статистичні методи дешифрування стають економічно та технічно недоцільними. Подальші дослідження будуть спрямовані на оптимізацію швидкодії ентропійних алгоритмів для роботи в системах реального часу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ
1. Yevseiev, S., Ponomarenko, V., Laptiev, O., & Milov, O. (Eds.). (2021). *Synergy of building cybersecurity systems*. PC TECHNOLOGY CENTER.
2. Stallings, W. (2017). *Cryptography and network security: Principles and practice* (7th ed.). Pearson. https://www.pearsonhighered.com/program/Stallings-Cryptography-and-Network-Security-Principles-and-Practice-7th-Edition/PGM334401.htm
3. Python Software Foundation. (n.d.). *Secrets — Generate secure random numbers for managing secrets*. https://docs.python.org/3/library/secrets.html
4. Schneier, B. (2015). *Applied cryptography: Protocols, algorithms, and source code in C*. John Wiley & Sons.
5. Євсеєв, С. П., Король, О. Г., Корольов, Р. В., & Піх, Ю. Р. (2018). Статистичний метод оцінки стійкості на основі ентропійного методу. Інформаційна безпека, (3), 5–12. http://repository.hneu.edu.ua/bitstream/123456789/20201/1/Інформаційна%20безпека%202018%20(3).pdf

УДК 004.9

Палєєв М.А.[1], Палєєва К.М. [2]

РОЛЬ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПРОФЕСІЙНОМУ ВИБОРІ В ТЕХНІЧНІЙ СФЕРІ (НА ПРИКЛАДІ НАФТОГАЗОВОЇ ГАЛУЗІ)

На сьогодні у молоді Україні серед майбутніх професій стабільно популярними залишаються гуманітарні спеціальності, такі як менеджмент, філологія, психологія, право, маркетинг тощо. У той саме час більшість інженерних спеціальностей, зокрема в галузі енергетики, механіки, будівництва та ін., залишаються поза увагою абітурієнтів. Хоча держава економічно і законодавчо заохочує молодь до вступу на критично важливі напрямки (додаткові бали при вступі, нижча вартість контракту, вищі стипендії, тощо), однак популярність цих галузей не в останню чергу залежить від методів проведення профорієнтації та презентації спеціальностей майбутнім абітурієнтам, наприклад, шляхом залучення сучасних технологій [1]. У даному дослідженні на прикладі нафтогазової галузі розглянуто роль цифрових технологій у професійному виборі молоді в технічній сфері.

Нафтогазова галузь є дуже важливою для економіки нашої країни, оскільки вона забезпечує енергоресурсами промислові підприємства і населення, а також є одним з основних платників податків та інвесторів в економіку країни. Однак, не дивлячись на доволі високу заробітну

[1] Учень Харківської гімназії І-ІІІ ступеня № 77
[2] Старший викладач кафедри НІіТ, ХНУМГ ім. О. М. Бекетова

платню в галузі, існує низка упереджень, які «відштовхують» абітурієнтів. Серед основних з них можна виділити:

- майже відсутність в широкому доступі або «поверхневість» інформації щодо технологій, методів та напрямків діяльності галузі, що робить її «нудною» та «не модною» для молоді;
- стереотип щодо важких умов праці, а також небезпека об'єктів нафтовидобутку в умовах війни; насправді великий відсоток роботи нафтогазової галузі на сьогоднішній день пов'язаний з проєктуванням та моделюванням процесів, яке виконується на комп'ютері в умовах офісу та не пов'язане з роботою «в полі»;
- популярність серед молоді «зеленого тренду», а, отже, сприйняття нафтогазової галузі як «шкідливої» та «неекологічної»; насправді ж компанії нафтогазового комплексу всіляко підтримують розвиток «зеленої енергетики», приймають активну участь в розробці та впровадженні різноманітних екологічних програм, в тому числі із залученням учнівської та студентської молоді [2].

Підвищенню інформованості та популяризації нафтогазової галузі серед абітурієнтів може сприяти впровадження наступних заходів:

1. Застосування SMM-технологій (Social Media Marketing) для просування та популяризація контенту, пов'язаного з гірництвом та нафтогазовими технологіями через соціальні мережі та мессенджери (Viber, WhatsApp, YouTube, TikTok та ін.), наприклад, демонстрація «backstage» роботи інженерів нафтогазової галузі, ролики зі студентського життя та професійної підготовки студентів спеціальності, візуальні експерименти, цікаві факти, онлайн-курси, стрими з молодими фахівцями, тощо.

2. Впровадження професійних тем в шкільну програму за допомогою цифрових інструментів, наприклад: моделювання процесів руху нафти в трубопроводах, визначення тиску в свердловині, за допомогою програм типу Excel, MatLab тощо (фізика та математика); віртуальні досліди, наприклад з перегонки нафти або синтезу полімерів (хімія); аналіз супутникових знімків для моніторингу екологічного стану територій нафтогазовидобутку за допомогою застосунку Google Earth Engine (географія); розробка цифрових застосунків, що моделюють роботу нафтогазових об'єктів (інформатика), тощо.

3. Ігри та технології імерсивності (VR/AR): розробка віртуальних ігор – симуляторів процесів, що відбуваються в процесі функціонування нафтогазової галузі; організації віртуальних квестів та турів на реальні об'єкти нафтогазової галузі, наприклад родовища нафти та газу; елементи доповненої реальності на рекламних плакатах та брошурах.

4. Акцентування на концепції «Digital Petroleum Enginerin»: на усіх етапах профорієнтації слід робити акцент на світових тенденціях впровадження цифрового нафтогазового інжинірингу, тобто поєднання класичного видобування вуглеводнів з технологіями обробки даних,

штучного інтелекту та автоматизації. Також доцільно знайомити молодь з прикладами успішного застосування цих технологій в роботі нафтогазової галузі (як в Україні, так і у світі): «розумні свердловини», «цифрові двійники» родовищ нафти і газу, застосування ГІС-технологій.

Висновки. Як показано на прикладі нафтогазової галузі, застосування цифрових технологій у професійному виборі в технічній сфері дозволить підвищить інформованість молоді щодо галузі, зняти наявні «побоювання» щодо умов праці та сприятиме підвищенню залучення абітурієнтів на спеціальності технічного спрямування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Vstup.osvita.ua. (10.03.2026). https://vstup.osvita.ua/.
2. Naftogaz of Ukraine. (10.03.2026). https://www.naftogaz.com/

Наукове видання

Матеріали III (IX) Міжнародної інтернет-конференції
здобувачів вищої освіти і молодих учених
«Інформаційні технології: теорія і практика»

2026 р.

Відповідальний за випуск *Новожилова М. В.*

Технічні редактори: *Братерська Н. М., Черкасова В. В.*

Підп. до друку 24.04.2026. Формат 60×84/16
Ум.друк.арк. 42,2

Підготовлено до друку
в Харківському національному університеті
міського господарства імені О. М. Бекетова
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: ДК № 5328 від 11.04.2017

Надруковано в типографії видавництва «Свідлер А.Л.»
49041, м. Дніпро, а/с 2493, тел./факс +38 (067) 635-78-83
http://www.garant-sv.com.ua