

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет комп'ютерних наук і технологій

(повне найменування факультету)

кафедра «Системний аналіз та обчислювальна математика»

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ НА ЗАКЛАДИ ДОШКІЛЬНОЇ ОСВІТИ
В УМОВАХ ДЕМОГРАФІЧНОЇ КРИЗИ

(назва теми)

Виконав(ла): студент(ка) 2 курсу,
групи КНТ-814м

Спеціальності 124 - Системний аналіз
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Інтелектуальні технології та прийняття рішень в
складних системах

СІЗОВА А.М.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник БАКУРОВА А.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент ОЧЕРЕТІН Д.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Комп'ютерних наук та технологій

Кафедра «Системний аналіз та обчислювальна математика»

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 124 Системний аналіз

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Інтелектуальні технології та прийняття рішень в складних системах

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТЕРЕЩЕНКО Е.В.
 «10» Листопада 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Сізової Анни Миколаївни

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Прогнозування попиту на заклади дошкільної освіти в умовах демографічної кризи

керівник проєкту (роботи) Професор, д.е.н. Бакурова А.В.,
 (науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затвердені наказом закладу вищої освіти від « 10 » 11 2025 року №506

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Розроблено інтегровану методологію прогнозування попиту на заклади дошкільної освіти в умовах демографічної кризи на основі аналізу демографічних часових рядів та якісних факторів. Реалізовано веб-інструмент системи підтримки прийняття рішень (ВІСППР).

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз демографічної ситуації та теоретико-аналітичних підходів до управління мережею ЗДО в умовах демографічних змін. 2. Аналіз часових рядів чисельності дітей дошкільного віку і побудова прогнозних моделей з оцінкою їх точності. 3. Розробка нечіткої моделі підтримки управлінських рішень на основі логіки Мамдані та формування сценаріїв оптимізації мережі ЗДО. 4. Проєктування та реалізація веб-інструменту системи підтримки прийняття рішень з інтерактивною візуалізацією прогнозів і рекомендацій для органів місцевого самоврядування.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів) 15 слайдів презентації

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	Професор, д.е.н. Бакурова А.В.	03.11.25	05.12.25
2	Професор, д.е.н. Бакурова А.В.	10.11.25	05.12.25
3	Професор, д.е.н. Бакурова А.В.	10.11.25	05.12.25
Нормоконтроль	Доцент Широкоград Д. В.	10.11.25	12.12.25

7. Дата видачі завдання «10» Листопада 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Аналіз демографічної ситуації та факторів формування попиту на дошкільну освіту	1 тиждень	Аналіз предметної області
2	Формування та підготовка статистичних часових рядів чисельності дітей дошкільного віку	1 тиждень	Підготовлені статистичні дані
3	Діагностика часового ряду (аналіз тренду, автокореляції, тест Дікі-Фуллера)	2 тиждень	Результати діагностики
4	Побудова прогнозних моделей ARIMA (GRETЛ) та Facebook Prophet	2 тиждень	Прогнозні моделі
5	Порівняльний аналіз точності прогнозних моделей та вибір оптимальної методики	3 тиждень	MAE, RMSE, MAPE
6	Розробка нечіткої моделі підтримки управлінських рішень (метод Мамдані)	4 тиждень	Нечітка модель
7	Формування алгоритму управлінських сценаріїв оптимізації мережі ЗДО	5 тиждень	Управлінські сценарії
	Реалізація веб-інструменту системи підтримки прийняття рішень (ВІСППР) та підготовка презентації	6 тиждень	Веб-інструмент, слайди
8	Розробка слайдів презентації	7 тиждень	Слайди презентації
9	Захист випускної роботи	8 тиждень	

Студент(ка)

_____ СІЗОВА А.М.
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

_____ БАКУРОВА А.В.
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Дипломний проект: 95 стор., 27 рис., 16 табл., 37 джерел.

У дипломній роботі проаналізовано теоретико-аналітичні основи управління мережею закладів дошкільної освіти (ЗДО) в умовах демографічної кризи. Проаналізовано демографічну ситуацію в Україні та Запорізькій області, яка характеризується стійким скороченням чисельності дітей дошкільного віку та посиленням територіальної нерівномірності навантаження на мережу ЗДО.

Проведено огляд стратегічних підходів до планування та оптимізації мережі ЗДО, включаючи аналітичний (демографічний), просторово-територіальний, економічний та інтелектуально-аналітичний підходи. Визначено ключові фактори, що формують попит на послуги дошкільної освіти.

Для прогнозування чисельності дітей віком 0–6 років на середньострокову перспективу (2023–2029 рр.) було застосовано комплекс методів: лінійна регресія, класична економетрична модель ARIMA(3,0), реалізована в середовищі GRETЛ та модель глибинного навчання Facebook Prophet (для прогнозування довгострокового тренду).

Проведено порівняльний аналіз моделей за критеріями точності MAE, RMSE та MAPE. Встановлено, що модель ARIMA забезпечила найвищу точність опису історичних даних, що підтверджує її адекватність для короткострокового прогнозування.

Також розроблено нечітку модель підтримки управлінських рішень (ІСППР), реалізовану в середовищі MATLAB з використанням методу Mamdani. Ця модель оцінює інтегральний «Рівень впливу» якісних факторів (репутація, матеріальна база, кадрове забезпечення та інші) на формування попиту.

На основі поєднання кількісних прогнозів (ARIMA) та якісних факторних оцінок (Fuzzy Logic) розроблено алгоритм формування трьох управлінських сценаріїв оптимізації мережі ЗДО (оптимальний, стандартний, критичний).

Практична частина роботи включає розробку веб-інструменту системи підтримки прийняття рішень (ВІСППР) з використанням сучасного стеку технологій (Python, React/Next.js). Інструмент забезпечує інтерактивну візуалізацію прогнозних трендів, сценарне зонування територій та автоматизоване формування управлінських рекомендацій.

Ключові слова: ПРОГНОЗУВАННЯ, ДЕМОГРАФІЯ, ДОШКІЛЬНА ОСВІТА, ARIMA, PROPHET, GRETЛ, НЕЧІТКА ЛОГІКА, ВІСППР.

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ	2
РЕФЕРАТ	4
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИКО-АНАЛІТИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ МЕРЕЖЕЮ ЗАКЛАДІВ ДОШКІЛЬНОЇ ОСВІТИ	12
1.1 Демографічна ситуація в Україні та її вплив на сферу дошкільної освіти	12
1.2 Огляд підходів до планування та оптимізації мережі ЗДО	13
1.3 Аналіз факторів, що визначають попит на дошкільну освіту (на прикладі Запорізькій обл.)	15
1.4 Постановка задачі прогнозування та підтримки управлінських рішень	18
1.5 Висновки до розділу 1	19
РОЗДІЛ 2 ОЦІНКА ЧИСЕЛЬНОСТІ ДІТЕЙ ДОШКІЛЬНОГО ВІКУ ЯК ОСНОВА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ НА ЗДО	20
2.1 Характеристика та підготовка статистичних даних	20
2.2 Аналіз часових рядів – лінійна регресія	23
2.3 Побудова моделі ARIMA.....	25
2.4 Побудова моделі Facebook Prophet	33
2.5 Порівняння моделей за похибками MAE, RMSE, MAPE	39
2.6 Висновки до розділу 2	48
РОЗДІЛ 3 ПОБУДОВА НЕЧІТКОЇ МОДЕЛІ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB ...	49
3.1 Постановка задачі та вибір змінних	49
3.2 Побудова нечіткої моделі у Fuzzy Logic Toolbox.....	51
3.3 Аналіз результатів.....	57
3.4 Висновки до розділу 3	60

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ТА ФОРМУВАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ	61
4.1 Концепція та архітектура ВІСППР	61
4.2 Алгоритм формування управлінських сценаріїв оптимізації мережі ЗДО	67
4.3 Візуалізація прогнозів та демонстрація роботи ВІСППР	71
4.4 Висновки по розділу 4	74
РОЗДІЛ 5 РЕАЛІЗАЦІЯ ВЕБ-ІНСТРУМЕНТУ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ.....	75
5.1 Середовище розробки та використані програмні засоби	75
5.2 Структура програмного проекту веб-інструменту	76
5.3 Реалізація інтерфейсних компонентів	79
5.4 Висновки по розділу 5	86
ВИСНОВКИ	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	91
ДОДАТОК А. Код моделі FACEBOOK PROPNET	95

ВСТУП

Ефективно організована дошкільна освіта (ДО) сприяє зміцненню людського потенціалу громади та створює основу для сталого соціально-економічного розвитку регіону і країни в цілому. Заклади дошкільної освіти (ЗДО) забезпечують базовий рівень соціалізації, розвитку пізнавальних навичок та підготовку дітей до подальшого навчання в школі. Проте функціонування мережі ЗДО значною мірою залежить від демографічної ситуації.

В Україні демографічні процеси в останні десятиліття характеризуються стійким скороченням народжуваності, старінням населення та зростанням міграційних втрат. Ця криза особливо загострилася після 2014 року і в умовах повномасштабної військової агресії з 2022 року, що призвело до критичного зменшення чисельності дітей дошкільного віку.

Для органів місцевого самоврядування (ОМС) та управлінь освіти актуальними стають питання обґрунтованого та сценарного планування на основі аналізу даних. Зокрема, необхідно вирішити такі завдання:

Для органів місцевого самоврядування актуальними стають питання:

- оцінки наявного та перспективного кількісного попиту на послуги дошкільної освіти.
- моделювання впливу якісних факторів (репутація, матеріальна база, кадрове забезпечення) на вибір батьків.
- розробки рекомендацій щодо раціонального планування мережі ЗДО (оптимізація кількості груп, злиття чи перепрофілювання закладів).

Традиційні статистичні методи прогнозування нерідко виявляються недостатніми для відображення багатофакторних та нелінійних демографічних процесів. У зв'язку з цим зростає значущість використання інтегрованих інтелектуальних систем, здатних поєднувати точні економетричні моделі з оцінкою якісних (лінгвістичних) змінних.

Об'єкт дослідження.

Система дошкільної освіти в умовах демографічних змін.

Предмет дослідження

Методи прогнозування попиту на послуги дошкільної освіти та моделі підтримки управлінських рішень на рівні області.

Мета роботи

Розробити методологію прогнозування попиту на дошкільну освіту на основі аналізу демографічних часових рядів та побудувати систему підтримки прийняття рішень щодо оптимізації мережі закладів дошкільної освіти.

Завдання дослідження

1. Проаналізувати демографічні тенденції та їх вплив на функціонування мережі ЗДО, визначити ключові фактори попиту.

2. Сформувати та підготувати часовий ряд кількості дітей віком 0–6 років для території дослідження.

3. Побудувати та оцінити прогнози моделі лінійна регресія, ARIMA та Prophet для середньострокового прогнозування.

4. Виконати порівняльний аналіз точності моделей за метриками MAE, RMSE, MAPE та обрати найбільш адекватну модель для прогнозу.

5. Розробити нечітку модель (на базі логіки Мамдані) для оцінки інтегрального впливу якісних факторів на попит.

6. Сформувати алгоритм генерації управлінських сценаріїв (оптимальний, стандартний, критичний) на основі інтеграції кількісних та якісних прогнозів.

7. Реалізувати веб-інструмент системи підтримки рішень (ВІСППР) для ОМС.

Методи та інструменти дослідження:

- методи статистичного моделювання та економетрики (ARIMA, Prophet, реалізовані в GRETЛ та Python);

- методи нечіткої логіки (Mamdani) для моделювання якісних змінних (реалізовано в MATLAB);

- програмні засоби: Python (pandas, statsmodels, Prophet), MATLAB, технологічний стек для ВІСППР (Python + React/Next.js).

Наукова новизна

Запропоновано інтегровану методику прогнозування попиту на дошкільну освіту, що поєднує класичні статистичні моделі та глибокі нейронні мережі, а також впроваджено ВІСППР для ухвалення управлінських рішень щодо мережі ЗДО.

Практичне значення

Результати роботи можуть бути використані органами місцевого самоврядування та департаментами освіти для планування мережі закладів дошкільної освіти і оптимізації ресурсів. Територіальні громади можуть застосовувати їх для формування освітньої політики на основі аналізу даних.

Запропонований підхід може бути використаний як основа для розробки систем прогнозування в інших соціально-демографічних сферах.

Постановка задачі.

Метою дипломної роботи є розроблення інтегрованої методології прогнозування попиту на дошкільну освіту, що поєднує аналіз демографічних часових рядів та оцінку якісних факторів, а також побудова веб-інструменту системи підтримки управлінських рішень (ВІСППР) щодо оптимізації мережі закладів дошкільної освіти (ЗДО) в умовах демографічних змін.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати сучасну демографічну ситуацію в Україні та Запорізькій області, визначити ключові фактори, що впливають на чисельність дітей дошкільного віку та попит на ЗДО.

2. Сформулювати та підготувати часові ряди статистичних даних.

3. Провести діагностику часового ряду (аналіз тренду, автокореляції та стаціонарності за тестом Дікі-Фуллера).

4. Побудувати прогнозні моделі на основі ARIMA (з використанням GRETL) та Facebook Prophet для прогнозування чисельності дітей.

5. Здійснити порівняння моделей за метриками точності (MAE, RMSE, MAPE) та обґрунтувати вибір найбільш ефективної методики прогнозування.

6. Розробити нечітку модель (методом Мамдані) для врахування якісних та поведінкових факторів і оцінки їх інтегрального впливу на попит.

7. На основі кількісних прогнозів та результатів нечіткої моделі розробити алгоритм формування управлінських сценаріїв (оптимальний, стандартний, критичний) для оптимізації мережі ЗДО.

8. Створити веб-інструмент системи підтримки прийняття рішень (ВІСППР) у вигляді веб-застосунку з візуалізацією прогнозів, сценарного зонування територій та рекомендацій.

У ході дослідження передбачається оцінити точність, інтерпретованість і практичну застосовність обраних методів прогнозування та підтвердити можливість використання отриманих результатів у діяльності органів управління освітою.

РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИКО-АНАЛІТИЧНІ ОСНОВИ УПРАВЛІННЯ МЕРЕЖЕЮ ЗАКЛАДІВ ДОШКІЛЬНОЇ ОСВІТИ

1.1 Демографічна ситуація в Україні та її вплив на сферу дошкільної освіти

Демографічна ситуація в Україні протягом останніх трьох десятиліть характеризується стійким скороченням чисельності населення, зниженням рівня народжуваності, підвищенням смертності та посиленням міграційних потоків. Починаючи з 1990-х років, країна втратила значну частину населення внаслідок поєднання економічних, соціальних та політичних факторів. Особливо негативний вплив на демографічну структуру мали економічні кризи 1990-х та 2008 року, а також військові події з 2014 року та повномасштабний військовий стан з 2022 року.

Однією з ключових тенденцій є зменшення чисельності дітей віком 0 – 6 років, що визначає попит на дошкільну освіту. Якщо на початку 1990-х років частка дітей дошкільного віку у структурі населення була відносно стабільною, то у подальші роки її рівень поступово знижувався. Це призвело до зменшення об'єктивної потреби у кількості місць у закладах дошкільної освіти, але водночас створило ризики нерівномірного навантаження на ЗДО у різних регіонах і громадах [1].

Ситуація в Запорізькій області загалом відповідає загальнонаціональним трендам, хоча має і свої особливості. За період 1990 – 2022 років чисельність дітей віком 0–14 років в області зменшилася майже вдвічі. Це свідчить про тривале зниження народжуваності та міграційний відтік молодих сімей, що формує стійку тенденцію зменшення потенційного контингенту ЗДО [2].

Особливістю регіону є також структурна нерівномірність розподілу дітей між територіальними громадами: у місті Запоріжжя спостерігається відносно вища щільність дитячого населення, тоді як у значній частині сільських територій області відбувається швидке скорочення чисельності дітей та часткове

недовантаження ЗДО. Це вимагає диференційованого підходу до планування мережі закладів дошкільної освіти – від розширення або модернізації у великих громадах до оптимізації та перепрофілювання у малих.

Таким чином, демографічні зміни безпосередньо впливають на структуру та масштаби мережі ЗДО, що робить задачі прогнозування чисельності дітей та формування сценаріїв розвитку мережі критично важливими для управління освітою як на рівні територіальних громад так і на рівні областей.

1.2 Огляд підходів до планування та оптимізації мережі ЗДО

У науковій та практичній літературі виділяється декілька стратегічних підходів до оптимізації мережі ЗДО, які можуть застосовуватися як окремо, так і у комплексі. Такі як: аналітичний, просторово-територіальний, економічний, управлінсько-організаційний та інтелектуально-аналітичний підходи до планування мережі ЗДО [3; 4].

1. Аналітичний (демографічний) підхід

Цей підхід ґрунтується на оцінці:

- динаміки народжуваності,
- чисельності дітей віком 0 – 6 років;
- рівня міграційних переміщень;
- територіального розподілу дитячого населення.

Його основна мета – визначення прогнозного обсягу попиту на дошкільні послуги. Результатом такого підходу є розрахунок потреби у кількості місць у ЗДО на перспективу від 3 до 10 років. Але є і недоліки – це те, що класичні (статистичні) методи цього підходу часто не враховують нелінійність демографічних процесів [5].

У зв'язку з цим сучасні дослідження все частіше використовують моделі машинного навчання.

2. Просторово-територіальний підхід

Просторово-територіальний підхід ґрунтується на оцінці доступності закладів дошкільної освіти з урахуванням відстані, щільності населення та транспортних маршрутів, що відображено в офіційних методичних документах [6]. У міжнародній практиці такий підхід розглядається як баланс між ефективністю мережі та територіальною доступністю [7].

Він включає аналіз:

- радіусів доступності ЗДО;
- тривалості маршруту «дім → ЗДО»;
- щільності забудови та концентрації населення.

На практиці застосовуються ГІС-інструменти (QGIS, ArcGIS), що дозволяють визначати райони перенавантаження та дефіциту.

Цей підхід особливо важливий для великих міст, таких як м. Запоріжжя, де різні райони мають суттєво відмінний демографічний профіль.

3. Економічний підхід

Економічний підхід до планування мережі ЗДО базується на аналізі витрат на утримання одного місця, прогнозуванні бюджетного навантаження та оцінці ефективності розподілу ресурсів [8, 9]. У міжнародній дослідницькій практиці цей підхід розглядається як частина економіки освіти відповідно до робіт [10]. Для побудови економетричних моделей доцільно застосовувати інструменти аналізу даних, зокрема GRETЛ [11].

Цей підхід спрямований на оцінку:

- вартості утримання одного місця у ЗДО;
- витрат на персонал, харчування, енергоносії;
- фінансових можливостей громади.

Його мета забезпечити стійкість фінансування мережі ЗДО. Для аналізу використовуються методи багатофакторної регресії, економетричного моделювання та GRETЛ / Python-аналітики.

4. Управлінсько-організаційний підхід

Управлінсько-організаційний підхід передбачає прийняття рішень щодо:

- відкриття нових груп;
- перепрофілювання закладів;
- об'єднання призупинення діяльності малокомплектних ЗДО;
- розвитку альтернативних форм (приватні садки, інклюзивні групи, сімейні центри).

Підхід розробляється відповідно до чинних нормативно-правових актів [6, 12, 13]. Сучасна практика ОМС (особливо в ОТГ) демонструє перехід до моделей гнучкої організації мережі залежно від прогнозованої чисельності дітей.

У практичній площині цей підхід реалізується через алгоритми оптимізації та сценарне управління мережею ЗДО [14].

5. Інтелектуально-аналітичний підхід (сучасний)

Поєднує:

- математичне прогнозування (ARIMA);
- програмне моделювання (Prophet),
- нечітку логіку (Mamdani) для прийняття рішень за умов невизначеності;
- веб-ІСППР для використання результатів на практиці.

Такий підхід дозволяє враховувати складні та нелінійні фактори, що впливають на попит; забезпечувати динамічне оновлення прогнозів; автоматизувати підготовку рішень для органів управління освітою.

1.3 Аналіз факторів, що визначають попит на дошкільну освіту (на прикладі Запорізькій обл.)

У контексті планування мережі закладів дошкільної освіти важливо розглядати вище описані фактори не ізольовано, а у взаємозв'язку, оскільки зміна одного параметра може впливати на інші. Такий підхід відповідає логіці системного аналізу, де мережа ЗДО розглядається як частина ширшої соціальної інфраструктури громади.

На основі наукових джерел [1, 5, 9] ключові фактори, що визначають попит на дошкільну освіту, можна об'єднати у наступні групи:

1. Демографічні фактори: рівень народжуваності у громаді; чисельність дітей віком 0 – 6 років; міграційні потоки (переїзди молодих сімей, внутрішнє переміщення).

Для Запорізької області характерними є:

- тривалий тренд зменшення народжуваності (особливо після 2014 та 2022 років),

- загальне скорочення чисельності дітей дошкільного віку,

- міграційний відтік молодих родин із сільських територій у міські центри.

Це формує нерівномірне територіальне навантаження на мережу ЗДО.

2. Соціально-економічні фактори: рівень зайнятості населення; частка жінок, які працюють повний робочий день; рівень доходів сімей; вартість приватних освітніх послуг.

У Запоріжжі частка працюючих матерів є вищою, ніж у середньому по області, що підвищує попит на ЗДО у міських районах.

У сільських громадах попит часто знижується через домашнє або сімейне виховання та меншу трудову мобільність.

3. Просторово-територіальні фактори: щільність населення в мікрорайонах, відповідність мережі ЗДО житловим зонам, доступність у радіусі пішої досяжності.

У м. Запоріжжя спостерігається перенавантаження садочків у Хортицькому, Дніпровському та Комунарському районах, тоді як у частині передміських і сільських громад є незаповнені групи [15].

Це вказує на необхідність диференційованої оптимізації, а не загального скорочення мережі.

4. Освітньо-організаційні фактори: якість освітніх послуг у конкретних закладах, кадрове забезпечення, стан матеріально-технічної бази.

Навіть при зниженні чисельності дітей садочки з кращою якістю освітніх програм мають стабільний попит, що формує «точки концентрації» попиту всередині міста.

