

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут інформатики та радіoeлектроніки,
Факультет комп'ютерних наук і технологій
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра програмних засобів
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДІВ
МОДЕЛЮВАННЯ РОЗУМОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ: МОДЕЛЮВАННЯ
УМОВНИХ РЕФЛЕКСІВ
RESEARCH AND SOFTWARE IMPLEMENTATION OF METHODS FOR
MODELING OF MENTAL ACTIVITY: CONDITIONED REFLEXES

Виконав: студент(ка) 6 курсу, групи КНТ-220м
Спеціальності 122 Комп'ютерні
науки

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Комп'ютерні науки

Хорошайлова О.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник Сердюк С.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Касьян М.М.

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет ІРЕ, ФКНТ
 Кафедра програмних засобів
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 122 Комп'ютерні науки
(код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Комп'ютерні науки
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ПЗ, д.т.н, проф.
С.О. Субботін
 “ ” 2021 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Хорошайлової Оксани Миколаївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Дослідження та програмна реалізація методів моделювання розумової діяльності: моделювання умовних рефлексів. Research and software implementation of methods for modeling of Mental Activity: Conditioned Reflexes

керівник проєкту (роботи) Сердюк Сергій Микитович, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “05” листопада 2021 року № 435

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 5 грудня 2021 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) рекомендована література, технічне завдання

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз предметної області. 2. Матеріали і методи. 3. Основні рішення з реалізації компонентів системи. 4. Експлуатація, тестування та експериментальне дослідження програми. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Слайди презентації

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-4 Основна частина	Сердюк С.М., доцент		
Нормоконтроль	Дейнега Л.Ю., ст. викладач		

7. Дата видачі завдання “ 03 ” вересня 2021 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Постановка завдання роботи	1-2 тижні	Завдання, ТЗ
2	Аналіз предметної області	3-4 тижні	Розділ 1
3	Розробка та удосконалення методів, моделей й алгоритмів вирішення задачі.	5-6 тижні	Розділ 2
4	Розробка архітектури програми.	7 тиждень	Розділи 2, 3
5	Розробка програми.	8-9 тижні	Розділ 3
6	Тестування та експериментальне дослідження програмного забезпечення.	10-11 тижні	Розділ 4
7	Оформлення пояснювальної записки та документів до неї.	12-13 тижні	
8	Нормоконтроль та рецензування.	14-15 тижні	
9	Захист роботи.	16 тиждень	

Студент(ка)

_____ Хорошайлова О.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

_____ Сердюк С.М.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра: 96 с., 7 табл., 16 рис., 2 дод., 32 джерела.

РОЗУМОВА ДІЯЛЬНІСТЬ, МОДЕЛЬ, УМОВНІ РЕФЛЕКСИ, ТВАРИНА, p -АДИЧНЕ ЧИСЛЕННЯ, УМОВНИЙ СТИМУЛ, ПІДСВІДОМІСТЬ, ІДЕЯ.

Об'єкт дослідження – процеси мислення тварин.

Предмет дослідження – моделі, методи і засоби придбання умовних рефлексів (УР) тваринами.

Мета роботи – підвищення рівня автоматизації та ефективності роботи дослідників вищих когнітивних функцій тварин шляхом розроблення і застосування програмного забезпечення на основі методів і моделей штучного інтелекту та p -адичного числення.

Матеріали, методи та технічні засоби: методи сучасної експериментальної психології та фізіології вищої нервової діяльності; методи штучного інтелекту; p -адичне числення; інтегроване середовище розробки QT Creator; мова програмування C++; операційна система Windows 7 або вище.

Результати. Дістала подальшого розвитку відома модель умовних рефлексів шляхом введення в неї засобів урахування досвіду та психофізіологічного стану піддослідної істоти.

Висновки. Використання розробленого програмного забезпечення дозволяє моделювати процес придбання УР тваринами та підвищує ефективність діяльності дослідників, а також може зберегти життя піддослідних тварин.

Галузь використання – експериментальна психологія.

ABSTRACT

Explanatory note to the diploma qualifying work of the master: 95 pages, 7 tables, 16 figures, 2 appendixes, 32 sources.

MENTAL ACTIVITY, MODEL, CONDITIONAL REFLEXES, ANIMAL, P-ADIC CALCULUS, CONDITIONAL STIMULUS, SUBCONSCIOUSNESS, IDEA.

Object of study is processes of animal thinking.

Subject of study are models, methods and means of acquiring conditioned reflexes (CR) by animals.

The purpose of the work is to increase the level of automation and efficiency of researchers of higher cognitive functions of animals by developing and applying software based on methods and models of artificial intelligence and p -adic calculus.

Materials, methods, and tools: methods of modern experimental psychology and physiology of higher nervous activity; methods of artificial intelligence; p -adic calculus; QT Creator integrated development environment; C++ programming language; operating system Windows 7 or higher.

Results. The well-known model of conditioned reflexes has been further developed by introducing into it means of taking into account experience and psychophysiological state of the experimental creature.

The implementation of the developed software makes it possible to simulate the process of acquiring SD by animals and increases the efficiency of researchers' activities, and can also save the life of experimental animals.

The use of the developed software makes it possible to simulate the process of acquiring SD by animals and increases the efficiency of researchers' activities, and can also save the life of experimental animals.

The field of use is a SCADA – experimental psychology.

ЗМІСТ

	С.
Перелік скорочень та умовних познач 7	7
Вступ 8	8
1 Аналіз предметної області 11	11
1.1 Огляд розвитку теорії умовних рефлексів та теорії навчання 11	11
1.2 Формальна модель придбання умовного рефлексу 17	17
1.3 Стан досліджень у області моделювання розумової діяльності 20	20
1.3.1 Сутність теорії розуму. IBL-моделі 21	21
1.3.2 Сутність моделювання процесів мислення за допомогою динамічних систем на p -адичних деревах.....26	26
1.4 Постановка задач дослідження 32	32
1.5 Висновки до першого розділу 33	33
2 Матеріали і методи 35	35
2.1 Розробка моделі придбання умовного рефлексу 35	35
2.2 Розробка моделей програмного забезпечення 44	44
2.3 Висновки до другого розділу 49	49
3 Основні рішення з реалізації компонентів системи 50	50
3.1 Розробка ієрархії класів.....50	50
3.2 Розробка інтерфейсу користувача для роботи з умовними рефлексами.....53	53
3.3 Висновки до третього розділу.....55	55
4 Експлуатація, тестування та експериментальне дослідження програми.....56	56
4.1 Приклад моделювання навчання умовному рефлексу 56	56
4.2 Приклад моделювання забування умовного рефлексу 58	58
4.2 Висновки до четвертого розділу 65	65
Висновки 67	67
Перелік джерел посилання.....69	69
Додаток А Текст програми.....72	72
Додаток Б Копії слайдів презентації 85	85

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАК

AC	– аденілілціклаза;
CR	– умовно-рефлекторна реакція;
CS	– умовний стимул;
IBL	– навчання на прикладах;
POMDP	– марковський процес прийняття рішень, що частково спостерігається;
T-SWR	– сифонно-відсмокуючий рефлекс;
UML	– уніфікована мова моделювання;
UR	– безумовна відповідь;
US	– безумовний стимул;
TP	– теорія розуму;
UP	– умовний рефлекс.

ВСТУП

Поняття "рефлекс", мабуть, одне з найдавніших, широко вживаних і найменш точно визначених понять у сфері вивчення рухів людини або тварини. Англomовна текстова база даних медичних та біологічних публікацій PubMed, створена Національним центром біотехнологічної інформації США на основі розділу «Біотехнології» Національної медичної бібліотеки США підготувала наприкінці 2020 року близько 138 000 записів для поняття "Рефлекс" [1], і ця кількість постійно зростає понад 2500 записів на рік.

Це поняття є центральним для теорій моторного управління, досліджень моторного розвитку та старіння, клінічних досліджень рухових розладів та реабілітації та інших галузей, наприклад, психології.

Проблема вищих когнітивних функцій тварин як біологічної передумови мислення і свідомості людини завжди була об'єктом пильної уваги і дискусій і ділила наукове співтовариство на два непримиренні наукові табори. До одного належали послідовники Ч. Дарвіна, який писав [2], що «з усіх людських здібностей розум, безсумнівно, ставиться на перше місце, але лише деякі можуть заперечити, що різниця між психікою людини і вищих тварин, як би вона не була велика, це різниця в ступені, а не в якості ». У цієї точки зору завжди були противники, не менше, а може бути, і більш численні, ніж її прихильники. Поступово частка противників скорочувалася, проте вирішувати цю суперечку можна було тільки експериментальним шляхом, за допомогою дослідів, які доводили б, що у сучасних тварин є в зародку аналоги (прообрази) вищих психічних функцій людини, і які показували б, в чому саме вони полягають і яка міра їх схожості з людськими.

Одна з найвпливовіших теорій в області поведінки тварин, представлена І.П. Павловим і його численними учнями і послідовниками [3]. На думку Павлова, все розмаїття повсякденної поведінки було побудовано на двох типах рефлексів: вроджених та умовних. Експерименти Павлова показали, що вегетативні рефлекси, такі як слиновиділення, коли голодна

тварина побачила їжу, могли бути змінені таким чином, щоб вони з'являлися у відповідь на новий, умовний, подразник. Павлов використав звук дзвіночка, який дзвенів перед годуванням собак. Після серії повторень у тварин починалося виділення слини тоді, коли вони чули дзвінок, навіть якщо їжа їм не подавалася. Ці спостереження лягли в основу ідеї Павлова і його послідовників про те, що умовні рефлекси в поєднанні з вродженими рефlekсами, були основними фізіологічними елементами поведінки тварин, в тому числі їх рухової поведінки.

Сучасні представлення про вищі психічні функції тварин засновані як на результатах комплексу різнопланових експериментів представників різних галузей біології і психології, так і на спостереженнях етологів за поведінкою тварин у їх природному середовищі існування [4].

Таким чином, актуальним є дослідження та програмна реалізація методів моделювання процесів мислення тварин, а саме - моделювання безумовних (вроджених) рефлексів та придбання умовних рефлексів. Це комплексне дослідження, яке виконується у рамках двох магістерських робіт.

Предметом дослідження даної випускної кваліфікаційної роботи магістра є – моделі, методи і засоби придбання умовних рефлексів тваринами.

Предметом дослідження випускної кваліфікаційної роботи магістра Горшкової О.М. є – моделі, методи і засоби моделювання безумовних (вроджених) рефлексів тварин.

Відсутність міжвидових відмінностей в здатності придбання умовних рефлексів (тобто здатності до елементарного навчання) привело дослідників до пошуку і створення більш складних моделей його вивчення. Дослідження Г. Харлоу [5], М. Біттермана [6], Л. Г. Вороніна [7] та ін. дозволили виявити більш високі рівні організації умовно-рефлекторної діяльності.

Експерименти, які були проведені в кінці 20-го століття на таких різних тваринах, як пластинчастозяброві молюски (аплізії), комахи (дрозофіли) і ссавці (хатня миша), показали спільність механізмів зміни синоптичної пластичності при навчанні [8].

Нейронні, синоптичні, а також молекулярно-генетичні механізми когнітивної діяльності тварин вивчені мало, але в останні роки вже з'явився ряд робіт в цьому напрямку [9], [10].

Мета комплексної роботи – підвищення рівня автоматизації та ефективності роботи дослідників вищих когнітивних функцій тварин шляхом розроблення і застосування програмного забезпечення на основі методів і моделей р-адичного числення [11].

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі задачі:

- розглянути розвиток теорії умовних рефлексів та сутність теорії навчання;
- розглянути формальну модель придбання умовного рефлексу;
- розглянути стан досліджень у області моделювання розумової діяльності;
- проаналізувати існуючі моделі розумової діяльності;
- розробити модель процесу придбання умовного рефлексу;
- розробити моделі програмного забезпечення для автоматизації діяльності дослідника розумової діяльності тварин;
- розробити програмне та інформаційне забезпечення компонентів системи, що автоматизує діяльність дослідника;
- перевірити розроблене програмного забезпечення на прикладі придбання умовних рефлексів та забування різними класами тварин – черевоногими (аплізія) та ссавцями (собака).

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Огляд розвитку теорії умовних рефлексів та теорії навчення

Безумовні та УР, що складають першу сигнальну систему (по І. П. Павлову), є основою вищої нервової діяльності.

Відповідно до сучасного визначення, умовні рефлексі – це індивідуальні реакції організму, що придбані на стимули внутрішнього та зовнішнього середовищ і здійснюються на основі безумовних рефлексів. Умовні рефлексі виробляються за участю вищих відділів центральної нервової системи (у людини та вищих хребетних тварин за допомогою кори великих півкуль головного мозку).

Умовні рефлексі утворюються при багаторазовому поєднанні умовного сигналу, такого як електричний струм, звук, світло і т. д., і його безумовного підкріплення, тобто їжа, біль і т. д. При цьому в корі головного мозку утворюється тимчасовий нервовий зв'язок між центрами сигналу і підкріплення. У подальшому, після закріплення зв'язку між двома центрами при дії умовного сигналу запускається безумовна реакція, тобто відбувається процес навчення.

Здатність до формування нових рефлексорних зв'язків є фундаментальною властивістю центральної нервової системи вищих хребетних тварин.

Таким чином, всі умовні рефлексі являють собою одну з форм пристосувальних реакцій організму до умов середовища, що змінюються.

УР набуваються і скасовуються в ході індивідуального життя кожного конкретного організму. УР згасають, якщо не підкріплюються ззовні. Але такі забуті умовні рефлексі не зникають повністю, тобто, здатні до відновлення за менший проміжок часу, ніж знадобився для їх набуття.

Теорія умовного рефлексу Павлова встояла перед випробуванням часом, але більшість сучасних теорій навчення лише зрідка слідували лінії Павлова, щоб зосередитися на більш складних модальностях навчення [12].

Базою ідей Павлова є поняття класичного обумовлення, також відоме як павловське або респондентне. Це один з найстаріших і найбільш систематично вивчаємий феномен психології.

Обумовлення – це процедура навчання, формування умовно-рефлекторних реакцій (*CR*), при якій безумовний стимул (*US*) (наприклад, їжа) поєднується з нейтральним стимулом (наприклад, світло лампи) до тих пір, поки нейтральний стимул не стане умовним (*CS*), тобто почне викликати умовну реакцію (наприклад, слиновиділення), таку ж, як і безумовний стимул [13]. Відповідь, що викликається безумовним стимулом, називається безумовною відповіддю (*UR*).

Цей опис, типовий для підручників 80-х років, також використовується і в деяких сучасних підручниках. Наприклад [14], описує обумовлення наступним чином: «Нейтральний умовний подразник шляхом повторного спаровування з безумовним стимулом набуває відповідь (реакцію), яка спочатку була на безумовний подразник».

Багато останніх досліджень нервових основ павлівської обумовленості у безхребетних були зосереджені на з'ясуванні клітинних і молекулярних механізмів, які дозволяють тваринам виявляти збіг та кореляцію виникнення *CS* і *US*, що є передумовою для створення умов Павлова. У Павлівській обумовленості реакції відсмикування зябер у морського зайця *Aplysia californica* було продемонстровано, що нейронні сигнали, які викликають *CS* і *US*, сходяться в деяких нейронах нервової системи і аденілілціклаза (АЦ) типу 1, яка каталізує аденозинтрифосфат для виробництва циклічного аденозинмонофосфату (посередника, що забезпечує підсилення клітинних сигналів), і рецептор N-метил-D-аспартату (різновид рецептора глутамату), що служить ключовими молекулами для виявлення збігу надходження сигналів *CS* і *US* до цих нейронів, щоб привести до модифікації ефективності синоптичної передачі, що лежить в основі обумовлення [15]. Аналогічним чином, у плодової мушки *Drosophila melanogaster* було показано, що АЦ 1-го типу у внутрішніх нейронах (клітинах Кеньона) грибовидного тіла, тобто

асоціативному центрі вищого порядку в мозку комахи [16], служать ключовими молекулами для виявлення збігу надходження нюхового *CS* і електричного шоку або *US* сигналів сахарози до цих нейронів для досягнення обумовлення [17]. Проте залишається неясним, чи достатні такі механізми виявлення збігів для досягнення Павлівської обумовленості у цих видів.

Розглянемо формальні моделі, що здатні передбачати ефекти навчення. Класичний приклад - правило навчення Рескорла і Вагнера [18] визначає, як навчення може бути описано в термінах обчислення розбіжностей між очікуваннями учня і реальністю, при цьому різниця між ними служить для зміни значень набору прогнозних сигналів по відношенню до набору очікуваних результатів в навченні «випробування за випробуванням». Спочатку цей механізм навчення був запропонований як частина елементарної моделі навчення, сформульованої в асоціативних термінах.

Версію про те, що обумовлення залежить від асоціативної сили всіх стимулів, що виникають під час випробування, запропоновано Вагнером. Він сформулював свою пропозицію в термінах змін «сигнальної цінності» репліки, асоціативної конструкції, покликаної охопити як зростаючі ефекти підкріплення, так і негативні ефекти відсутності підкріплення. Зокрема, передбачалося, що зміни в значенні сигналу в результаті випробування є лінійними функціями значення складеного сигналу, отриманого в результаті всіх стимулів, присутніх в цьому випробуванні.

Трактування Рескорла і Вагнера базувалося на уявленнях Каміна [19] про «дивовижності» *US*. Намагаючись пояснити свої дані по так званому блокуючому ефекті, Камін стверджував, що обумовлення відбудеться тільки тоді, коли подія *US* якимось чином «здивує» тварину. Хоча умови, що викликають цей сюрприз, не були деталізовані, Камін явно мав на увазі, що сюрприз, який створюється *US*, повинен бути зменшений, якщо цьому *US* передуює *CS*, який раніше був з ним в парі. Отже, несподіванка, викликана випробуванням *CS-US* (і результуючий приріст обумовленості *CS*), повинна залежати від того, в якій мірі всі присутні стимули передбачають виникнення

US. З формулювання Каміна неясно, якими мають бути наслідки для умовної реакції, коли тварина по-різному «дивується» відсутності US.

Всі вищенаведені теорії породжують, по суті, аналогічні очікування по відношенню до різних ефектів підкріплення.

Формально, зміну ймовірності відповідної реакції в результаті випробування, можна описати наступним рівнянням [18]:

$$\Delta p_n = \beta(\lambda - p_n), \quad (1.1)$$

де β – параметр швидкості навчання;

p_n – ймовірність реакції при випробуванні n ;

λ – асимптота навчання.

Конкретні значення β і λ визначаються подіями US і CS, які беруть участь у експерименті. Модель включає в себе базове припущення, що приріст (або зменшення) навчання в кожному випробуванні залежить від кількості, вже обумовленості на початку цього випробування, а також від остаточної асимптоти навчання, яку US підтримує. Таким чином, модель визначає правила зростання ймовірності відповіді.

Розглянемо подальший розвиток моделі авторами:

- вона набула змогу описувати криві навчання для сили асоціації, а не вірогідність реакції;

- навчання пов'язане з різними зовнішніми стимулами.

Беручи до уваги ці дві модифікації, модель далі описується в термінах V_i – сили асоціації зі стимулом i . Важливо відзначити, що V_i може приймати як позитивні, так і негативні значення, що приблизно відповідає умовному збудженню та умовному гальмуванню. Але найбільш значною відмінністю від лінійної моделі є те, що, коли за стимулюючим змішаним сигналом AX (в даному випадку звуковий сигнал з частотою 1200 Гц (A) в поєднанні зі спалахами світла (X)) іде слідом US. Зміни сили кожного з компонентів стимулу A і X, будуть описуватися функцією V_{AX} .

Коли за змішаним сигналом AX іде слідом US_1 , зміни асоціативної сили відповідних компонентів можуть бути представлені як [18]:

$$\Delta V_A = \alpha_A \beta_1 (\lambda_1 - V_{AX}), \quad (1.2)$$

$$\Delta V_X = \alpha_X \beta_1 (\lambda_1 - V_{AX}) \quad (1.3)$$

У випадку, коли за AX іде слідом інше значення US , наприклад US_2 , яке може дорівнювати 0, зміни в асоціативній силі відповідних компонентів можуть бути представлені як [18]:

$$\Delta V_A = \alpha_A \beta_2 (\lambda_2 - V_{AX}), \quad (1.4)$$

$$\Delta V_X = \alpha_X \beta_2 (\lambda_2 - V_{AX}) \quad (1.5)$$

Як видно з наведених вище рівнянь, існує три набори параметрів, які впливають на величину змін. Параметри α , це параметри швидкості навчання, кожен з яких пов'язаний з одним компонентом стимулу і має відповідний індекс, щоб вказати цю ідентифікацію. Значення α приблизно представляє значимість стимулу і вказує на те, що різні стимули можуть набувати асоціативну силу з різною швидкістю, незважаючи на однакове підкріплення. Параметри β – це параметри швидкості навчання, пов'язані з US . Присвоєння різних значень β різним US вказує на припущення авторів, що швидкість навчання може залежати від конкретних US , що використовуються. Значення α і β обмежені одиничним інтервалом $0 \leq \alpha, \beta \leq 1$. Нарешті, значення λ є асимптотичним рівнем асоціативної сили, який буде підтримувати кожен US . Імовірно різні US дадуть різні асимптотичні рівні. Хоча параметр λ формально не обмежений, зміна діапазону його допустимих значень просто робить зсув масштабу спостереження V_i .

Для практичного застосування моделі, було зроблено припущення, що асоціативна сила з'єднання, V_{AX} , визначається з точки зору сили компонентів наступним чином:

$$V_{AX} = V_A + V_X \quad (1.6)$$

Крім того, потрібно забезпечити відображення значень V в поведінку тварини. Очікується, що всі стимулюючі з'єднання, сумарний V яких є негативним, будуть відображатися в нульовій CR, але диференціальні від'ємні значення також можуть бути виділені з допомогою множини експериментальних процедур [19].

