

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

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

Кафедра програмних засобів  
(повне найменування кафедри )

## Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

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

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи КНТ-220м  
Спеціальності 122 Комп'ютерні науки

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Системи штучного інтелекту

Горшкова О.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник Сердюк С.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Казурова А.Є.

(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) Системи штучного інтелекту

(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)

Горшкової Олександри Миколаївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Дослідження та програмна реалізація методів моделювання розумової діяльності: моделювання безумовних рефлексів. Research and Software Implementation of Methods for Modeling the Mental Activity: Unconditioned 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<br>Консультанта | Підпис, дата      |                                 |
|---------------------|----------------------------------------------|-------------------|---------------------------------|
|                     |                                              | завдання<br>видав | прийняв<br>виконане<br>завдання |
| 1-4 Основна частина | Сердюк С.М., доцент                          |                   |                                 |
| Нормоконтроль       | Липовець М.В., асистент                      |                   |                                 |

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

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент(ка)

Горшкова О.М.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

Сердюк С.М.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної кваліфікаційної роботи магістра:  
83 с., 10 табл., 33 рис., 2 дод., 15 джерел.

БЕЗУМОВНІ РЕФЛЕКСИ, РОЗУМОВА ДІЯЛЬНІСТЬ, ПРОЦЕСОР  
РЕФЛЕКСІВ, ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ТВАРИНА,  $p$ -АДИЧНЕ  
ЧИСЛЕННЯ, ЦІКАВІ ІДЕЇ, ЗАБОРОНЕНІ ІДЕЇ.

Об'єкт дослідження – процеси мислення тварин.

Предмет дослідження – моделі, методи і засоби придбання та згасання  
безумовних рефлексів (БР) тварин.

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 штучного інтелекту та  $p$ -адичного числення.

Матеріали, методи та технічні засоби: методи дослідження вищої  
нервової діяльності; методи штучного інтелекту;  $p$ -адичне числення; мова  
програмування C++; інтегроване середовище розробки QT Creator 5.4.2;  
операційна система Windows 7 або вище.

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

Висновки. Використання розробленого програмного забезпечення  
дозволяє моделювати процес придбання та згасання БР тваринами та  
підвищує ефективність діяльності дослідників.

Галузь використання – експериментальна психологія.

## ABSTRACT

Explanatory note to the diploma qualifying work of the master: 83 pages, 10 tables, 33 figures, 2 appendixes, 15 sources.

UNCONDITIONAL REFLEXES, MENTAL ACTIVITY, REFLEX PROCESSOR, IMITATION MODELING, ANIMAL, P-ADIC CALCULATION, INTERESTING IDEAS, FORBIDDEN IDEAS.

Object of study is processes of animal thinking.

Subject of study are models, methods and means of acquisition and extinction the animals unconditioned reflexes (UR).

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: research methods of higher nervous activity; methods of artificial intelligence;  $p$ -adic calculus; C++ programming language; QT Creator 5.4.2 integrated development environment; operating system Windows 7 or higher.

Results. The well-known model of subconscious 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 acquisition and extinction of the animals UR and increases the efficiency of researchers.

The field of use is a SCADA – experimental psychology.

## ЗМІСТ

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
|                                                                                | С. |
| Перелік скорочень та умовних позначок.....                                     | 8  |
| Вступ .....                                                                    | 9  |
| 1 Аналіз предметної області.....                                               | 12 |
| 1.1 Огляд механізму утворення безумовних рефлексів.....                        | 12 |
| 1.2 Огляд сутності <i>i</i> -моделей .....                                     | 17 |
| 1.3 Опис процесу мислення як динамічної системи в ультратрихному просторі..... | 22 |
| 1.4 Модель області підсвідомості .....                                         | 26 |
| 1.5 Розробка технічного завдання на комплексний проєкт .....                   | 30 |
| 1.5.1 Підстава для розробки .....                                              | 30 |
| 1.5.2 Мета розробки та її призначення .....                                    | 30 |
| 1.5.3 Основні вимоги до програмного продукту.....                              | 30 |
| 1.5.4 Вимоги до видів забезпечення і компонентів.....                          | 31 |
| 1.5.5 Вимоги до надійності.....                                                | 32 |
| 1.5.6 Обмеження на установку і виконання програми.....                         | 32 |
| 1.5.7 Вимоги до програмної документації.....                                   | 32 |
| 1.5.8 Умови експлуатації.....                                                  | 32 |
| 1.6 Постановка задач дослідження .....                                         | 33 |
| 1.7 Висновки до першого розділу .....                                          | 34 |
| 2 Матеріали і методи .....                                                     | 35 |
| 2.1 Розробка моделі безумовного рефлексу .....                                 | 35 |
| 2.2 Розробка моделей програмного забезпечення.....                             | 43 |
| 2.3 Висновки до другого розділу .....                                          | 46 |
| 3 Основні рішення з реалізації компонентів системи .....                       | 48 |
| 3.1 Розробка ієрархії класів.....                                              | 48 |
| 3.2 Розробка інтерфейсу користувача для роботи з безумовними рефlekсами.....   | 51 |
| 3.3 Висновки до третього розділу .....                                         | 53 |