5. Психолого-культурні фактори: ставлення батьків до ранньої соціалізації, довіра до закладу, сімейні моделі виховання.

У громадах із високим рівнем соціальної активності батьків частка охоплення дошкільною освітою зростає незалежно від демографічних трендів.

Таблиця 1.1 – Узагальнений аналіз факторів по м. Запоріжжя

Група факторів	Ключові показники	Прояви в Запорізькій області	Вплив на попит і мережу ЗДО
Демографічні	Народжуваність; чисельність дітей 0–6 років; міграційні потоки	Тривале зниження народжуваності (після 2014 та 2022 рр.); скорочення кількості дітей; відтік молодих родин із сільських територій до міст	Формування нерівномірного територіального навантаження на ЗДО; зростання диспропорцій між міськими та сільськими громадами
Соціально-економічні	Зайнятість населення; частка працюючих матерів; доходи сімей; вартість приватних послуг	У м. Запоріжжя вища частка працюючих матерів; у сільських громадах – нижчий попит через сімейне виховання та меншу трудову мобільність	Підвищений попит на ЗДО в міських районах; зниження потреби у сільських громадах
Просторово-територіальні	Щільність населення; розміщення ЗДО; пішохідна доступність	Перевантаження ЗДО у Хортицькому, Дніпровському та Комунарському районах; наявність незаповнених груп у передміських і сільських громадах	Необхідність диференційованої оптимізації мережі замість загального скорочення
Освітньо-організаційні	Якість освітніх програм; кадрове забезпечення; матеріально-технічна база	Заклади з вищою якістю послуг зберігають стабільний попит навіть за демографічного спаду	Формування «точок концентрації» попиту в межах міста
Психолого-культурні	Ставлення батьків до ранньої соціалізації; рівень довіри до ЗДО; сімейні моделі виховання	У громадах із високою соціальною активністю батьків охоплення дошкільною освітою зростає	Компенсація негативних демографічних тенденцій за рахунок поведінкових чинників

Таким чином попит на дошкільну освіту формується через комбінацію демографічних, економічних, просторових і соціокультурних факторів. Для Запорізької області характерна територіальна нерівномірність розподілу дитячого населення, що потребує точного прогнозування та локальних сценаріїв оптимізації, а не універсальних рішень. Це обґрунтовує перехід до використання математичних моделей прогнозування та систем підтримки управлінських рішень на рівні громади.

1.4 Постановка задачі прогнозування та підтримки управлінських рішень

Зміни в демографічній структурі населення, нерівномірність територіального розподілу дітей дошкільного віку та диференціація соціально-економічних умов у громадах визначають необхідність довгострокового планування мережі закладів дошкільної освіти. Відповідно, органи місцевого самоврядування потребують інструментів, які дозволяють заздалегідь оцінювати попит на дошкільні послуги та приймати обґрунтовані управлінські рішення.

Формально задача прогнозування попиту може бути подана як аналіз та моделювання часового ряду чисельності дітей віком 0 – 6 років у межах певної території. Динаміка цього показника визначається комплексом факторів (розглянутих у підпункті 1.3), що зумовлює нелінійний та багатокomпонентний характер процесу. Тому застосування лише традиційних статистичних інструментів може бути недостатнім для отримання достовірних прогнозів.

З іншого боку, моделі глибинного навчання, зокрема рекурентні нейронні мережі, здатні враховувати як довгострокові залежності у часових рядах, так і складні взаємозв'язки між демографічними та соціально-економічними факторами. Це робить їх перспективним засобом для прогнозування динаміки кількості дітей дошкільного віку.

З урахуванням цього можна сформулювати управлінську задачу:

- побудувати математичну модель прогнозування чисельності дітей віком 0–6 років у Запорізькій області на середньострокову перспективу (5 – 7 років);
- на основі прогнозних оцінок визначити рівень можливого навантаження на ЗДО;
- сформулювати рекомендації щодо оптимізації мережі ЗДО, включаючи варіанти збереження, перепрофілювання або розвитку окремих закладів;
- забезпечити можливість інтерактивного використання прогнозних даних шляхом побудови веб-інструменту підтримки прийняття рішень.

Таким чином, у подальших розділах роботи буде реалізовано комплексну методичку прогнозування, що поєднує класичні статистичні моделі (ARIMA) та модель глибинного навчання Prophet з подальшою інтеграцією результатів у систему підтримки управлінських рішень для органів місцевого самоврядування.

1.5 Висновки до розділу 1

У розділі було розглянуто теоретичні основи функціонування системи дошкільної освіти в умовах демографічних змін. Встановлено, що скорочення чисельності дітей дошкільного віку та нерівномірність їх територіального розподілу є ключовими факторами, які визначають попит на послуги закладів дошкільної освіти. Проаналізовано основні підходи до планування та оптимізації мережі ЗДО, включаючи демографічний, просторово-територіальний, економічний, управлінсько-організаційний та інтелектуально-аналітичний. Визначено, що для забезпечення ефективного управління мережею ЗДО необхідним є застосування інструментів прогнозування, здатних враховувати складну природу демографічних процесів. Це обґрунтовує доцільність використання математичних моделей та систем підтримки прийняття рішень у подальших етапах дослідження.

РОЗДІЛ 2 ОЦІНКА ЧИСЕЛЬНОСТІ ДІТЕЙ ДОШКІЛЬНОГО ВІКУ ЯК ОСНОВА ПРОГНОЗУВАННЯ ПОПИТУ НА ЗДО

2.1 Характеристика та підготовка статистичних даних

Для реалізації задачі прогнозування було сформовано часовий ряд чисельності дітей у Запорізькій області за період 1990 – 2022 рр. Основним доступним і стабільним показником, який регулярно публікується в системі офіційної статистики, є чисельність дітей віком 0 – 14 років [16, 17].

Цей показник обрано як базовий, оскільки офіційна звітність не містить окремої чисельності дітей віком 0–6 років, що безпосередньо становлять потенційний контингент закладів дошкільної освіти. Водночас вікова структура населення у групах раннього дитинства є порівняно стабільною, що дозволяє виконати перехід від показника 0–14 до 0–6 років. Зокрема, за результатами демографічних досліджень [5] та аналітичних звітів МОН України (2021 рік), частка дітей віком 0 – 6 років у загальній групі 0 –14 років у середньому становить 42 – 46%, що відповідає співвідношенню 6 років із 14 вікових років.

Таким чином, чисельність дітей, які потенційно формують попит на дошкільну освіту ($N_{0-6}(t)$), було розраховано за формулою:

$$N_{0-6}(t) = N_{0-14}(t) \cdot \frac{6}{14} , \quad (2.1)$$

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

Отримане перетворення є стандартизованим демографічним методом, що застосовується при відсутності детальної вікової структури в офіційних часових рядах [5]. Такий спосіб дозволяє впорядкувати дані й зробити їх придатними для подальших розрахунків.

Таблиця 2.1 – Чисельність населення Запорізької області

	Розподіл постійного населення за окремими віковими групами (тис. осіб)								
	всього населення	0-14 років	0-15 років	0-17 років	16-59 років	15-64 роки	18 років і старше	60 років і старше	65 років і старше
1990	2081,8	445,4	473,5	532,1	1243,6	1408,0	1549,7	364,7	228,4
1991	2087,8	441,5	471,6	528,6	1243,5	1409,8	1559,2	372,7	236,5
1992	2094,8	437,2	467,7	525,8	1250,8	1410,3	1569,0	376,3	247,3
1993	2100,5	433,4	462,1	522,7	1262,6	1410,0	1577,8	375,8	257,1
1994	2092,5	424,7	453,8	512,6	1270,8	1401,9	1579,9	367,9	265,9
1995	2074,9	412,8	441,5	498,9	1270,0	1391,4	1576,0	363,4	270,7
1996	2055,6	399,5	428,6	485,8	1264,4	1381,2	1569,8	362,6	274,9
1997	2034,6	386,2	414,1	471,4	1252,7	1373,2	1563,2	367,8	275,2
1998	2015,5	372,1	400,7	457,2	1231,3	1370,5	1558,3	383,5	272,9
1999	1994,1	354,2	384,9	440,8	1212,2	1373,9	1553,3	397,0	266,0
2000	1972,3	335,3	366,3	424,8	1198,2	1374,2	1547,5	407,8	262,8
2001	1948,6	317,2	347,5	408,4	1217,2	1398,9	1540,2	383,9	232,5
2002	1926,8	298,8	330,1	390,6	1177,1	1359,9	1536,2	419,6	268,1
2003	1908,5	282,1	312,5	373,6	1180,8	1344,2	1534,9	415,2	282,2
2004	1891,8	268,1	296,9	358,1	1189,4	1330,6	1533,7	405,5	293,1
2005	1876,4	257,2	283,8	342,5	1195,1	1317,1	1533,9	397,5	302,1
2006	1860,2	247,4	272,4	327,4	1200,8	1305,1	1532,8	387,0	307,7
2007	1846,1	240,8	264,2	315,5	1197,3	1293,6	1530,6	384,6	311,7
2008	1832,1	236,5	257,8	305,8	1192,9	1287,2	1526,3	381,4	308,4
2009	1820,5	235,3	254,9	299,5	1184,7	1285,0	1521,0	380,9	300,2
2010	1810,9	235,3	253,3	294,1	1170,5	1282,2	1516,8	387,1	293,4
2011	1800,5	236,0	253,0	290,5	1156,8	1280,5	1510,0	390,7	284,0
2012	1790,9	237,7	253,8	288,5	1142,1	1270,3	1502,4	395,0	282,9
2013	1784,5	240,9	256,1	289,3	1128,0	1261,7	1495,2	400,4	281,9
2014	1775,0	244,5	258,6	289,8	1111,3	1247,9	1485,2	405,1	282,6
2015	1765,1	249,6	262,9	292,0	1092,2	1227,4	1473,1	410,0	288,1
2016	1752,9	252,2	265,8	293,0	1075,9	1209,1	1459,9	411,2	291,6
2017	1738,7	253,9	267,5	294,2	1056,1	1190,2	1444,5	415,1	294,6
2018	1722,4	253,2	267,7	294,7	1036,4	1171,4	1427,7	418,3	297,8
2019	1705,1	250,6	265,5	293,2	1017,6	1153,7	1411,9	422,0	300,8
2020	1686,6	245,9	261,5	290,5	999,5	1135,8	1396,1	425,6	304,9
2021	1665,7	240,6	256,0	286,2	981,3	1120,2	1379,5	428,4	304,9
2022	1637,7	233,0	249,7	280,4	963,3	1102,4	1357,3	424,7	302,3

На основі наведених статистичних даних було розраховано оцінку чисельності дітей віком 0 – 6 років. Результати розрахунку подано в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Чисельність дітей віком 0–6 років у Запорізькій області

Рік	Діти 0–14 (тис. осіб)	Діти 0–6 (тис. осіб)
1990	445,4	190,9
1991	441,5	189,2
1992	437,2	187,4
1993	433,4	185,7
1994	424,7	182,0
1995	412,8	176,9
1996	399,5	171,2
1997	386,2	165,5
1998	372,1	159,5
1999	354,2	151,8
2000	335,3	143,7
2001	317,2	135,9
2002	298,8	128,1
2003	282,1	120,9
2004	268,1	114,9
2005	257,2	110,2
2006	247,4	106,0
2007	240,8	103,2
2008	236,5	101,4
2009	235,3	100,8
2010	235,3	100,8
2011	236	101,1
2012	237,7	101,9
2013	240,9	103,2
2014	244,5	104,8
2015	249,6	107,0
2016	252,2	108,1
2017	253,9	108,8
2018	253,2	108,5
2019	250,6	107,4
2020	245,9	105,4
2021	240,6	103,1
2022	233	99,9

2.2 Аналіз часових рядів – лінійна регресія

Часовий ряд чисельності дітей дошкільного віку в Запорізькій області за 1990–2022 рр. характеризується вираженою спадною динамікою, що відображає загальні демографічні процеси в Україні. У період 1990–2001 рр. спостерігалось інтенсивне скорочення чисельності дітей, що було пов'язано зі зниженням рівня народжуваності на тлі соціально-економічної кризи початку 1990-х років. У 2001–2013 рр. темпи скорочення уповільнилися, а в окремі роки виникали незначні коливання, зумовлені періодичними хвилями підвищення народжуваності. Після 2014 року знову фіксується стале зниження, що посилюється міграційними процесами, зниженням рівня народжуваності та наслідками воєнних подій.

За допомогою програми Excel будуємо графік часового ряду (рисунок 2.1).

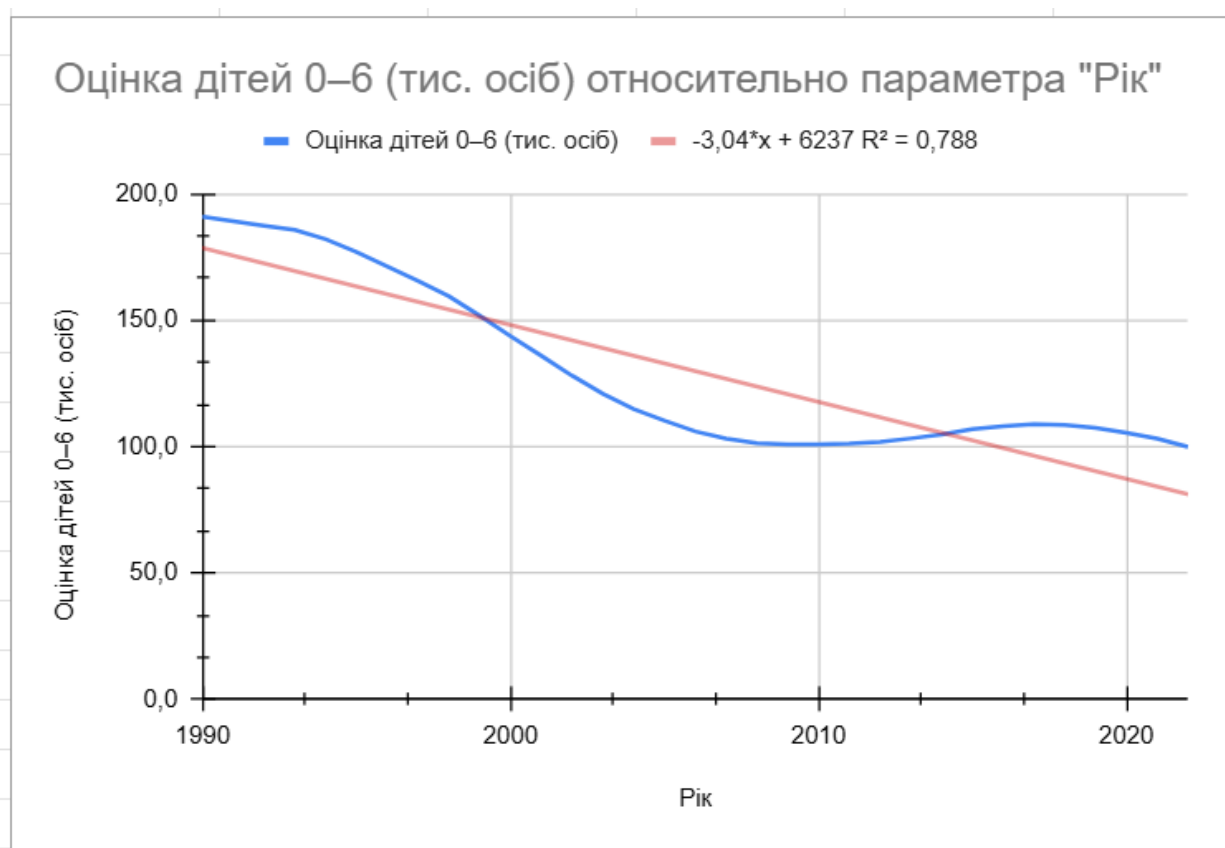


Рисунок 2.1 – Оцінена динаміка чисельності дітей віком 0–6 років у Запорізькій області (1990–2022)

Структура часового ряду не містить чітко вираженої сезонності, що є типовим для річних демографічних даних. Таким чином, домінуючим компонентом є довгостроковий тренд, який має спадний характер. Для кількісного опису цього тренду використано метод найменших квадратів, результатом чого є рівняння прямої регресії:

$$y = (-3,04 \cdot x + 6237) , \quad (2.2)$$

де y – прогнозована кількість дітей віком 0 – 6 (тис. осіб);

x – рік (перетворений у відповідну числову шкалу).

$Y_{2023} = 87,08$ тис.; $Y_{2024} = 84,04$ тис.; $Y_{2025} = 81$ тис.; $Y_{2026} = 77,96$ тис.;
 $Y_{2027} = 74,92$ тис.; $Y_{2028} = 71,88$ тис.; $Y_{2029} = 68,84$ тис.

Коефіцієнт детермінації $R^2=0,788$ свідчить про те, що 78,8% варіації показника (чисельність дітей) пояснюється трендом, тобто довгостроковою тенденцією. Решта 21,2% – це випадкові коливання, які не мають стабільної закономірності.

Для оцінки автокореляційних властивостей часового ряду використовується аналіз автокореляційної (ACF) та часткової автокореляційної (PACF) функцій. Попередній аналіз свідчить про високу корельованість значень ряду у суміжних роках, що підтверджує наявність інерційності демографічних процесів: зміни у кількості дітей відбуваються поступово, без різких стрибків. Це означає, що модель прогнозування має враховувати довгострокові залежності у часовому ряду.

Детальна оцінка автокореляційних характеристик буде проведена у пункті 2.3 з використанням ACF та PACF для визначення параметрів моделей ARIMA.

Таким чином, часовий ряд можна охарактеризувати як:

- нестационарний, із вираженим трендом;
- без сезонних компонентів;

- із сильною автокореляційною структурою, що вимагає використання моделей, здатних враховувати залежності між попередніми та майбутніми значеннями.

Ці властивості визначають вибір моделей прогнозування у подальшому аналізі. Зокрема, нестационарність ряду обґрунтовує застосування моделей класу ARIMA, а наявність трендів і можливих структурних змін – використання моделі глибинного навчання Facebook Prophet, яка добре працює з довгостроковими тенденціями та гнучкими компонентами тренду.

2.3 Побудова моделі ARIMA

Для виконання базового прогнозування попиту на заклади дошкільної освіти в цьому підпункті застосовано статистичний підхід на основі моделі ARIMA. Дана модель обрана через її здатність описувати нестационарні часові ряди та враховувати автокореляційні залежності.

Модель ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) є класичним статистичним методом, який використовує минулі значення ряду для прогнозування майбутніх. Вона описується трьома параметрами [18, 19].

Ідентифікація параметрів (p, d, q):

- d (Integrated – Інтегрований): Визначення кількості диференціювань, необхідних для досягнення стаціонарності (перевіряється тестами, наприклад, Дікі-Фуллера).

- p (AutoRegressive – Авторегресійний): Визначення порядку авторегресії за допомогою часткової автокореляційної функції (PACF). Показує, як поточне значення залежить від минулих значень.

- q (Moving Average – Ковзна середня): Визначення порядку ковзної середньої за допомогою автокореляційної функції (ACF). Показує залежність від похибок прогнозу в минулих періодах.

Для її реалізації в даній роботі використовується програмне середовище GRETЛ [20, 21] яке забезпечує інструменти аналізу часових рядів, підбір параметрів моделі та побудову прогнозів. У GRETЛ модель ARIMA будується на основі попередньо підготовленого ряду чисельності дітей віком 0 – 6 років. Параметри моделі p , d , q визначаються шляхом аналізу автокореляційної (ACF) та часткової автокореляційної (PACF) функцій, що дозволяє відібрати структуру моделі, яка найточніше відображає динаміку даних. Після підбору параметрів проводиться оцінювання моделі та формування прогнозу з інтервалами довіри.

1. Підготовка даних

Для побудови моделі ARIMA використовувався набір даних `arima1.csv`, який містить щорічну інформацію про кількість дітей віком від 0 до 6 років у Запорізькій області. Дані імпортуються в GRETЛ за допомогою меню `File → Open Data → User File`, обираючи формат CSV.

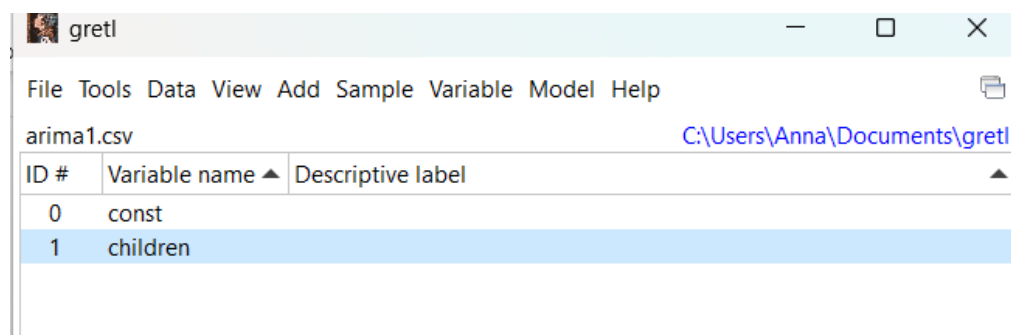


Рисунок 2.2 – Вікно імпорту CSV у GRETЛ

2. Аналіз часових рядів

Першим кроком розрахунків є побудова графіку часового ряду (`Graph → Time Series Plot`) для візуальної оцінки тенденцій і сезонності (рисунок 2.3).

3. Перевірка стаціонарності

Для побудови моделі ARIMA необхідно переконатися, що часовий ряд є стаціонарним, оскільки нестабільність середнього або дисперсії може призвести до некоректних прогнозів. Стаціонарність перевіряється за допомогою тесту Дікі-Фуллера (Augmented Dickey-Fuller, ADF) [11, 19, 22].