Крім моделі Рескорла-Вагнера, існують інші теорії, які можуть пояснити ефект блокування. Найбільш впливовими з них є теорії уваги, запропоновані Макінтошем [20] та Пірсом і Холлом [21], які представляють собою вдосконалені версії теорії навчання з виправленням помилок і враховують блокування за рахунок зниження уваги до CS (табл. 1.1). Можна сказати, що модель Рескорла-Вагнера фокусується на обробці US, тоді як моделі уваги більше фокусуються на обробці CS.

Таблиця 1.1 – Теорії навчання

Теорія	Формальний опис
Модель Рескорла-Вагнера	$\Delta V = \alpha(\lambda - V_{\Sigma})$
Теорія уваги Макінтоша	$\Delta V = \alpha_A(\lambda - V_A)$ α_A позитивна, якщо $ \lambda - V_A < \lambda - V_X $ α_A негативна, якщо $ \lambda - V_A \geq \lambda - V_X $
Теорія уваги Пірса та Хола	$\Delta V = S_A \alpha_A \lambda$; $\alpha_A^n = \lambda^{n-1} - V_{\Sigma}^{n-1} $

Як було зазначено вище, в моделі Рескорла-Вагнера V – це сила асоціації, яка відноситься до сили CS-US, що відповідає прогнозу US, ΔV – це

зміна V , що виникає в результаті певного умовного випробування, V_{Σ} – загальна сила асоціації всіх CS s, присутніх у випробуваннях, V – величина US що відображає максимальну силу асоціації $CS-US$, яка може бути досягнута, а α – параметр швидкості навчання, що відображає інтенсивність CS . Модель враховує блокування шляхом зменшення $(\lambda - V_{\Sigma})$, відображаючи зміну V як результат попередніх випробувань обумовлення.

В теорії уваги Макінтоша α_A – це кількість уваги до CS_A , V_X – це асоціативна сила всіх стимулів, крім CS_A , присутніх у даному випробуванні. Теорія пояснює блокування зниженням α_A в результаті попередніх випробувань.

В теорії уваги Пірса та Хола α_A^n – це кількість уваги до CS_A n -го випробування, а S_A – параметр, який залежить від інтенсивності CS_A . Модель враховує блокування за рахунок зменшення α_A .

1.2 Формальна модель придбання умовного рефлексу

Розглянемо формальний опис процесу придбання умовного рефлексу згідно [22].

На початку навчання $US \rightarrow UR$ та $CS \rightarrow \overline{UR}$, де $\overline{UR}$ означає відсутність безумовної реакції, а стрілка трактується як «викликає». Під час фази встановлення умовного рефлексу на організм одночасно або з невеликим рознесенням у часі діють обома подразниками, що природно викликає реакцію UR через наявність безумовного подразника US . Через деякий час починають виникати випадки, коли організм при пред'явленні тільки одного умовного подразника CS видає реакцію UR . А потім настає момент, коли схема $CS \rightarrow UR$ починає спрацьовувати майже завжди. Цей момент характеризує момент встановлення умовного рефлексу. Для збереження виробленого рефлексу необхідно через деякі проміжки часу підкріплювати його, впливаючи на організм кілька разів за схемою $(US \& CS) \rightarrow UR$. Якщо ж підтримку рефлексу

припинити, то настає фаза згасання. Поступово схема $CS \rightarrow UR$, що не підкріплюється більше схемою $(US \& CS) \rightarrow UR$ починає змінюватися схемою $CS \rightarrow \overline{UR}$. Число таких випадків збільшується і настає момент, коли схема $b \rightarrow \bar{A}$ стає фактично постійною, що вказує на момент згасання умовного рефлексу.

Формально схему формування і забування умовного рефлексу при декількох можливих нейтральних подразниках, можна представити наступним чином:

$$UR_{n+1}^i = US_n \vee \bigvee_{i=1} CS_n^i P(N_n^i \geq N_0^i), \quad i = \overline{1, s}, \quad (1.7)$$

де i – номер відповідного нейтрального подразника;

n – номер експерименту;

$\bigvee_{i=1}$ – диз'юнкція всіх членів з індексом i , що стоять за нею;

P – предикат, що дорівнює 1 при виконанні умови, що стоїть в дужках;

UR_n – безумовна реакція у момент n ;

N_0^i – поріг спрацьовування i -го подразника.

Характеристика станів i -ї реакції, що накопичується описується виразом:

$$N_n^i = \sum_{n=1}^{n-1} \Delta N_n^i + \xi_n^i, \quad (1.8)$$

де ξ_n^i – випадкова складова;

ΔN_n^i – приріст значення навченості за один експеримент n .

Поведінку збільшення значення навченості можна описати наступним виразом [22]:

$$\Delta N_n^i = \begin{cases} +\varphi_n^i & \text{при } US_{n-1} CS_{n-1}^i = 1, \\ -\psi_n^i & \text{при } aUS_{n-1} \overline{CS_{n-1}^i} = 1, \\ -\zeta_n^i & \text{при } US_{n-1} \overline{CS_{n-1}^i} = 1, \end{cases} \quad (1.9)$$

де φ_n^i – функція запам'ятовування, яка в загальному випадку може залежати і від n ;

ψ_n^i, ζ_n^i – функції забування.

Величини UR_n, US_n, CS_n, P – двійкові і можуть приймати одне зі значень – 0 або 1. Решта величини – цілі, не негативні:

$$CS_i CS_j = 0 \text{ при } i \neq j,$$

$$\varphi_n^i, \psi_n^i, \zeta_n^i \geq 0, \varphi_n^i \gg \psi_n^i, \psi_n^i > \zeta_n^i,$$

$$-k^i \leq \xi_n^i \leq k^i, k, i, n \geq 0.$$

Покажемо, що наведений формальний запис повністю відповідає схемі умовного рефлексу. Нехай в певний момент часу на організм подіяв безумовний подразник, тобто $US_n = 1$. Тоді відповідно до (1.7) маємо $UR_{n+1} = 1$. Таким чином, виникне рефлексорний акт, причому, якщо були відсутні нейтральні подразники CS_n^i , то всі значення N_n^i , що запам'яталися в силу (1.8) і (1.9) трохи зменшуються на величину ζ_n^i .

Якщо при подачі US_n , одночасно з'являється один з нейтральних подразників CS_n , то значення відповідного N_n^i збільшиться на величину φ_n^i . Коли значення, що запам'ятовувалося наблизиться до величини порога N_0^i , тобто при виконанні співвідношення:

$$|\sum \Delta N_n^i - N_0^i| \leq k \quad (1.10)$$

може виникнути умовний рефлекс. Поява або відсутність умовно-рефлексорного акту при появі CS_n^i , буде залежати від випадкової величини ξ_n^i . У випадку, коли накопичене значення $\sum \Delta N_n^i$ перевищить поріг N_0^i більш ніж на k , умовний рефлекс стане стійким, так як при будь-якому випадковому

значенні ξ_n^i величина, яка визначається виразом (1.8), буде перевищувати значення порога N_0^i .

Аналогічним чином при подачі умовного подразника без підкріплення безумовним подразником, накопичене значення $\sum \Delta N_i$, буде зменшуватися на величину ζ_n^i і з плином часу стане менше $N_0^i - k$. Це означає, що рефлекс пропаде. Варіюючи підкріплення будь-якого впливу CS^i , можна аналогічним чином виробити на нього умовний рефлекс.

Таким чином, наведений формальний опис дозволяє моделювати виникнення і згасання умовних рефлексів в природних умовах, тобто функції φ^i , ψ^i , ζ^i не залежать від експериментатора. У штучних умовах експерименту заохочення, покарання та їх величини, що впливають на значення φ_n^i та ψ_n^i вводяться експериментатором в залежності від реакцій тварини, що дресирується.

Далі розглянемо стан досліджень у області моделювання розумової діяльності.

1.3 Стан досліджень у області моделювання розумової діяльності

Мислення включає в себе потік ідей і асоціацій, які можуть привести до логічних висновків. Хоча мислення є діяльністю, що має екзистенціальну цінність для людей, до цих пір немає єдиної думки щодо того, як його адекватно визначати або розуміти.

Оскільки мислення лежить в основі багатьох людських дій і взаємодій, розуміння її фізичного і метафізичного походження та її наслідків було давньою метою багатьох дисциплін, включаючи філософію, лінгвістику, психологію, нейробіологію, штучний інтелект, біологію, соціологію та когнітивну науку.

Мислення дозволяє людям розуміти, інтерпретувати, представляти або моделювати світ, який вони сприймають, і робити прогнози щодо цього світу.

Отже, це корисно для організму з потребами, цілями і бажаннями, коли він будує плани або іншим чином намагається досягти цих цілей.

Одним із сучасних напрямків дослідження розумової діяльності є теорія розуму (ТР).

1.3.1 Сутність теорії розуму. IBL-моделі

Людина, в процесі свого дорослішання соціалізується за допомогою придбання певного когнітивного механізму, відомого як ТР [23]. Даний термін, який в даний час використовується для пояснення пов'язаного набору інтелектуальних здібностей, які дозволяють нам зрозуміти, що у інших людей є переконання, бажання, плани, надії, інформація та наміри, які можуть відрізнятися від наших власних. Різні розлади нервового розвитку, такі як розлади аутистичного спектру, синдром дефіциту уваги і гіперактивності, порушення розвитку мови і шизофренія, черепно-мозкові травми і т. ін. погіршують ТР. Таким чином, ТР – це складна функція, яка включає в себе пам'ять, увагу, складне розпізнавання сприйняття (наприклад, обробку обличчя і погляду), мова, виконавчі функції (такі як відстеження намірів і цілей і моральні міркування), обробку-розпізнавання емоцій і т. д. Розвиток ТР залежить від розвитку декількох систем мозку і визначається вихованням, соціальними відносинами, навчанням і освітою. Отже, це приклад тісної взаємодії, що відбувається між мозком, що розвивається і навколишнім середовищем.

В рамках досліджень з штучного інтелекту, відносно недавно, була вирішена задача комп'ютерного представлення ТР. Відомі два підходи до реалізації такого обчислювального фреймворка – байєсівська структура ТР [24] і ТР на основі машини з глибоким навчанням [25].

Обидва ці підходи засновані на завданнях спостереження, в яких обчислювальні агенти спостерігають за діями інших агентів, які прямують по сітчастій моделі світу (наприклад, в [25] агент переміщався по сітці розміром

11x11). Активний агент приймає рішення в середовищі, переміщаючись по сітці в пошуках мети. Інформація про дії поточного активного агента стає доступною спостерігачеві динамічно, тобто спостерігач заздалегідь не знає вподобань і намірів агента і повинен навчатися, спостерігаючи за діями агента. Прогнозуючи подальшу поведінку агента, спостерігач постійно оновлює дані про вподобання агента. Після завершення процесу спостереження, моделі запитують про їх вподобання або просять передбачити наступні дії поточного агента.

Розглянемо подальший розвиток цих моделей у [26], де система яка має ТР, будується динамічно на основі спостережень за діями іншого агента у сітчастій моделі світу. Однак, замість використання байєсівської моделі або моделі глибокого навчання спостерігача, будується когнітивна модель спостерігача, що використовує когнітивну структуру ТР (CogTR). У CogTR, когнітивна модель спостерігача базується на існуючій когнітивній теорії рішень на базі досвіду та теорія навчання на основі прикладів (IBL).

Модель спостерігача IBL породжує передбачення щодо поведінки діючого агента та його наступних дій. Також оцінюються прогнози, які модель IBL робить за різних умов складності прийняття рішень та кількість інформації про дії активного агента з використанням даних, зібраних у ході експерименту, в якому люди виступають як спостерігачі.

Згідно [25], сітчасту модель світу математично можна представити у вигляді марковського процесу прийняття рішень, що частково спостерігається (POMDP).

Кожен POMDP M_j має простір станів S_j , і кожен квадрат в сітці називається станом $s \in S_j$. У кожному стані s агент A повинен виконати дію a з простору дій A_j . Кожен агент діє згідно своїй стратегії, щоб вирішити, як переміщатися по сітці. Виконуючи свою стратегію π_k в M_j , агент A створює траєкторію $G_j = \{(s_t, a_t)\}_{t=0}^T$, де T – кількість кроків, зроблених агентом. Якщо агент повністю контролює сітку, POMDP називається Марковським процесом прийняття рішень.

Моделі IBL приймають рішення шляхом узагальнення результатів минулого досвіду (тобто прикладів) відповідно до їх схожості з поточною ситуацією. Екземпляр (тобто приклад) – це блок пам'яті, який є результатом оцінки альтернативи. Ці блоки пам'яті складаються з трьох елементів: ситуація (набір атрибутів, які визначають контекст рішення або стану); рішення (дія, що виконується відповідно до альтернативи в стані s , або дії a) та корисність (корисність, що очікується або результат дії x).

Теорія IBL використовує деякі когнітивні механізми відомої когнітивної архітектури АСТ-R [27].

У задачі на сітці екземпляр описується трійкою (s, a, x) , де x – очікуваний результат або результат, що спостерігається, та виникає в результаті виконання дії a в стані s (тобто стан – це місце розташування агента, що визначається x -у координатами) в сітці. Варіант $k = (s, a)$ визначається дією a , що вживається в стані s . У момент часу t може бути $n_{k,t}$ різних згенерованих екземплярів $(k, x_{i,k,t})$ для $i = 1, \dots, n_{k,t}$, відповідних вибору k і досягненню результату $x_{i,k,t}$. IBL моделі включають три основних механізми: активація (1.11), ймовірність відновлення (1.12) і змішання (1.13) для прийняття рішень в кожен момент часу t .

Кожен екземпляр i має активацію в пам'яті, яка показує, наскільки легко доступна ця інформація в пам'яті відповідно до кількох факторів, включаючи схожість і нещодавність. Спрощена версія рівняння активації когнітивної архітектури АСТ-R, яка тільки фіксує, як недавно і часто активувалися екземпляри має наступний вигляд [26]:

$$A_{i,k,t} = \ln\left(\sum_{t' \in T_{i,k,t}} (t - t')^{-d}\right) + \sigma \ln \frac{1 - \xi_{i,k,t}}{\xi_{i,k,t}} \quad (1.11)$$

де d та σ – параметри затухання і шуму відповідно;

$T_{i,k,t} \subset \{0, \dots, t - 1\}$ – набір попередніх позначок часу, в яких спостерігався екземпляр i .

Крайній правий член представляє собою гаусів шум для фіксації індивідуальної варіації в активації, а $\xi_{i,k,t}$ – випадкове число, що отримане з рівномірного розподілу $U(0, 1)$ на кожному часовому кроці для кожного екземпляра та варіанта. За замовчуванням, використовуються наступні значення параметрів: шум $\sigma = 0,25$ та спадання $d = 0,5$.

Активация екземпляра i використовується для визначення ймовірності вилучення екземпляра з пам'яті. Ймовірність екземпляра i є функцією його активації $A_{i,k,t}$ відносно активації всіх екземплярів:

$$p_{i,k,t} = \frac{e^{A_{i,k,t}/\tau}}{\sum_{j=1}^{n_{k,t}} e^{A_{j,k,t}/\tau}} \quad (1.12)$$

де τ – постійна Больцмана (тобто "температура") у розподілі Больцмана. Для спрощення, τ часто визначається як функція від σ , що використовується у рівнянні активації $\tau = \sigma\sqrt{2}$.

Очікувана корисність варіанта k розраховується на основі механізму, що називається змішанням, яка в IBL моделях вибору вказується як очікуване значення з використанням можливості отримання пам'яті (1.12) і результатів, що зберігаються у кожному випадку:

$$V_{k,t} = \sum_{i=1}^{n_{k,t}} p_{i,k,t} x_{i,k,t} \quad (1.13)$$

У IBL моделі діє правило вибору, згідно якого обирається варіант з найбільшим змішаним значенням. IBL спостерігач навчається шляхом спостереження повної або часткової інформації про рішення, прийняті діючим агентом. «Минулий досвід» IBL спостерігача реалізується шляхом вставки «попередньо заповнених примірників» в пам'ять моделі – механізму, який використовувався для імітації початкових очікувань в задачі вибору. Точніше, кожна траєкторія G_j , що була створена агентом A , який діяв згідно своїй стратегії π в світі M_j , вставляється в IBL пам'ять спостерігача. Кожен агент має

свій сигнал винагороди R , який визначає їх бажану мету, що відображена у шляху, пройденому в завданні.

Грунтуючись на інформації, що отримана при спостереженні дій агенту, спостерігач спочатку повинен вивести справжню функцію винагороди агенту, яка недоступна для спостерігача IBL. Потім на основі передбачуваної винагороди спостерігач IBL робить прогноз про поведінку агенту в новому середовищі. Простіше кажучи, мета спостерігача складається не тільки в тому, щоб зробити висновок про цілі або винагороду агенту, але і в тому, щоб дізнатися, яким шляхом агент піде в новому середовищі. Це відрізняє цю модель від підходу зворотного навчання з підкріпленням, яке націлене на пошук функції винагороди, яка пояснює історію поведінки даного агенту.

Розрізняють три різних типу діючих агентів, які використовуються у світі M_j : випадкові, агенти RL та IBL агенти. Випадковий агент служить базовим для порівняння прогнозів спостерігача IBL з прогнозами, зробленими спостерігачем IBL щодо інших агентів навчання (RL або IBL).

Розглянемо ці типи агентів більш детально:

– випадковий агент A вибирає дію a у стані s на основі ймовірності $\pi(a|s)$. Точніше, стратегія A виводиться з розподілу Діріхле $\pi \sim Dir(\alpha)$ з параметром концентрації α , де $\sum_{a \in A} \pi(a|s) = 1$ і $\pi(a|s) > 0$;

– агент навчання з підкріпленням. Агент RL приймає табличну форму алгоритму навчання Q . Метою агенту RL є оцінка оптимальних значень пари стан-дія, які називаються Q -значення, де $Q(s, a)$ повертає очікувану майбутню винагороду за дію a у стані s . Спочатку всі значення Q встановлюються на нуль, а потім ітеративно оновлюються. Після достатньої кількості ітерацій, агент може дізнатися оптимальні значення Q , позначені $Q^*(s, a)$. Для кожного стану s агент обирає дію, що має найвище значення Q , $\pi^*(s) = \operatorname{argmax}_a Q^*(s, a)$;

– агент IBL, що діє у світі M_j , використовує пам'ять та механізми навчання описані вище. Спочатку він проводить розрахунок очікуваної корисності кожної потенційної дії, яку агент може здійснити у стані s ,

використовуючи змішане значення (1.13), а потім він вибирає дію з найвищим змішаним значенням. Важливо те, що агент отримує результат лише в кінці кожного епізоду, коли досягається мета. Таким чином, агенти IBL повинні оновлювати корисність екземплярів, створених на кожному кроці, перш ніж досягти цілі. Для цього використовується механізм кредитування у моделі IBL, де фактичний результат, що спостерігається, прирівнюється до всіх дій, що виконуються на траєкторії. Тобто, враховується траєкторія $G_j = \{(s_t, a_t)\}_{t=0}^T$, якщо A отримає результат $x^\wedge$ в кінці епізоду ($t = T$), коли всі результати виконання $\{(s_t, a_t)\}_{t=0}^{T-1}$ оновлюються до x , за винятком тих, що призводять до результату в агенту, що йде в стіну або перешкоду.

Недоліками розглянутої моделі є:

- відсутня формалізація «апаратної» частини розумової системи, тобто будова мозку і його частин;
- не враховується модальності інформаційних сигналів, що надходять до людини або тварини (зорова, слухова і т. д.);
- не описується динаміка розумової системи і її залежність від психофізіологічного стану людини або тварини.

Розглянемо іншу модель розумової діяльності яка не має цих недоліків та формалізує процес мислення у p -адичній системі координат [28].

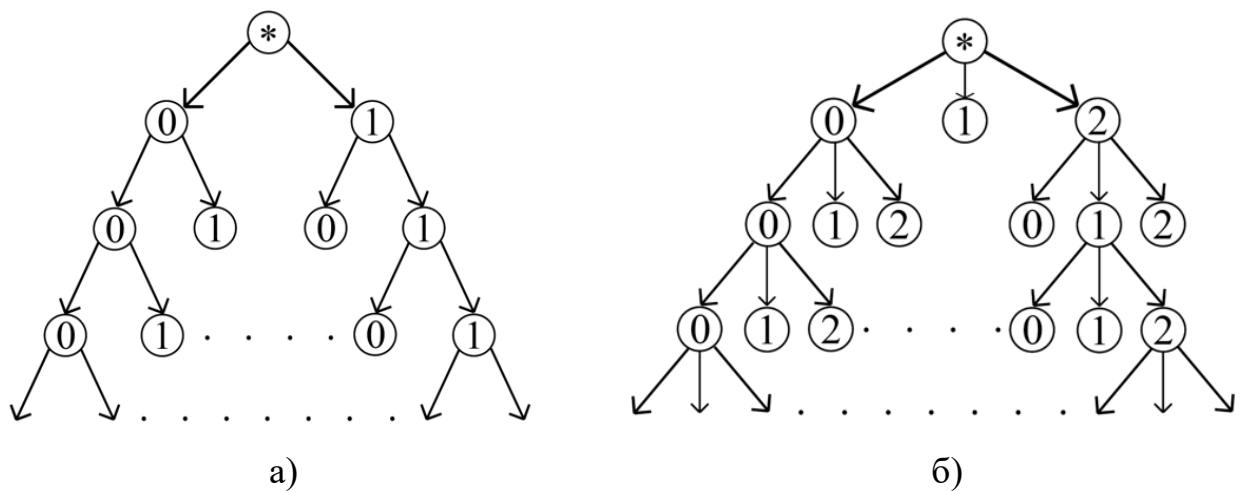
1.3.2 Сутність моделювання процесів мислення за допомогою динамічних систем на p -адичних деревах

Згідно з [28], мислячі системи (зокрема, люди) оперують з I -послідовностями. Такі послідовності інформації (просто послідовності цифр) називаються I -станами. Ієрархічні сімейства I -станів утворюють I -об'єкти, які запропоновано називати «асоціації». Сімейства асоціацій утворюють I -об'єкти вищого рівня, які називаються «ідеї».

Процес мислення (на первинному рівні) описується динамічною системою, яка працює з І-станами, тобто існує нелінійне співвідношення між І-станами на вході і на виході.

О.Ю. Хренніков пропонує математичну модель для процесу мислення, що ґрунтується на ієрархічних кодуючих системах [28]. Ці кодуючі системи описуються системами так званих p -адичних або, більш загально, m -адичних чисел. У даному випадку $m > 1$ – натуральне число, основа кодуєчої системи. З математичної точки зору модель стає значно простіше, якщо $m = p$, де p – просте число (наприклад, $p = 2$).

Геометрично можемо представити систему m -адичних цілих чисел (які будуть математичною основою наших моделей мислення) як однорідне дерево з m -гілками, що виходять із кожної вершини (рис.1.1).



а) приклад 2-адичного дерева; б) приклад 3-адичного дерева

Рисунок 1.1 – Приклади p -адичних дерев

Це дерево починається символом «*», що є коренем m -адичного дерева. Існує m -адична алгебраїчна структура, задана на цьому дереві, яка дає можливість складати, віднімати і множити гілки цього дерева. І-стани мислячих систем будуть представлятися як гілки такого дерева. Таким чином отримуємо алгебру інформації. На рівні «апаратного забезпечення» мозку такі гілки можуть бути представлені ієрархічними ланцюгами нейронів. Відстань

між І-станами визначається довжиною їх спільного кореня: близькі І-стани мають довгий спільний корінь.

Зауважимо, що така m -адична метрика добре відома в теорії чисел. Відповідна геометрія сильно відрізняється від звичайної геометрії Евкліда. І-динаміка мислення це не тільки динаміка І-станів (гілок дерева). Сімейства І-станів також мають сенс в теорії мислення. У моделі Хреннікова зв'язка гілок ієрархічного дерева має значення асоціацій. Асоціація - це сімейство І-станів, які досить близькі в m -адичній метриці. Як було зазначено вище, сімейства асоціацій інтерпретуються як ідеї.

О.Ю. Хренніков вважає, що духовні явища адекватно описуються ультраметричними геометріями. В моделях p -адична метрика має ясну когнітивну інтерпретацію. Якщо дві ідеї мають велику загальну асоціацію, то вони близькі в p -адичній метриці. Отже, p -адична метрика – це відстань у духовному просторі, заснована на спільності асоціацій. Таким чином, p -адичні моделі описують асоціативне мислення.

Система p -адичних чисел Q_p ($p > 1$ – просте число) була побудована німецьким математиком К. Гензелем. По суті, це був перший приклад нескінченного числового поля (системи, де додавання, віднімання, множення і ділення коректно визначені), яке відрізнялося від полів дійсних і комплексних чисел, а також полів раціональних функцій. Протягом останніх ста років p -адичні числа розглядалися як суто математичний об'єкт.

Використовувати в біології тільки ті числові системи, які будуються на основі простих чисел p , не природно, тому розглянемо з більш загальну числову систему системи m -адичних чисел, де $m > 1$ – натуральне число. Нехай $m > 1$ – фіксоване натуральне число. Розглянемо метричний простір (Z_m, P_m) . Зауважимо, що це метричний простір володіє природною структурою алгебри.

Метрика може бути представлена у вигляді виразу:

$$\rho_m(x, y) = |x - y|_m, \quad (1.14)$$

де $|\cdot|_m$ – так зване m -адичне нормування (аналог звичайного модуля для дійсних чисел).

Нормування визначається наступним чином $x = (a_0, a_1, \dots, a_n \dots)$. Тоді $|x|_m = \frac{1}{m^k}$, якщо $a_j = 0, j = 0, \dots, k-1$, та $a_k \neq 0$.

Для m -адичного нормування є вірною і так звана посилена нерівність трикутника:

$$|x + y|_m \leq \max[|x|_m, |y|_m] \quad (1.15)$$

Посилена нерівність трикутника є геометричною основою моделі процесу мислення, що розглядається. Вважається, що топології на просторах ідей істотно відрізняються від топологій на «фізичних просторах». Останні простори оснащуються метричними топологіями, які не є ультраметричними (тобто «Фізична метрика» задовольняє тільки звичайній нерівності трикутника і не задовольняє посиленій нерівності трикутника).

Точку $x = (a_0, a_1, a_2, \dots, a_n, \dots)$ простору Z_m можна ототожнити з «числом»:

$$x = a_0 a_1 \dots a_k \dots \equiv a_0 + a_1 m + \dots + a_k m^k + \dots \quad (1.16)$$

(цей ряд сходиться в метричному просторі Z_m). Зокрема, кінцеві I -послідовності $x = a_0, a_1 \dots a_k$ можуть ототожнюватися з натуральними числами:

$$x = a_0 + a_1 m + \dots + a_k m^k + \dots \quad (1.17)$$

Отже, множина всіх кінцевих I -послідовностей може бути ототожнена з множиною натуральних чисел N . Так що динаміка кінцевих I -послідовностей може бути змодельована у вигляді динаміки на N . Більш того, N – щільна

підмножина Z_m : будь-який $x \in Z_m$ можна наблизити з довільною точністю натуральними числами. Якщо x - натуральне число, то $|x|_m = m^{-k}$ тоді і тільки тоді, коли x ділиться на m^{k+1} .

Множина Z_m називається множиною m -адичних цілих чисел.

На множині m -адичних чисел Z_m можна ввести алгебраїчні операції, а саме додавання, віднімання і множення. Ці операції є природним продовженнями стандартних операцій на множині натуральних чисел $N = \{0, 1, 2, 3, \dots\}$.

В [28] була запропонована детермінована p -адична динамічна модель процесу мислення. Автор припускає, що ця динамічна система знаходиться в особливій частині когнітивної системи, яка названа підсвідомістю. Робота цієї динамічної системи контролюється когнітивним регулятором, який був названий свідомістю. Саме свідомість керує параметрами динамічної системи, і передає генеруючі ідеї в підсвідомість. Це ініціює ітерацію динамічної системи в підсвідомості. Роботу по обробці інформації, що надходить до мислячої істоти, в підсвідомості виконують спеціальні процесори мислення (наприклад, процесор голоду, страху, сексуальний і т.д). Свідомість вважає аттрактори динамічної системи результатом розумового процесу.

P -адична модель має наступні основні властивості [28]:

- p -адична динамічна когнітивна система ніколи не може генерувати «випадкові» ідеї;
- аттрактори p -адичної динамічної когнітивної системи можуть бути дуже складними конфігураціями ідей (таким чином, це великі обсяги інформації);
- модель може бути використана для пояснення того, чому люди можуть мати різні розумові здібності;
- модель відображає істотні і реалістичні риси психологічної поведінки людей;
- за допомогою даної моделі можна пояснити походження деяких психічних захворювань.

Порівняльний аналіз розглянутих вище моделей розумової діяльності, а також *i*-моделей [22], розглянутих у пояснювальній записці Горшкової О.М., наведено у табл. 1.1. Знаки «+» та «-» у табл.1.1 означають «відповідність критерію порівняння» та «невідповідність критерію порівняння» відповідно.

Таблиця 1.1 – Порівняння моделей розумової діяльності

Назва моделі Критерій	IBL-моделі	<i>p</i> -адичні моделі	<i>i</i> -моделі
Апаратно базуються на нейронних ансамблях мозку	-	+	+
Врахування попереднього досвіду істоти	+	+	-
Імітація процесу навчання	+	+	+
Можливість формалізації вихідної ситуації	+	+	+
Врахування модальності стимулів подразника	-	+	-
Підтримка опису динаміки розумової системи	-	+	+
Врахування психофізіологічного стану істоти	-	+	-

Враховуючи дані табл.1.1 можна зробити висновок, що всі розглянуті моделі мають можливість формалізувати процес навчання, який є базовим для набуття істотами умовних рефлексів. Важливим критерієм оцінки є також можливість опису динаміки мислячої системи. Даному критерію відповідають

тільки p -адичні моделі та i -моделі. Крім того, слід зауважити, що динаміка мислячої системи значно залежить від психофізіологічного стану істоти, що враховують тільки p -адичні моделі. Тому, дані моделі і обрані для подальшого розгляду.

1.4 Постановка задач дослідження

У процесі дослідження когнітивних функцій тварин, піддослідні особини можуть піддаватися періодичним впливів різних подразників кілька разів на день, протягом тривалого часу для закріплення нового умовного рефлексу. Це може призвести до психологічних зривів піддослідної тварини, а іноді і до його загибелі. Тому, актуальна розробка спеціалізованого програмного забезпечення імітує процеси навчання новим умовним рефлексам або їх забування.

Для досягнення мети роботи необхідно вирішити певні задачі дослідження, що були вже наведені у вступній частині (с. 10 та с.11). Розкриємо більш детально перелік задач, що необхідно вирішити при розробці програмного та інформаційного забезпечення компонентів системи, що автоматизує діяльність дослідника та забезпечує імітацію процесу навчання новим УР або їх забування:

- розглянути розвиток теорії умовних рефлексів І. П. Павлова у сучасних дослідженнях та сутність теорії навчання (згідно Рескорла і Вагнера);
- розглянути формальну модель придбання та забування умовного рефлексу, для випадку коли піддослідна тварина не отримує від дослідника заохочення за правильну реакцію;
- розглянути стан досліджень у області моделювання розумової діяльності (теорія розуму та її комп'ютерне представлення);
- проаналізувати існуючі моделі розумової діяльності за критеріями врахування попереднього досвіду піддослідної тварини, її психофізіологічного стану та модальності стимулів подразника (зоровий, слуховий, тактильний);

- розробити модель процесу придбання умовного рефлексу при дії подразника трьох типів модальності (зорова, слухова та тактильна);
- розробити моделі програмного забезпечення для автоматизації діяльності дослідника розумової діяльності тварин (діаграму прецедентів, діаграму класів, діаграму послідовностей та станів);
- розробити програмне та інформаційне забезпечення компонентів системи, що автоматизує діяльність дослідника;
- перевірити адекватність моделей на яких базується розроблене програмне забезпечення на прикладі придбання умовних рефлексів та забування різними класами тварин – черевоногими (морський заєць *Aplysia californica*) та ссавцями (собака).

1.4 Висновки до першого розділу

Огляд розвитку теорії умовних рефлексів та теорії навчання показав, що умовні рефлекси утворюються при багаторазовому поєднанні умовного сигналу, та його безумовного підкріплення. Основою теорії умовних рефлексів І.П. Павлова є обумовлення, тобто це процедура навчання або формування умовно-рефлекторних реакцій.

Було розглянуто формальні моделі, що здатні передбачати ефекти навчання. Згідно моделі Вагнера, та її подальшого розвитку, обумовлення залежить від асоціативної сили всіх стимулів, що виникають під час експериментального випробування. Ці моделі фокусуються на обробці безумовного стимулу.

Теорії уваги Макінтоша та Пірса і Хола дозволяють формалізувати процес блокування УР за рахунок зменшення кількості уваги (α_A) до умовного стимулу.

У п. 1.2 було розглянуто формальну модель процесу формування і забування умовного рефлексу при декількох можливих нейтральних подразниках, яка буде використовуватися в даній роботі.

Аналіз стану досліджень у області моделювання розумової діяльності показав, що для формалізації інформаційного поля мислячої істоти, а також опису динаміки процесу мислення з урахуванням психофізіологічного стану істоти, найбільші можливості мають p -адичні моделі. Таким чином для формалізації життєвого досвіду та рефлексів тварин у подальшому будуть використовуватися моделі даного типу.

Для досягнення поставленої мети роботи було сформульовано постановку певних задач дослідження.

2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

2.1 Розробка моделі придбання умовного рефлексу

Об'єктом дослідження в даній роботі є процеси мислення тварин. Для досягнення основної мети роботи необхідно автоматизувати процес проведення експериментів з тваринами дослідниками, що мають навчити піддослідну тварину новому умовному рефлексу. Тому, предметом дослідження є моделі, методи і засоби придбання УР тваринами.

Згідно проведеного у розділі 1 аналізу, у якості базової моделі, що формалізує процес навчання новому умовному рефлексу і його забування обрано модель [22]. У зв'язку з тим, що у даній моделі відсутні засоби для опису попереднього досвіду тварини, а також її психофізіологічного стану, необхідно її подальший розвиток. Для цього будуть використовуватись ієрархічні кодуючі системи у вигляді p -адичних чисел.

P -адична динамічна модель мислення є однією з моделей штучного інтелекту. Відмінною особливістю моделі є дуже специфічний спосіб кодування інформації. Передбачається, що всі мислячі системи кодують інформацію, використовуючи послідовності станів. Наприклад, у випадку 2-адичних систем будуть використовуватися тільки два значення «так» - «1» і «ні» - «0» з жорсткою ієрархічною структурою. Таким чином в p -адичних моделях основний акцент робиться на ролі ієрархії в поданні інформації мислячими системами. Наявність ієрархії представленої в I -послідовностях індукує дуже специфічні геометрії на ментальному просторі. Вважається [28], що саме ультраметричні геометрії є основою математичного опису процесів мислення. Таким чином, якщо для математичного опису потоків матерії використовується безперервний дійсний простір з евклідової геометрії або інших дійсних геометрій, для опису потоків думок потрібно використовувати ультраметричні геометрії, зокрема, m -адичні геометрії.

У даній роботі прийнято, що розумові процеси не обумовлюється фізико-хімічними процесами в мозку і навколишньому середовищу. У моделі

мислення це є властивістю спеціальним чином організованої інформації. Неважливо, яким чином ця інформація виробляється. Вона може, наприклад, здійснюватися нейронною мережею головного мозку. Однак не можна виключити, що ця когнітивна інформація може проводитися і багатьма іншими системами, що мають складну ієрархічну структуру [28].

Хренніков О.Ю. запропонував [28] виділяти дві підсистеми мислячої істоти – підсистему підсвідомості та підсистему свідомості. Для придбання УР достатньо розглядати тільки підсистему підсвідомості.

У дипломній роботі Горшкової О.М. було розглянуто модель підсистеми підсвідомості, запропоновану [28], а в п. 1.2 даної роботи формальну модель придбання умовного рефлексу. Розглянемо їх подальший розвиток у рамках даного дослідження. Введемо ряд нових термінів та складових, що будуть використані у моделі, що розробляється:

- Counter_Addict – лічильник звикання до умовного стимулу, зв'язаному з безумовним стимулом;
- k – величина, що складає необхідний мінімум i -го подразника для перевищення N_0^i , щоб умовний рефлекс став стійким;
- p – додаткова змінна, що необхідна для порівняння пріоритетів різних рефлексів, діючих у поточний час;
- $D_{\text{підс}}$ – база даних ситуацій підсвідомості;
- КОМ_{бр} – компаратор безумовних рефлексів;
- КОМ_{сит} – компаратор ситуацій (умовних рефлексів);
- $I_{\text{под}}(J)$ – міра інтересу щодо вхідної інформації;
- $F_{\text{под}}(J)$ – міра заборони щодо вхідної інформації;
- лічильник повторень – фіксує кількість дослідів, в яких був збіг з базою ситуацій і безумовного та умовного стимулів;
- стан рефлексу – стан навчення новому рефлексу в залежності від кількості дослідів (повторень);

- стан «не зафіксований» – рефлекс не зафіксовано (не досягнуто стійкої CR). При цьому, Counter_Addict може зменшитися до 0, $p = 0$;
- стан «зафіксований» – рефлекс зафіксовано. Counter_Addict не може опуститися нижче значення ($N_0^i - k$), $p I_{\text{под}}(J)/2$ або $F_{\text{под}}(J)/2$ (відповідно в залежності від того, цікавим чи забороненим є безумовний рефлекс, стимул якого використовується в умовному);
- стан «вироблений» – рефлекс вироблено. Counter_Addict не зменшується, $p = I_{\text{под}}(J)$ або $F_{\text{под}}(J)$ (відповідно в залежності від того, цікавим чи забороненим є безумовний рефлекс, стимул якого використовується в умовному).

Для розрахунків проценту забування УР у разі, якщо не відбувається його підкріплення буде використовуватися залежність представлена на рис. 2.1

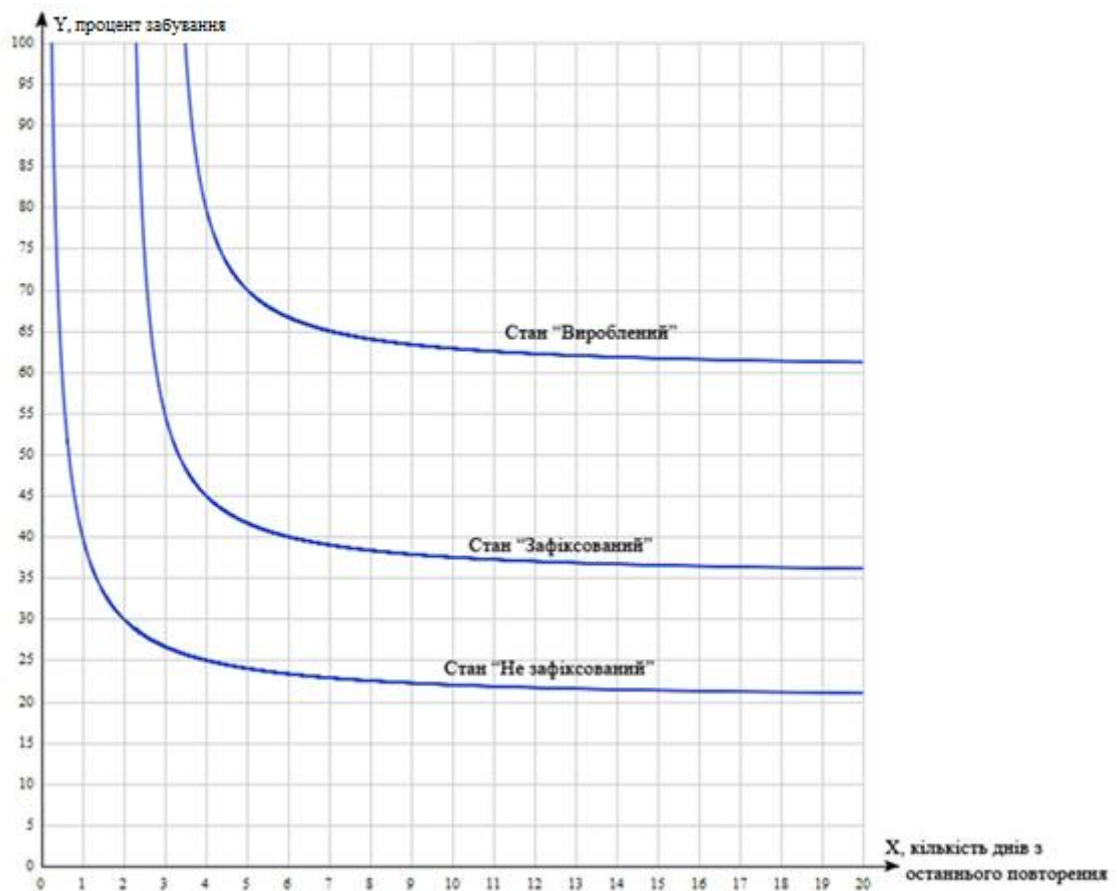


Рисунок 2.1 – Графік залежності проценту забування у довгостроковій пам'яті від часу за станами рефлексу

Вона побудована згідно кривої забування Еббінгауза – графіку, що показує процес забування людиною інформації протягом часу [29]. Ця залежність була отримана на основі емпіричних даних. Еббінгауз показав, що забування в значній мірі залежить від характеру діяльності, що відбувається безпосередньо перед запам'ятовуванням, а також від тієї, що відбувається після нього. У нашому випадку стан «Не зафіксований» є аналогом безглузлого (не пов'язаного ні з чим) матеріалу у Еббінгауза, стан «Зафіксований» – аналог логічної обробки, а стан «Вироблений» – при повторенні матеріалу для його закріплення у довгостроковій пам'яті (тобто підтвердження стимулу безумовним рефлексом).

Принцип кодування інформації, що поступає на три аналізатори піддослідної істоти (зоровий, слуховий та тактильний) із зовнішнього середовища за допомогою *p*-адичних чисел було розглянуто у п. 2.1 дипломної роботи Горшкової О.М. Таким чином, у даній комплексній роботі використовуються 8-адичні числа для формалізації наступної інформації:

- тип аналізатору (зоровий, тактильний, слуховий);
- інтенсивність умовного стимулу CS (5 градацій);
- ступінь протидії піддослідної істоти умовному стимулу (5 градацій);
- місце впливу умовного стимулу (8 градацій);
- тривалість впливу умовного стимулу (5 градацій);
- відстань від джерела умовного стимулу до піддослідної істоти (5 градацій);
- частота звукових сигналів (5 градацій);
- місцезнаходження джерела умовного стимулу (5 градацій);
- температура сигналів умовного стимулу (5 градацій);
- площа впливу сигналів умовного стимулу (3 градації).

Наприклад, для піддослідного морського зайця *Aplysia californica* код 33513233 означає, що на його тактильний аналізатор (3) впливає умовний

стимул у вигляді температурного подразнення середнього рівня (3), з середньою інтенсивністю (3), з низькою тривалістю (3), заєць має дуже слабку протидію цьому сигналу (5), подразник діє з правої сторони (1) на тулуб (2) на малу його площу (3) (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Приклад кодування інформації для тактильного аналізатора

Код	№ позиції у <i>p</i> -адичному числі							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Тип аналізатору	Інтенсивність	Ступінь протидії	Місце знаходження	Тривалість	Місце впливу	Температура	Площа
1				право- руч				
2						тулуб		
3	тактиль- ний	середня			серед- ня		середня	мала
4								
5			дуже низька					
6								
7								
8								

Як видно з даних таблиці 2.1, для даного випадку коди 6, 7 та 8 не знадобилися для опису ситуації.