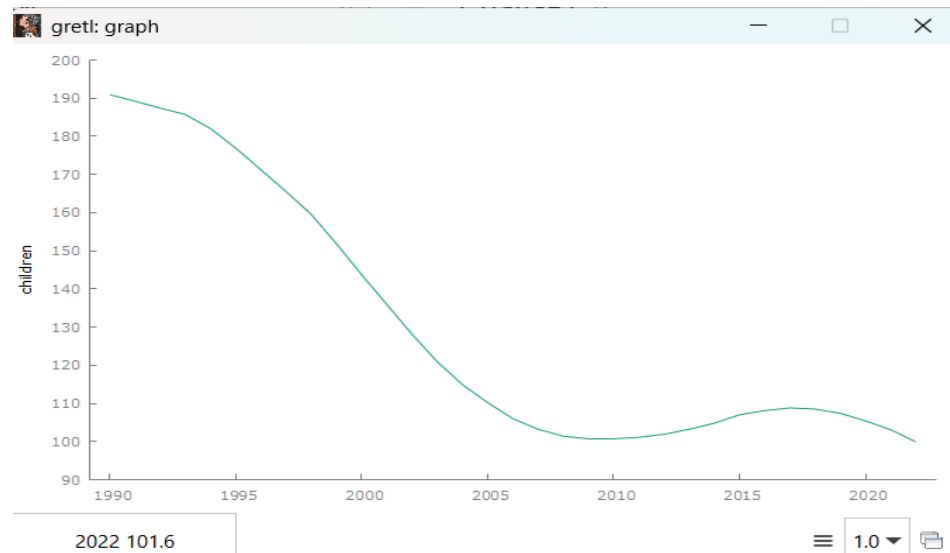


Рисунок 2.3 – Графік початкового часового ряду

У даній роботі для перевірки стаціонарності ряду children було проведено три варіанти тесту Дікі–Фуллера (Augmented Dickey-Fuller, ADF): без константи; з константою (рисунок 2.4); з константою та трендом, при цьому у моделі було включено 2 лаги першої різниці $(1-L)$ (рисунок 2.5).

Результати тестів (таблиця 2.3) показали:

- без константи: статистика $\tau = -1,873$, $p\text{-value} = 0,058 \rightarrow$ ряд на межі значущості (нестабільний);
- з константою: $\tau = -2,518$, $p\text{-value} = 0,111 \rightarrow$ ряд нестаціонарний;
- з константою та трендом: $\tau = -4,307$, $p\text{-value} = 0,003 \rightarrow$ ряд стаціонарний після врахування детерміністичного тренду.

```

Augmented Dickey-Fuller test for children
testing down from 2 lags, criterion AIC
sample size 30
unit-root null hypothesis: a = 1

test with constant
including 2 lags of (1-L)children
model: (1-L)y = b0 + (a-1)*y(-1) + ... + e
estimated value of (a - 1): -0.0128864
test statistic: tau_c(1) = -2.51812
asymptotic p-value 0.1111
1st-order autocorrelation coeff. for e: -0.231
lagged differences: F(2, 26) = 220.479 [0.0000]

```

Рисунок 2.4 – Результати тесту Augmented Dickey-Fuller з константою

```

gretl: ADF test

Augmented Dickey-Fuller test for children
testing down from 9 lags, criterion AIC
sample size 30
unit-root null hypothesis: a = 1

with constant and trend
including 2 lags of (1-L)children
model: (1-L)y = b0 + b1*t + (a-1)*y(-1) + ... + e
estimated value of (a - 1): -0.0494767
test statistic: tau_ct(1) = -4.30747
asymptotic p-value 0.003002
1st-order autocorrelation coeff. for e: -0.160
lagged differences: F(2, 25) = 281.738 [0.0000]

```

Рисунок 2.5 – Результати тесту Augmented Dickey-Fuller з константою та трендом

Таблиця 2.3 – Результати тесту Дікі–Фуллера для показника «Кількість дітей 0–6 років»

Варіант тесту ADF	Статистика τ	p-value	Висновок
Без константи	-1,873	0,058	На межі значущості
З константою	-2,518	0,111	Ряд нестационарний
З константою та трендом	-4,307	0,003	Ряд стаціонарний

Таким чином, тест ADF із включенням константи та тренду показав значуще відхилення нульової гіпотези про наявність одиничного кореня ($p < 0,05$), що свідчить про детерміністичний тренд у даних. Це означає, що після урахування тренду ряд children має стабільне середнє та дисперсію, тобто є стаціонарним.

Отже, застосування диференціювання для стабілізації ряду не є необхідним, а побудова моделі ARIMA може виконуватись у рівнях із врахуванням тренду, що забезпечує коректне оцінювання параметрів і достовірність прогнозу.

4. Підбір моделі ARIMA

Після проведення тестів Дікі–Фуллера (ADF) у трьох специфікаціях (без константи, з константою та з константою і трендом) було встановлено, що ряд children є стаціонарним після урахування детерміністичного тренду. Це дозволяє будувати модель без застосування диференціювання (тобто при $d = 0$) із включенням трендового компонента.

Аналіз ACF і PACF показав виражену автокореляційну структуру без явної сезонності. На основі ACF/PACF та порівняння інформаційних критеріїв (AIC, BIC, HQC) виконано перебір моделей ARMA(p,q). Результати підбору показали мінімальні значення інформаційних критеріїв для моделі ARMA(3,0).

Детальна таблиця порівняння AIC/BIC/HQC наведена на рисунку 2.6.

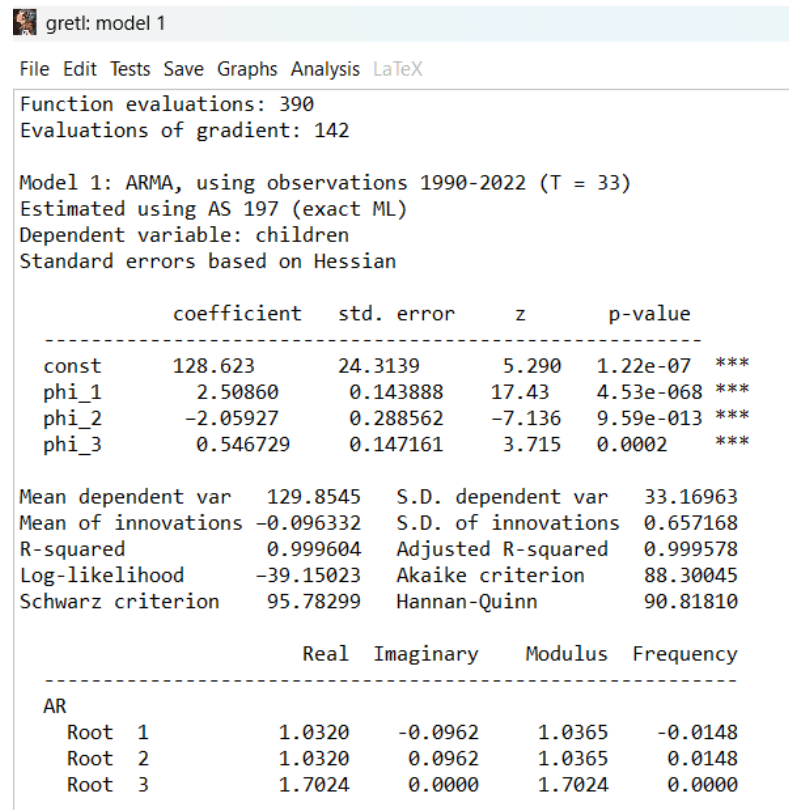
p, q	AIC	BIC	HQC	loglik
0, 0	327.7424	330.7354	328.7494	-161.8712
0, 1	289.7776	294.2671	291.2882	-141.8888
0, 2	254.4333	260.4193	256.4474	-123.2166
0, 3	223.3557	230.8382	225.8733	-106.6778
1, 0	199.2128	203.7023	200.7234	-96.6064
1, 1	164.2908	170.2768	166.3049	-78.1454
1, 2	136.3842	143.8667	138.9018	-63.1921
1, 3	120.8869	129.8660	123.9081	-54.4435
2, 0	96.8098	102.7958	98.8239	-44.4049
2, 1	91.7558	99.2383	94.2734	-40.8779
2, 2	91.2250	100.2040	94.2462	-39.6125
2, 3	93.2018	103.6774	96.7265	-39.6009
3, 0	88.3005*	95.7830*	90.8181*	-39.1502
3, 1	88.7142	97.6932	91.7354	-38.3571
3, 2	90.5495	101.0250	94.0742	-38.2747
3, 3	90.8891	102.8611	94.9173	-37.4445

Рисунок 2.6 – Вікно оцінки ARIMA у GRETL

Оцінювання параметрів моделі здійснювалося методом максимальної правдоподібності (exact ML) на основі спостережень за період 1990–2022 років ($T = 33$).

Через стаціонарність після вилучення тренду ($d = 0$) та мінімальні інформаційні критерії вибираємо ARMA(3,0) як оптимальну модель для

подальшого оцінювання. Таблиця з AIC, BIC та HQC, отримана в процесі ARIMA lag selection, показує лише порівняння різних комбінацій лагів і не містить оцінок коефіцієнтів моделі. Щоб отримати конкретні значення параметрів (AR, MA, константа) та їх статистичну значущість, необхідно зробити ще одну модель (рисунок 2.7).



```

gretl: model 1
File Edit Tests Save Graphs Analysis LaTeX
Function evaluations: 390
Evaluations of gradient: 142

Model 1: ARMA, using observations 1990-2022 (T = 33)
Estimated using AS 197 (exact ML)
Dependent variable: children
Standard errors based on Hessian

      coefficient  std. error  z      p-value
-----
const    128.623    24.3139   5.290  1.22e-07 ***
phi_1     2.50860     0.143888  17.43  4.53e-068 ***
phi_2    -2.05927     0.288562  -7.136  9.59e-013 ***
phi_3     0.546729     0.147161   3.715  0.0002 ***

Mean dependent var  129.8545  S.D. dependent var  33.16963
Mean of innovations -0.096332  S.D. of innovations  0.657168
R-squared            0.999604  Adjusted R-squared  0.999578
Log-likelihood       -39.15023  Akaike criterion    88.30045
Schwarz criterion    95.78299  Hannan-Quinn       90.81810

      Real  Imaginary  Modulus  Frequency
-----
AR
Root 1    1.0320  -0.0962   1.0365  -0.0148
Root 2    1.0320   0.0962   1.0365   0.0148
Root 3    1.7024   0.0000   1.7024   0.0000

```

Рисунок 2.7 – Вікно оцінки ARMA у GRETL із результатами коефіцієнтів

Результати оцінки параметрів моделі ARMA(3,0) показали, що константа становить 128,623, а коефіцієнти авторегресії (AR) дорівнюють $\phi_1 = 2,509$, $\phi_2 = -2,059$ та $\phi_3 = 0,547$. Усі коефіцієнти є статистично значущими на рівні $p < 0,01$, що підтверджується високими значеннями z-статистики, що свідчить про адекватність підбору моделі.

Моделю пояснює 99,96% варіації змінної children ($R^2 = 0,9996$), а середнє значення залишків становить $-0,096$, зі стандартним відхиленням інновацій 0,657, що підтверджує високу точність моделі. Критерії інформації (Akaike,

Schwarz, Hannan-Quinn) також підтверджують оптимальність обраної моделі серед інших перевірених варіантів.

Перевірка коренів AR показала, що всі вони лежать поза одиничним колом, що гарантує стабільність та інверсність моделі. Це означає, що ARMA(3,0) коректно описує динаміку часового ряду children і може бути використана для прогнозування..

Побудова графіка залишків є фундаментальним етапом оцінки якості будь-якої економетричної моделі часового ряду.

Основна мета цього аналізу – візуально перевірити, чи залишкові похибки моделі (різниця між спостережуваними та прогнозними значеннями) відповідають властивостям «білого шуму». Ідеальний графік залишків повинен демонструвати випадковий розподіл точок навколо нульової лінії без наявності будь-яких трендів, циклічності чи кластеризації.

Графік зображено на рисунку 2.8.

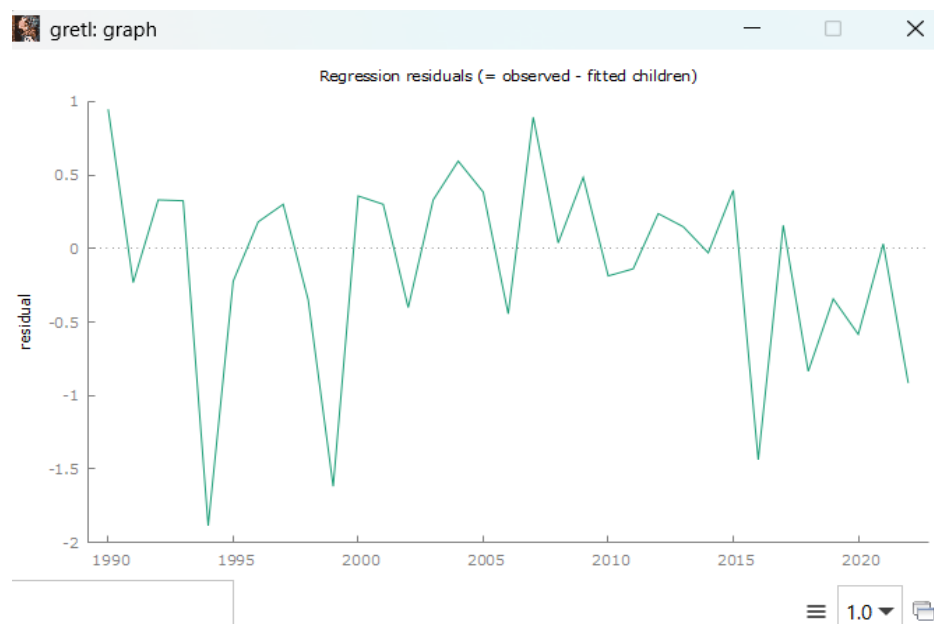


Рисунок 2.8 – Графік залишків по роках (часу)

Візуальний аналіз графіка залишків регресії свідчить, що залишки моделі розподілені навколо нульової лінії без вираженого тренду. Це означає, що модель не має систематичних похибок і адекватно описує динаміку часового

ряду. Випадковий характер коливань залишків підтверджує відсутність автокореляції та відповідність властивостям «білого шуму». Значні відхилення спостерігаються лише у поодинокі періоди, що може бути зумовлено короткостроковими випадковими чинниками. Загалом графік підтверджує, що модель ARMA(3,0) є статистично надійною та придатною для подальшого прогнозування.

Проведений аналіз показав, що часовий ряд children є стаціонарним після урахування детерміністичного тренду, що дозволяє будувати модель ARMA без диференціювання. Оптимальною виявилась модель ARMA(3,0), яка статистично значуща, пояснює майже всю варіацію змінної та є стабільною. Візуальна перевірка залишків підтвердила випадковий характер похибок і відсутність автокореляції в них. Таким чином, обрана модель є адекватною для опису динаміки часового ряду та прогнозування.

На основі оціненої моделі ARIMA проведено прогнозування чисельності дітей віком 0–6 років на наступні 7 років. Прогноз враховує наявний тренд та динаміку ряду. Отримані результати (рисунок 2.9) можуть бути використані для планування закладів дошкільної освіти.

Прогноз за моделлю ARIMA показує поступове зниження чисельності дітей віком 0–6 років у період 2023–2029 років. Так, очікувана кількість дітей зменшується від 96,4 тис. у 2023 році до 82,5 тис. у 2029 році, при цьому ширина 95% довірчих інтервалів зростає з 2,6 тис. до 46,3 тис., що відображає збільшення невизначеності прогнозу на дальню перспективу. Отримані дані можуть слугувати основою для планування ресурсів та розвитку закладів дошкільної освіти в наступні роки.

gretl: forecasts

For 95% confidence intervals, $z(0.025) = 1.96$

	children	prediction	std. error	95% interval	
2007	103.2	102.3			
2008	101.4	101.4			
2009	100.8	100.3			
2010	100.8	101.0			
2011	101.1	101.2			
2012	101.9	101.7			
2013	103.2	103.1			
2014	104.8	104.8			
2015	107.0	106.6			
2016	108.1	109.5			
2017	108.8	108.6			
2018	108.5	109.3			
2019	107.4	107.7			
2020	105.4	106.0			
2021	103.1	103.1			
2022	99.9	100.8			
2023		96.4	0.66	95.1 -	97.7
2024		93.1	1.77	89.6 -	96.5
2025		90.0	3.30	83.5 -	96.5
2026		87.4	5.14	77.3 -	97.4
2027		85.2	7.22	71.1 -	99.4
2028		83.6	9.46	65.0 -	102.1
2029		82.5	11.79	59.3 -	105.6

Рисунок 2.9 – Прогноз чисельності дітей віком 0–6 років у період 2023–2029 років

2.4 Побудова моделі Facebook Prophet

Для моделювання довгострокового тренду кількості дітей віком 0–6 років використано бібліотеку Facebook Prophet, розроблену Meta (ex-Facebook) спеціально для прогнозування часових рядів із чітко вираженим трендом, сезонністю та можливими структурними змінами. Prophet добре працює навіть з короткими рядами та нечіткою сезонністю, що робить його придатним для демографічних даних, а також він автоматично виявляє точки зміни тренду (changepoints) і формує прогноз із довірчими інтервалами (`yhat_lower`, `yhat_upper`) [23, 24].

На відміну від класичних моделей ARIMA, Prophet не потребує ручного підбору порядків авторегресії та ковзного середнього і може ефективно

працювати з неповними або нерегулярними даними. Це робить його зручним інструментом для прогнозування кількості дітей у часі.

Модель Prophet представляє часовий ряд у вигляді адитивних компонентів [24]:

$$y(t) = g(t) + s(t) + h(t) + \varepsilon_t, \quad (2.3)$$

де $g(t)$ – тренд (piecewise linear або logistic),

$s(t)$ – сезонні коливання;

$h(t)$ – особливі події;

ε_t – випадкова складова.

Оскільки демографічні дані не містять сезонності, у даній роботі використано лише трендову компоненту.

Порядок виконання роботи:

1. Встановлення та підключення бібліотек

Перед початком аналізу виконуємо команди встановлення пакетів та імпортуємо необхідні модулі.

Фрагмент коду:

```
!pip install prophet
!pip install cmdstanpy
import cmdstanpy
cmdstanpy.install_cmdstan()
from prophet import Prophet
model = Prophet()
import pandas as pd
from prophet import Prophet
import matplotlib.pyplot as plt
```

Бібліотека cmdstanpy необхідна для внутрішньої роботи Prophet, оскільки модель будується на основі алгоритмів Байєсівської регресії.

2. Завантаження та попередня підготовка даних

Часовий ряд завантажується з CSV-файлу.

Фрагмент коду:

```
df = pd.read_csv("children1.csv", delimiter=';')
```

Для роботи Prophet дані повинні містити два обов'язкові стовпці:

- стовпець ds – календарна дата (рік);
- стовпець у – чисельність дітей відповідного віку.

Після завантаження виконуємо перетворення стовпця ds у формат дати.

Фрагмент коду:

```
df['ds'] = pd.to_datetime(df['ds'])
```

Це забезпечує коректну інтерпретацію часових інтервалів у моделі.

3. Ініціалізація моделі Prophet

Створюємо об'єкт моделі базової конфігурації.

Фрагмент коду:

```
model = Prophet()
```

У цьому режимі Prophet автоматично враховує тренд часового ряду та оцінює можливу сезонність.

4. Навчання моделі на історичних даних

Моделю навчаємо на наявному часовому ряді (рисунок 2.10)

```
model.fit(df)
```

```
... INFO:prophet:Disabling weekly seasonality. Run prophet with weekly_seasonality=True to override this.
INFO:prophet:Disabling daily seasonality. Run prophet with daily_seasonality=True to override this.
<prophet.forecaster.Prophet at 0x7c709677e360>
```

Рисунок 2.10 – Процес навчання моделі на початкових даних

На цьому етапі Prophet оцінює параметри тренду та формує статистичну структуру моделі.

5. Створення майбутнього діапазону дат

Щоб отримати прогноз, потрібно створити майбутні часові точки. У моделі задається прогноз на 7 років вперед.

Фрагмент коду:

```
future = model.make_future_dataframe(periods=7, freq='Y')
```

`periods = 7` – кількість прогнозованих періодів, `freq = 'Y'` – річна частота.