Блок-схема роботи процесору рефлексів π_r представлено на рис. 2.2. Розглянемо її більш детально.

Крок 1. Інформація про збудження у закодованому вигляді (як ідея J згідно [28]) надходить до одного з рецепторів істоти – зорового, слухового чи

тактильного. Вже відомі за замовчуванням істоті безумовні рефлексивні (одразу після народження або такі, що з'являються впродовж життя), зберігаються у базі цікавих $D_{пц}$ або заборонених $D_{пз}$ ідей підсвідомості. Умовні рефлексивні, що з'являються у процесі навчання зберігаються у базі ситуацій $D_{підс}$.

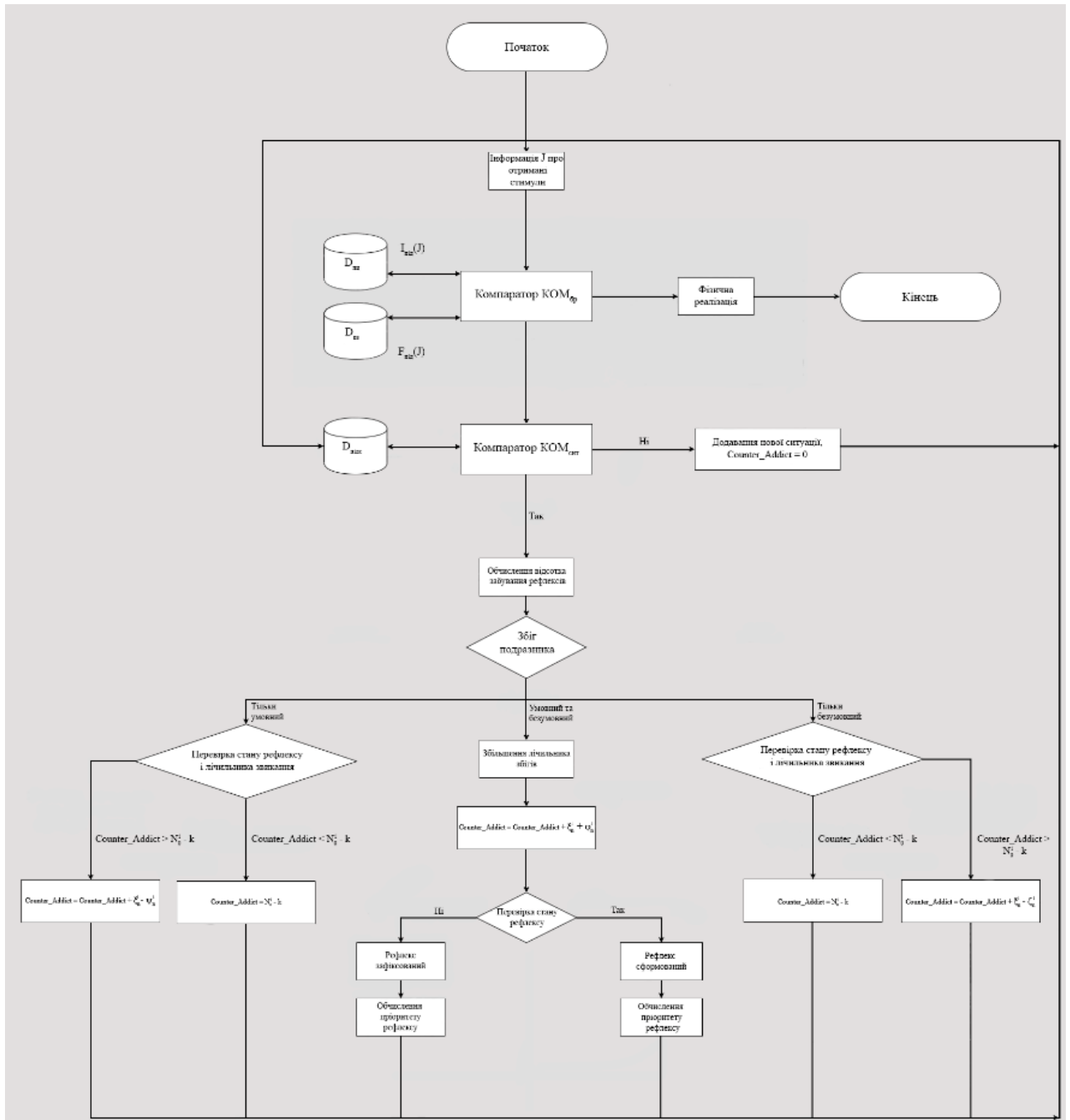


Рисунок 2.2 – Блок-схема роботи процесору рефлексів

Приклади безумовних рефлексів, що розміщені у базах цікавих та заборонених ідей наведені у табл.2.2 пояснювальної записки Горшкової О.М.

Навчення умовному рефлексу відбувається, коли збудження, що викликає безумовний рефлекс супроводжується іншою ситуацією, яка повторюється із разу в раз.

Тобто ситуація (дані з аналізатора, він же умовний стимул), яка передусе безумовному рефлексу (реакції на безумовний стимул), при його виконанні додається в базу умовних рефлексів, що складається з бази ситуацій підсвідомості $D_{\text{підс}}$ та коду реакції. У різних ситуаціях, у тварини на один і той же умовний подразник, наприклад світло, в одній кімнаті можна виробити умовний слиновидільний (реакція з кодом 4), а в іншій кімнаті – умовний оборонний рефлекс (реакція з кодом 5) і т ін. [30]. Номер кімнати можна додати у якості сьомої позиції р-адичного числа у запропонованій у п. 2.1 пояснювальної записки Горшкової О.М. системі кодування для зорового аналізатора. Приклади умовних рефлексів, що можуть бути розміщені у базі умовних рефлексів для цього випадку наведені у табл.2.2

Таблиця 2.2 – Приклад представлення інформації у базі ситуацій підсвідомості

Ситуація	Реакція	Пояснення
1235521	0	У кімнаті №1 собака не реагує на світлові сигнали
1235522	4	У кімнаті №2 собака реагує на світловий сигнал слиновиділенням
1235523	5	У кімнаті №3 собака реагує на світловий сигнал оборонною реакцією

Якщо компаратор безумовних рефлексів КОМ_{бр} виявив збіг з базою цікавих або заборонених ідей (тобто спрацював безумовний рефлекс), то вхідна ідея J відправляється на фізичну реалізацію. Перехід на крок 3.

Якщо збіг відсутній, перейти на крок 2 до компаратора ситуацій КОМ_{снт}. Пошук збігів у базах цікавих або заборонених ідей відбувається згідно з формулою відстані [28]:

$$\rho_m(x, y) = \frac{1}{m^k}, \quad (2.1)$$

де x, y - послідовності цифр (відповідно цікавої або забороненої ідеї та наявного стимулу) з основою $m > 1$; k - така, що послідовності x і y мають різні цифри на цій позиції.

Крок 2. Компаратор ситуацій КОМ_{снт} перевіряє збіги з базою ситуацій $D_{\text{підс}}$.

Крок 2.1 При відсутності збігів додати ситуацію до $D_{\text{підс}}$ зі значенням Counter_Addict = 0.

Крок 2.2 При наявності збігу одного з трьох типів (збіг тільки безумовного стимулу (позначимо літерою А), збіг умовного та безумовного стимулів (позначимо літерою Б) або тільки умовного стимулу (позначимо літерою С)) обчислюється процент забуття рефлексу (ситуації). Графіки залежності проценту забування від часу з останнього повторення були наведені на рис. 2.1. Далі, в залежності від типу збігу, відбувається перехід до гілки А, Б або С.

Розглянемо кроки гілки А.

Крок А1. Відбувається перевірка стану рефлексу (зафіксований чи не зафіксований) для обчислення Counter_Addict.

Крок А2. Якщо рефлекс не зафіксовано або було зафіксовано та значення $\text{Counter_Addict} + \xi_n^i - \psi_n^i > N_0^i - k$, то присвоїти Counter_Addict (з урахуванням (1.8) та (1.9)) значення згідно з формулою (у випадку збігу тільки безумовного стимулу відбувається забування):

$$\text{Counter_Addict} = \text{Counter_Addict} + \xi_n^i - \psi_n^i \quad (2.2)$$

Крок А3. Якщо рефлекс зафіксовано та $\text{Counter_Addict} + \xi_n^i - \psi_n^i < N_0^i - k$, то присвоїти Counter_Addict значення $\Delta N_n^i - k$. Тобто відбувся збіг тільки безумовного стимулу, але забування неможливе, тому що мінімальне значення Counter_Addict у зафіксованому стані має дорівнювати $\Delta N_n^i - k$. Внесення змін до $D_{\text{підс}}$.

Розглянемо кроки гілки Б.

Крок Б1. Збільшення лічильника повторень n .

Крок Б2. Так як відбувся збіг умовного та безумовного стимулів, то відбувається навчання, а Counter_Addict присвоїти значення згідно з формулою:

$$\text{Counter_Addict} = \text{Counter_Addict} + \xi_n^i + \varphi_n^i \quad (2.3)$$

Крок Б3. Перевірка стану рефлексу.

Крок Б3.1. Якщо рефлекс не зафіксовано та кількість повторів більша за необхідну кількість повторів для фіксації (залежить від досліджуваного організму), то стан рефлексу змінюється на «». Кількість повторів задається користувачем-дослідником. Далі вираховується пріоритет рефлексу $p = I_{\text{під}}(J)/2$ у випадку цікавих ідей, або $p = F_{\text{під}}(J)/2$ для заборонених ідей.

Крок Б3.2. Якщо рефлекс зафіксовано та кількість повторів більша за необхідну кількість повторів для виробки (залежить від досліджуваного організму), то стан рефлексу змінюється на «Вироблений», та вираховується пріоритет рефлексу $p = I_{\text{під}}(J)$ у випадку цікавих ідей, або $p = F_{\text{під}}(J)$ для заборонених ідей. Внесення змін до $D_{\text{підс}}$.

Розглянемо кроки гілки В.

Крок В1. Відбувається перевірка стану рефлексу (зафіксований чи не зафіксований) для обчислення Counter_Addict .

Крок B1.1 Якщо рефлекс зафіксовано та $\text{Counter_Addict} < N_0^i - k$, то присвоїти $\text{Counter_Addict} = \Delta N_n^i - k$. Значення лічильника не може впасти нижче за порогове значення.

Крок B1.2 Якщо рефлекс не зафіксовано або зафіксовано та $\text{Counter_Addict} > N_0^i - k$, то $\text{Counter_Addict} = \text{Counter_Addict} + \xi_n^i - \zeta_n^i$.
Внесення змін до $D_{\text{підс}}$.

Крок 3. Завершення роботи процесору π_p . Кінець.

Таким чином розроблено модель придбання та забування УР з урахуванням попереднього досвіду піддослідної тварини. Модель враховує впливи умовних стимулів, що діють на три типи аналізаторів – зоровий, слуховий та тактильний.

Для вирішення задачі автоматизації діяльності дослідників вищих когнітивних функцій тварин необхідно розробити моделі відповідного програмного забезпечення.

2.2 Розробка моделей програмного забезпечення

Набором передових інженерних практик, які довели свою ефективність при моделюванні великих і складних систем є уніфікована мова моделювання (UML) [31]. UML – це стандартизована мова моделювання, що складається з інтегрованого набору діаграм, розроблених для допомогти розробникам систем і програмного забезпечення для визначення, візуалізації, побудови і документування артефактів програмних систем, а також для бізнес-моделювання та інших непрограмних систем. Тому UML є важливою частиною розробки об'єктно-орієнтованого програмного забезпечення і процесу розробки програмного забезпечення. Використання UML допомагає проектним групам спілкуватися, досліджувати потенційні проекти та перевіряти архітектурний дизайн програмного забезпечення.

Для формалізації програмного забезпечення, що розроблюється в даній пояснювальній записці буде розглянуто побудову наступних моделей (у вигляді UML-діаграм): діаграма прецедентів; діаграма послідовностей та діаграма станів.

У пояснювальній записці Горшкової О.М. розглянуто діаграму класів та діаграму активностей.

Взаємодію користувача з програмною системою демонструє діаграма прецедентів (рис. 2.3)



Рисунок 2.3 – Діаграма прецеденту «Навчення УР»

Типовий сценарій роботи дослідника з програмним застосунком може бути описаний за допомогою прецеденту, що наведений нижче.

Прецедент «Навчення УР»:

- основний виконавець – дослідник когнитивних функцій тварин;
- зацікавлена особа - дослідник когнитивних функцій тварин;
- передумови: програма відкрита;

Післяумова: зміна ступеню навченості УР.

Головний успішний сценарій (основний потік) – вплив безумовного та умовного рефлексів:

Крок 1. Користувач переглядає стимули, якими він може впливати на об'єкт.

Крок 2. Користувач задає характеристики майбутнього впливу.

Крок 2.1 Перший стимул (безумовний): аналізатор (зоровий, слуховий, тактильний) та його відносні відповідні складові: інтенсивність, ступінь протидії, тривалість та температура (дуже низька, низька, середня, висока, дуже висока); місцезнаходження впливу (знизу, зверху, по центру, ліворуч, праворуч); відстань до об'єкту (дуже близько, близько, середня, далеко, дуже далеко); частота звуку ($< 64 \text{ Hz}$; $> 64 \text{ Hz and } < 300 \text{ Hz}$; $> 300 \text{ Hz and } < 3 \text{ kHz}$; $> 3 \text{ kHz and } < 44 \text{ kHz}$; $> 44 \text{ kHz}$); частина тіла, на яку впливають (голова, торс, спина, права/ліва передня/задня лапа, хвіст); площа впливу (мала, середня, велика);

Крок 2.2 Другий стимул (умовний): аналогічно першому.

Крок 2.3 Додаткові змінні: тривалість умовного стимулу; інтервал між початком стимулу та безумовним подразником; кількість стимулів за день; інтервал між експериментами; кількість повторень для закріплення; кількість повторів для розробки; поріг узгодженості; поріг фізичної реалізації.

Крок 3. Користувач впливає на об'єкт та переглядає його реакцію та показники ситуацій.

Крок 4. Користувач за допомогою дошки з результатами попередніх впливів спостерігає розвиток безумовних та умовних стимулів, реакції об'єкта на них за різних умов.

Альтернативний потік 1 – вплив 2-х безумовних рефлексів.

Крок 2а. Користувач задає характеристики майбутнього впливу.

Крок 2а.1. Перший стимул: аналогічно Крок 2.1.

Крок 2а.2. Користувач обирає режим “Безумовний” для другого стимулу.

Крок 2а.3. Другий стимул: аналогічно Крок 2.1.

Альтернативний потік 2 – вплив тільки безумовного рефлексу.

Крок 2б. Користувач задає характеристики майбутнього впливу.

Крок 2б.1. Перший стимул: аналогічно Крок 2.1.

Крок 2б.2. Додаткові змінні: аналогічно Крок 2.3.

Альтернативний потік 3 – вплив тільки умовного рефлексу.

Крок 2в. Користувач задає характеристики майбутнього впливу.

Крок 2в.1. Другий стимул: аналогічно Крок 2.1.

Крок 2в.2. Додаткові змінні: аналогічно Крок 2.3.

Зазвичай діаграма прецедентів деталізується шляхом побудови діаграм послідовностей (рис.2.4)

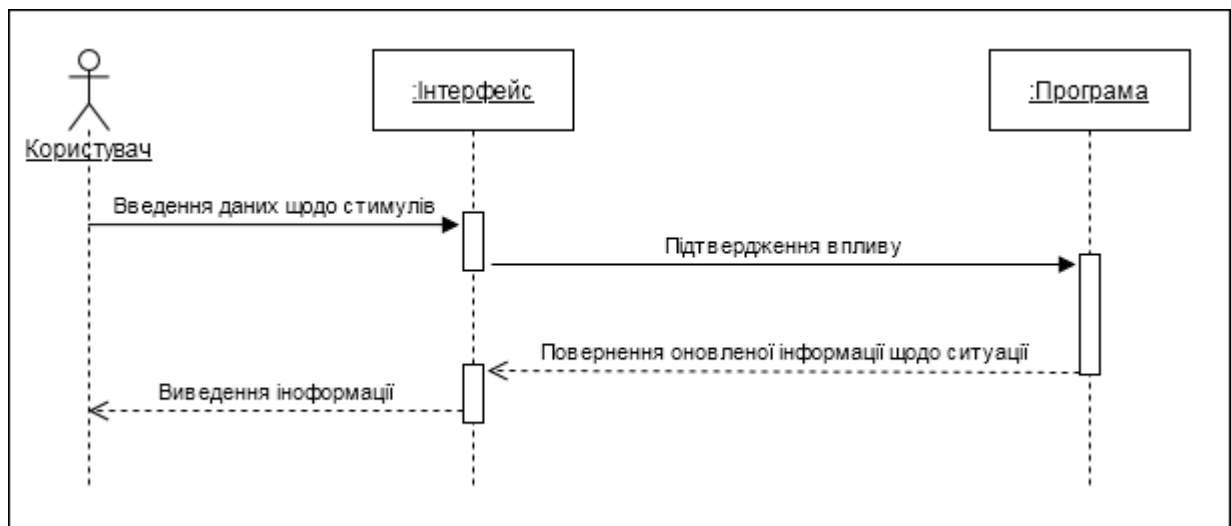


Рисунок 2.4 – Діаграма послідовностей

Згідно з рис.2.4, користувач вводить дані щодо стимулів до програмного інтерфейсу та підтверджує вплив стимулу. Програма отримує від інтерфейсу характеристики впливу та опрацьовує поточні дані, що включають бази цікавих та заборонених ідей, бази ситуацій та поточний вплив. Далі програма відправляє вихідні дані щодо реакції об'єкту та характеристик стимулів до інтерфейсу. Користувач переглядає інформацію, що виведеться на дошку результатів на інтерфейсі.

Діаграма станів (рис. 2.5) представляє динамічну поведінку сутностей, програмної системи що розробляється, на основі специфікації їх реакції на сприйняття деяких конкретних подій.

Коротко прокоментуємо основні особливості даної діаграми. Згідно з рис.2.5, початковий стан – рефлекс відсутній у базі ситуацій. Після події «Поява рефлексу» (внесення рефлексу до бази ситуацій) стан рефлексу змінюється на «Новий». Подія «Повторення рефлексу» призводить до перевірки на кількість повторень. Якщо кількість повторень більша за необхідну кількість повторень для зміни стану рефлексу на «Зафіксований» (задається користувачем-дослідником), то здійснюється перехід у стан «Зафіксований». У іншому випадку виконується перехід у стан «Новий».

Розглянемо перехід із стану «Зафіксований». Після події «Повторення рефлексу» здійснюється перевірка на кількість повторень. Якщо кількість повторень більша за необхідну кількість повторень для зміни стану рефлексу на «Розроблений» (задається користувачем), то здійснюється перехід у стан «Розроблений». У іншому випадку виконується перехід у стан «Зафіксований». Стан «Розроблений» є кінцевим.

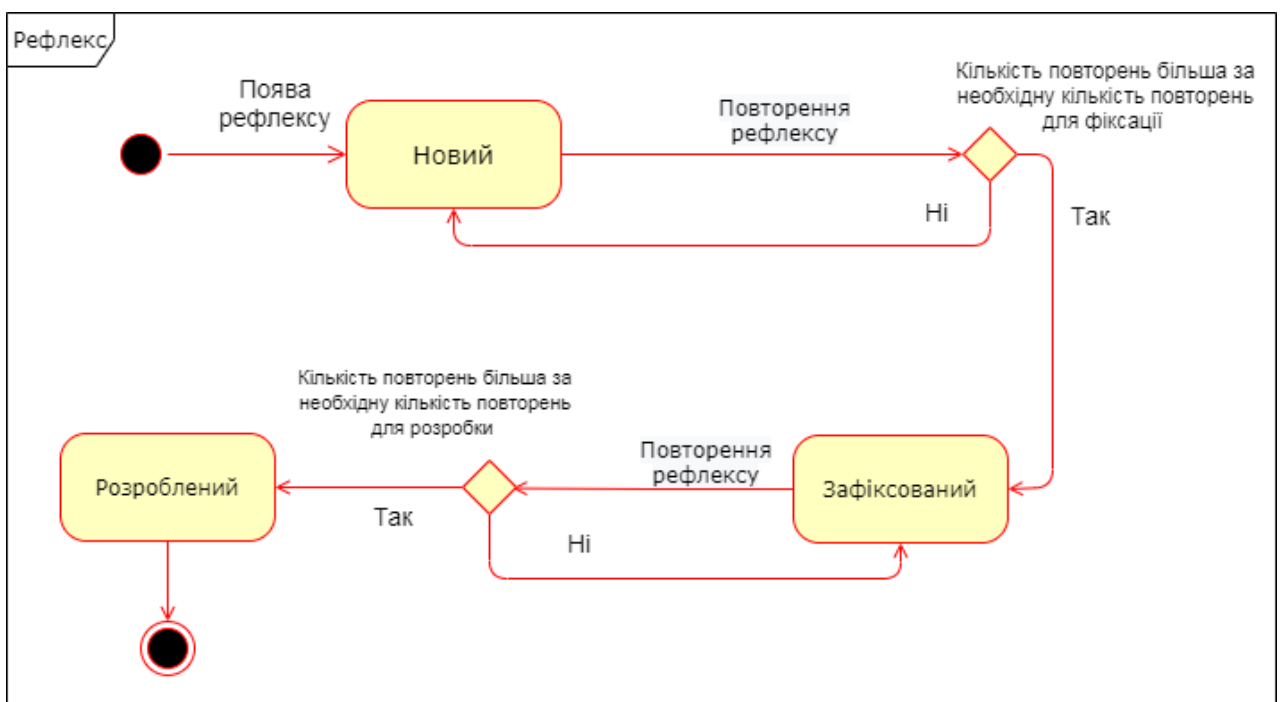


Рисунок 2.5 – Діаграма станів

Таким чином діаграма станів, що розроблена надає опис всіх трьох стадій навчання умовному рефлексу.

2.3 Висновки до другого розділу

У даному розділі було розроблено модель, що формалізує процес навчання новому умовному рефлексу і його забування. Ця модель є подальшим розвитком моделі умовних рефлексів [22]. Модель, що розроблена, на відміну від попередньої, враховує досвід істоти завдяки формалізації знань ієрархічною кодуючою системою у вигляді p -адичних чисел. Умовні рефлексі фіксуються у базі даних ситуацій підсвідомості. Моделювання процесів забування здійснюється на базі апроксимованої кривої забування Еббінгауза. Урахування психофізіологічного стану піддослідної істоти здійснюється шляхом кодування п'яти градацій ступеню протидії піддослідної істоти умовному стимулу.

Для формалізації програмного забезпечення, що автоматизує діяльність дослідника когнитивних функцій тварин в рамках даної роботи було розроблено три моделі у вигляді UML-діаграм: діаграма прецедентів; діаграма послідовностей та діаграма станів.

3 ОСНОВНІ РІШЕННЯ З РЕАЛІЗАЦІЇ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ

В даному розділі пояснювальної записки розглянуто проектування програмного забезпечення, яке в рамках комплексної роботи по автоматизації діяльності дослідника когнитивної поведінки тварин забезпечує проведення експериментів з придбання УР.

Проектування іншої частини програмної системи, що автоматизує діяльність дослідника під час експериментів щодо БУ, розглянуто у пояснювальній записці Горшкової О.М.

Для розробки згідно до технічного завдання застосовувалася мова C++ та середовище розробки QT Creator 5.4.2.

3.1 Розробка ієрархії класів

Для реалізації функцій покладених на програмний застосунок, необхідно розробити ієрархію класів, кожний з яких буде направлено на вирішення певних задач.

Для визначених класів було створено діаграму класів, зображену на рис. 3.1. У межах даної роботи було розроблено класи, контури яких виділені товщиною лінії. Змінні класів Knowledge_Conditional є складовими для класу Conditional, тому ці класи зв'язані відношенням агрегації, або іншими словами відношенням «частина-ціле».

Клас Knowledge_Conditional призначений для зберігання даних, що мають відношення щодо ситуацій (коду безумовного стимулу, коду умовного стимулу, реакції, лічильнику, тривалості впливу, інтервалу між безумовним та умовним стимулами, стану рефлексу, пріоритету). Функції класу наведені в табл. 3.1.

Клас Conditional призначений для збереження баз ситуацій та ідей та роботи з ними. Функції класу наведені в табл. 3.2.

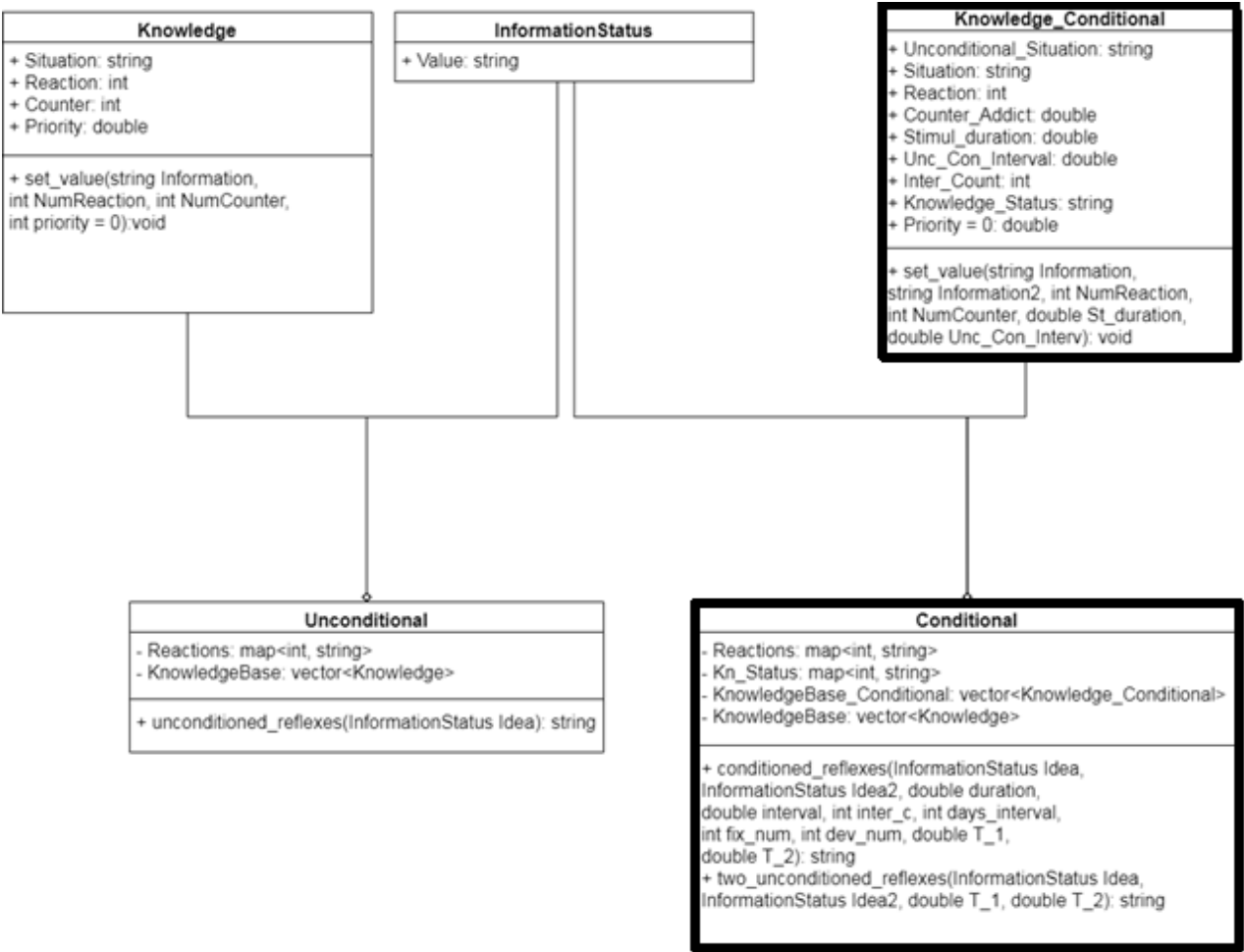


Рисунок 3.1 – Діаграма класів застосунку

Таблиця 3.1 – Опис класу Knowledge_Conditional

Поля та методи класу	Опис
1	2
public:	
void set_value(string Information, string Information2, int NumReaction, int NumCounter, double St_duration, double Unc_Con_Interv)	Конструктор, до якого передаються всі характеристики ситуації
string Unconditional_Situation	Код безумовного рефлексу
string Situation	Код умовного рефлексу

Продовження табл. 3.1

1	2
int Reaction	Реакція на ситуацію
double Counter_Addict	Лічильник звикання до умовного стимулу
double Stimul_duration	Тривалість впливу
double Unc_Con_Interval	Інтервал між стимулами
int Inter_Count	Лічильник запам'ятовування
string Knowledge_Status	Стан рефлексу
double Priority	Пріоритет

Таблиця 3.2 – Опис класу Conditional

Поля та методи класу	Опис
1	2
<i>public:</i>	
Conditional()	Конструктор
string conditioned_reflexes(InformationStatus Idea, InformationStatus Idea2, double duration, double interval, int inter_c, int days_interval, int fix_num, int dev_num, double T_1, double T_2)	Функція, що виконує основний алгоритм з аналізу впливу (безумовний та умовний, безумовний, умовний) та повернення реакції на нього
string two_unconditioned_reflexes(InformationStatus Idea, InformationStatus Idea2, double T_1, double T_2)	Функція, що виконує основний алгоритм з аналізу впливу 2 безумовних стимулів та повернення реакції на нього

Продовження табл. 3.2

1	2
<i>private:</i>	
map<int, string> Reactions	Всі можливі реакції на стимули
map<int, string> Kn_Status	Всі можливі реакції стани рефлексу
vector<Knowledge_Conditional> KnowledgeBase_Conditional	База ситуацій
vector<Knowledge> KnowledgeBase	База ідей

3.2. Розробка інтерфейсу користувача для роботи з умовними рефlekсами

Інтерфейс застосунку складається з трьох форм. Особливості проектування перших двох форм розглянуто у п.3.2 пояснювальної записки Горшкової О.М. Розглянемо реалізацію третьої форми – форми роботи з умовними рефlekсами (рис. 3.2).

При проектуванні форми роботи з умовними рефlekсами були використані наступні елементи керування:

- випадаячі списки (для вибору параметрів стимулів – аналізатор, інтенсивність, протидія, місце впливу, тривалість, відстань до об'єкту, частота звуку, частина тіла, температура, площа впливу);
- кнопка для запуску;
- текстове поле (для виведення інформації щодо реакції);
- поля для вводу чисел (встановлення параметрів: тривалість умовного стимулу; інтервал між початком стимулу та безумовним подразником; кількість стимулів за день; інтервал між експериментами; кількість повторень для закріплення; кількість повторів для розробки; поріг узгодженості; поріг фізичної реалізації);
- кнопки-прапорці (встановлення виду другого стимулу).

Dialog

Unconditional

Analyzer: Visual Intensity: Very low Counteraction: High Point: Centered Duration: High

Distance: Far away Sound frequency: < 64 Hz Part of the body: Head Temperature: Very low Area: Small

Code: 003233

☒ Conditional ☐ Unconditional

Analyzer: Tactile Intensity: Average Counteraction: Very high Point: From below Duration: High

Distance: Very close Sound frequency: < 64 Hz Part of the body: Torso Temperature: Average Area: Big

Code: 22403122

Duration of conditional stimulus: 1

The interval between the beginning of the stimulus and the unconditional stimulus: 0

The number of repetitions for fixation: 17

Consistency threshold: 1,00

Number of stimuli per day: 10

Interval between experiments: 6

The number of repetitions for development: 55

Physical realization threshold: 1,00

Act

Interaction counter: 12
So reaction: 003233-22403122 Close eyes

Reaction crosses the consistency threshold
Reaction crosses the physical threshold
We see: Close eyes

e = 0.200000
Coherence: 1.000000
003233 (interesting) - 22403122 (neutral)
Reaction: Nothing to do
Counter_Addict = 4.150000 Stable
Interaction counter: 12
So reaction: 003233-22403122 Close eyes

Reaction crosses the consistency threshold
Reaction crosses the physical threshold
We see: Close eyes

Diagram labels: Head, Back, Tail, Hind paw, Torso, Front paw

Рисунок 3.2 – Форма для роботи з умовними рефlekсами

Відповідно до загальних правил побудови ергономічних інтерфейсів були виконані наступні кроки:

- для позначення поточного значення кольору кнопка вибору зафарбована з його використанням;
- елементи керування зі схожою функціональністю згруповані між собою (наприклад, випадаючі списки для встановлення параметрів стимулу знаходяться поруч).

Програмний код розроблених класів, а також код для форми проведення експериментів з собакою наведені у додатку А. Інші файли, що складають комплексний проект наведені у пояснювальній записці Горшкової О.М.

3.3 Висновки до третього розділу

У даному розділі розглянуто реалізацію класів, що забезпечують у застосунку автоматизацію діяльності дослідника при експериментальному навченні піддослідної істоти умовному рефлексу та налаштування початкових даних та середовища проведення експерименту.

Також розглянуто перелік елементів керування інтерфейсної форми роботи з умовними рефlekсами. За допомогою цієї форми користувач може налаштувати: кількість умовних стимулів; параметри умовного стимулу; параметри експерименту (інтервал між початком стимулу та безумовним подразником; кількість стимулів за день; інтервал між експериментами; кількість повторень для закріплення; кількість повторів для розробки; поріг узгодженості; поріг фізичної реалізації).

4 ЕКСПЛУАТАЦІЯ, ТЕСТУВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРАМИ

4.1 Приклад моделювання навчення умовному рефлексу

Розглянемо процес моделювання навчення умовному рефлексу на прикладі експерименту з собакою. Експеримент полягає у виробленні УР "Закрити очі" на умовний подразник у вигляді теплового впливу на тіло собаки. Приклад введення експериментатором вихідних даних експерименту наведено на рис. 4.1.

Unconditional

Analyzer: Visual, Intensity: Very low, Counteraction: High, Point: Centered, Duration: High

Distance: Far away, Sound frequency: < 64 Hz, Part of the body: Head, Temperature: Very low, Area: Small

Code: 003233

☒ Conditional ☐ Unconditional

Analyzer: Tactile, Intensity: Average, Counteraction: Very high, Point: From below, Duration: High

Distance: Very close, Sound frequency: < 64 Hz, Part of the body: Torso, Temperature: Average, Area: Big

Code: 22403122

Duration of conditional stimulus: 1

The interval between the beginning of the stimulus and the unconditional stimulus: 0

The number of repetitions for fixation: 17

Consistency threshold: 1,00

Number of stimuli per day: 10

Interval between experiments: 6

The number of repetitions for development: 55

Physical realization threshold: 1,00

Act

Interaction counter: 12
So reaction: 003233-22403122 Close eyes

Reaction crosses the consistency threshold
Reaction crosses the physical threshold
We see: Close eyes

e = 0.200000
Coherence: 1.000000
003233 (interesting) - 22403122 (neutral)
Reaction: Nothing to do
Counter_Addict = 4.150000 Stable
Interaction counter: 12
So reaction: 003233-22403122 Close eyes

Reaction crosses the consistency threshold
Reaction crosses the physical threshold
We see: Close eyes

Diagram labels: Head, Back, Tail, Hind paw, Torso, Front paw

Рисунок 4.1 – Приклад роботи з умовними рефлексами

У даному випадку задані такі параметри: безумовний стимул з кодом 003233 (візуальний аналізатор, дуже низька інтенсивність, висока протидія, місце впливу – посередині, велика тривалість взаємодії, велика відстань), умовний стимул з кодом 22403122 (тактильний аналізатор, середня інтенсивність, дуже висока протидія, місце впливу – знизу, велика тривалість взаємодії, частина тіла – торс, середня температура, велика площа). Користувач також задав такі параметри: кількість повторень в день – 10; інтервал між експериментами – 6 днів; кількість повторень для фіксації – 17, для розробки – 55; поріг узгодженості – 1; поріг фізичної реалізації – 1.

Після натискання кнопки «Act» у текстовому полі з'явилася інформація щодо реакції та внутрішніх змінних алгоритму: випадкова величина $e = 0,2$ (через e позначено ξ_n^i); пріоритет в поточних умовах (Coherence) = 1; безумовний стимул належить до бази цікавих ідей, умовний – нейтральний; реакція на умовний стимул – нічого не робити; лічильник звикання Counter_Addict = 4,15 (стабільний); лічильник взаємодії = 12; реакція на рефлекс (зв'язку безумовного та умовного стимулів) – заплющити очі. Реакція перевищила задані користувачем пороги узгодженості та фізичної реалізації, тож виводиться інформація, що ми бачимо реакцію «Заплющити очі».

Параметри стимулів наведені нижче:

- аналізатор: зоровий, слуховий, тактильний;
- інтенсивність: дуже низька, низька, середня, висока, дуже висока;
- ступінь протидії: дуже низький, низький, середній, високий, дуже високий;
- місцезнаходження джерела умовного стимулу: знизу, зверху, по центру, ліворуч, праворуч;
- тривалість: дуже низька, низька, середня, висока, дуже висока;
- відстань до об'єкту: дуже близько, близько, середня, далеко, дуже далеко;
- частота звуку: $< 64 \text{ Hz}$; $> 64 \text{ Hz and } < 300 \text{ Hz}$; $> 300 \text{ Hz and } < 3 \text{ kHz}$; $> 3 \text{ kHz and } < 44 \text{ kHz}$; $> 44 \text{ kHz}$;

- місце впливу умовного стимулу: голова, торс, спина, права/ліва передня/задня лапа, хвіст;
- температура: дуже низька, низька, середня, висока, дуже висока;
- площа впливу: мала, середня, велика.

4.2 Приклад моделювання забування умовного рефлексу

Розглянемо процес моделювання забування умовного рефлексу на прикладі експерименту з морським зайцем *Aplysia californica*, з його повторним відновленням після перерви у 14 днів. Мета даного імітаційного експерименту – показати адекватність моделі шляхом моделювання реального експерименту з аплізією, проведеного [32].

Згідно [32], відстежувалася тривалість сифонно-відсмикуючого рефлексу, що викликаний хвостом (T-SWR). T-SWR викликали шляхом нанесення слабкого електрошоку на одну сторону хвоста за допомогою ручного стимулятора (двофазний імпульс постійного струму 60 Гц протягом 500 мс при постійному струмі 2 мА). Кожен T-SWR визначався кількісно як тривалість припинення від моменту стимуляції до першої ознаки релаксації сифона. Відповіді T-SWR збирали перед тренуванням (вихідний рівень), а потім знову в різні моменти часу після тренування (1, 5, 7 і / або 14 днів). Для кожної тимчасової точки реакція T-SWR була охарактеризована серією з 8 відповідей, викликаних на різних сторонах тіла при 10-хвилинному інтервалі між випробуваннями. Результати експерименту з групою з 16 *Aplysia californica* наведено на рис. 4.1.

Графік показує зміни тривалості T-SWR як % зміни від базового рівня під час тренування. Тонка пунктирна лінія на позначці 0 означає відсутність змін. Товсті лінії являють собою середні відповіді $\pm$ 95% похибки. Бляклі лінії представляють кожну окрему тварина в дослідженні. Якщо похибка 95% менше, ніж зміна поведінки, результат буде статистично значущим при $\alpha = 0,05$.

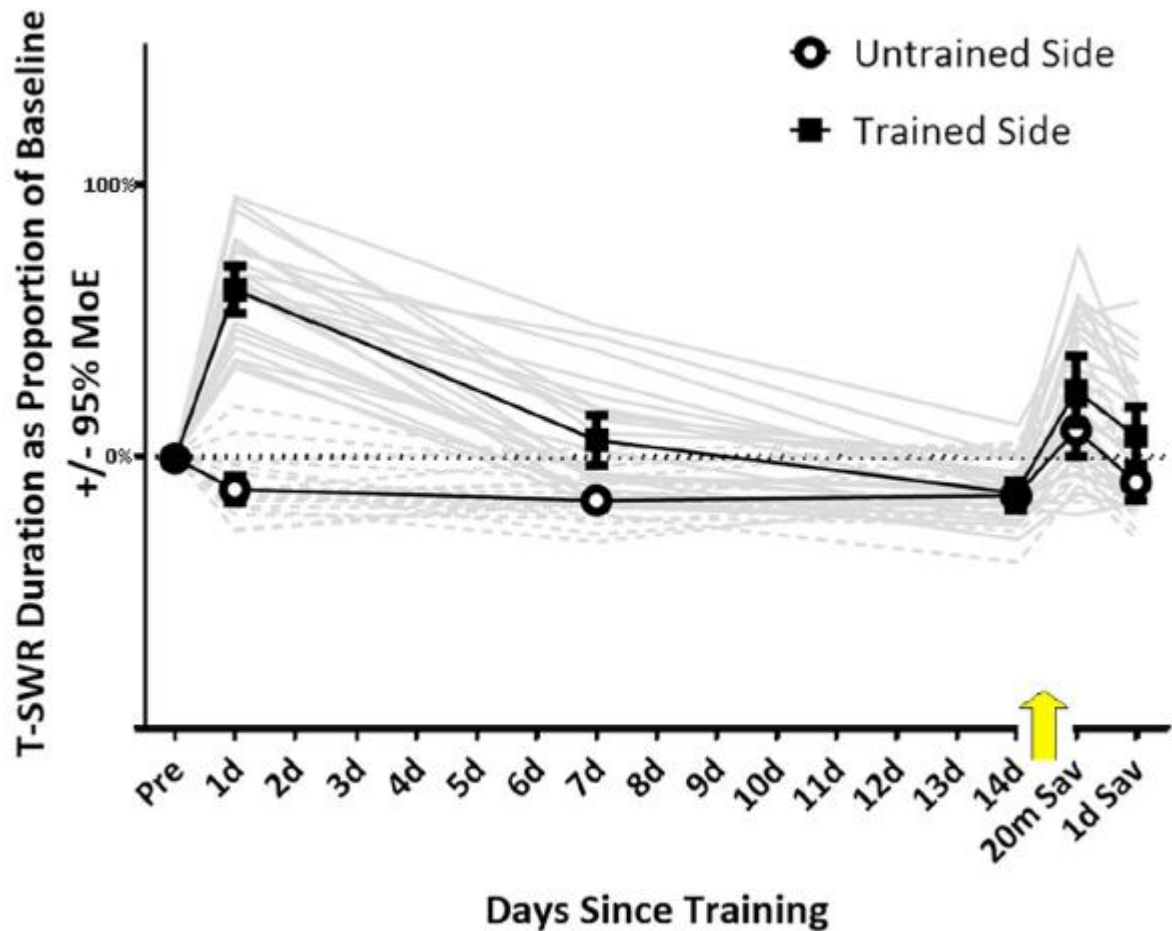


Рисунок 4.1 – Результати експерименту [32]

Для відтворення у процесі імітаційного експерименту графіку забування реакції T-SWR (рис. 4.1), на ньому було виділено шість ключових часових точок: перед тренуванням (Pre); перший день (1d); сьомий день (7d); 14-й день (14d); повторного тренування (20mSav) та один день після повторного тренування (1dSav).