6. Побудова прогнозу

Прогноз формується командою:

```
forecast = model.predict(future)
```

У результаті проведення прогнозу формується таблиця (рисунок 2.11), яка містить наступні стовпці: `yhat` – точковий прогноз, `yhat_lower` – нижня межа довірчого інтервалу, `yhat_upper` – верхня межа довірчого інтервалу.

```
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 2.11 – Загальна таблиця з результатами прогнозу

7. Візуалізація прогнозу

За результатами прогнозування за моделлю Facebook Prophet був побудований графік (рисунок 2.12), що відображає динаміку показника `children` у історичному періоді та його прогноз на наступні роки. На графіку чорними точками позначені фактичні значення ряду, тоді як синя лінія показує оцінений моделлю тренд.

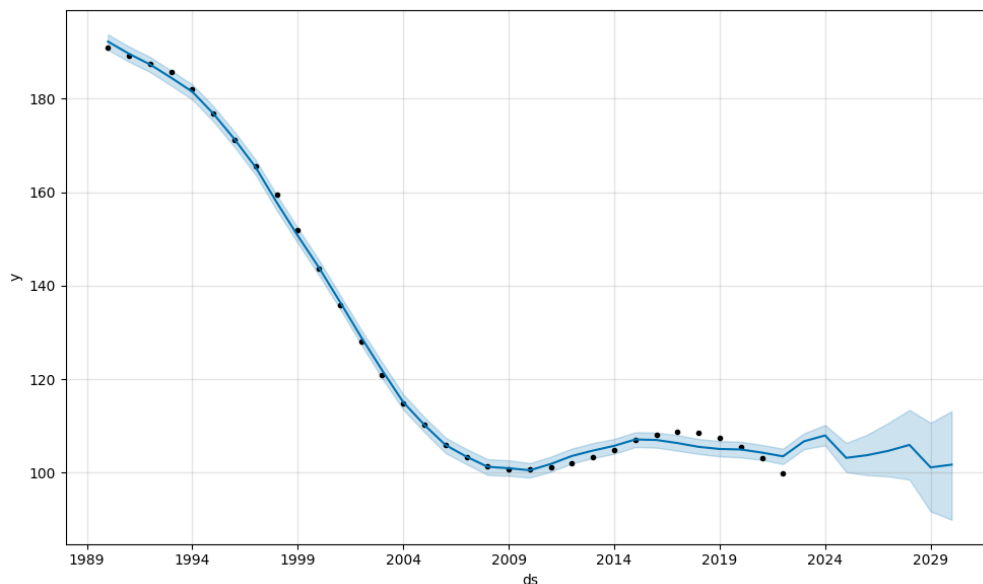


Рисунок 2.12 – Прогноз динаміки показника children за моделлю Prophet

Світло-синя область навколо лінії прогнозу відображає 95% довірчий інтервал, який демонструє можливий діапазон коливань значення в майбутньому. Модель досить точно відтворює спадну тенденцію в період 1990–2010 років та стабілізацію після 2010 року.

Прогноз на 2023 – 2029 роки свідчить про незначні коливання показника навколо рівня 100 – 110 тис. дітей. Довірчий інтервал розширюється з наближенням до майбутніх років, що є типовим для моделей часових рядів та відображає зростання невизначеності прогнозу.

Наступним кроком є побудова графіків компонентів моделі Prophet, які дозволяють детально проаналізувати структуру часового ряду. Для цього використовується команда:

```
fig2 = model.plot_components(forecast)
plt.show()
```

У результаті формуються два окремі компоненти: трендова складова та річна сезонність (рисунок 2.13).

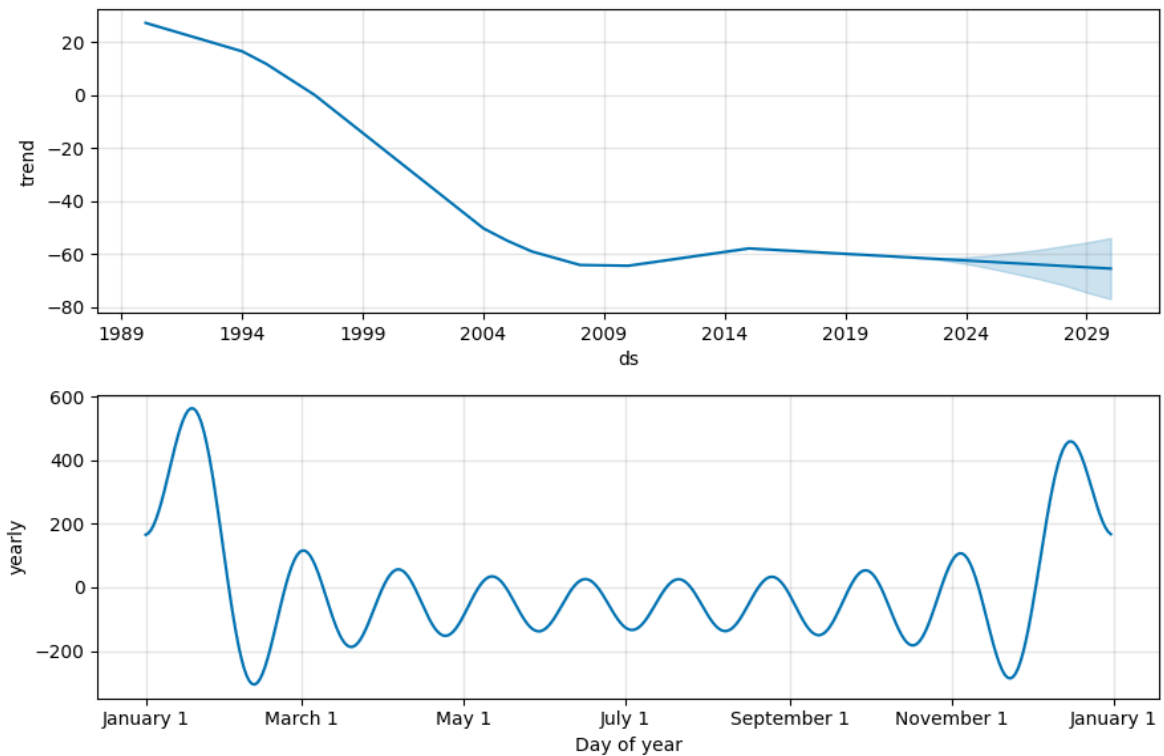


Рисунок 2.13 – Компоненти моделі Prophet: тренд та річна сезонність

Перший графік відображає довгостроковий тренд зміни показника children у часі. На ньому видно:

- поступове та значне зниження кількості дітей протягом 1990–2010 років;
- період стабілізації після 2010 року;
- помірне зменшення та розширення невизначеності прогнозу після 2024 року, що відображено у вигляді світло-синьої зони довірчого інтервалу.

Такий характер тренду підтверджує, що модель реагує на довготривалу демографічну динаміку та коректно враховує її у прогнозі.

Другий графік відображає річну сезонність, яку модель Prophet автоматично оцінила на основі наявних даних. Хоча початковий часовий ряд має річну частоту і не містить детальних місячних або денних спостережень, модель формує теоретичну сезонну криву. На графіку видно характерні хвилеподібні коливання, що показують потенційні періоди підвищення та зниження показника протягом року. Такі цикли демонструють, якою могла б бути сезонна поведінка даного показника за умови наявності більш деталізованих даних. Графік

допомагає оцінити можливий вплив сезонності на прогноз, навіть якщо вона не є основним фактором у цьому часовому ряді.

В результаті проведеного прогнозування за допомогою моделі Prophet було отримано оцінки майбутніх значень показника children на період 2023 – 2029 років. Прогноз свідчить про відносну стабільність показника у межах 101 – 108 тис. дітей, без різких стрибків чи суттєвих змін динаміки. Діапазон довірчого інтервалу розширюється в більш віддалених роках, що відображає зростання невизначеності прогнозу. Загалом модель демонструє плавний характер зміни ряду та підтверджує тенденцію до стабілізації. Це дозволяє зробити висновок, що суттєвих демографічних змін у найближчому майбутньому не очікується.

2.5 Порівняння моделей за похибками MAE, RMSE, MAPE

Для оцінки точності прогнозів було використано три підходи: лінійну регресію (метод найменших квадратів), модель ARIMA та модель Prophet. Кожен із цих методів базується на різних припущеннях щодо структури часового ряду, тому порівняння їх точності є необхідним етапом для вибору найбільш адекватної моделі.

Для цього застосовано три базові метрики похибок прогнозування [11, 19]:

- MAE (Mean Absolute Error) – середня абсолютна похибка, що показує середнє відхилення прогнозу від фактичного значення.

- RMSE (Root Mean Squared Error) – корінь середньоквадратичної похибки, більш чутливий до великих відхилень.

- MAPE (Mean Absolute Percentage Error) – середня абсолютна відносна похибка, яка характеризує точність у відсотках, що робить її зручною для порівняння моделей різної природи.

Обчислення показників MAE, RMSE та MAPE виконувались на основі періоду 1990–2022 років, для якого кожна з моделей формує власні in-sample

оцінки значень кількості дітей віком 0–6 років. Це дозволяє порівняти точність моделей на відомих фактичних даних. Вихідний часовий ряд не містить сезонної компоненти та характеризується вираженим довгостроковим спадним трендом, тому різні моделі відтворюють його динаміку з різною точністю.

1. Початкові дані

Основою для подальших розрахунків показників точності є два типи даних: фактичні значення кількості дітей віком 0–6 років та розраховані значення, отримані моделями «Лінійна регресія», «ARIMA» та модель «Facebook Prophet». Саме ці дані дозволять обчислити похибки й визначити, наскільки точно кожна модель відтворює динаміку ряду. Вихідні дані заносимо до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Фактичні та прогнозовані значення ряду

Рік	Фактичні значення	Лінійна регресія, тис. осіб	ARIMA, тис. осіб	Prophet, тис. осіб
1990	190,9	187,4	189,95	192,2
1991	189,2	184,36	189,43	189,62
1992	187,4	181,32	187,07	187,34
1993	185,7	178,28	185,37	184,49
1994	182	175,24	183,89	181,51
1995	176,9	172,2	177,12	176,81
1996	171,2	169,16	171,02	171,36
1997	165,5	166,12	165,2	165,34
1998	159,5	163,08	159,85	157,84
1999	151,8	160,04	153,42	150,69
2000	143,7	157	143,34	143,89
2001	135,9	153,96	135,6	136,52
2002	128,1	150,92	128,5	129,02

Продовження таблиці 2.4

Рік	Фактичні значення	Лінійна регресія, тис. осіб	ARIMA, тис. осіб	Prophet, тис. осіб
2003	120,9	147,88	120,57	121,87
2004	114,9	144,84	114,3	115,07
2005	110,2	141,8	109,82	110,2
2006	106	138,76	106,44	105,9
2007	103,2	135,72	102,31	103,39
2008	101,4	132,68	101,36	101,24
2009	100,8	129,64	100,32	100,93
2010	100,8	126,6	100,99	100,49
2011	101,1	123,56	101,24	101,85
2012	101,9	120,52	101,66	103,56
2013	103,2	117,48	103,05	104,71
2014	104,8	114,44	104,83	105,72
2015	107	111,4	106,6	107,08
2016	108,1	108,36	109,54	106,97
2017	108,8	105,32	108,64	106,31
2018	108,5	102,28	109,34	105,5
2019	107,4	99,24	107,74	105,05
2020	105,4	96,2	105,98	104,94
2021	103,1	93,16	103,07	104,28
2022	99,9	90,12	100,82	103,47

2. Середня абсолютна похибка (MAE) [19, 22]:

MAE показує середнє відхилення прогнозованих значень від фактичних.

Вона характеризує наскільки в середньому модель помиляється у тих же одиницях, що й вихідна змінна.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (2.4)$$

де y_i – фактичні значення,

\hat{y}_i – прогнозовані значення,

n – кількість спостережень.

Інтерпретація: чим менший MAE – тим краща модель.

3. Корінь середньоквадратичної похибки (RMSE)

RMSE є одним із найбільш чутливих до великих помилок показників, оскільки квадрати відхилень підсилюють вплив великих похибок.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2.5)$$

Інтерпретація: малий RMSE означає, що великі помилки зустрічаються рідко.

4. Середня абсолютна відносна похибка (MAPE)

MAPE вимірює помилку у відсотках, що дозволяє порівнювати моделі навіть при різних масштабах.

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \quad (2.6)$$

Інтерпретація: MAPE < 10% – висока точність, 10–20% – добра, 20–50% – задовільна, 50% – низька точність.

5. Розрахунок показників точності

Розрахунки показників точності MAE, RMSE та MAPE виконуються відповідно до наведених вище формул із використанням програми Microsoft

Excel. Для цього у таблиці створюємо додаткові стовпці, у яких обчислюються абсолютні, квадратичні та відносні похибки між фактичними та модельними значеннями.

Результати розрахунків показані в таблицях 2.5, 2.6 та 2.7

Таблиця 2.5 – Результати розрахунку похибок для моделі «Лінійна регресія»

Роки	Фактичне значення	Лінійна регресія	Абсолютна похибка	Квадрат помилки	Відносна помилка
1990	190,9	187,4	3,50	12,25	0,018
1991	189,2	184,36	4,84	23,43	0,026
1992	187,4	181,32	6,08	36,97	0,032
1993	185,7	178,28	7,42	55,06	0,040
1994	182	175,24	6,76	45,70	0,037
1995	176,9	172,2	4,70	22,09	0,027
1996	171,2	169,16	2,04	4,16	0,012
1997	165,5	166,12	0,62	0,38	0,004
1998	159,5	163,08	3,58	12,82	0,022
1999	151,8	160,04	8,24	67,90	0,054
2000	143,7	157	13,30	176,89	0,093
2001	135,9	153,96	18,06	326,16	0,133
2002	128,1	150,92	22,82	520,75	0,178
2003	120,9	147,88	26,98	727,92	0,223
2004	114,9	144,84	29,94	896,40	0,261
2005	110,2	141,8	31,60	998,56	0,287
2006	106	138,76	32,76	1073,22	0,309
2007	103,2	135,72	32,52	1057,55	0,315
2008	101,4	132,68	31,28	978,44	0,308
2009	100,8	129,64	28,84	831,75	0,286
2010	100,8	126,6	25,80	665,64	0,256
2011	101,1	123,56	22,46	504,45	0,222
2012	101,9	120,52	18,62	346,70	0,183
2013	103,2	117,48	14,28	203,92	0,138
2014	104,8	114,44	9,64	92,93	0,092

Продовження таблиці 2.5

Роки	Фактичне значення	Лінійна регресія	Абсолютна похибка	Квадрат помилки	Відносна помилка
2015	107	111,4	4,40	19,36	0,041
2016	108,1	108,36	0,26	0,07	0,002
2017	108,8	105,32	3,48	12,11	0,032
2018	108,5	102,28	6,22	38,69	0,057
2019	107,4	99,24	8,16	66,59	0,076
2020	105,4	96,2	9,20	84,64	0,087
2021	103,1	93,16	9,94	98,80	0,096
2022	99,9	90,12	9,78	95,65	0,098
			MAE	RMSE	MAPE
			13,88	17,49	12,26

Таблиця 2.6 – Результати розрахунку похибок для моделі «ARIMA»

Роки	Фактичне значення	ARIMA	Абсолютна похибка	Квадрат помилки	Відносна помилка
1990	190,9	189,95	0,95	0,90	0,005
1991	189,2	189,43	0,23	0,05	0,001
1992	187,4	187,07	0,33	0,11	0,002
1993	185,7	185,37	0,33	0,11	0,002
1994	182	183,89	1,89	3,57	0,010
1995	176,9	177,12	0,22	0,05	0,001
1996	171,2	171,02	0,18	0,03	0,001
1997	165,5	165,2	0,30	0,09	0,002
1998	159,5	159,85	0,35	0,12	0,002
1999	151,8	153,42	1,62	2,62	0,011
2000	143,7	143,34	0,36	0,13	0,003
2001	135,9	135,6	0,30	0,09	0,002
2002	128,1	128,5	0,40	0,16	0,003
2003	120,9	120,57	0,33	0,11	0,003
2004	114,9	114,3	0,60	0,36	0,005
2005	110,2	109,82	0,38	0,14	0,003
2006	106	106,44	0,44	0,19	0,004
2007	103,2	102,31	0,89	0,79	0,009
2008	101,4	101,36	0,04	0,00	0,000

Продовження таблиці 2.6

Роки	Фактичне значення	ARIMA	Абсолютна похибка	Квадрат помилки	Відносна помилка
2009	100,8	100,32	0,48	0,23	0,005
2010	100,8	100,99	0,19	0,04	0,002
2011	101,1	101,24	0,14	0,02	0,001
2012	101,9	101,66	0,24	0,06	0,002
2013	103,2	103,05	0,15	0,02	0,001
2014	104,8	104,83	0,03	0,00	0,000
2015	107	106,6	0,40	0,16	0,004
2016	108,1	109,54	1,44	2,07	0,013
2017	108,8	108,64	0,16	0,03	0,001
2018	108,5	109,34	0,84	0,71	0,008
2019	107,4	107,74	0,34	0,12	0,003
2020	105,4	105,98	0,58	0,34	0,006
2021	103,1	103,07	0,03	0,00	0,000
2022	99,9	100,82	0,92	0,85	0,009
			MAE	RMSE	MAPE
			0,49	0,66	0,38

Таблиця 2.7 – Результати розрахунку похибок для моделі Prophet

Роки	Фактичне значення	Prophet	Абсолютна похибка	Квадрат помилки	Відносна помилка
1990	190,9	192,2	1,30	1,69	0,007
1991	189,2	189,62	0,42	0,18	0,002
1992	187,4	187,34	0,06	0,00	0,000
1993	185,7	184,49	1,21	1,46	0,007
1994	182	181,51	0,49	0,24	0,003
1995	176,9	176,81	0,09	0,01	0,001
1996	171,2	171,36	0,16	0,03	0,001
1997	165,5	165,34	0,16	0,03	0,001
1998	159,5	157,84	1,66	2,76	0,010
1999	151,8	150,69	1,11	1,23	0,007
2000	143,7	143,89	0,19	0,04	0,001
2001	135,9	136,52	0,62	0,38	0,005
2002	128,1	129,02	0,92	0,85	0,007

Продовження таблиці 2.7

Роки	Фактичне значення	Prophet	Абсолютна похибка	Квадрат помилки	Відносна помилка
2003	120,9	121,87	0,97	0,94	0,008
2004	114,9	115,07	0,17	0,03	0,001
2005	110,2	110,2	0,00	0,00	0,000
2006	106	105,9	0,10	0,01	0,001
2007	103,2	103,39	0,19	0,04	0,002
2008	101,4	101,24	0,16	0,03	0,002
2009	100,8	100,93	0,13	0,02	0,001
2010	100,8	100,49	0,31	0,10	0,003
2011	101,1	101,85	0,75	0,56	0,007
2012	101,9	103,56	1,66	2,76	0,016
2013	103,2	104,71	1,51	2,28	0,015
2014	104,8	105,72	0,92	0,85	0,009
2015	107	107,08	0,08	0,01	0,001
2016	108,1	106,97	1,13	1,28	0,010
2017	108,8	106,31	2,49	6,20	0,023
2018	108,5	105,5	3,00	9,00	0,028
2019	107,4	105,05	2,35	5,52	0,022
2020	105,4	104,94	0,46	0,21	0,004
2021	103,1	104,28	1,18	1,39	0,011
2022	99,9	103,47	3,57	12,74	0,036
			MAE	RMSE	MAPE
			0,89	1,27	0,76

За результатами розрахунків абсолютної, квадратичної та відносної похибок для кожної моделі формується зведена таблиця 2.8. У ній порівнюємо підсумкові значення MAE, RMSE та MAPE, що дозволяє об'єктивно оцінити точність моделей та визначити, яка з них забезпечує найменші помилки прогнозування.

Таблиця 2.8 – Зведена таблиця результатів

Модель розрахунку	Середня абсолютна похибка MAE, %	Корінь середньо-квадратичної похибки RMSE, %	Середня абсолютна відносна похибка MAPE, %
Лінійна регресія	13,88	17,49	12,26
ARIMA	0,49	0,66	0,38
Prophet	0,89	1,27	0,76

6. Висновки по розрахункам

Аналіз підсумкових показників точності (MAE, RMSE, MAPE) демонструє суттєву різницю в ефективності трьох моделей. Найгірший результат показує лінійна регресія, для якої всі значення похибок суттєво перевищують показники інших моделей: MAE = 13,88%, RMSE = 17,49%, MAPE = 12,26%. Це свідчить про те, що проста лінійна форма зв'язку не здатна адекватно описати поведінку часового ряду, який має нелінійні та структурні зміни протягом тривалого періоду.

Найкращою виявилася модель ARIMA, яка демонструє мінімальні значення помилок: MAE = 0,49%, RMSE = 0,66%, MAPE = 0,38%. Такі показники означають, що модель дуже точно відтворює історичні значення і правильно враховує як тренд, так і внутрішню динаміку ряду. Це робить ARIMA найбільш придатною для короткострокового прогнозування даних цього типу.

Модель Prophet також показала високу точність – її абсолютні та відносні помилки залишаються низькими (MAE = 0,89%, RMSE = 1,27%, MAPE = 0,76%). Хоча вона дещо поступається ARIMA, результати можна вважати дуже добрими, а сама модель – стабільною та адекватною до ряду з чітким трендом і без сезонності.

У підсумку, найточнішим інструментом для прогнозування кількості дітей віком від 0–6 років у цій роботі є модель ARIMA, тоді як Prophet демонструє близьку, але дещо гіршу точність. Лінійна регресія значно програє іншим моделям і може використовуватися лише як базовий підхід для загального порівняння.

2.6 Висновки до розділу 2

У другому розділі було проведено комплексний аналіз динаміки чисельності дітей віком 0–6 років у Запорізькій області та побудовано прогнози на основі трьох підходів: лінійної регресії, моделі ARIMA та моделі Prophet. На першому етапі було сформовано та підготовлено статистичні дані за період 1990 – 2022 років, а також виконано перетворення вихідного вікового показника 0–14 років у цільовий діапазон 0–6 років. Отриманий часовий ряд має чітко виражений спадний тренд, відсутність сезонності та високу автокорельованість, що визначило вибір моделей для подальшого прогнозування.

Аналіз ряду показав стаціонарність після урахування тренду, що підтверджено тестом Дікі–Фуллера. Це дозволило застосувати модель ARIMA без додаткового диференціювання. У ході моделювання було підібрано оптимальну модель ARMA(3,0), яка продемонструвала високу якість опису даних і статистичну значущість параметрів. Модель Prophet також успішно відтворила основну тенденцію ряду та забезпечила стабільний прогноз у довгостроковій перспективі.

Порівняння моделей за показниками точності MAE, RMSE та MAPE дозволило визначити, що найвищу точність забезпечує модель ARIMA, у якій усі показники похибок були мінімальними. Модель Prophet продемонструвала близькі, але дещо гірші показники точності, зберігаючи при цьому високу стабільність прогнозу. Натомість лінійна регресія показала значні відхилення та виявилася найменш точною серед розглянутих підходів, що пов'язано з її нездатністю враховувати складну структуру часового ряду.

Загалом у розділі 2 було обґрунтовано доцільність застосування моделей ARIMA та Prophet для прогнозування демографічних показників, продемонстровано їхню ефективність та отримано прогнозні оцінки чисельності дітей на 2023 – 2029 роки. Результати створюють надійну основу для подальших аналітичних висновків і планування потреб у сфері дошкільної освіти.

РОЗДІЛ 3 ПОБУДОВА НЕЧІТКОЇ МОДЕЛІ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB

3.1 Постановка задачі та вибір змінних

Попит на дошкільну освіту формується не лише демографією чи фінансуванням, а й рішеннями батьків: куди віддати дитину, чи віддавати взагалі, якому садку віддати перевагу.

У цьому розділі розглядається побудова нечіткої моделі в середовищі MATLAB з використанням Fuzzy Logic Toolbox. Модель реалізована на базі методу Мамдані (Mamdani) і призначена для підтримки ухвалення рішень у сфері дошкільної освіти. Вона є прикладом використання нечітких систем у моделюванні поведінкових факторів, які прямо або опосередковано впливають на формування попиту [25, 26].

Метою розробленої нечіткої моделі є оцінювання рівня впливу соціально-демографічних, економічних та організаційних чинників на формування попиту на заклади дошкільної освіти (ЗДО).

Застосування нечіткої логіки дає змогу урахувати якісні показники, що складно виміряти кількісно, а також оцінити їх комбінований ефект у вигляді узагальненого показника – «Рівень впливу».

Такий підхід дозволяє гнучко відображати суб'єктивний характер впливу різних факторів, враховувати локальні умови та приймати управлінські рішення щодо розвитку мережі ЗДО з урахуванням реальної ситуації в області або громаді.

1. Вхідні змінні

У системі моделювання використано вісім вхідних змінних, кожна з яких характеризує окремий аспект соціально-економічного середовища (рисунк 3.1):

- народжуваність (низька / середня / висока);
- міграція населення (негативна / нейтральна / позитивна);
- зайнятість жінок (низька / середня / висока);

- доступність ЗДО (висока / середня / низька);
- матеріальна база закладів (слабка / середня / сильна);
- кадрове забезпечення (недостатнє / достатнє / сильне);
- репутація закладу (низька / середня / висока;
- прогноз ARIMA (зниження / стабільність / зростання).

Ці змінні визначають ключові фактори, що впливають на рішення батьків щодо вибору дитячого садка, а також на загальний попит на місця у закладах дошкільної освіти.

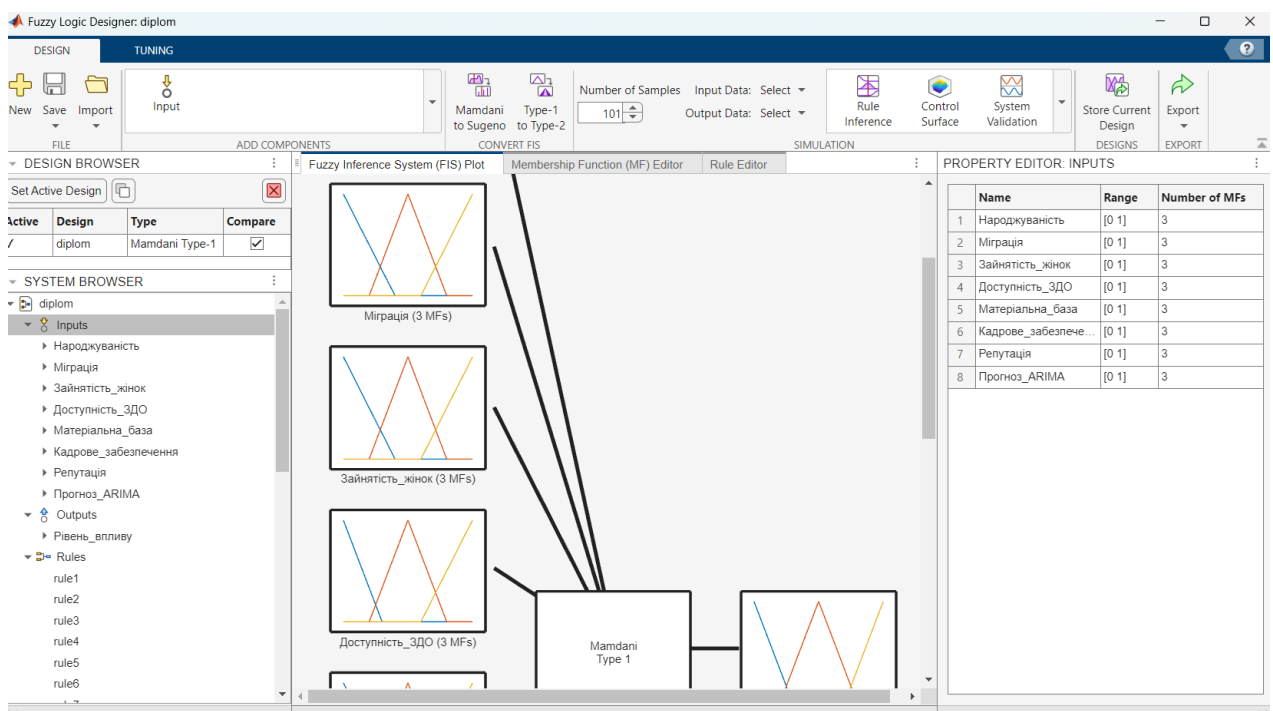


Рисунок 3.1 – Побудова моделі в середовищі Fuzzy Logic Toolbox

2. Вихідна змінна

Результатом роботи системи є “Рівень впливу”, який відображає інтегральну оцінку факторного навантаження на попит у певній громаді.

Він подається у трьох нечітких термах:

- низький рівень впливу (ситуація стабільна, зміни незначні);
- середній рівень впливу (чинники діють помірно, можливі окремі коливання попиту);

- високий рівень впливу (значні зміни умов, що можуть спричинити різке зростання або спад попиту на ЗДО).

3. Значення моделі

Отримане значення “Рівня впливу” використовується як вхідний параметр для формування управлінських сценаріїв розвитку мережі ЗДО (розділ 4).

Поєднання результатів прогнозування чисельності дітей (ARIMA) та оцінки рівня впливу (Fuzzy Logic) забезпечує комплексну аналітичну основу для вибору оптимального, стандартного або критичного сценарію розвитку освітньої мережі.

3.2 Побудова нечіткої моделі у Fuzzy Logic Toolbox

У межах даного дослідження для моделювання індивідуальної поведінки споживачів освітніх послуг було реалізовано нечітку модель ухвалення рішення про вибір закладу дошкільної освіти. Це дає змогу оцінити не лише загальні демографічні чи фінансові тенденції, а й психологічно-мотиваційний рівень формування попиту, що також є важливим у загальному прогнозуванні.

Для реалізації моделі було використано Fuzzy Logic Toolbox у середовищі MATLAB. Обрано метод Мамдані (Mamdani), який є одним із найпоширеніших методів нечіткого виведення. Він дозволяє працювати з лінгвістичними змінними, описувати логіку природною мовою (у вигляді правил "Якщо... Тоді...") та будувати людиноподібну систему прийняття рішень [25, 26].

На першому етапі було визначено основні вхідні змінні, що найбільш суттєво впливають на попит та рішення батьків щодо вибору дитячого садка. Оскільки більшість таких факторів мають якісний і суб'єктивний характер, для кожної лінгвістичної змінної було встановлено діапазони значень на основі експертних оцінок та логічного аналізу.

Це дозволило формалізувати такі поняття, як “висока народжуваність”, “негативна міграція” чи “сильна матеріальна база”, та відобразити їх у вигляді

нечітких множин, що точно передають особливості реального сприйняття соціально-економічних умов.

Діапазон (trimf -параметри) визначає межі функції належності для кожного терму. Для трикутних (trimf) або трапецієподібних (trapmf) функцій вказуються точки, які описують початок, центр і завершення відповідної категорії. Таке представлення дозволяє моделі враховувати нечіткість у людських оцінках та забезпечити плавні переходи між лінгвістичними значеннями.

На рисунку 3.2 та 3.3 зображено параметри деяких вхідних даних.

Name	Type	Parameters
Низька	Triangular	[0 0 0.4]
Середня	Triangular	[0.2 0.5 0.8]
Висока	Triangular	[0.6 1 1]

Name	Type	Parameters
Негативна	Triangular	[0 0 0.4]
Нейтральна	Triangular	[0.2 0.5 0.8]
Позитивна	Triangular	[0.6 1 1]

Рисунок 3.2 – Введення критеріїв та діапазону для змінних «Народжуваність», «Міграція»

Щоб краще структурувати інформацію та підкреслити, що вся модель повністю базується на якісних оцінках, представлених у нечіткій формі, виконаємо таблицю 3.1.

PROPERTY EDITOR: INPUT

Name: Доступність_ЗДО

Range: [0 1]

Number of MFs: 3

Evenly Distribute MFs

Name	Type	Parameters
Висока	Triangular	[0 0 0.3]
Середня	Triangular	[0.2 0.5 0.8]
Низька	Triangular	[0.6 1 1]

PROPERTY EDITOR: INPUT

Name: Прогноз_ARIMA

Range: [0 1]

Number of MFs: 3

Evenly Distribute MFs

Name	Type	Parameters
Зниження	Triangular	[0 0 0.4]
Стабільність	Triangular	[0.3 0.5 0.7]
Зростання	Triangular	[0.6 1 1]

Рисунок 3.3 – Введення критеріїв та діапазону для змінних
«Доступність_ЗДО», «Прогноз_ARIMA»

Таблиця 3.1 – Вхідні та вихідні критерії

№	Змінна	Лінгвістичні значення	Діапазон (trimf -параметри)
1	Народжуваність	Низька / Середня / Висока	[0 0 0.4] / [0.2 0.5 0.8] / [0.6 1 1]
2	Міграція	Негативна / Нейтральна / Позитивна	[0 0 0.4] / [0.2 0.5 0.8] / [0.6 1 1]
3	Зайнятість жінок	Низька / Середня / Висока	[0 0 0.4] / [0.2 0.5 0.8] / [0.6 1 1]
4	Доступність ЗДО	Низька / Середня / Висока	[0 0 0.3] / [0.2 0.5 0.8] / [0.6 1 1]
5	Матеріальна база	Слабка / Середня / Сильна	[0 0 0.4] / [0.2 0.5 0.8] / [0.6 1 1]
6	Кадрове забезпечення	Недостатнє / Достатнє / Сильне	[0 0 0.4] / [0.2 0.5 0.8] / [0.6 1 1]
7	Репутація	Низька / Середня / Висока	[0 0 0.4] / [0.2 0.5 0.8] / [0.6 1 1]
8	Прогноз ARIMA	Зниження / Стабільність / Зростання	[0 0 0.4] / [0.3 0.5 0.7] / [0.6 1 1]
9	Рівень впливу (вихідна змінна)	Низький / Середній / Високий	[0 0 0.3] / [0.2 0.5 0.8] / [0.7 1 1]

Наступним етапом стало формування бази нечітких правил (рисунок 3.4), які описують логіку прийняття рішень.

У розробленій моделі передбачено 24 базових правила, що відображають вплив кожного окремого фактора, та 8 комбінованих правил, які враховують взаємодію між змінними.

Загальна кількість нечітких правил становить 32, що забезпечує достатню гнучкість і точність моделі для оцінювання рівня впливу факторів на попит у сфері дошкільної освіти.

The screenshot displays the 'Rule Editor' window of a Fuzzy Inference System (FIS) software. The main window is titled 'PROPERTY EDITOR: RULE' and shows the configuration for rule 24. The rule is named 'rule24' and has a weight of 1. The condition (If) is 'Прогноз_ARIMA is Зниження then Рівень_впливу is Низький'. The consequence (Then) is 'Рівень_впливу is Низький'. The interface includes a table of all 32 rules, with rule 24 selected. The table columns are Rule, Weight, and Name. The rule text is in Ukrainian.

Rule	Weight	Name
14	1	rule14
15	1	rule15
16	1	rule16
17	1	rule17
18	1	rule18
19	1	rule19
20	1	rule20
21	1	rule21
22	1	rule22
23	1	rule23
24	1	rule24
25	1	rule25
26	1	rule26
27	1	rule27
28	1	rule28
29	1	rule29
30	1	rule30
31	1	rule31
32	1	rule32

Рисунок 3.4 – Введення правил прийняття рішень

Для зручності зобразимо їх у вигляді таблиці 3.2. Такі правила формують логіку, подібну до тієї, яку застосовують батьки в реальних життєвих ситуаціях.

Таблиця 3.2 – Введення правил прийняття рішень

№	Умова (IF)	Результат (THEN)
1	Народжуваність = Висока	Рівень впливу = Високий
2	Народжуваність = Середня	Рівень впливу = Середній
3	Народжуваність = Низька	Рівень впливу = Низький
4	Міграція = Позитивна	Рівень впливу = Високий

Продовження таблиці 3.2

№	Умова (IF)	Результат (THEN)
5	Міграція = Нейтральна	Рівень впливу = Середній
6	Міграція = Негативна	Рівень впливу = Низький
7	Зайнятість жінок = Висока	Рівень впливу = Високий
8	Зайнятість жінок = Середня	Рівень впливу = Середній
9	Зайнятість жінок = Низька	Рівень впливу = Низький
10	Доступність ЗДО = Висока	Рівень впливу = Середній
11	Доступність ЗДО = Середня	Рівень впливу = Середній
12	Доступність ЗДО = Низька	Рівень впливу = Високий
13	Матеріальна база = Сильна	Рівень впливу = Високий
14	Матеріальна база = Середня	Рівень впливу = Середній
15	Матеріальна база = Слабка	Рівень впливу = Низький
16	Кадрове забезпечення = Сильне	Рівень впливу = Високий
17	Кадрове забезпечення = Достатнє	Рівень впливу = Середній
18	Кадрове забезпечення = Недостатнє	Рівень впливу = Низький
19	Репутація = Висока	Рівень впливу = Високий
20	Репутація = Середня	Рівень впливу = Середній
21	Репутація = Низька	Рівень впливу = Низький
22	Прогноз ARIMA = Зростання	Рівень впливу = Високий
23	Прогноз ARIMA = Стабільність	Рівень впливу = Середній
24	Прогноз ARIMA = Зниження	Рівень впливу = Низький
25	Народжуваність = Висока та Зайнятість жінок = Висока	Рівень впливу = Високий
26	Народжуваність = Середня та Міграція = Нейтральна	Рівень впливу = Середній
27	Народжуваність = Низька та Міграція = Негативна	Рівень впливу = Низький
28	Доступність ЗДО = Низька або Матеріальна база = Слабка	Рівень впливу = Високий
29	Репутація = Висока та Кадрове забезпечення = Сильне	Рівень впливу = Високий
30	Прогноз ARIMA = Зростання та Народжуваність = Висока	Рівень впливу = Високий
31	Прогноз ARIMA = Зниження та Міграція = Негативна	Рівень впливу = Низький
32	Матеріальна база = Середня та Доступність ЗДО = Висока	Рівень впливу = Середній

Третім кроком переходимо до налаштування механізмів виведення. У моделі реалізовано класичний підхід до нечіткого виведення типу *min-max inference* із використанням методу дефазифікації “centroid” (центр ваги). Таке поєднання дозволяє ефективно обробляти правила логічного типу й отримувати плавне, числове значення на виході. У середовищі Fuzzy Logic Designer в

MATLAB відповідні параметри задаються через панель властивостей (Property Editor) (рисунок 3.5).

PROPERTY EDITOR: FIS

Type:	Mamdani Type-1
Name	<input type="text" value="diplom"/>
And method	<input type="text" value="min"/> ▼
Or method	<input type="text" value="max"/> ▼
Implication method	<input type="text" value="min"/> ▼
Aggregation method	<input type="text" value="max"/> ▼
Defuzzification method	<input type="text" value="centroid"/> ▼
Inputs:	8
Outputs:	1
Rules:	32

Рисунок 3.5 – Налаштування механізмів виведення

Пояснення до налаштувань наводимо у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Налаштування механізмів виведення

Параметр	Обране значення	Призначення
And method	min	Визначає мінімальне значення при логічному "і" у правилах
Or method	max	Визначає максимальне значення при логічному "або"
Implication method	min	Застосовується до кожного окремого правила
Aggregation method	max	Об'єднує всі результати правил перед дефазифікацією
Defuzzification method	centroid	Обчислює центр ваги отриманої функції – числовий результат на виході

Таким чином, модель забезпечує зрозумілу, логічну та плавну систему ухвалення рішень, яка враховує всі сформовані правила, інтегрує їх у єдиний результат і дозволяє користувачу отримати чітку оцінку рівня впевненості у виборі дитячого садка.

3.3 Аналіз результатів

Після завершення побудови нечіткої моделі в середовищі MATLAB було проведено її тестування, візуалізацію та ручне моделювання типових ситуацій. Це дозволило оцінити поведінку системи при різних комбінаціях вхідних значень і переконатися в адекватності логіки виведення.

Вбудовані в MATLAB інструменти (Rule Viewer, Control Surface) дають змогу наочно дослідити механізм виведення, що є зручним для тестування та пояснення роботи моделі.

1. Rule Inference – аналіз активації правил

На основі заданих вхідних значень $[0.5/0.5/0.5/0.5/0.5/0.5/0.5/0.5]$, які відповідають середнім значенням усіх восьми факторів, у вікні Rule Viewer видно (рисунок 3.6):

- які правила було активовано (в основному – з середньою та близькою локацією);
- яке значення отримала вихідна змінна ($decision = 0,5$, що відповідає середньому рівню впевненості).

Також було перевірено іншу ситуацію (рисунок 3.7): при народжуваності $= 0,7$, доступність $0,85$ та репутація $= 0,7$, при тих самих інших значеннях показників, модель видала результат $decision = 0,61$. Це свідчить, що за таких умов доцільність ухвалення позитивного управлінського рішення є середньою – рішення можливе, але потребує додаткового аналізу.



Рисунок 3.6 – Аналіз результатів №1

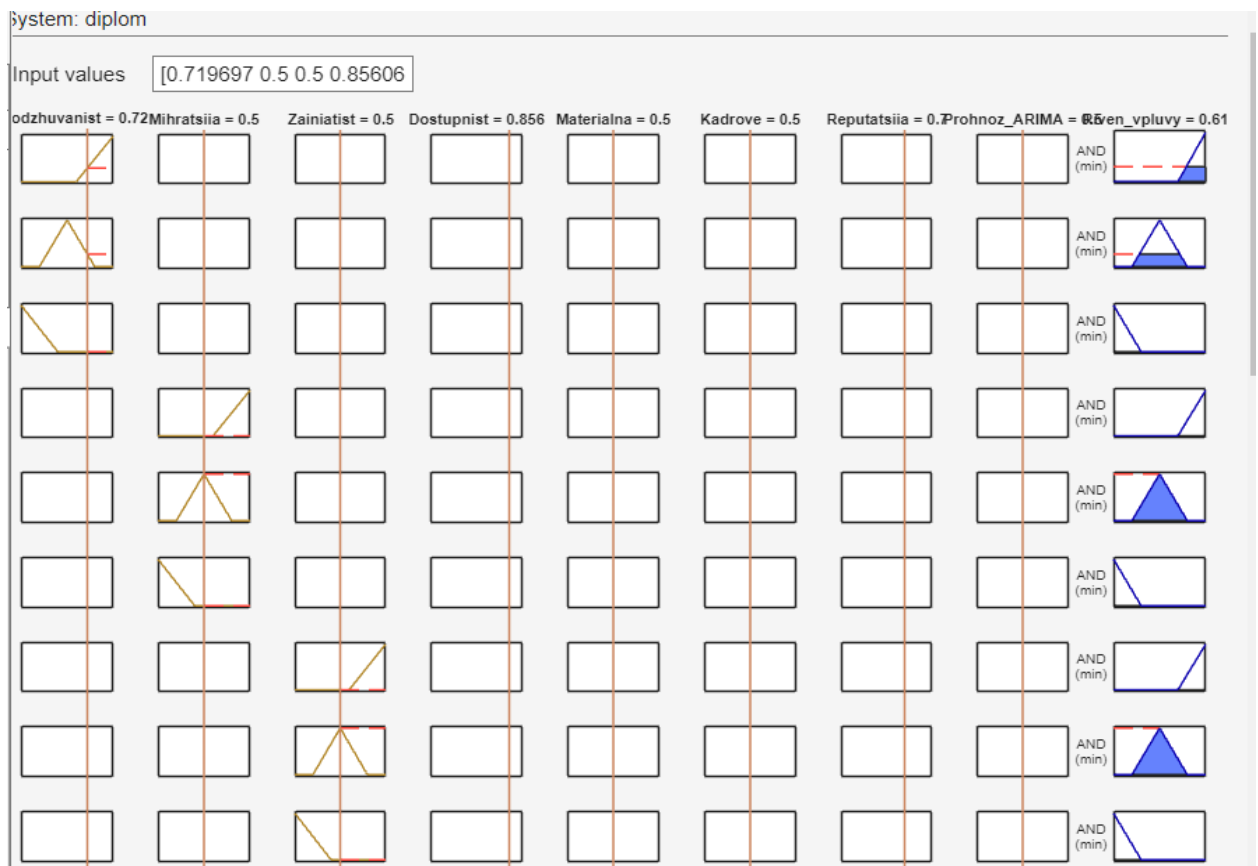


Рисунок 3.7 – Аналіз результатів №2

2. Control Surface – тривимірна візуалізація

Для наочності взаємозв'язку між вхідними змінними було побудовано поверхню виведення (Control Surface) для таких осей:

X – форма власності;

Y – локація;

Z – рівень упевненості у виборі.