Розглянемо імітаційний експеримент, що відтворює даний реальний експеримент.

У розробленому інтерфейсі користувача не було передбачено можливість імітації впливу на піддослідну тварину електричними сигналами. Тому, для імітації даного експерименту були проведені зміни в інтерфейсі. Замість опції «Ступінь протидії» (Counteraction) було додано параметр «Сила

струму» (Amperage) з п'ятьма градаціями (рис.4.2). Приклад введення експериментатором вихідних даних експерименту також наведено на рис. 4.2.

Рисунок 4.2 – Результати імітації (перший день)

На початку імітаційного експерименту процесу тренування встановлюються всі змінні на формі:

- для безумовного рефлексу (Unconditional): тип аналізатора (Analyzer) – тактильний (Tactile), інтенсивність (Intensity) – дуже висока (Very high), місцезнаходження (Point) – знизу (From below), тривалість (Duration) – дуже низька (Very low), сила струму (Amperage) – 20 мА (20 mA), частина тіла (Part of the body) – торс (Torso), температура (Temperature) – дуже низька (Very low), площа (Area) – мала (Small);
- обрати другий рефлекс у якості умовного (Conditional);
- для умовного рефлексу: тип аналізатора (Analyzer) – тактильний (Tactile), інтенсивність (Intensity) – середня (Average), місцезнаходження

(Point) – по центру (Centered), тривалість (Duration) – середня (Average), сила струму (Amperage) – 5 мА (5 mA), частина тіла (Part of the body) – хвіст (Tail), температура (Temperature) – середня (Average), площа (Area) – мала (Small);

– параметри, що описують проведення експерименту (тривалість умовного стимулу (Duration of conditional stimulus) – 2, інтервал між початком стимулу та безумовним подразником (The interval between the beginning of the stimulus and the unconditional stimulus) – 0, кількість стимулів за день (Number of stimuli per day) – 1, інтервал між експериментами (Interval between experiments) – 0,02 (30 хвилин), кількість повторень для закріплення (The number of repetitions for fixation) – 50, кількість повторень для розробки (The number of repetitions for development) – 99, поріг узгодженості (Consistence threshold) – 1, поріг фізичної реалізації (Physical realization threshold) – 1.

Після встановлення змінних для імітації послідовності з чотирьох імпульсів (як у [32]) необхідно 4 рази натиснути кнопку «Подіяти» («Act»). Результати такого впливу можна побачити на рис. 4.2 (результат імітації у перший день): випадкова величина e дорівнює 0,6; показник пам'яті для зв'язки умовного (нейтральний - не впливає на узгодженість) та безумовного (заборонений - впливає на узгодженість) рефлексів - 40,6; узгодженість (Coherence - величина для порівняння з порогом) дорівнює -3, що перевищує фізичний та психічний пороги, тому експериментатор спостерігає реакцію "Стиснення сифону".

Після цього необхідно встановити для безумовного рефлексу тип аналізатора "---" (тобто відсутній), інтервал між експериментами – 1, потім 6 разів натиснути кнопку «Act» (імітація проведення експериментів один раз в день протягом 6 днів). Результати впливу можна побачити на рис. 4.3 (результат імітації забування на 7-й день): випадкова величина e дорівнює -0,2; показник пам'яті для зв'язки умовного та безумовного рефлексів – 0; узгодженість дорівнює 0, що не перевищує психічний поріг, тому реакція на вплив відсутня – Nothing to do.

Таким чином *Aplysia californica* при відсутності підкріплення безумовним стимулом, «забула» свою реакцію на умовний стимул.

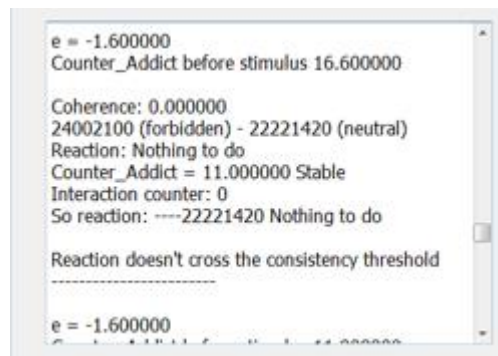


Рисунок 4.3 – Результати імітації (сьомий день)

Після цього ще 7 разів необхідно натиснути кнопку «Act». Результати імітації можна побачити на рис. 4.4 (результат на 14-й день). Згідно з даними рис.4.4 на 14-й день також була відсутня реакція на подразник.

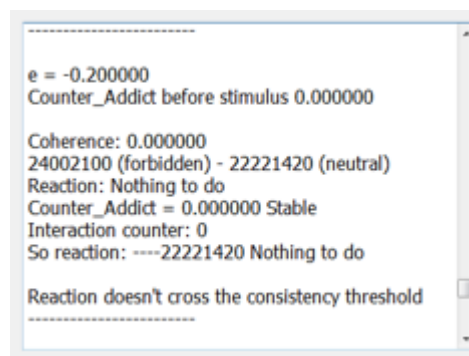


Рисунок 4.4 – Результати імітації (14-й день)

Aplysia californica досить швидко відновлює забутий УР [32] (значно швидше ніж при тренуванні для навчення цьому рефлексу). Покажемо це, поновивши підтвердження дії безумовного стимулу умовним стимулом. Для цього необхідно встановити для безумовного рефлексу тип аналізатора Tactile та натиснути кнопку «Act». Результати імітації впливу на піддослідну *Aplysia californica* (результат після повторного тренування) можна побачити на рис. 4.5: випадкова величина e дорівнює 0,4; показник пам'яті для зв'язки умовного

та безумовного рефлексів - 10,4; узгодженість дорівнює -3, що перевищує психічний та фізичний пороги, тому спостерігаємо реакцію "Стискання сифону".

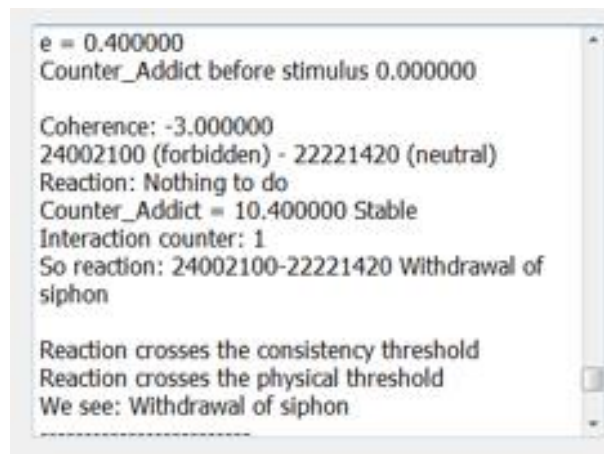


Рисунок 4.5 – Результати повторного тренування

Результати імітації співпали з результатами експерименту [32] – *Aplysia californica* відновила свій УР і відсмикнула сифон (повідомлення «We see: Withdrawal of siphon» на рис. 4.5).

Але якщо знов припинити дію подразника (встановити для безумовного рефлексу тип аналізатора "---" та натиснути кнопку «Act»), то реакції не відбувається (через один день після повторного тренування), тобто УР ще не набув стану «Зафіксований» (рис. 4.6).

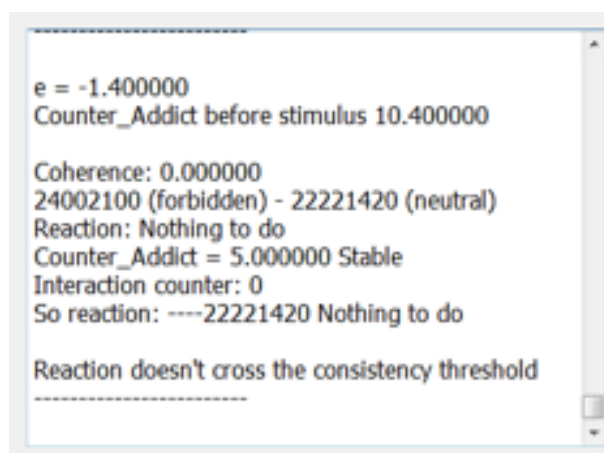


Рисунок 4.6 – Результати через один день після повторного тренування

Загальні результати проведеного імітаційного експерименту наведені на рис. 4.7 та у табл. 4.1

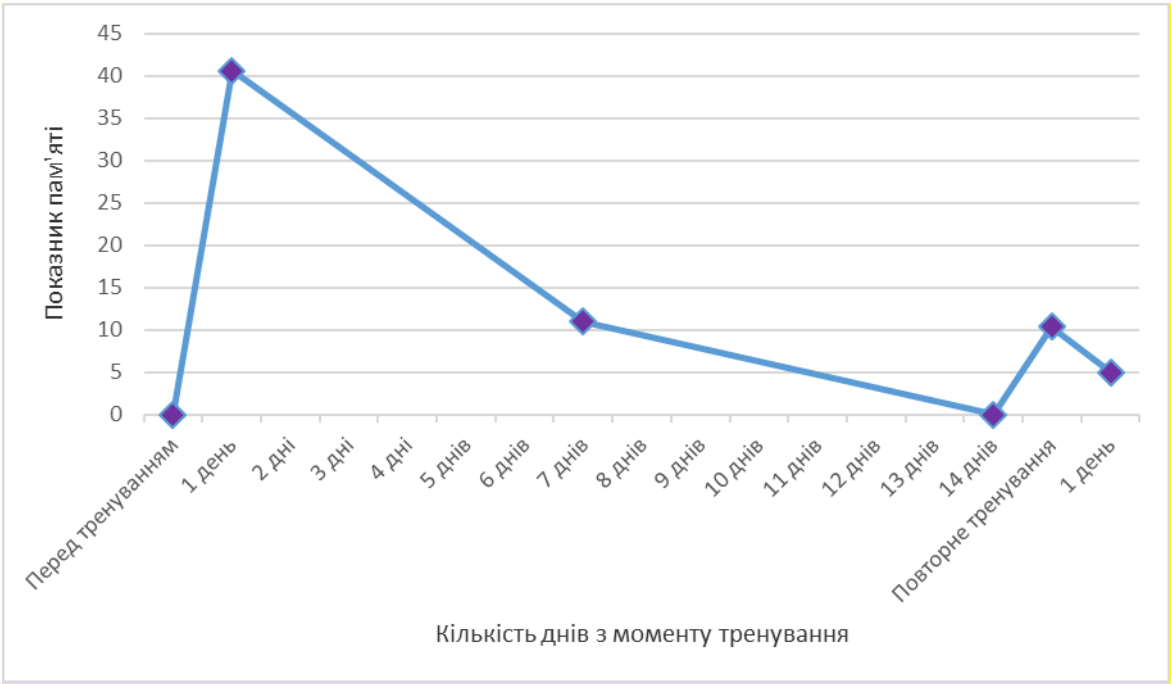


Рисунок 4.7 – Загальні результати імітаційного експерименту

На рис. 4.7 зображено зміну показника пам'яті протягом тренування одного екземпляру аплізії. Цей графік з точністю 2-3% повторює результати експерименту [32], що є підтвердженням адекватності розробленої моделі.

Таблиця 4.1 – Загальні результати імітаційного експерименту

День експериментів	Дії експериментатора	Реакція аплізії	Значення показника пам'яті
1	2	3	4
Перед тренуванням	-	-	0
1 день	4 сильних удари струмом з інтервалом 30 хвилин	Стискання сифону	40,6

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4
7 днів	Слабке ураження електричним струмом	Реакція відсутня	11
14 днів	Слабке ураження електричним струмом	Реакція відсутня	0
Повторне тренування	Сильне ураження електричним струмом	Стискання сифону	10,4
1 день	Слабке ураження електричним струмом	Реакція відсутня	5

Вихідні незмінні дані моделі, при яких були досягнуті ці результати, наступні:

- $N_0^i = 50$ – поріг спрацьовування (у програмі представлений змінною n_0);
- $\varphi_n^i = 10$ – "функція" запам'ятовування (у програмі представлена змінною f);
- $t = 4.5$ – функція забування, при відсутності подразника US ;
- $c = 4$ – функція забування, при наявності подразника US ;
- $k = 2$ – обмеження випадкової складової.

4.3 Висновки до четвертого розділу

У даному розділі представлено процес проведення імітаційних експериментів, що відбувається шляхом інтерактивної взаємодії користувача з програмним застосунком. Програмне забезпечення побудовано на базі

розробленої у розділі 2 моделі, що формалізує процес навчання новому умовному рефлексу і його забування.

Порівняння результатів проведених імітаційних експериментів з результатами реальних експериментів показало адекватність розробленої моделі.

Таким чином, практичне використання розробленого програмного забезпечення, показало що розроблений програмний продукт здатен задовольняти вимогам щодо встановленого або передбаченого використання та надає підтримку при дослідженні когнитивних функцій тварин.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання комплексної кваліфікаційної роботи магістра було виконано наступні задачі:

- розглянуто розвиток теорії умовних рефлексів І. П. Павлова у сучасних дослідженнях, сутність теорії навчання формальні моделі, що здатні передбачати ефекти навчання;

- розглянуто формальну модель придбання та забування умовного рефлексу, для випадку коли відсутнє заохочення або покарання піддослідної тварини в залежності від його реакції ;

- розглянуто стан досліджень у області моделювання розумової діяльності (теорія розуму та її комп'ютерне представлення);

- проаналізовано існуючі моделі розумової діяльності за критеріями врахування попереднього досвіду піддослідної тварини, її психофізіологічного стану та модальності стимулів подразника (зоровий, слуховий. тактильний). За цими критеріями для формалізації життєвого досвіду та рефлексів тварин було обрано p -адичні моделі;

- розроблено модель процесу придбання та забування умовного рефлексу при дії подразників трьох типів модальності (зорова, слухова та тактильна);

- розроблено моделі програмного забезпечення для автоматизації діяльності дослідника розумової діяльності тварин у вигляді UML діаграм – прецедентів, класів, послідовностей та станів;

- розроблено програмне та інформаційне забезпечення компонентів системи, що автоматизує діяльність дослідника;

- перевірено адекватність моделей на яких базується розроблене програмне забезпечення на прикладі придбання умовних рефлексів морським зайцем *Aplysia californica* та собакою. Результати проведеного імітаційного

експерименту мали похибку, що не перевищувала 2-3% у порівнянні з результатами реального експерименту з *Aplysia californica* [32].

Наукова новизна результатів дослідження полягає у тому, що дістала подальшого розвитку відома модель умовних рефлексів [22]. Модель, що розроблена, на відміну від попередньої, враховує досвід істоти завдяки формалізації знань ієрархічною кодуючою системою у вигляді p -адичних чисел. Урахування психофізіологічного стану піддослідної істоти здійснюється шляхом кодування п'яти градацій ступеню протидії піддослідної істоти умовному стимулу.

Практична цінність роботи полягає в тому, що на підставі досліджень розроблено програмне та інформаційне забезпечення, що забезпечує автоматизацію діяльності дослідника когнитивних функцій тварин та може зберегти життя піддослідних тварин або запобігти погіршення їх психофізіологічного стану.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Reflex [Electronic resource]. – Access mode: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=reflex&filter=years.1838-2020>.
2. Дарвин, Ч. П. Происхождение человека и половой отбор / Ч. П. Дарвин. – М.: Книга по Требованию, 2013. – 464 с.
3. Latash, M. Biomechanics and Motor Control / M. Latash, V. Zatsiorsky. – London: Academic Press, 2016. – 426 p.
4. Современная экспериментальная психология: В 2 т. / Под ред. В. А. Барабанщикова. – М.: Институт психологии РАН, 2011. – Т. 1. – 555 с.
5. Harlow, H., Harlow, M.K. The affectitional systems / H. Harlow, M.K. Harlow // Behavior of nonhuman primates. – NY: London, 1965. . – P. 287–334.
6. Биттерман, М. Е. Эволюционное развитие условно-рефлекторной деятельности / М. Е. Биттерман // Механизмы формирования и торможения условных рефлексов. – М.: Наука, 1973. – С. 13–25.
7. Воронин, Л. Г. Курс лекций по высшей нервной деятельности / Л. Г. Воронин. – М.: МГУ, 1984. – 384 с.
8. Зорина, З. А. Зоопсихология. Элементарное мышление животных: Учебное пособие / З. А. Зорина, И. И. Полетаева. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 320 с.
9. Buhot, M.-C. Serotonin receptors in cognitive behaviors / M.-C. Buhot // Current Opinion in Neurobiology. – 1997. – Vol. 7. – P. 243–256.
10. Lipp, H.-P. Genetically modified mice and cognition / H.-P. Lipp, D. P. Wolfer // Current Opinion in Neurobiology. – 1998. – Vol. 8. – P.272–280.
11. Хренников, А.Ю. Моделирование процессов мышления в радиальных системах координат / А.Ю. Хренников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 296 с.
12. Buser, P. Slowly forgetting the Pavlovian adventure? / P. Buser // Comptes Rendus Biologies. – 2006. – Vol. 329. – P.398–405.

13. Классическое обусловливание [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Классическое обусловливание](https://ru.wikipedia.org/wiki/Классическое_обусловливание).
14. Коровина, О. Е. Зоопсихология и сравнительная психология: учебно-методическое пособие / О. Е. Коровина. – Самара: СФ ГАОУ ВО МГПУ, 2016. – 140 с.
15. Hawkins, R. D. Associative learning in invertebrates / R. D. Hawkins, J. H. Byrne. Cold Spring Harb. Perspect. Biol. – 2015. doi: 10.1101/cshperspect.a021709 – 215 p.
16. Burke, C. J. Layered reward signalling through octopamine and dopamine in *Drosophila* / C. J. Burke // *Nature* 492. – 2012. – P.433–437.
17. Gervasi, N. PKA dynamics in a *Drosophila* learning center: coincidence detection by rutabaga adenylyl cyclase and spatial regulation by dunce phosphodiesterase / N. Gervasi, P. Tchénio, T. Preat // *Neuron* 65(4). – 2010. – P.516–529.
18. Rescorla, R. A. A theory of Pavlovian conditioning: Variations in the effectiveness of reinforcement and nonreinforcement / R. A. Rescorla, A. R. Wagner // *Classical Conditioning II: Current Research and Theory*. – 1972. – Vol. 21, chapter 3. – P. 64-99.
19. Rescorla, R.A. Conditioned inhibition of fear resulting from negative CS-US contingencies / R. A. Rescorla // *Journal of Comparative and Physiological Psychology*. – 1969. – Vol. 67. – P. 504-509.
20. Mackintosh, N. J. A theory of attention: variations in the associability of stimuli with reinforcement / N. J. Mackintosh // *Psychological Review*. – 1975. – Vol. 82. – P. 276–298.
21. Pearce, J. M. A model for Pavlovian learning: variations in the effectiveness of conditioned but not of unconditioned stimuli / J. M. Pearce, G. Hall // *Psychological Review*. – 1980. – Vol. 87. – P. 532–552.
22. Гаазе-Рапопорт, М.Г. От амебы до робота: модели поведения / М.Г. Гаазе-Рапопорт, Поспелов Д.А. – М: Либроком, 2015. – 296 с.
23. Baron-Cohen, S. Precursors to a theory of mind: Understanding

attention in others / S. Baron-Cohen // *Natural theories of mind: Evolution, development and simulation of everyday mindreading*. – Oxford: Basil Blackwell, 1991. – P. 233–251.

24. Baker, C. L., Jara-Ettinger, J., Saxe, R., & Tenenbaum, J. B. (2017). Rational quantitative attribution of beliefs, desires and percepts in human mentalizing / [C. L. Baker, J. Jara-Ettinger, R. Saxe etc.] // *Nature Human Behaviour*. – 2017. – Vol. 1(4). – P. 1–10.

25. Rabinowitz, N. Machine Theory of Mind / [N. Rabinowitz, F. Perbet, F. Song and etc.] // *Machine Learning Research: Sixth international conference*. – 2018. – Vol. 80. – P. 4218–4227.

26. Nguyen, T.N. Theory of mind from observation in cognitive models and humans [Electronic resource] / T.N. Nguyen, Gonzalez C. – Access mode: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/tops.12553>.

27. Anderson, J. R. The atomic components of thought / J. R. Anderson, C. J. Lebiere. – NY: Psychology Press, 2014. – 502 p.

28. Хренников, А. Ю. Моделирование процессов мышления в радических системах координат / А. Ю. Хренников. – М.: ФИЗМАТ.ЛИТ, 2004. – 296 с.

29. Крива забування Еббінгауза [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Крива_забування_Еббінгауза.

30. Анищенко, Т.Г. Физиология высшей нервной деятельности / [Т.Г. Анищенко, О.В. Семячкина-Глушковская, Л.Н. Шорина, и др.]. – Саратов: ГосУНЦ “Колледж“, 2008. – 132 с.

31. What is Unified Modeling Language (UML)? [Electronic resource] / Access mode: <https://www.visual-paradigm.com/guide/uml-unified-modeling-language/what-is-uml/>.

32. Patel, U. Transcriptional Changes Before and After Forgetting of a Long-Term Sensitization Memory in *Aplysia californica* / [U. Patel, L. Perez, S. Farrell etc.] // *Neurobiol Learn Mem*. – 2018. – Vol. 155. – P. 474–485.

ДОДАТОК А
Текст програми

A.1 Текст розробленого застосунку

A.1.1 Файл conditional.cpp

```
#include "conditional.h"
#include <math.h>
#include <algorithm>
#include <ctime>

double f_memory_low(int x) //функція забывання по графіку из документа
"память" - по бессмысленному материалу (для незакрепленного)
{
    if (x == 0)
        return 1;
    double y = ((20/double(x))+20)/100;
    return y;
}

double f_memory_medium(int x) //функція забывання по логической обработке (для
закрепленного)
{
    if (x <= 2)
        return 1;
    double y = ((20/double(x-2))+35)/100;
    return y;
}

double f_memory_high(int x) //функція забывання при повторении (для
упорядоченного рефлекса)
{
    if (x <= 3)
        return 1;
    double y = ((20/double(x-3))+60)/100;
    return y;
}

double compare( string code1, string code2 )
{
    if( code1.size() != code2.size() )
        return 1;

    //перестановка по важности
    if( code1[0] == 0 )
    {
        swap(code1[3], code1[4] );
    }
    else if( code1[0] == 1 )
    {
        swap(code1[5], code1[4] );
    }
    else
    {
        swap(code1[6], code1[4] );
    }

    if( code2[0] == 0 )
    {
        swap(code2[3], code2[4] );
    }
    else if( code2[0] == 1 )
    {

```

```

        swap(code2[5], code2[4] );
    }
    else
    {
        swap(code2[6], code2[4] );
    }

    //

    for(int j = 0; j < int(code1.size()); j++)
    {
        if( code1[j] == 'x' )
            continue;
        if( code1[j] != code2[j])
        {
            return (pow( code1.size(), -j ) );
        }
    }
    return 0;
}

Conditional::Conditional()
{
    Knowledge NewKnowledge1;
    NewKnowledge1.set_value("00x2xx", 1, 0, 1);
    KnowledgeBase.push_back(NewKnowledge1);

    Knowledge NewKnowledge2;
    NewKnowledge2.set_value("24xxx03x", 3, 0, -3);
    KnowledgeBase.push_back(NewKnowledge2);

    Knowledge NewKnowledge3;
    NewKnowledge3.set_value("13xxx2x", 2, 0, 2);
    KnowledgeBase.push_back(NewKnowledge3);

    Knowledge NewKnowledge4;
    NewKnowledge4.set_value("13xxx3x", 2, 0, 4);
    KnowledgeBase.push_back(NewKnowledge4);

    Knowledge_Conditional NewKnowledge_Conditional;
    NewKnowledge_Conditional.set_value("003233", "22403122", 0, 0, 3, 0);
    KnowledgeBase_Conditional.push_back(NewKnowledge_Conditional);

    Reactions[0] = "Nothing to do";
    Reactions[1] = "Close eyes";
    Reactions[2] = "Run up";
    Reactions[3] = "Run away";

    Kn_Status[0] = "Not fixed";
    Kn_Status[1] = "Fixed";
    Kn_Status[2] = "Developed";
}

string Conditional::two_unconditioned_reflexes(InformationStatus Idea,
InformationStatus Idea2, double T_1, double T_2)
{
    if( Idea.Value == "---" && Idea2.Value == "---" )
        return "-----\n";
    int index1 = -1;
    double max_match1 = 1;
    int index2 = -1;
    double max_match2 = 1;
    double p;

```

```

for(int i = 0; i < int(KnowledgeBase.size()); i++)
{
    p = compare( KnowledgeBase[i].Situation, Idea.Value );
    if( p < max_match1 )
    {
        index1 = i;
        max_match1 = p;
    }

    p = compare( KnowledgeBase[i].Situation, Idea2.Value );
    if( p < max_match2 )
    {
        index2 = i;
        max_match2 = p;
    }
}

double T_cur = 0;
int index_reaction = -1;
string output;

if( index1 == -1 && index2 == -1 )
    return "-----\n";
else if( index1 != -1 && index2 != -1 )
{
    T_cur += KnowledgeBase[index1].Priority / ( 1 + max_match1 ) +
KnowledgeBase[index2].Priority / ( 1 + max_match2 );
    if( abs(KnowledgeBase[index1].Priority / ( 1 + max_match1 )) >
abs(KnowledgeBase[index2].Priority / ( 1 + max_match2 )) )
    {
        index_reaction = KnowledgeBase[index1].Reaction;
        output = "Reaction '" + Reactions[KnowledgeBase[index1].Reaction] +
"' supressed reaction '" + Reactions[KnowledgeBase[index2].Reaction] + "'\n";
    }
    else
    {
        index_reaction = KnowledgeBase[index2].Reaction;
        output = "Reaction '" + Reactions[KnowledgeBase[index2].Reaction] +
"' supressed reaction '" + Reactions[KnowledgeBase[index1].Reaction] + "'\n";
    }
}
else if( index1 != -1 )
{
    T_cur += KnowledgeBase[index1].Priority / ( 1 + max_match1 );
    index_reaction = KnowledgeBase[index1].Reaction;
    output = "Reaction '" + Reactions[KnowledgeBase[index1].Reaction] +
"' \n";
}
else
{
    T_cur += KnowledgeBase[index2].Priority / ( 1 + max_match2 );
    index_reaction = KnowledgeBase[index2].Reaction;
    output = "Reaction '" + Reactions[KnowledgeBase[index2].Reaction] +
"' \n";
}

if( abs(T_cur) >= T_1 )
{
    output += "Reaction crosses the consistency threshold\n";
    if( abs(T_cur) >= T_2 )
    {
        output += "Reaction crosses the physical threshold\n";
        output += "We see: " + Reactions[index_reaction] + "\n";
    }
}

```

```

    }
    else
    {
        output += "Reaction doesn't cross the physical threshold\n";
    }
}
else
{
    output += "Reaction doesn't cross the consistency threshold\n";
}

output += "\n-----\n";

return output;
}

string Conditional::conditioned_reflexes(InformationStatus Idea,
InformationStatus Idea2, double duration, double interval, int inter_c, int
days_interval, int fix_num, int dev_num, double T_1, double T_2)
{
    if( Idea.Value == "---" && Idea2.Value == "---" )
        return "-----\n";

    srand( time(0) );
    //сделать переменными
    double n0 = 5; //порог срабатывания
    double f = 1; //фи - "функция" запоминания
    double t = 0.3; //функция забывания, безусловное не было
    double c = 0.2; //функция забывания, безусловное было
    double k = 0.25; //ограничение случайной составляющей
    double e = (double) (rand() % 20 - 10) * k / 10;
    //

    int a = -1;
    double T_A = 0;
    for(int i = 0; i < int(KnowledgeBase.size()); i++)
    {
        if( compare( KnowledgeBase[i].Situation, Idea.Value ) == 0 )
        {
            a = i;
            T_A = KnowledgeBase[i].Priority;
            break;
        }
    }

    unsigned int not_found = 0;
    unsigned int not_found_A = 0;
    unsigned int not_found_B = 0;
    unsigned int no_reaction = 0;
    double cur_T = 0;
    double T_cur_A = 0;
    double max_T = 0;
    unsigned int index_max_T = 0;
    bool chain_found = false;
    string output = "e = " + to_string( e ) + '\n';

    for(int i = 0; i < int(KnowledgeBase_Conditional.size()); i++)
    {
        bool IsIdentifyA = true;
        bool IsIdentifyB = true;

        double p1 =
compare(KnowledgeBase_Conditional[i].Unconditional_Situation, Idea.Value);

```

```

        if( p1 == 1)
        {
            IsIdentifyA = false;
        }

        double p2 = compare(KnowledgeBase_Conditional[i].Situation,
Idea2.Value);
        if( p2 == 1)
        {
            IsIdentifyB = false;
        }

        double percent;
        if (KnowledgeBase_Conditional[i].Knowledge_Status == Kn_Status[0])
            percent = f_memory_low(days_interval);
        else
            if (KnowledgeBase_Conditional[i].Knowledge_Status == Kn_Status[1])
                percent = f_memory_medium(days_interval);
            else
                if (KnowledgeBase_Conditional[i].Knowledge_Status ==
Kn_Status[2])
                    percent = f_memory_high(days_interval);

        if( IsIdentifyA && IsIdentifyB )
        {
            chain_found = true;

            KnowledgeBase_Conditional[i].Counter_Addict += e + f;

            //добавила общий счетчик и забывание
            KnowledgeBase_Conditional[i].Inter_Count =
KnowledgeBase_Conditional[i].Inter_Count*percent;
            KnowledgeBase_Conditional[i].Inter_Count += inter_c;

            //появление приоритета, разработка рефлекса и приоритета
            if (KnowledgeBase_Conditional[i].Inter_Count >= fix_num &&
KnowledgeBase_Conditional[i].Knowledge_Status == Kn_Status[0])
            {
                KnowledgeBase_Conditional[i].Knowledge_Status = Kn_Status[1];
                KnowledgeBase_Conditional[i].Priority = T_A / 2;
            }
            if (KnowledgeBase_Conditional[i].Inter_Count >= dev_num &&
KnowledgeBase_Conditional[i].Knowledge_Status == Kn_Status[1])
            {
                KnowledgeBase_Conditional[i].Knowledge_Status = Kn_Status[2];
                KnowledgeBase_Conditional[i].Priority = T_A;
            }

            //с. 128, вычисление текущего приоритета
            cur_T = T_A / ( 1 + p1 ) + KnowledgeBase_Conditional[i].Priority /
( 1 + p2 );
            T_cur_A = T_A / ( 1 + p1 );
            if( abs(cur_T) > abs(max_T) )
            {
                max_T = cur_T;
                index_max_T = KnowledgeBase[a].Reaction;
            }
        }
        else if( IsIdentifyA && !IsIdentifyB )
        {
            if ((KnowledgeBase_Conditional[i].Knowledge_Status == Kn_Status[0])
||

```

```

        (KnowledgeBase_Conditional[i].Knowledge_Status ==
Kn_Status[1] && KnowledgeBase_Conditional[i].Counter_Addict > n0 - k))
        KnowledgeBase_Conditional[i].Counter_Addict += e - t;
        if (KnowledgeBase_Conditional[i].Knowledge_Status == Kn_Status[1]
&& KnowledgeBase_Conditional[i].Counter_Addict < n0 - k)
            KnowledgeBase_Conditional[i].Counter_Addict = n0 - k;
        not_found_B++;

        cur_T = T_A / ( 1 + p1 );
        T_cur_A = T_A / ( 1 + p1 );
        if( abs(cur_T) > abs(max_T) )
        {
            max_T = cur_T;
            index_max_T = KnowledgeBase[a].Reaction;
        }

        //забывание
        KnowledgeBase_Conditional[i].Inter_Count =
KnowledgeBase_Conditional[i].Inter_Count*percent;
    }
    else if( !IsIdentifyA && IsIdentifyB )
    {
        if ((KnowledgeBase_Conditional[i].Knowledge_Status == Kn_Status[0])
||
        (KnowledgeBase_Conditional[i].Knowledge_Status ==
Kn_Status[1] && KnowledgeBase_Conditional[i].Counter_Addict > n0 - k))
            KnowledgeBase_Conditional[i].Counter_Addict += e - c;
        if (KnowledgeBase_Conditional[i].Knowledge_Status == Kn_Status[1]
&& KnowledgeBase_Conditional[i].Counter_Addict < n0 - k)
            KnowledgeBase_Conditional[i].Counter_Addict = n0 - k;
        not_found_A++;

        cur_T = KnowledgeBase_Conditional[i].Priority / ( 1 + p2 );
        if( abs(cur_T) > abs(max_T) )
        {
            max_T = cur_T;
            index_max_T = KnowledgeBase_Conditional[i].Reaction;
        }

        for(int j = 0; j < int(KnowledgeBase.size()); j++)
        {
            if( compare( KnowledgeBase[j].Situation,
KnowledgeBase_Conditional[i].Unconditional_Situation ) == 0 )
            {
                T_cur_A = KnowledgeBase[j].Priority;
                break;
            }
        }

        //забывание
        KnowledgeBase_Conditional[i].Inter_Count =
KnowledgeBase_Conditional[i].Inter_Count*percent;
    }
    else
    {
        for(int j = 0; j < int(KnowledgeBase.size()); j++)
        {
            if( compare( KnowledgeBase[j].Situation,
KnowledgeBase_Conditional[i].Unconditional_Situation ) == 0 )
            {
                T_cur_A = KnowledgeBase[j].Priority;
                break;
            }
        }
    }

```

```

    }

    not_found++;
}

if( KnowledgeBase_Conditional[i].Counter_Addict < 0 )
    KnowledgeBase_Conditional[i].Counter_Addict = 0;

bool stable = false;

if( KnowledgeBase_Conditional[i].Counter_Addict - e > n0 + k )
{
    for(int j = 0; j < int(KnowledgeBase.size()); j++)
    {
        if( compare( KnowledgeBase[j].Situation,
KnowledgeBase_Conditional[i].Unconditional_Situation ) == 0 )
        {
            KnowledgeBase_Conditional[i].Reaction =
KnowledgeBase[j].Reaction;
            break;
        }
    }
    stable = true;
}
else if( KnowledgeBase_Conditional[i].Counter_Addict - e < n0 - k )
{
    KnowledgeBase_Conditional[i].Reaction = 0;
    stable = true;
}

string stat1;
string stat2;

if( T_cur_A > 0 )
    stat1 = " (interesting) ";
else if( T_cur_A < 0 )
    stat1 = " (forbidden) ";
else
    stat1 = " (neutral) ";

if( KnowledgeBase_Conditional[i].Priority > 0 )
    stat2 = " (interesting) ";
else if( KnowledgeBase_Conditional[i].Priority < 0 )
    stat2 = " (forbidden) ";
else
    stat2 = " (neutral) ";

output += "Coherence: " + to_string(cur_T) + '\n';

output += KnowledgeBase_Conditional[i].Unconditional_Situation + stat1
+ "- " + KnowledgeBase_Conditional[i].Situation + stat2 + "\nReaction: " +
Reactions[KnowledgeBase_Conditional[i].Reaction] + "\nCounter_Addict = " +
to_string(KnowledgeBase_Conditional[i].Counter_Addict);

if( stable )
{
    output += " Stable\n";
}
else
{
    output += " Not stable\n";
}

```

```

        output += "Interaction counter: " +
to_string(KnowledgeBase_Conditional[i].Inter_Count) + "\n";

        if( a != -1 )
        {
            if( !IsIdentifyA || !IsIdentifyB )
                output += "So reaction: ----" +
KnowledgeBase_Conditional[i].Situation + ' ' +
Reactions[KnowledgeBase_Conditional[i].Reaction] + "\n\n";
            else if( IsIdentifyA && IsIdentifyB )
                output += "So reaction: " + Idea.Value + "-" + Idea2.Value + '
' + Reactions[KnowledgeBase[a].Reaction] + "\n\n";
        }
        //проверка на перепутывание условного и безусловного
        else if( KnowledgeBase_Conditional[i].Counter_Addict >= n0 )
        {
            bool IsFound = true;
            int b = -1;
            for(int j = 0; j < int(KnowledgeBase.size()); j++)
            {
                for(int l = 0; l < int(KnowledgeBase[j].Situation.size()); l++)
                {
                    if((KnowledgeBase[j].Situation[l] != 'x' &&
KnowledgeBase[j].Situation[l] !=
KnowledgeBase_Conditional[i].Unconditional_Situation[l] )
                        || (KnowledgeBase[j].Situation.size() !=
KnowledgeBase_Conditional[i].Unconditional_Situation.size() ) )
                    {
                        IsFound = false;
                        break;
                    }
                }
                if( IsFound )
                {
                    b = j;
                    break;
                }
                IsFound = true;
            }

            if( b != -1)
            {
                output += "So reaction: " + Idea.Value + "-" +
KnowledgeBase_Conditional[i].Situation + ' ' +
Reactions[KnowledgeBase[b].Reaction] + "\n\n";
            }
        }
        else
        {
            output += "So reaction: " + Idea.Value + "-" +
KnowledgeBase_Conditional[i].Situation + ' ' +
Reactions[KnowledgeBase_Conditional[i].Reaction] + "\n\n";
            if( !KnowledgeBase_Conditional[i].Reaction )
            {
                no_reaction++;
            }
        }
    }

    if( !chain_found && Idea2.Value != "----" && Idea.Value != "----" && a != -1
)
    {
        if( abs(T_A) > abs(max_T) )

```

```

    {
        Knowledge_Conditional NewKnowledge_Conditional;
        NewKnowledge_Conditional.set_value(Idea.Value, Idea2.Value, 0, 0,
duration, interval);
        KnowledgeBase_Conditional.push_back(NewKnowledge_Conditional);
        output += "For new idea " + Idea.Value + "-" + Idea2.Value + "
counter started. No reaction.\n\n";
    }
}

if( abs(max_T) >= T_1 )
{
    output += "Reaction crosses the consistency threshold\n";
    if( abs(max_T) >= T_2 )
    {
        output += "Reaction crosses the physical threshold\n";
        output += "We see: " + Reactions[index_max_T] + "\n";
    }
    else
    {
        output += "Reaction doesn't cross the physical threshold\n";
    }
}
else
{
    output += "Reaction doesn't cross the consistency threshold\n";
}

output += "-----\n";

return output;
}

```

A.1.2 Файл dog.cpp

```

#include "dog.h"
#include "ui_dog.h"
#include <QDir>

Dog::Dog(QWidget *parent) :
    QDialog(parent),
    ui(new Ui::Dog)
{
    ui->setupUi(this);

    QPixmap myPixmap(QDir::currentPath() +
QString::fromStdString("\\dog.jpg"));

    ui->pic_label->setPixmap(myPixmap);

    ui->Analyzer->setCurrentIndex( 1 );
    ui->Intensity->setCurrentIndex( 0 );
    ui->Counteraction->setCurrentIndex( 3 );
    ui->Place->setCurrentIndex( 2 );
    ui->Duration->setCurrentIndex( 3 );
    ui->Distance->setCurrentIndex( 3 );

    ui->Analyzer_2->setCurrentIndex( 3 );
    ui->Intensity_2->setCurrentIndex( 2 );
    ui->Counteraction_2->setCurrentIndex( 4 );
}

```

```

    ui->Place_2->setCurrentIndex( 0 );
    ui->Duration_2->setCurrentIndex( 3 );
    ui->Body_part_2->setCurrentIndex( 1 );
    ui->Temperature_2->setCurrentIndex( 2 );
    ui->Square_2->setCurrentIndex( 2 );

    ui->cond_rbtn->setChecked(true);
}

Dog::~Dog()
{
    delete ui;
}

void Dog::on_Analyzer_currentTextChanged(const QString &arg1)
{
    if (arg1 == "---")
    {
        ui->Distance->setEnabled(false);
        ui->Frequency->setEnabled(false);
        ui->Body_part->setEnabled(false);
        ui->Temperature->setEnabled(false);
        ui->Square->setEnabled(false);
    }
    else
        if (arg1 == "Visual")
        {
            ui->Distance->setEnabled(true);
            ui->Frequency->setEnabled(false);
            ui->Body_part->setEnabled(false);
            ui->Temperature->setEnabled(false);
            ui->Square->setEnabled(false);
        }
    else
        if (arg1 == "Auditory")
        {
            ui->Distance->setEnabled(true);
            ui->Frequency->setEnabled(true);
            ui->Body_part->setEnabled(false);
            ui->Temperature->setEnabled(false);
            ui->Square->setEnabled(false);
        }
    else
    {
        ui->Distance->setEnabled(false);
        ui->Frequency->setEnabled(false);
        ui->Body_part->setEnabled(true);
        ui->Temperature->setEnabled(true);
        ui->Square->setEnabled(true);
    }
}

void Dog::on_Act_clicked()
{
    //unconditional

    string code;
    if( ui->Analyzer->currentIndex() == 0 )
        code = "---";
    else
    {
        code = to_string(ui->Analyzer->currentIndex()-1)+to_string(ui->Intensity->currentIndex()+to_string(ui->Counteraction-

```

```

>currentIndex()+to_string(ui->Place->currentIndex()+to_string(ui->Duration-
>currentIndex()));
    if (ui->Analyzer->currentIndex()==1)
        code += to_string(ui->Distance->currentIndex());
    if (ui->Analyzer->currentIndex()==2)
    {
        code += to_string(ui->Frequency->currentIndex());
        code += to_string(ui->Distance->currentIndex());
    }
    if (ui->Analyzer->currentIndex()==3)
    {
        code += to_string(ui->Body_part->currentIndex());
        code += to_string(ui->Temperature->currentIndex());
        code += to_string(ui->Square->currentIndex());
    }
}
ui->code_label->setText(QString::fromStdString(code));

InformationStatus Idea(code);

//conditional

string code2;
if( ui->Analyzer_2->currentIndex() == 0 )
    code2 = "---";
else
{
    code2 = to_string(ui->Analyzer_2->currentIndex()-1)+to_string(ui-
>Intensity_2->currentIndex()+to_string(ui->Counteraction_2-
>currentIndex()+to_string(ui->Place_2->currentIndex()+to_string(ui-
>Duration_2->currentIndex());
    if (ui->Analyzer_2->currentIndex()==1)
        code2 += to_string(ui->Distance_2->currentIndex());
    if (ui->Analyzer_2->currentIndex()==2)
    {
        code2 += to_string(ui->Frequency_2->currentIndex());
        code2 += to_string(ui->Distance_2->currentIndex());
    }
    if (ui->Analyzer_2->currentIndex()==3)
    {
        code2 += to_string(ui->Body_part_2->currentIndex());
        code2 += to_string(ui->Temperature_2->currentIndex());
        code2 += to_string(ui->Square_2->currentIndex());
    }
}
ui->code_label_2->setText(QString::fromStdString(code2));

InformationStatus Idea2(code2);

if (ui->cond_rbtn->isChecked())
{
    string reaction = unc.conditioned_reflexes(Idea, Idea2, ui-
>Duration_Cond->value(), ui->Interval_unc_cond->value(), ui->stimCount-
>value(), ui->Interval->value(), ui->Fix_num->value(), ui->Dev_num->value(),
ui->Consist_Threshold->value(), ui->Phys_Threshold->value());
    ui->Reactions_log->append(QString::fromStdString(reaction));
}
else
{
    string reaction = unc.two_unconditioned_reflexes(Idea, Idea2, ui-
>Consist_Threshold->value(), ui->Phys_Threshold->value());
    ui->Reactions_log->append(QString::fromStdString(reaction));
}

```

```

}

void Dog::on_Analyzer_2_currentTextChanged(const QString &arg1)
{
    if (arg1 == "---")
    {
        ui->Distance_2->setEnabled(false);
        ui->Frequency_2->setEnabled(false);
        ui->Body_part_2->setEnabled(false);
        ui->Temperature_2->setEnabled(false);
        ui->Square_2->setEnabled(false);
    }
    else
        if (arg1 == "Visual")
        {
            ui->Distance_2->setEnabled(true);
            ui->Frequency_2->setEnabled(false);
            ui->Body_part_2->setEnabled(false);
            ui->Temperature_2->setEnabled(false);
            ui->Square_2->setEnabled(false);
        }
    else
        if (arg1 == "Auditory")
        {
            ui->Distance_2->setEnabled(true);
            ui->Frequency_2->setEnabled(true);
            ui->Body_part_2->setEnabled(false);
            ui->Temperature_2->setEnabled(false);
            ui->Square_2->setEnabled(false);
        }
    else
    {
        ui->Distance_2->setEnabled(false);
        ui->Frequency_2->setEnabled(false);
        ui->Body_part_2->setEnabled(true);
        ui->Temperature_2->setEnabled(true);
        ui->Square_2->setEnabled(true);
    }
}

```

ДОДАТОК Б
Копії слайдів презентації

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗУМОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ: МОДЕЛЮВАННЯ УМОВНИХ РЕФЛЕКСІВ

РОЗРОБИЛА: ст. групи КНТ-220м

Хорошайлова О.М.