На графіку (рисунок 3.8) видно, що зі зростанням народжуваності та доступності закладів дошкільної освіти рівень впливу поступово підвищується. Найменші значення спостерігаються при низькій народжуваності та низькій доступності ЗДО, тоді як максимальний рівень впливу досягається за високих значень обох показників. Це підтверджує пряму залежність рівня управлінського рішення від народжуваності та доступності закладів. Поверхня є гладкою, без розривів, це вказує на узгодженість і стабільність нечіткого моделювання.

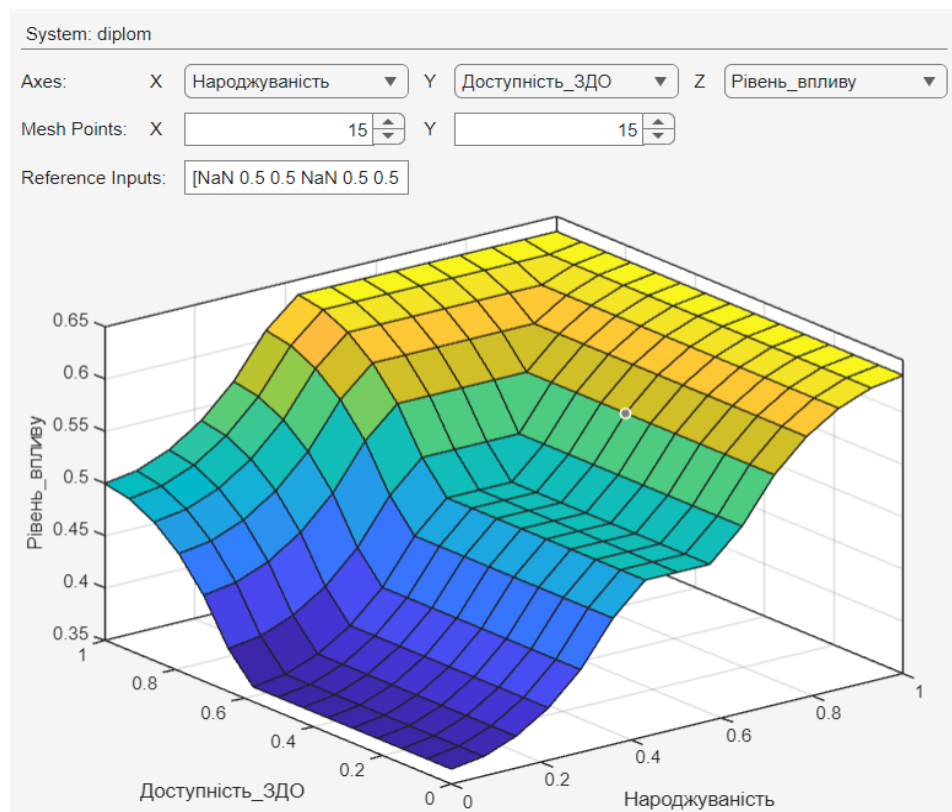


Рисунок 3.8 – Графік тривимірної візуалізації результатів

В результаті можна скласти загальну картину: модель показала очікувану поведінку на вхідні дані – чим вищі значення народжуваності, доступності закладів дошкільної освіти, кадрового та матеріального забезпечення, тим вищим є рівень впливу та ймовірність ухвалення позитивного управлінського рішення. Низькі значення показників, навпаки, знижують рівень впливу та доцільність такого рішення.

3.4 Висновки до розділу 3

У цьому розділі було побудовано та проаналізовано нечітку модель підтримки управлінських рішень щодо розвитку закладів дошкільної освіти, реалізовану в середовищі MATLAB за допомогою Fuzzy Logic Toolbox. Модель побудована на основі підходу Мамдані та враховує основні соціально-економічні й демографічні фактори: народжуваність, міграцію населення, зайнятість жінок, доступність ЗДО, матеріальну базу, кадрове забезпечення, репутацію закладу та прогноз за ARIMA.

Проведений аналіз показав, що:

- модель логічно та адекватно реагує на зміну вхідних параметрів;
- рівень впливу та доцільність управлінського рішення зростають за поєднання сприятливих факторів (висока народжуваність, висока доступність ЗДО, сильна матеріальна база та кадрове забезпечення);
- система стабільно працює навіть за складних і комбінованих умов завдяки використанню нечітких множин і правил.

Таким чином, побудована нечітка модель може бути використана як допоміжний інструмент підтримки управлінських рішень у сфері дошкільної освіти. Вона дозволяє враховувати якісні та невизначені фактори, що доповнюють кількісні методи прогнозування попиту на заклади дошкільної освіти.

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ТА ФОРМУВАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ

4.1 Концепція та архітектура ВІСППР

Розробка системи підтримки управлінських рішень базується на результатах, отриманих у попередніх розділах дослідження. Теоретичні положення (розділ 1), статистичний аналіз демографічних даних та побудовані прогнозні моделі (розділ 2), а також оцінка впливу факторів за допомогою нечіткої логіки (розділ 3) створили необхідне підґрунтя для практичної реалізації аналітичного інструменту. Саме узагальнення цих результатів дає змогу перейти від наукового обґрунтування до розроблення прикладного веб-сервісу, який забезпечує підтримку прийняття рішень щодо розвитку та оптимізації мережі закладів дошкільної освіти.

Сучасне управління мережею закладів дошкільної освіти (ЗДО) потребує переходу від традиційного описового аналізу до аналітично-прогнозних моделей, здатних не лише фіксувати поточний стан системи, а й передбачати її подальший розвиток. Важливу роль у цьому процесі відіграють веб-інструменти системи підтримки прийняття рішень (ВІСППР), які поєднують можливості збору, оброблення, прогнозування та візуалізації даних.

Запропонований у межах цього дослідження ВІСППР створено для прогнозування попиту на заклади дошкільної освіти та визначення можливих сценаріїв розвитку мережі ЗДО в умовах демографічної кризи. Інструмент поєднує результати статистичного прогнозування чисельності дітей із факторними оцінками, що дає змогу комплексно оцінювати ситуацію та підтримувати прийняття управлінських рішень на рівні областей.

Функціональні можливості системи

Розробляємо веб-інструмент, який виконуватиме такі основні функції (рисунок 4.1):

1. Аналітична обробка даних – імпорт, очищення та нормалізація базових статистичних показників (чисельність населення, кількість дітей 0–6 років, кількість ЗДО, народжуваність, міграція), на основі яких формуються узагальнені показники доступності ЗДО, матеріальної бази, кадрового забезпечення та репутації для подальшого використання в нечіткій моделі;

2. Прогнозування – автоматичний запуск моделі ARIMA для формування прогнозів чисельності дітей;

3. Оцінка факторного впливу – застосування нечіткої моделі для аналізу впливу соціальних, економічних і територіальних факторів;

4. Формування сценаріїв – генерування варіантів розвитку мережі ЗДО на основі прогнозу і факторної оцінки;

5. Візуалізація результатів – графічне подання інформації (графіки, карти, таблиці);

6. Інтерактивна взаємодія з користувачем – вибір області, часових меж прогнозу та факторних параметрів.



Рисунок 4.1 – Функціональні можливості системи

Загальна архітектура системи

ВІСПІР реалізується як тришарова клієнт-серверна система [23], що включає:

1. Frontend (користувацький інтерфейс)

Реалізований із використанням HTML, CSS та JavaScript (або бібліотек React/Bootstrap). Забезпечує візуалізацію даних, побудову графіків та інтерактивну взаємодію з користувачем.

2. Backend (аналітичний сервер)

Реалізований на Python із використанням фреймворку Flask або Django.

Основні функції:

- отримання запитів користувача;
- запуск моделей ARIMA та Fuzzy Logic;
- оброблення результатів і формування рекомендацій;
- передача даних на Frontend через REST API у форматі JSON.

3. Database (база даних)

Використовується для зберігання:

- демографічних даних (чисельність населення, кількість дітей віком 0–6 років, показники народжуваності та міграції по областях);
- результатів прогнозування (прогнози за моделлю ARIMA);
- значень факторних показників для нечіткої моделі (доступність ЗДО, матеріальна база, кадрове забезпечення, репутація);
- результатів нечіткого висновку та рекомендацій щодо управлінських рішень.

Базу даних реалізовано у середовищі PostgreSQL.

4. Аналітичний модуль

Включає два підмодулі:

- модуль прогнозування (ARIMA) – формує прогноз чисельності дітей віком 0–6 років на 7 років уперед.

- модуль нечіткої логіки (Fuzzy Logic) – оцінює вплив соціально-економічних та демографічних факторів і визначає рівень доцільності ухвалення управлінських рішень у системі закладів дошкільної освіти.

5. Модуль візуалізації

Формує графіки, таблиці та карти доступності закладів дошкільної освіти на основі результатів прогнозування та нечіткої моделі. Для візуалізації використовується бібліотека Plotly або інтеграція з Power BI / Tableau Public.

На рисунку 4.2 [розроблено автором] зображуємо узагальнену архітектуру ВІСППР.

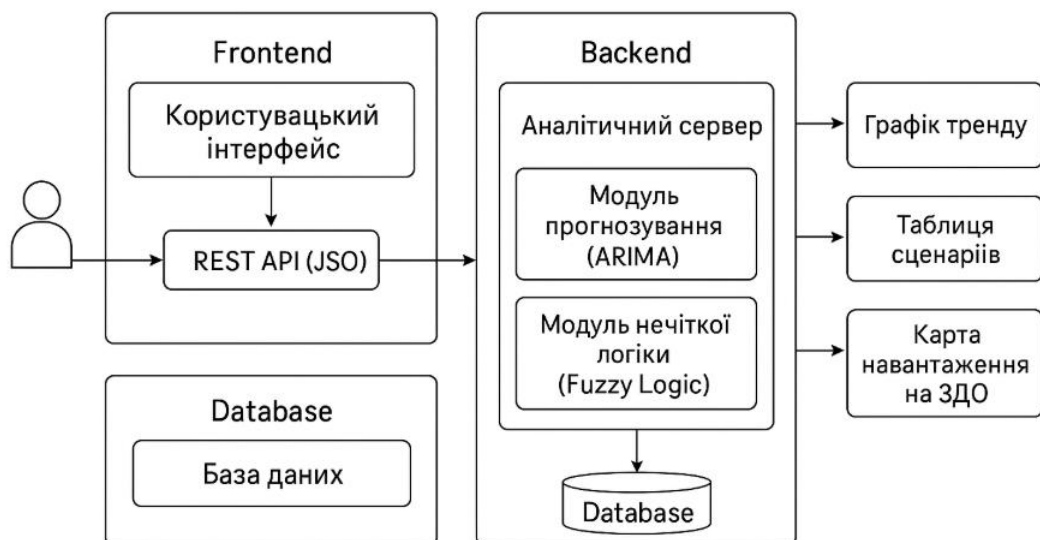


Рисунок 4.2 – Структурна схема архітектури ВІСППР

Примітка: Рисунок відображає взаємодію основних модулів користувацького інтерфейсу, аналітичного сервера, бази даних та модулів прогнозування і нечіткої логіки.

Опис схеми: користувач через веб-інтерфейс обирає область, період прогнозування та задає сценарні значення факторних параметрів (народжуваність, міграцію населення, зайнятість жінок, матеріальну базу, кадрове забезпечення, репутацію закладів). Базові демографічні показники та

історичні дані автоматично завантажуються з бази даних. Далі запит передається до аналітичного модуля, де здійснюється розрахунок прогнозу чисельності дітей за моделлю ARIMA. Отримані прогнозні значення разом із заданими факторними параметрами надходять до модуля нечіткої логіки, який формує рівень доцільності управлінського рішення. Результати зберігаються у базі даних та відображаються користувачеві у вигляді інтерактивної візуалізації (графік, таблиця сценаріїв, інтерактивна карта).

Для забезпечення узгодженої роботи всіх модулів ВІСППР у системі реалізовано чітку послідовність обробки інформаційних потоків. Взаємодію основних компонентів системи та рух інформаційних потоків наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Інформаційні потоки та взаємодія компонентів

Етап	Джерело даних	Операція	Результат
1	CSV/Excel	Імпорт даних	Формування базового набору даних
2	Backend	Обробка і нормалізація	Часовий ряд дітей 0–6 років
3	Модуль ARIMA	Прогнозування	Прогноз на 7 років уперед
4	Модуль Fuzzy Logic	Факторний аналіз	Рівень впливу факторів (низький / середній / високий)
5	Алгоритм сценаріїв	Формування рішень	Варіанти оптимізації мережі ЗДО
6	Visualization	Відображення результатів	Таблиця сценаріїв, графік, карта

Для реалізації веб-інструменту було обрано сучасний стек інформаційних технологій, який забезпечує ефективну обробку даних, виконання прогнозних розрахунків і зручну взаємодію з користувачем. Кожен компонент системи відповідає за окремий етап функціонування ВІСППР – від формування інтерфейсу до аналітичної обробки та візуалізації результатів.

Технологічну основу реалізації ВІСППР наведено в таблиці 4.2 [23].

Таблиця 4.2 – Технологічна основа реалізації ВІСППР

Компонент	Технологія / бібліотека	Призначення
Frontend	HTML, CSS, JavaScript, Plotly.js	Інтерфейс, графіки, карти
Backend	Python (Flask / Django)	Аналітична логіка, обробка запитів
Прогнозування	Python, statsmodels (ARIMA)	Модель прогнозу
Нечітка логіка	Python, scikit-fuzzy	Оцінка факторів впливу
Database	PostgreSQL / SQLite	Зберігання даних
Visualization	Plotly, Dash, Power BI (опціонально)	Відображення результатів

Особливості інтеграції моделей

Інтеграція прогнозної та нечіткої моделей здійснюється за принципом послідовної аналітики (рисунок 4.3 [розроблено автором]): на основі історичних даних система генерує прогноз (ARIMA); прогнозовані значення стають вхідними параметрами нечіткої моделі; нечітка система, використовуючи правила типу IF–THEN, оцінює рівень ризику управлінського навантаження (наприклад: IF чисельність дітей ↓ AND зайнятість жінок ↑ THEN попит на ЗДО = середній); обидва результати об'єднуються для формування сценаріїв і рекомендацій.

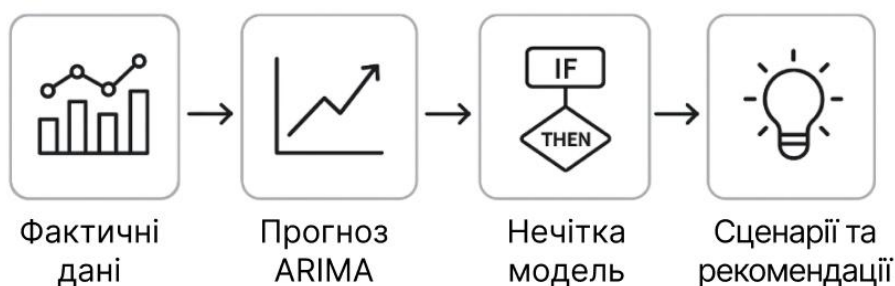


Рисунок 4.3 – Особливості інтеграції моделі ВІСППР

Розроблений концепт ВІСППР забезпечує поєднання математичного прогнозування та нечіткого логічного аналізу факторів у єдиній інтегрованій веб-системі. Такий підхід дозволяє перейти від статичних звітів до

інтерактивного управління мережею ЗДО, де користувач може бачити прогнозні тренди, оцінювати ризики та отримувати практичні рекомендації. Архітектура системи є модульною, що дає можливість розширювати її функціональність – від аналітики на рівні області до індивідуальних громад.

4.2 Алгоритм формування управлінських сценаріїв оптимізації мережі ЗДО

Ефективне управління мережею закладів дошкільної освіти (ЗДО) передбачає не лише аналіз поточного стану, а й формування можливих сценаріїв розвитку на основі прогнозних та факторних даних.

З урахуванням результатів прогнозування чисельності дітей та факторного аналізу за допомогою нечіткої логіки, у цьому підрозділі розроблено алгоритм формування управлінських сценаріїв оптимізації мережі ЗДО.

Основна ідея алгоритму (рисунок 4.4 [розроблено автором]) полягає у поєднанні кількісних прогнозів, отриманих за моделлю ARIMA, із якісними оцінками факторів впливу, сформованими за допомогою нечіткої логіки, для створення трьох сценаріїв розвитку мережі закладів дошкільної освіти:

- оптимального;
- стандартного;
- критичного.

Таке моделювання дає змогу органам державного та місцевого управління обирати обґрунтовану стратегію розвитку мережі ЗДО в межах області залежно від прогнозної динаміки демографічних процесів, ресурсних можливостей та соціально-економічних умов.

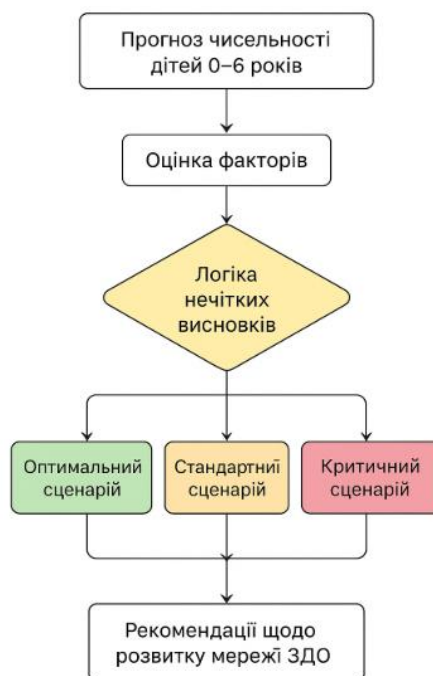


Рисунок 4.4 – Логічна схема генерації сценаріїв у ВІСППР

Сценарії розвитку мереж ЗДО

1. Оптимальний сценарій.

Оптимальний сценарій формується за умов сприятливих значень більшості вхідних факторів: високого або середнього рівня народжуваності, позитивної або нейтральної міграції населення, високої зайнятості жінок, належної доступності закладів дошкільної освіти, а також сильної матеріально-технічної бази та достатнього кадрового забезпечення.

Для цього сценарію характерне зростання або стабільно високий прогноз чисельності дітей за моделлю ARIMA та високі значення вихідної змінної нечіткої моделі (decision).

Він передбачає:

- доцільність розширення мережі ЗДО;
- відкриття нових груп або закладів;
- інвестування в оновлення матеріально-технічної бази;
- залучення додаткових педагогічних кадрів.

Реалізація цього сценарію спрямована на розвиток системи дошкільної освіти та підвищення її доступності й якості.

2. Стандартний сценарій

Стандартний сценарій відповідає помірним або змішаним значенням факторів, коли частина показників має середній рівень, а інша – знаходиться на межі між сприятливими та несприятливими значеннями. Прогноз ARIMA у цьому випадку, як правило, демонструє стабільність або незначні коливання чисельності дітей.

Для цього сценарію характерні середні значення вихідної змінної нечіткої моделі, що свідчить про відсутність як критичних загроз, так і виражених передумов для активного розвитку.

Він передбачає:

- збереження існуючої мережі ЗДО без суттєвого розширення;
- точкову оптимізацію навантаження між закладами;
- поступове оновлення матеріальної бази;
- підтримання кадрового потенціалу без значного збільшення чисельності персоналу.

Стандартний сценарій орієнтований на стабілізацію системи дошкільної освіти та раціональне використання наявних ресурсів.

3. Критичний сценарій

Критичний сценарій формується за негативної сукупності факторів: низької народжуваності, від'ємної міграції населення, низької зайнятості жінок, обмеженої доступності ЗДО, слабкої матеріальної бази та недостатнього кадрового забезпечення. Прогноз ARIMA у цьому випадку вказує на стале зниження чисельності дітей.

Для цього сценарію характерні низькі значення вихідної змінної нечіткої моделі, що свідчить про високі ризики для ефективного функціонування мережі ЗДО.

Він передбачає:

- оптимізацію та укрупнення мережі закладів;

- можливе закриття або об'єднання малокомплектних ЗДО;
- перерозподіл кадрових і фінансових ресурсів;
- скорочення капітальних витрат та перехід до режиму жорсткої економії.

Критичний сценарій спрямований на мінімізацію втрат та адаптацію системи дошкільної освіти до несприятливих демографічних і соціально-економічних умов.

Таким чином, сформовані оптимальний, стандартний та критичний сценарії відображають можливі напрями розвитку мережі закладів дошкільної освіти залежно від прогнозованої демографічної ситуації та сукупного впливу соціально-економічних факторів. Запропонований підхід дозволяє органам управління своєчасно реагувати на зміни та обирати найбільш доцільні управлінські рішення.

Отримані сценарії відображаються у вигляді інтерактивних графіків і таблиць у системі ВІСППР, що дозволяє користувачеві швидко оцінити тенденції та обрати доцільний варіант дій.

У таблиці 4.3 наведено узагальнені комбінації факторів, що відображають найтипівіші ситуації, які виникають у процесі планування розвитку мережі ЗДО.

Необхідності у детальному переліку всіх можливих поєднань вхідних змінних немає, оскільки нечітка модель здатна самостійно інтерполювати результати між визначеними сценаріями. Таким чином, навіть проміжні або нестандартні стани системи будуть автоматично віднесені до одного з трьох основних типів сценаріїв – оптимального, стандартного чи критичного – залежно від розрахованого рівня впливу.

Таблиця 4.3 – Структура логічного відбору сценаріїв

Умова (if/else)	Демографічний прогноз (ARIMA)	Характеристика впливу факторів (Fuzzy Logic)	Тип сценарію (decision)	Автоматично згенеровані рекомендації
if decision ≥ 0.70	Зростання або стабільно високі значення	Висока народжуваність, позитивна міграція, висока зайнятість жінок, достатня або висока доступність ЗДО, сильна матеріальна база, сильне кадрове забезпечення, висока репутація закладів	Оптимальний	→ recommend = "Розширити мережу ЗДО, відкрити нові групи, інвестувати в інфраструктуру, посилити фінансування та кадрове забезпечення"
else if decision ≥ 0.40 and decision < 0.70	Стабільність або незначні коливання	Середня народжуваність, нейтральна міграція, середня зайнятість жінок, середня доступність ЗДО, середня матеріальна база, достатнє кадрове забезпечення, середня репутація	Стандартний	→ recommend = "Зберегти існуючу мережу, провести локальну оптимізацію, поступово оновити матеріальну базу, підтримати кадровий потенціал"
else if decision < 0.40	Спад чисельності дітей	Низька народжуваність, негативна міграція, низька зайнятість жінок, низька доступність ЗДО, слабка матеріальна база, недостатнє кадрове забезпечення, низька репутація закладів	Критичний	→ recommend = "Оптимізувати або укрупнити мережу, можливе об'єднання ЗДО, перерозподіл ресурсів, скорочення витрат"

4.3 Візуалізація прогнозів та демонстрація роботи ВІСППР

Візуалізація результатів є одним із ключових етапів функціонування ВІСППР. Вона забезпечує наочне подання аналітичної інформації та дозволяє користувачам оперативно оцінювати демографічну ситуацію, рівень навантаження на ЗДО і можливі управлінські сценарії.

Основна мета цього етапу – перетворити результати прогнозування та сценарного аналізу на зрозумілі графічні форми: графік, таблицю та карту.

1. Загальні принципи візуалізації

Система візуалізації у ВІСППР побудована відповідно до таких принципів:

- інтерактивність – користувач має можливість обирати область, часовий інтервал прогнозування, а також задавати значення факторних параметрів (народжуваність, міграцію населення, зайнятість жінок, матеріальну базу, кадрове забезпечення та репутацію ЗДО);

- наочність – графіки та карти виконані у кольоровій гамі, що підкреслює ключові відмінності між сценаріями;

- узгодженість даних – усі елементи дашборду автоматично оновлюються при зміні вхідних параметрів;

- адаптивність – інтерфейс коректно відображається як на персональних комп'ютерах, так і на мобільних пристроях;

- аналітична цінність – кожен елемент візуалізації має змістове навантаження та сприяє ухваленню обґрунтованих управлінських рішень.

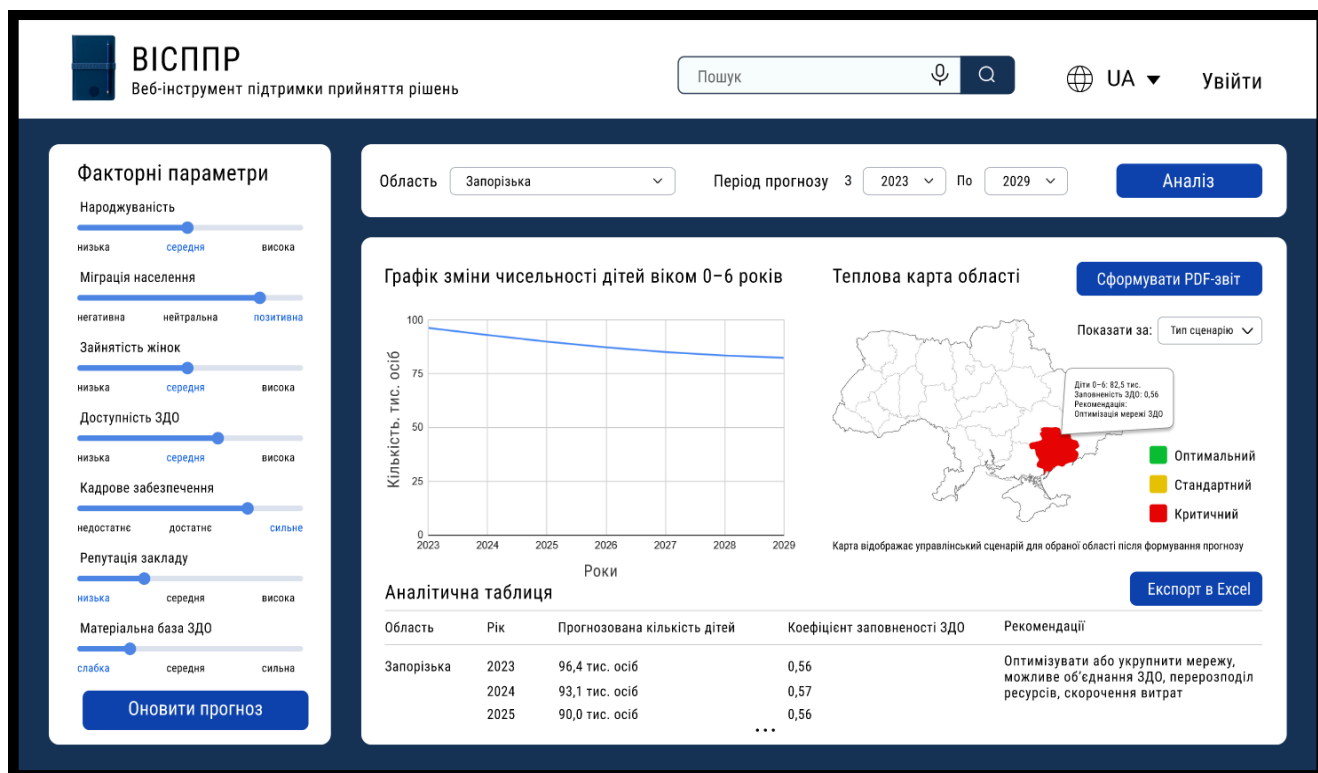


Рисунок 4.5 – Макет головної сторінки веб-сторінки ВІСППР

2. Інтерфейс системи ВІСППР

Розроблений інтерфейс містить панель керування з інтерактивними фільтрами (вибір області, періоду прогнозу та типу параметрів) й аналітичну панель, на якій результати відображаються у вигляді графіка, карти та таблиці. Модель дизайну веб-сторінки ВІСППР зображено на рисунку 4.5 [розроблено автором].

На головному екрані розміщено такі функціональні блоки:

- панель факторних параметрів – блок із повзунками для задання значень основних факторів: народжуваності, міграції населення, зайнятості жінок, доступності ЗДО, кадрового забезпечення, репутації закладів та матеріальної бази ЗДО. Зміна параметрів дозволяє оперативно оновлювати прогноз.

- панель параметрів прогнозування – випадаючі списки для вибору області та періоду прогнозу (від 2023 до 2029 років), а також кнопка запуску аналізу.

- графічна панель прогнозу – динамічний графік зміни чисельності дітей віком 0–6 років за роками, сформований на основі моделі ARIMA.

- карта територій – інтерактивна теплова карта області, на якій кольорами відображено тип управлінського сценарію (оптимальний, стандартний, критичний), визначений системою на підставі прогнозних та факторних даних.

- аналітична таблиця – містить прогнозовану кількість дітей, коефіцієнт заповненості закладів дошкільної освіти та текстові рекомендації для органів управління.

- кнопки експорту результатів – забезпечують формування PDF-звіту та експорт аналітичних даних у форматі Excel для подальшого використання.

Завдяки такому підходу система виконує інформаційну та аналітично-консультативну функцію, забезпечуючи зручний доступ до результатів прогнозування й аналітики у форматі, зрозумілому користувачеві без спеціальних технічних знань.

Візуалізація прогнозів і сценаріїв у межах ВІСППР перетворює складні аналітичні розрахунки на зрозумілі графічні образи, які легко інтерпретуються керівниками освітньої галузі. Інтерактивна структура системи дозволяє швидко

оцінювати ситуацію в кожній області, прогнозувати зміни навантаження на заклади дошкільної освіти та формувати управлінські рішення на основі даних.

Таким чином, ВІСППР виступає не лише як програмний продукт, а як інструмент стратегічного планування розвитку освітньої мережі.

4.4 Висновки по розділу 4

У цьому розділі було розроблено та представлено веб-інструмент системи підтримки прийняття рішень (ВІСППР) щодо планування та оптимізації мережі закладів дошкільної освіти, який інтегрує математичні методи прогнозування та механізми нечіткої логіки для формування обґрунтованих управлінських сценаріїв.

На основі результатів попередніх розділів сформовано концептуальну модель системи, що включає три основні компоненти: модуль прогнозування, модуль нечіткої логіки та візуалізаційно-аналітичний модуль. Вона ґрунтується на сучасному стеку технологій: Python для аналітичної частини, Plotly для візуалізації, PostgreSQL для зберігання даних та HTML для реалізації інтерфейсу.

Розроблений алгоритм формування управлінських сценаріїв поєднує кількісні прогнози із якісними факторними оцінками, що дозволяє отримувати три типи сценаріїв: оптимальний, стандартний і критичний. Такий підхід забезпечує всебічну оцінку стану мережі ЗДО та дає можливість визначати ефективні управлінські дії залежно від демографічних і соціально-економічних умов регіону.

У підсумку, виконана в цьому розділі розробка демонструє практичну реалізацію інтегрованої системи підтримки управлінських рішень у сфері дошкільної освіти. ВІСППР дозволяє не лише аналізувати поточний стан мережі ЗДО, а й прогнозувати її розвиток, виявляти ризики, оцінювати вплив ключових факторів і формувати рекомендації щодо оптимізації.

РОЗДІЛ 5 РЕАЛІЗАЦІЯ ВЕБ-ІНСТРУМЕНТУ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

5.1 Середовище розробки та використані програмні засоби

Реалізація ВІСППР здійснювалася з використанням сучасних засобів клієнтської веб-розробки. Для формування інтерфейсної частини було використано онлайн-платформу <https://v0.app/>, яка дозволяє створювати React-компоненти на основі текстових описів та експортувати готовий код у форматі TypeScript/JSX.

Основою клієнтської частини веб-інструменту є фреймворк Next.js, що працює поверх бібліотеки React та забезпечує модульну структуру додатку. Для типізації даних застосовано TypeScript, що підвищує надійність програмного коду та зменшує кількість помилок під час розробки. Оформлення інтерфейсу здійснювалось із використанням каскадних таблиць стилів (CSS), зокрема глобальних стилів, розміщених у файлі `globals.css`. Для відображення графіків і таблиць застосовано вбудовані можливості React-компонентів та стандартні засоби візуалізації, що не потребують складних серверних обчислень.

Таблиця 5.1 – Програмні засоби, використані у процесі розробки

Засіб / технологія	Характеристика та призначення
https://v0.app/	Створення макетів інтерфейсу та автоматична генерація UI-компонентів
React	Побудова інтерфейсу на основі компонентів
Next.js	Опис сторінок, маршрутизація, обробка клієнтських запитів
TypeScript	Типізація, контроль структури даних, зменшення можливих помилок
CSS / Tailwind	Стилізація компонентів, реалізація адаптивності
ECharts / Chart.js	Графічна візуалізація даних
Leaflet / Mapbox	Робота з інтерактивною картою
Local JSON / CSV імпорт	Завантаження та оновлення даних прогнозу

Веб-інструмент реалізований як клієнтський веб-додаток, що працює у браузері користувача. Дані для візуалізації вводяться у вигляді підготовлених масивів значень та використовуються для формування графіків, таблиць і карти.

Використаний набір програмних засобів забезпечує простоту реалізації, гнучкість структури проекту та можливість подальшого розширення функціональних можливостей веб-інструменту.

5.2 Структура програмного проекту веб-інструменту

Структура веб-інструменту побудована за стандартами фронтенд-розробки з використанням Next.js, що забезпечує чітке розділення інтерфейсних компонентів, службових модулів та даних. Нижче наведено дерево файлів проекту зі стислим описом призначення кожного елемента (рисунок 5.1 [розроблено автором]).

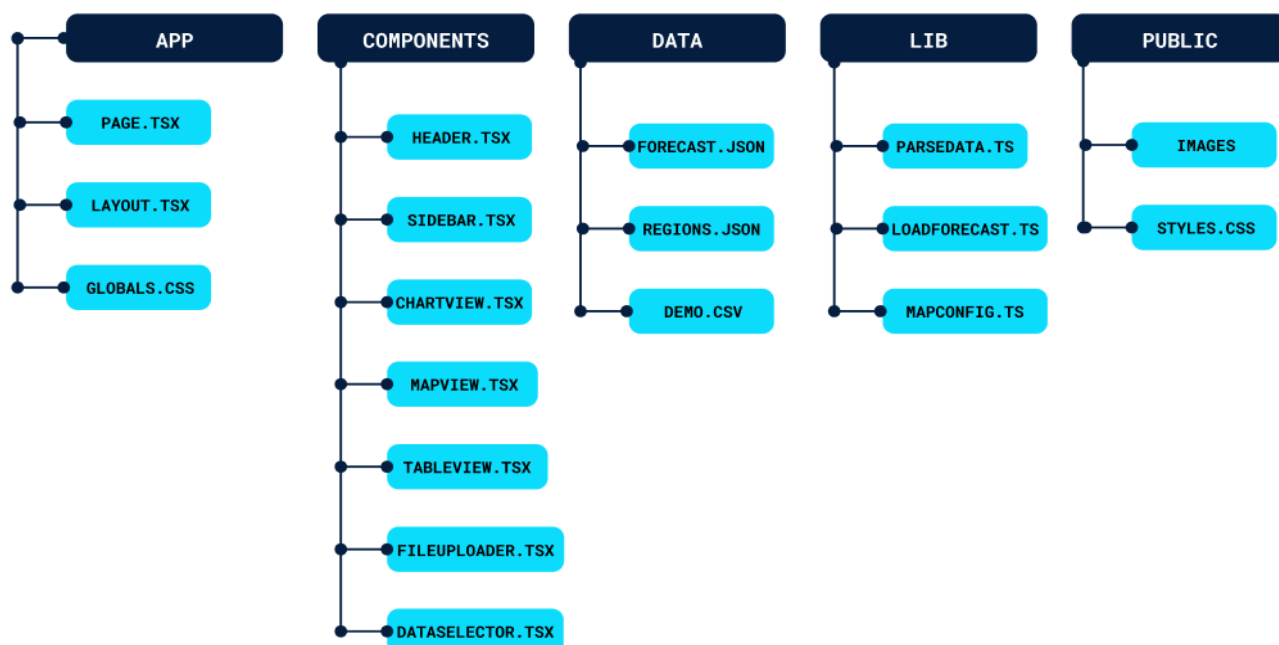


Рисунок 5.1 – Дерево файлів проекту

1. Призначення основних файлів

Папка APP

- page.tsx – основна сторінка інтерфейсу, що збирає всі компоненти (графік, карта, таблиця).
- layout.tsx – визначає глобальне компонування сторінки (шапка, бокове меню).

- globals.css – базові стилі, шрифти, скидання оформлення.

Папка COMPONENTS (візуальні компоненти інтерфейсу)

- Header.tsx – верхня панель (назва інструменту, логотип).
- Sidebar.tsx – бокове меню (вибір області, роки, завантаження даних).
- ChartView.tsx – віджет графіка (ECharts / Chart.js).
- MapView.tsx – карта області (Leaflet / Mapbox).
- TableView.tsx – таблиця прогнозних значень.
- FileUploader.tsx – інструмент завантаження CSV/XLSX.
- DataSelector.tsx – випадаючі списки та фільтри (область, рік, модель).

Папка DATA (дані)

- forecast.json – прогнозні дані ARIMA/Prophet/LSTM.
- regions.json – список адміністративних одиниць.
- demo.csv – тестовий набір даних для імпорту.

Папка LIB (службова логіка)

- parseData.ts – розбір CSV/XLSX у внутрішній формат.
- loadForecast.ts – завантаження та кешування прогнозів.
- mapConfig.ts – базові налаштування карти (центр, масштаб, межі).

Папка PUBLIC

- images – статичні зображення (логотип, контури карти).
- styles.css – додаткові стилі поверх Tailwind.

2. Логіка взаємодії компонентів (відображаємо на рисунку 5.2).

- Sidebar → приймає вхідні параметри від користувача – рік прогнозу, регіон та обрану модель прогнозування (ARIMA) – і передає їх через стан контексту (React Context) до аналітичних модулів.

- LoadForecast.ts → виконує запит до бази прогнозних даних, отриманих за моделлю ARIMA, і передає результати до компонентів візуалізації та до модуля fuzzyModel.ts, який реалізує нечітку логіку.

- FuzzyModel.ts → отримує прогнозовані показники чисельності дітей та додаткові фактори (народжуваність, міграцію, зайнятість жінок тощо), застосовує нечіткі правила, формує значення вихідної змінної decision і передає його для відображення у вигляді типу сценарію розвитку (оптимальний, стандартний, критичний).

- ChartView, MapView, TableView → синхронно оновлюються при зміні стану даних. У графіку (ChartView) відображається прогноз ARIMA, у карті (MapView) – сценарне зонування територій за результатами нечіткої моделі, а у таблиці (TableView) – узагальнені управлінські рекомендації.

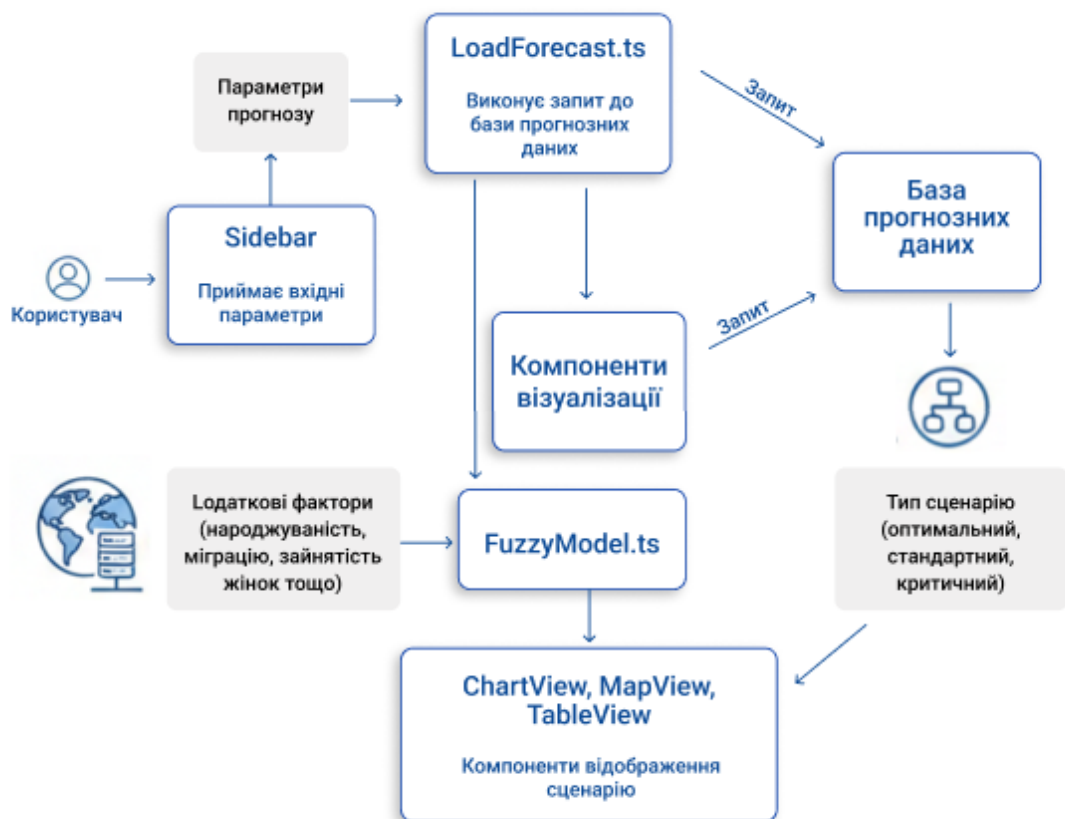


Рисунок 5.2 – Логіка взаємодії компонентів

- FileUploader → дозволяє користувачеві завантажити власний файл forecast.json з локальними даними громади; після завантаження система автоматично перераховує як прогноз ARIMA, так і результати нечіткої моделі, миттєво оновлюючи графік, карту й таблицю.

- Header та layout.tsx → забезпечують постійну структуру інтерфейсу, зберігають панель навігації та заголовки сторінок, що дозволяє користувачу зручно перемикатися між різними модулями аналітичної системи.

5.3 Реалізація інтерфейсних компонентів

Інтерфейс веб-інструменту реалізовано на основі модульного підходу, де кожен функціональний елемент оформлений як окремий React-компонент. Така структура забезпечує незалежність частин системи, повторне використання коду, зручність у підтримці та масштабуванні.

1 Навігаційна панель (Header)

Компонент Header реалізує верхню частину інтерфейсу, що містить логотип, назву системи, пошуковий рядок, перемикач мови та кнопку авторизації.

У кодi передбачено:

- логотип у вигляді інтерактивного графічного елемента;
- текстову назву «ВІСПНР» та підзаголовок «Веб-інструмент підтримки прийняття рішень»;
- компонент пошуку з кнопкою виклику пошуку;
- перемикач мови із використанням іконки Globe;
- кнопку «Увійти».

Цей компонент має фіксоване позиціонування (sticky top-0) та тінь (shadow-md), що забезпечує доступність навігації при прокручуванні сторінки.

Фрагмент коду:

```

export function Header() {
  return (
    <header className="sticky top-0 z-50 shadow-md bg-background border-b
border-input">
      <div className="flex items-center justify-between px-6 py-4 gap-6">
        <div className="flex items-center gap-3">
          <div className="w-12 h-12 bg-primary rounded-lg"></div>
          <div>
            <h1 className="text-xl font-bold text-foreground">ВІСПНП</h1>
            <p className="text-xs text-muted-foreground">
Веб-інструмент підтримки прийняття рішень
            </p>
          </div>
        </div>
        <div className="flex-1 max-w-lg mx-auto">
          <div className="relative flex items-center shadow-sm">
            <input type="text" placeholder="Пошук"
className="w-full px-4 py-2 border rounded-l-lg" />
            <Button className="rounded-l-none bg-primary text-white px-3">
<Search size={18} />
            </Button>
          </div>
          <div>
            <div className="flex items-center gap-4">
              <button className="flex items-center gap-2 text-foreground">
                <Globe size={20} /><span>UA</span>
              </button>
              <Button className="bg-primary hover:bg-primary/90">Увійти</Button>
            </div>
          </div>
        </div>
      </header>
    );
  }
}

```

2. Панель фільтрів і параметрів (MainContent)

Компонент MainContent відповідає за верхній блок управління параметрами аналізу. Він містить:

- вибір області;
- вибір періоду прогнозу (початковий та кінцевий рік);
- кнопку «Аналіз» для запуску обчислення;

- автоматичне оновлення підкомпонентів (графік, таблиця, карта).

Параметри прогнозу (fromYear, toYear) та вибрана область (selectedRegion) передаються через властивості (props) і впливають на відображення даних у графіку, таблиці та карті.

Особливістю реалізації є:

- підтримка стану завантаження (isLoading);
- передача обробників подій (setSelectedRegion, setFromYear, handleAnalysis);
- формування універсальної структури для вкладених елементів через {children}.

Фрагмент коду:

```
<Card className="p-6 mb-6 rounded-2xl">
  <div className="flex items-center gap-4 flex-wrap">
    <div className="flex items-center gap-2">
      <label className="text-sm font-semibold">Область</label>
      <select value={selectedRegion} onChange={(e) =>
setSelectedRegion(e.target.value)}
        className="px-4 py-2 rounded-lg border">
        {ukrainianRegions.map(region => (
  <option key={region} value={region}>{region}</option>))}
      </select>
    </div>
    <div className="flex items-center gap-2">
      <label className="text-sm font-semibold">Період прогнозу</label>
      <span>3</span>
      <select value={fromYear} onChange={(e) => setFromYear(+e.target.value)}>{/*
... */}</select>
      <span>По</span>
      <select value={toYear} onChange={(e) => setToYear(+e.target.value)}>{/* ...
*/}</select>
    </div>
    <Button onClick={handleAnalysis} disabled={isLoading} className="ml-auto">
      {isLoading ? 'Завантаження...' : 'Аналіз'}
    </Button>
  </div>
</Card>
```

3. Графічна візуалізація прогнозу (ChartSection)

Компонент ChartSection реалізує відображення лінійного графіка зміни чисельності дітей віком 0–6 років.

Для побудови графіка використана бібліотека Recharts, що забезпечує:

- адаптивний контейнер (ResponsiveContainer),
- підтримку осей (XAxis, YAxis),
- сітку (CartesianGrid),
- підказки (Tooltip),
- плавну криву (Line type="monotone").

Дані для графіка формуються у вигляді масиву об'єктів {year, value}, а період відображення обмежується відповідно до вибору користувача.

Фрагмент коду (цей компонент формує візуальний блок, який дозволяє швидко оцінити динаміку зміни чисельності дітей у регіоні залежно від обраного періоду):

```
<ResponsiveContainer width="100%" height={300}>
  <LineChart data={filteredData}>
    <CartesianGrid strokeDasharray="3 3" />
    <XAxis dataKey="year" />
    <YAxis />
    <Tooltip />
    <Line type="monotone" dataKey="value" stroke="#3b82f6" strokeWidth={2}
dot={false} />
  </LineChart>
</ResponsiveContainer>
```

4. Аналітична таблиця (AnalyticsTable)

Компонент AnalyticsTable надає можливість структуровано відобразити результати прогнозування та нечіткого аналізу.

Таблиця включає колонки: область, рік, прогнозована кількість дітей, коефіцієнт заповненості ЗДО, рекомендації.

Таблиця підтримує:

- повідомлення про завантаження даних,

- повідомлення про порожні результати,
- динамічне заповнення рядків через `.map()`,
- кнопку експорту в Excel.

Фрагмент коду:

```
interface TableRow {Область: string;Пік: number;"Прогнозована кількість
дітей": string;"Коефіцієнт заповнення ЗДО": string;Рекомендації: string;}
interface AnalyticsTableProps {data: TableRow[];isLoading: boolean;}
export function AnalyticsTable({ data, isLoading }: AnalyticsTableProps)
{ if (isLoading)
{ return (<Card className="p-6 text-center rounded-2xl shadow-sm">
Завантаження даних...
</Card>
);
}
if (data.length === 0) {
return (<Card className="p-6 text-center rounded-2xl shadow-sm">
Натисніть «Аналіз», щоб відобразити результати.
</Card>
);
}
return (<Card className="p-6 rounded-2xl shadow-sm">
<div className="flex items-center justify-between mb-4">
<h3 className="text-lg font-semibold">Аналітична таблиця</h3>
<Button className="bg-accent text-accent-foreground text-sm">
Експорт в Excel
</Button>
</div>
<div className="overflow-x-auto">
<table className="w-full text-sm border-collapse">
<thead>
<tr className="border-b">
<th className="py-3 px-4 text-left">Область</th>
<th className="py-3 px-4 text-left">Пік</th>
<th className="py-3 px-4 text-left">Прогнозована кількість дітей</th>
<th className="py-3 px-4 text-left">Коефіцієнт заповнення ЗДО</th>
<th className="py-3 px-4 text-left">Рекомендації</th>
</tr>
</thead>
<tbody>
```

```

{data.map((row, idx) => (
<tr key={idx} className="border-b hover:bg-muted/40">
<td className="py-3 px-4">{row.Область}</td>
<td className="py-3 px-4">{row.Пік}</td>
<td className="py-3 px-4">
{row["Прогнозована кількість дітей"]}
</td>
<td className="py-3 px-4">
{row["Коефіцієнт заповнення ЗДО"]}
</td>
<td className="py-3 px-4 text-xs text-muted-foreground">
{row.Рекомендації}
</td>
</tr>
)}}
</tbody>
</table>
</div>
</Card>
);
}

```

5. Відображення карти та індикаторів

Інтерактивна карта є ключовим елементом веб-інструменту, оскільки забезпечує просторову інтерпретацію результатів прогнозування та нечіткого моделювання. На відміну від графіка та таблиці, які відображають числову інформацію, карта дає змогу оцінити ситуацію в різних областях України у географічному контексті.

Компонент `MapSection` відповідає за формування структури блоку карти, відображення індикаторів стану та легенди. Основні функції цього компонента:

- відображення інтерактивної карти України;
- підсвічування вибраної області;
- показ інформаційної підказки (`tooltip`) із такими параметрами: прогнозована кількість дітей, коефіцієнт заповнення ЗДО, рекомендація;
- зміна кольору області залежно від категорії (оптимальний – зелений, стандартний – жовтий, критичний – червоний);

- блок вибору сценарію.

Компонент `UkraineMap` містить SVG-карту України, де кожна область є окремим SVG-елементом (`<path>`), до якого прив'язуються події наведення та кліку. Завдяки цьому реалізовано інтерактивність та можливість оновлення підказки при зміні області.

Фрагмент коду:

```
import { useState } from "react";
import { Card } from "@/components/ui/card";
interface Region {
  name: string;
  children: string;
  filling: string;
  status: "Оптимальний" | "Стандартний" | "Критичний";
  svg: string;
}
export function MapSection({ regions, selected, setSelected }: {
  regions: Record<string, Region>;
  selected: string;
  setSelected: (r: string) => void;
}) {
  const [hover, setHover] = useState<string | null>(null);
  const active = regions[hover || selected];
  const colors = {
    Оптимальний: "#38a169",
    Стандартний: "#F59E0B",
    Критичний: "#e53e3e"
  };
  return (
    <Card className="p-6 rounded-2xl shadow-sm">
      <h3 className="text-lg font-semibold mb-4">Інтерактивна карта</h3>
      <div className="flex flex-col lg:flex-row gap-6">
        {/* Карта України */}
        <svg viewBox="0 0 800 600" className="w-full max-w-xl">
          {Object.values(regions).map((r) => (<path key={r.name}
d={r.svg} fill={colors[r.status]} opacity={selected === r.name ? 1 : 0.75}
stroke="#fff" strokeWidth="2" onMouseEnter={() => setHover(r.name)}
onMouseLeave={() => setHover(null)} onClick={() => setSelected(r.name)}
className="cursor-pointer"
/>

```

```

    ))}
  </svg>
  {/* Підказка */}
  {active && (
  <Card className="p-4 w-64 h-fit shadow-md">
  <h4 className="font-semibold">{active.name}</h4>
  <p className="text-sm mt-2">
  <strong>Кількість дітей:</strong> {active.children}
  </p>
  <p className="text-sm">
  <strong>Заповнення ЗДО:</strong> {active.filling}
  </p>
  <p className="text-xs text-muted-foreground mt-2">
  <strong>Рекомендація:</strong> Переглянути пропускну здатність закладів
  </p>
  </Card>
  )}
</div>
</Card>
);
}

```

5.4 Висновки по розділу 5

У цьому розділі було розглянуто повний цикл реалізації веб-інструменту системи підтримки прийняття рішень, призначеного для візуалізації прогнозних демографічних показників та формування рекомендацій на основі нечіткої логіки. Реалізований функціонал підтверджує можливість побудови ефективного, інтерактивного й динамічного клієнтського веб-додатку без використання серверної частини, що спрощує розгортання та підвищує доступність системи.

Проведений аналіз структури проєкту, середовища розробки та інтерфейсних компонентів дозволяє зробити такі висновки:

Використані програмні засоби (Next.js, React, TypeScript, CSS, Recharts, Leaflet/Mapbox) забезпечили модульність, масштабованість і швидкодію веб-інструменту. Вибір клієнтських технологій дав змогу реалізувати повноцінну інтерактивну систему без серверної інфраструктури.

Структура програмного проєкту побудована логічно та відповідає вимогам сучасної фронтенд-архітектури. Чітке розділення компонентів, службових модулів та даних сприяє легкій підтримці, розширенню та модифікації системи.

Логіка взаємодії між компонентами забезпечує послідовність обробки: від вибору параметрів у боковому меню до оновлення графіка, карти та таблиці. Особливе значення має інтеграція прогнозних даних із нечіткою моделлю, що додає інструменту прикладної цінності та дозволяє формувати управлінські сценарії.

Інтерфейсні компоненти (графік, таблиця, карта, фільтри) реалізовано з дотриманням принципів юзабіліті та адаптивності. Вони забезпечують інформативну та наочну взаємодію користувача із прогнозними даними. Особливо важливим є використання SVG-карти України, що дозволяє відображати регіональні ризики, сценарії та рекомендації у просторовій формі.

Функція імпорту даних (FileUploader) розширює практичну корисність веб-інструменту, оскільки користувачі можуть завантажувати власні набори даних і миттєво отримувати результати прогнозування та аналітики.

Таким чином, розроблений веб-інструмент є повноцінною інтерактивною системою підтримки прийняття рішень, що об'єднує прогнозну аналітику, нечітке моделювання та зручні засоби візуалізації. Реалізація підтверджує ефективність обраних технологій і створює основу для подальшого розширення функціональних можливостей, зокрема інтеграції серверних обчислень, баз даних або модулів автоматизованої звітності.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання дипломної роботи було досліджено та змодельовано ключові аспекти, що впливають на формування попиту та управління мережею закладів дошкільної освіти (ЗДО) в умовах демографічних викликів. Застосування комплексного підходу, що поєднує економетричний аналіз, інтелектуальне прогнозування та нечітку логіку, дало змогу всебічно охарактеризувати ситуацію та запропонувати обґрунтовані управлінські рішення.

Основні висновки.

1. Демографічна динаміка: демографічна ситуація в Україні та, зокрема, в Запорізькій області, характеризується стійким зниженням чисельності дітей дошкільного віку, що є ключовим фактором, який визначає попит на послуги ЗДО. Це підтверджено аналізом часового ряду за період 1990–2022 років.

2. Аналіз моделей прогнозування. Для прогнозування динаміки чисельності дітей віком 0–6 років були побудовані та порівняні три моделі: лінійна регресія виявилася найменш точною (MAPE = 12,26%), оскільки не здатна враховувати нелінійність та складну структуру демографічного часового ряду; модель ARIMA(3,0), реалізована в GRETЛ, показала найвищу точність опису історичних даних (MAPE = 0,38%), що робить її найбільш придатною для короткострокового прогнозування динаміки кількості дітей; модель Facebook Prophet також продемонструвала високу стабільність (MAPE = 0,76%) і добре впоралася з моделюванням довгострокового тренду та точок його зміни, забезпечуючи надійний прогноз у довгостроковій перспективі.

3. Оцінка факторів впливу. За допомогою нечіткої моделі (Мамдані) у MATLAB була оцінена поведінкова та якісна складова попиту, що формується через суб'єктивні рішення батьків. Модель враховує такі фактори, як народжуваність, міграція, зайнятість жінок, доступність ЗДО, матеріальна база, кадрове забезпечення та репутація закладу.

4. Розробка ВІСППР. Результати кількісного прогнозування та якісного факторного аналізу були інтегровані у веб-інструмент системи підтримки прийняття рішень (ВІСППР). Це дозволило розробити алгоритм формування трьох управлінських сценаріїв (оптимального, стандартного та критичного) залежно від інтегрального впливу факторів та прогнозованої динаміки чисельності дітей.

5. Практична реалізація: Архітектура ВІСППР була реалізована на сучасному стеку технологій (Python, React/Next.js) і включає модулі прогнозування, нечіткої логіки та інтерактивної візуалізації.

Рекомендації

У контексті зниження демографічних показників та територіальної нерівномірності навантаження на мережу ЗДО, органам управління освітою рекомендується:

1. Застосовувати інтегровану аналітику. Впроваджувати інтелектуальні моделі (ARIMA, Prophet, нечіткі системи) у процес стратегічного планування освітньої політики на місцевому рівні. Це дозволить перейти від реагування на проблеми до їх попередження.

2. Диференційована оптимізація. Переглядати регіональну мережу ЗДО, застосовуючи диференційований підхід:

- у міських громадах (м. Запоріжжя) може бути необхідне розширення або модернізація ЗДО (оптимальний сценарій);

- у сільських громадах з низьким попитом та від'ємною міграцією слід розглянути оптимізацію, об'єднання або перепрофілювання малокомплектних ЗДО (критичний сценарій).

3. Факторний підхід. При плануванні враховувати не лише статистику, а й якісні (поведінкові) аспекти попиту, які формуються через очікування батьків щодо якості освітніх програм, кадрового забезпечення та репутації закладів.

4. Використання ВІСППР. Використовувати розроблений ВІСППР як інструмент для:

- швидкої оцінки прогнозного навантаження на мережу;

- сценарного моделювання (вибір між оптимальним, стандартним та критичним сценаріями);

- отримання обґрунтованих рекомендацій щодо розподілу капітальних та поточних витрат.

У подальших дослідженнях варто розширити територіальні одиниці аналізу до рівня окремих територіальних громад, інтегрувати динамічні показники міграції та демографічні дані з більшою деталізацією, що підвищить точність локального прогнозування та дасть змогу ще більш ефективно планувати освітню політику.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Міністерство освіти і науки України. Аналітичний звіт щодо функціонування мережі закладів дошкільної освіти в Україні [Електронний ресурс]. — 2021. — Режим доступу: <https://mon.gov.ua> (дата звернення: 01.12.2025). — Назва з екрана.
2. UNICEF Ukraine. Рівний доступ до дошкільної освіти: просторово-аналітичний огляд. — Київ, 2021. — 92 с.
3. Меленець В. М. Прогнозування соціально-економічних показників: методи та моделі / В. М. Меленець — Київ, 2015. — 198 с.
4. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Early Childhood Education and Care Policy Review [Електронний ресурс]. — Paris : OECD Publishing, 2025. — Режим доступу: <https://doi.org/10.1787/c3f402ba-en>.
5. Лібанова Е. М. Соціальна демографія / Е. М. Лібанова. — Київ : КНЕУ, 2010. — 352 с.
6. Міністерство освіти і науки України. Методичні рекомендації щодо формування спроможної мережі закладів освіти. — Київ, 2020. — 64 с.
7. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Balancing school network efficiency and geographical accessibility [Електронний ресурс]. — Paris : OECD Publishing, 2019. — 108 с. — Режим доступу: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2019/07/balancing-school-choice-and-equity_b8766e0e/2592c974-en.pdf.
8. Міністерство освіти і науки України. Порядок формування спроможної мережі закладів освіти та нормативи фінансування. — Київ, 2023. — 58 с.
9. Семенова А. В. Економіка освіти: управління і фінансування / А. В. Семенова. — Київ : КНЕУ, 2019. — 296 с.
10. Hanushek E. A. The Economics of Education / E. A. Hanushek, L. Woessmann. — Amsterdam : Elsevier, 2020. — 421 p.

11. Lucchetti R. Gretl – Gnu Regression, Econometrics and Time-series Library / R. Lucchetti, A. Cottrell. — Samurai Media Limited, 2016. — 366 p..
12. Про дошкільну освіту [Електронний ресурс] : Закон України від 11.07.2001 № 2628-III : редакція від 01.05.2023 р. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2628-14> (дата звернення: 20.11.2025). — Назва з екрана.
13. Про затвердження Положення про заклад дошкільної освіти [Електронний ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 12.03.2019 № 305. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/305-2019-п> (дата звернення: 26.11.2025). — Назва з екрана.
14. Decentralization Support Project (DESPRO). Управління освітньою мережею в територіальній громаді : метод. посіб. — Київ, 2021. — 144 с.
15. Департамент освіти і науки Запорізької міської ради. Звіт про мережу та контингенти закладів дошкільної освіти м. Запоріжжя. — Запоріжжя, 2021. — 45 с.
16. Головне управління статистики у Запорізькій області [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://zp.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 10.11.2025). — Назва з екрана.
17. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 10.11.2025). — Назва з екрана.
18. Лук'яненко І. Г. Аналіз часових рядів. Частина перша: побудова ARIMA, ARCH/GARCH моделей з використанням пакета EViews 6.0 : навч. посіб. / І. Г. Лук'яненко, В. М. Жук. — Київ : НаУКМА, 2013. — 188 с.
19. Еріна А. Статистичний аналіз часових рядів : навч. посіб. / А. Еріна, О. Мазуренко. — Київ : КНУШ, 2022. — 256 с.
20. Adkins L. С. Використання Gretl для підручника «Принципи економетрики» (5-те вид.) [Електронний ресурс] / L. С. Adkins. — 2018. — Режим доступу: https://www.learn econometrics.com/gretl/poe5/using_gretl_for_POE5.pdf (дата звернення: 19.11.2025). — Назва з екрана.

21. Gretl Team. Посібник користувача Gretl [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://gretl.sourceforge.net/gretl-help/gretl-guide.pdf> (дата звернення: 19.11.2025). — Назва з екрана.

22. Про дошкільну освіту [Електронний ресурс] : Закон України від 11.07.2001 № 2628-III : редакція від 10.04.2024 р. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3788-20> (дата звернення: 10.11.2025). — Назва з екрана.

23. Brownlee J. Time Series Forecasting with Python / J. Brownlee. — Melbourne : Machine Learning Mastery, 2020. — 456 p.

24. Taylor S. J., Letham B. Forecasting at scale / S. J. Taylor, B. Letham // The American Statistician. — 2018. — Vol. 72, № 1. — P. 37–45.

25. Дранишников Л. В. Інтелектуальні методи в управлінні : навч. посіб. / Л. В. Дранишников — Кам'янське : ДДТУ, 2018. — 212 с.

26. MathWorks. Початок роботи з нейронними мережами у MATLAB [Відео] [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.mathworks.com/videos/getting-started-with-neural-networks-using-matlab-1591081815576.html> (дата звернення: 18.11.2025). — Назва з екрана.

27. Гладун О. «Час забути, що нас було 40 чи 50 мільйонів»: демограф НАН про демографічну ситуацію в Україні / О. Гладун // Рубрика [Електронний ресурс]. — 2024. — Режим доступу: <https://rubryka.com/article/demografichna-sytuatsiya-v-ukrayini/> (дата звернення: 28.10.2025). — Назва з екрана.

28. Державна служба статистики України. Заклади дошкільної освіти [Електронний ресурс]. — 2024. — Режим доступу: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2005/osv_rik/osv_u/dz_u.html (дата звернення: 10.11.2025). — Назва з екрана.

29. Інститут освітньої аналітики. Основні освітні статистичні дані (2023/24 навчальний рік) [Електронний ресурс]. — 2024. — Режим доступу: <https://osvita.ua/news/data/93396/> (дата звернення: 10.11.2025). — Назва з екрана.

30. Міністерство освіти і науки України. Дитячими садками світу : метод. рек. [Електронний ресурс]. — 2024. — Режим доступу: <https://mon.gov.ua/static->

[objects/mon/sites/1/metodychni-rekomendatsiyi-doshkilna/dityachimi-sadkami-svitu.pdf](#) (дата звернення: 20.11.2025). — Назва з екрана.

31. Міністерство освіти і науки України. Дошкільна освіта [Електронний ресурс]. — 2024. — Режим доступу: <https://mon.gov.ua/tag/doshkilna-osvita> (дата звернення: 09.12.2025). — Назва з екрана.

32. Міністерство соціальної політики України. Стратегія демографічного розвитку України на період до 2040 року [Електронний ресурс]. — 2024. — Режим доступу: <https://www.msp.gov.ua/projects/870/> (дата звернення: 10.12.2025). — Назва з екрана.

33. Профспілка працівників освіти і науки України. Дошкільні заклади освіти в час війни [Електронний ресурс]. — 2024. — Режим доступу: <https://pon.org.ua/novyny/10341-doshkilni-zaklady-osvity-v-chas-viiny.html> (дата звернення: 10.12.2025). — Назва з екрана.

34. Реєстр суб'єктів освітньої діяльності: заклади дошкільної освіти [Електронний ресурс]. — 2024. — Режим доступу: <https://registry.edbo.gov.ua/doshkilna-osvita/> (дата звернення: 10.12.2025). — Назва з екрана.

35. Українська платформа відкритих даних. Дані про черги дітей у дошкільні навчальні заклади [Електронний ресурс]. — 2024. — Режим доступу: <https://data.gov.ua/pages/835-recm-education-line> (дата звернення: 05.12.2025). — Назва з екрана.

36. Graphical Methods for Data Analysis / J. M. Chambers [et al.]. — Belmont : Wadsworth, 1983. — 395 p.

37. Про освіту [Електронний ресурс] : Закон України від 05.09.2017 № 2145-VIII: редакція від 10.01.2024 р. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19> (дата звернення: 10.12.2025). — Назва з екрана.

ДОДАТОК А

Код моделі FACEBOOK PROPHET

```
!pip install prophet
!pip install cmdstanpy
import cmdstanpy
cmdstanpy.install_cmdstan()

from prophet import Prophet
model = Prophet()

import pandas as pd
from prophet import Prophet
import matplotlib.pyplot as plt

df = pd.read_csv("children1.csv", delimiter=';')
df['ds'] = pd.to_datetime(df['ds'])

model = Prophet()
model.fit(df)
future = model.make_future_dataframe(periods=7, freq='Y')
forecast = model.predict(future)

fig1 = model.plot(forecast)
plt.show()
fig2 = model.plot_components(forecast)
plt.show()
start_year = '2023-01-01'
future_forecast = forecast[forecast['ds'] >= start_year]
print("Прогноз на майбутні роки:")

print(future_forecast[['ds', 'yhat', 'yhat_lower',
'yhat_upper']].head(11).to_markdown(index=False, numalign="left",
stralign="left"))

pred = model.predict(model.history)
pred[['ds', 'yhat']]
```