КЕРІВНИК: доцент, к.т.н.

Сердюк С.М.

Рисунок Б.1 – Слайд №1

- **Об'єкт дослідження** – процеси мислення тварин.
- **Предмет дослідження** – моделі, методи і засоби придбання умовних рефлексів (УР) тваринами.
- **Мета роботи** – підвищення рівня автоматизації та ефективності роботи дослідників вищих когнітивних функцій тварин шляхом розроблення і застосування програмного забезпечення на основі методів і моделей штучного інтелекту та *p*-адичного числення.



НУ "ЗП", Кафедра програмних засобів

2

Рисунок Б.2 – Слайд №2

Завдання дослідження

- розглянути розвиток теорії умовних рефлексів та сутність теорії навчання;
- розглянути формальну модель придбання умовного рефлексу;
- розглянути стан досліджень у області моделювання розумової діяльності;
- проаналізувати існуючі моделі розумової діяльності;
- розробити модель процесу придбання умовного рефлексу;
- розробити моделі програмного забезпечення для автоматизації діяльності дослідника розумової діяльності тварин;
- розробити програмне та інформаційне забезпечення компонентів системи, що автоматизує діяльність дослідника;
- перевірити розроблене програмного забезпечення на прикладі придбання умовних рефлексів та забування різними класами тварин – черевоногими (аплізія) та ссавцями (собака).



НУ "ЗП", Кафедра програмних засобів

3

Рисунок Б.3 – Слайд №3

Формальна модель придбання умовного рефлекса

1. Формування і забування умовного рефлексу:

$$UR_{n+1}^i = US_n \vee \bigvee_{i=1} CS_n^i P(N_n^i \geq N_0^i), \quad i = \overline{1, s}$$

2. Характеристика станів i -ї реакції, що накопичується:

$$N_n^i = \sum_{n=1}^{n-1} \Delta N_n^i + \xi_n^i$$

3. Поведінка збільшення значення навченості:

$$\Delta N_n^i = \begin{cases} +\varphi_n^i & \text{при } US_{n-1} CS_{n-1}^i = 1, \\ -\psi_n^i & \text{при } aUS_{n-1} \overline{CS_{n-1}^i} = 1, \\ -\zeta_n^i & \text{при } US_{n-1} \overline{CS_{n-1}^i} = 1, \end{cases}$$



НУ "ЗП", Кафедра програмних засобів

4

Рисунок Б.4 – Слайд №4

Порівняння моделей розумової діяльності

Назва моделі Критерій	IBL-моделі	p -адичні моделі	i -моделі
Апаратно базуються на нейронних ансамблях мозку	-	+	+
Врахування попереднього досвіду істоти	+	+	-
Імітація процесу навчання	+	+	+
Можливість формалізації вихідної ситуації	+	+	+
Врахування модальності стимулів подразника	-	+	-
Підтримка опису динаміки розумової системи	-	+	+
Врахування психофізіологічного стану істоти	-	+	-



НУ "ЗП", Кафедра програмних засобів

5

Рисунок Б.5 – Слайд №5

Приклад кодування інформації для тактильного

Код	№ позиції у p -адичному числі							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Тип аналізу	Інтенсивність	Ступінь протидії	Місце знаходження	Тривалість	Місце впливу	Температура	Площа
1				праворуч				
2						гулуб		
3	тактильний	середня			середня		середня	мала
4								
5			дуже низька					
6								
7								
8								

Код 33513233



НУ "ЗП", Кафедра програмних засобів

6

Рисунок Б.6 – Слайд №6

Приклад представлення інформації у базі ситуацій підсвідомості

Ситуація	Реакція	Пояснення
1235521	0	У кімнаті №1 собака не реагує на світлові сигнали
1235522	4	У кімнаті №2 собака реагує на світловий сигнал слиновиділенням
1235523	5	У кімнаті №3 собака реагує на світловий сигнал оборонною реакцією

Рисунок Б.7 – Слайд №7

Блок-схема роботи процесору рефлексів

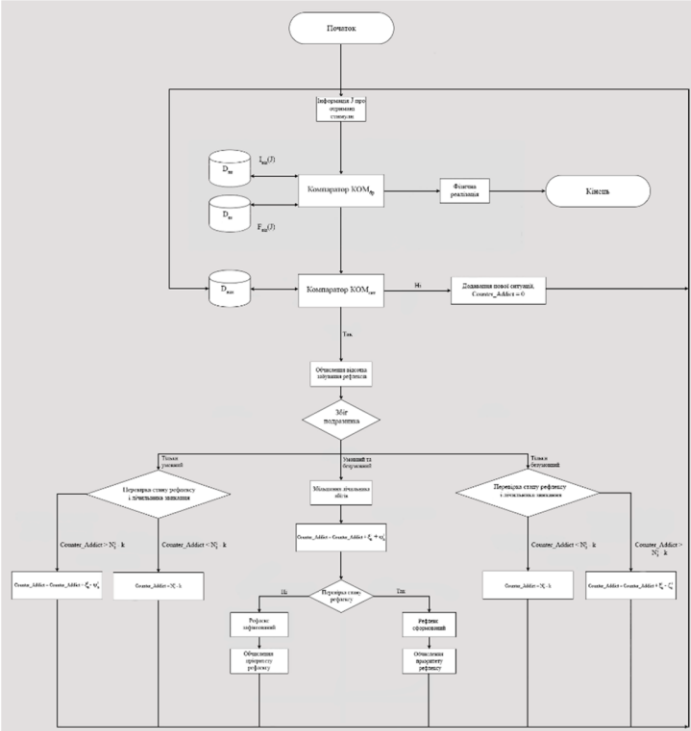


Рисунок Б.8 – Слайд №8

Діаграма прецеденту «Навчення умовному рефлексу»

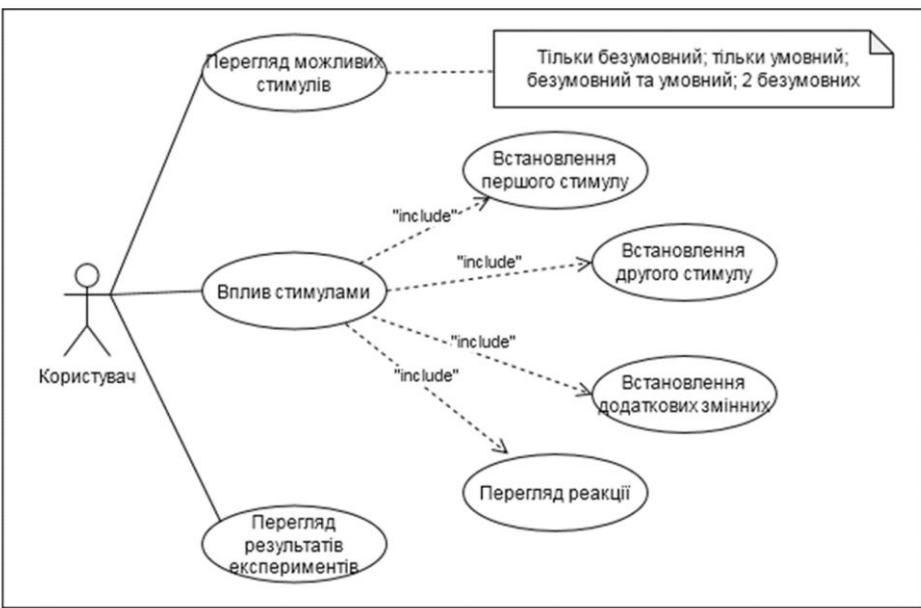


Рисунок Б.9 – Слайд №9

Діаграма послідовностей

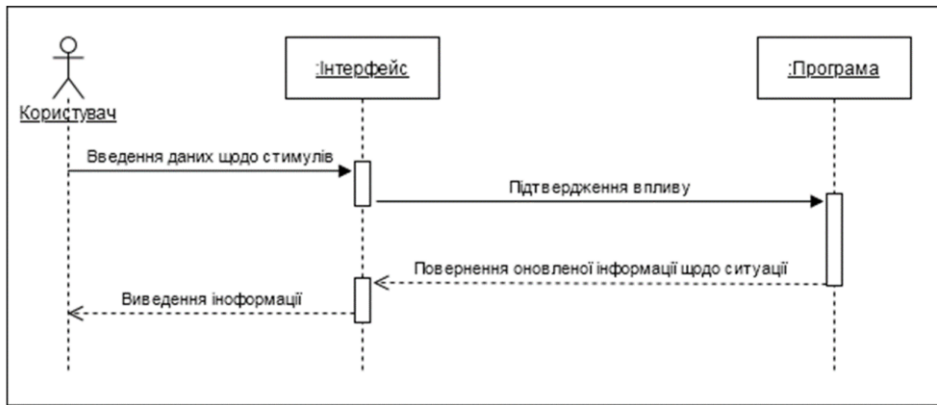


Рисунок Б.10 – Слайд №10

Діаграма станів

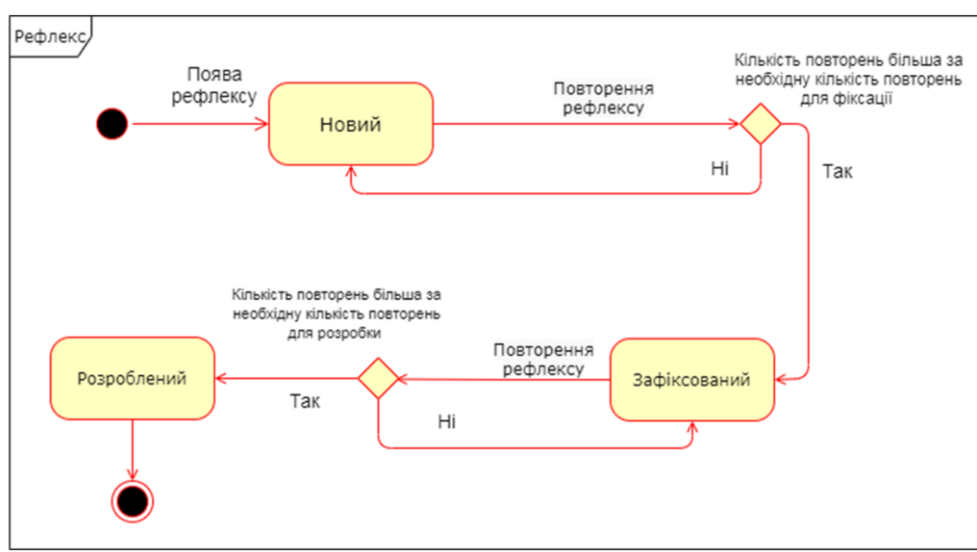


Рисунок Б.11 – Слайд №11

Діаграма класів застосунку

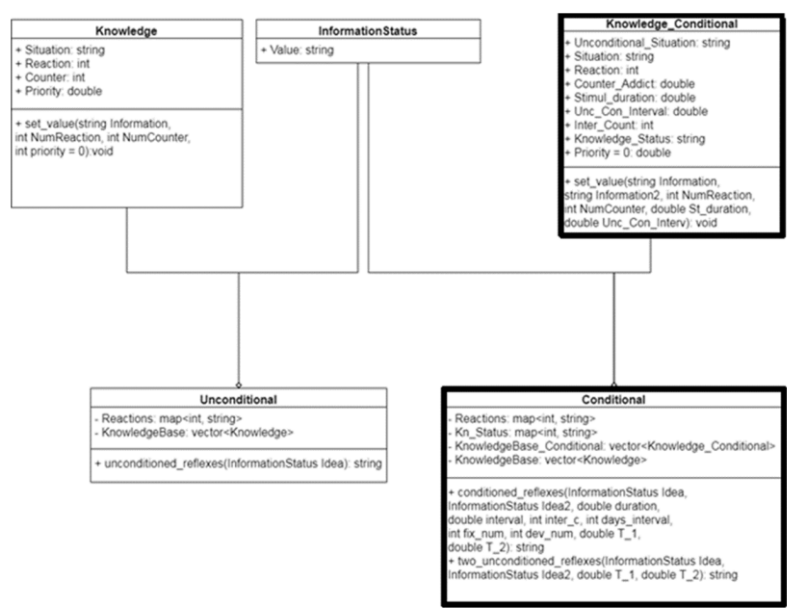


Рисунок Б.12 – Слайд №12

Опис класу Knowledge_Conditional

Поля та методи класу	Опис
<i>public:</i>	
void set_value(string Information, string Information2, int NumReaction, int NumCounter, double St_duration, double Unc_Con_Interv)	Конструктор, до якого передаються всі характеристики ситуації
string Unconditional_Situation	Код безумовного рефлексу
string Situation	Код умовного рефлексу
int Reaction	Реакція на ситуацію
double Counter_Addict	Лічильник звикання до умовного стимулу
double Stimul_duration	Тривалість впливу
double Unc_Con_Interval	Інтервал між стимулами
int Inter_Count	Лічильник запам'ятовування
string Knowledge_Status	Стан рефлексу
double Priority	Пріоритет

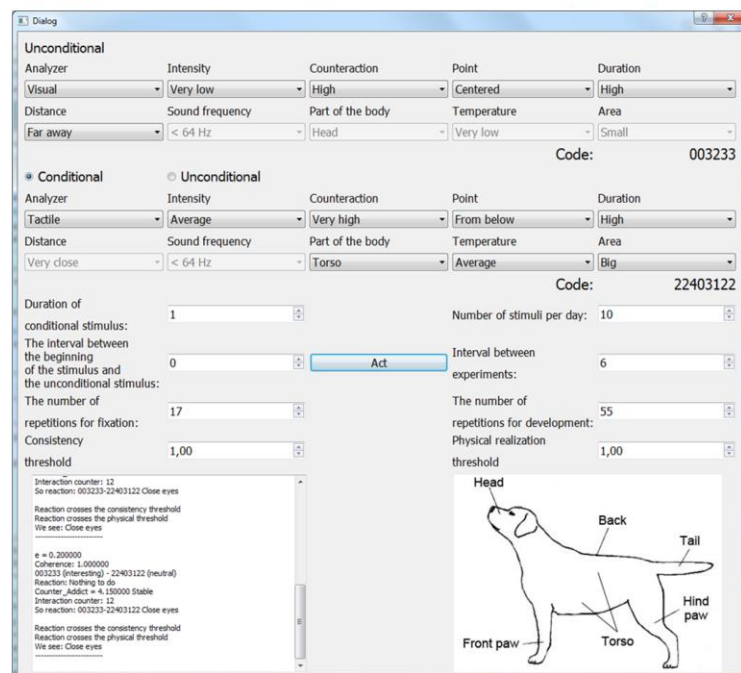


НУ "ЗП", Кафедра програмних засобів

13

Рисунок Б.13 – Слайд №13

Приклад роботи з умовними рефlekсами

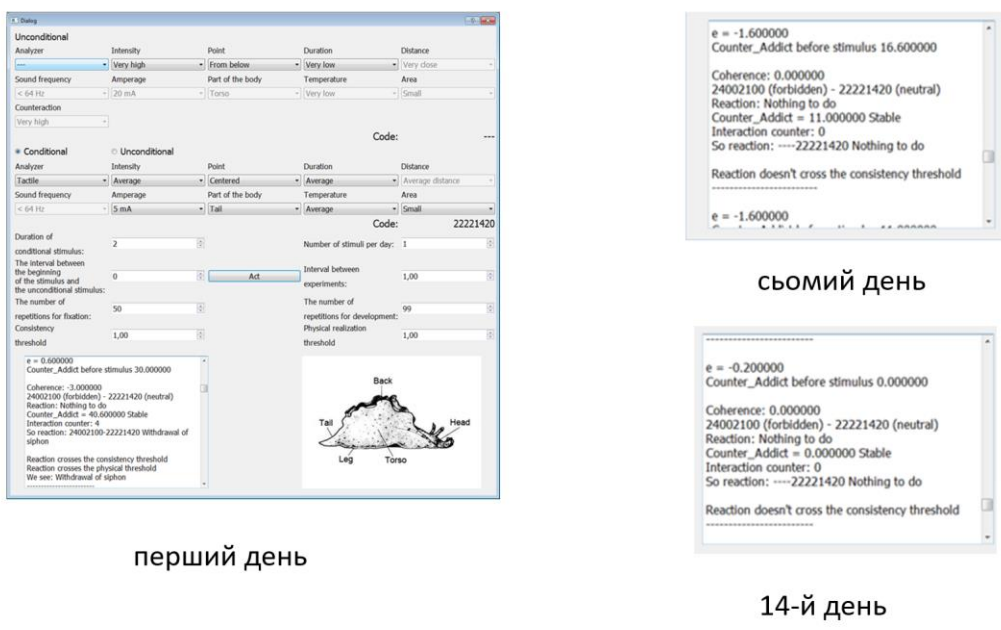


НУ "ЗП", Кафедра програмних засобів

14

Рисунок Б.14 – Слайд №14

Приклад моделювання забування умовного рефлексу



перший день

14-й день

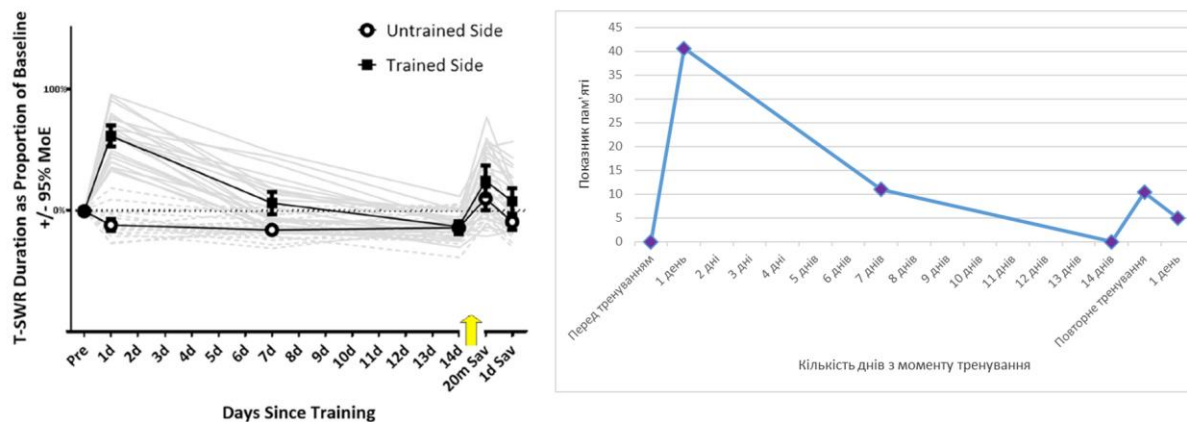
Рисунок Б.15 – Слайд №15

Результати імітаційного експерименту

День експериментів	Дії експериментатора	Реакція аплізії	Значення показника пам'яті
Перед тренуванням	-	-	0
1 день	4 сильних ударп струмом з інтервалом 30 хвилин	Стискання спфону	40,6
7 днів	Слабке ураження електричним струмом	Реакція відсутня	11
14 днів	Слабке ураження електричним струмом	Реакція відсутня	0
Повторне тренування	Сильне ураження електричним струмом	Стискання спфону	10,4
1 день	Слабке ураження електричним струмом	Реакція відсутня	5

Рисунок Б.16 – Слайд №16

Порівняння результатів моделювання



Результати моделювання

Результати реального експерименту:

Patel, U. Transcriptional Changes Before and After Forgetting of a Long-Term Sensitization Memory in *Aplysia californica* / [U. Patel, L. Perez, S. Farrell etc.] // *Neurobiol Learn Mem.* – 2018. – Vol. 155. – P. 474–485.



НУ “ЗП”, Кафедра програмних засобів

17

Рисунок Б.17 – Слайд №17

Висновки

- Наукова новизна результатів дослідження - дістала подальшого розвитку відома модель умовних рефлексів. Модель, що розроблена, враховує досвід істоти завдяки формалізації знань кодуючою системою у вигляді р-адичних чисел. Урахування психофізіологічного стану піддослідної істоти здійснюється шляхом кодування п'яти градацій ступеню протидії піддослідної істоти умовному стимулу.
- Практична цінність роботи полягає в тому, що на підставі досліджень розроблено програмне та інформаційне забезпечення, що забезпечує автоматизацію діяльності дослідника когнитивних функцій тварин та може зберегти життя піддослідних тварин або запобігти погіршення їх психофізіологічного стану.



НУ “ЗП”, Кафедра програмних засобів

18

Рисунок Б.18 – Слайд №18

**Доклад закінчено,
дякую за увагу!**



НУ "ЗП", Кафедра програмних засобів

19

Рисунок Б.19 – Слайд №19