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 4 Експлуатація, тестування та експериментальне дослідження програми..... | 55 |
| 4.1 Приклад моделювання безумовних рефлексів.....                        | 55 |
| 4.2 Висновки до четвертого розділу .....                                 | 60 |
| Висновки .....                                                           | 61 |
| Перелік джерел посилання.....                                            | 63 |
| Додаток А Текст програми.....                                            | 65 |
| Додаток Б Копії слайдів презентації .....                                | 73 |

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАК

- UML – уніфікована мова моделювання;
- UR – безумовний рефлекс;
- АН<sub>п</sub> – аналізатор підсвідомості;
- БР – безумовний рефлекс;
- ЗЗ – зворотній зв’язок;
- ПЗ – програмне забезпечення;
- УР – умовний рефлекс;
- УЦП – управляючий центр підсвідомості;
- УЦС – управляючий центр свідомості.

## ВСТУП

Рефлекс у біології – це дія, що складається з порівняно простих елементів поведінки, які зазвичай проявляються як прямі та негайні реакції на певні стимули, що однозначно корелюються з ними [1].

Розрізняють безумовні (БР) та умовні рефлекси (УР). Умовні рефлекси виробляються організмами протягом свого життя і за необхідності можуть бути замінені новими рефlekсами. Після народження, в організмі, що розвивається, з'являються нейрони між якими відсутній зв'язок. Однак, у процесі формування УР, між збудженими нейронами утворюються провідні з'єднання.

Розвиток нервової системи (формування умовних рефлексів) починається із БР. Багато безумовних рефлексів плацентарних ссавців є вродженими (спадковими) і є загальною рисою виду, а часто і роду. Рефлекси включають не тільки такі прості дії, як жування, ковтання, моргання, колінний рефлекс і дряпаючий рефлекс, але також ходьбу, стояння і т. д. Вибудовані у вигляді складних патернів багатьох скоординованих м'язових процесів, рефлекси становлять основу більшості інстинктивних процесів у тварин.

Безумовні рефлекси можуть згасати у відповідь на стимуляцію, що повторюється зі швидкістю, що виключає ефeкторну втому або сенсорну адаптацію. Це явище спостерігали дослідники у багатьох організмів і при різних реакціях. Наприклад, Проссер та Хантер [2] – у щурів, Кумбс [3] – у людей. Багато дослідників вважають, що це явище схоже на те, що спостерігається при умовних реакціях.

Однак ступінь подібності між явищами, що спостерігаються при зумовлених та безумовних реакціях, можна встановити лише шляхом ретельного аналізу кожної ситуації. Так згасання не виявлялося, наприклад, для рефлексу надколінка у кішки, зіничної реакції в людини. Криві згасання були отримані для рефлексу хвоста щура, абдомінального (черевного)

рефлексу у людини і переляку у щура. Було виявлено, що всі криві згасання, отримані для цих безумовних реакцій, подібні за формою, і вони у всіх важливих моментах подібні до звичайних кривих згасання для умовних реакцій, про що свідчить запис у базі даних Американської психологічної асоціації PsycINFO у 2016 р. [4]. Це свідчить про необхідність системного, комплексного підходу до вивчення як УР, так і БР. Крім того, проведення експериментів з тваринами та птахами, особливо при навчанні складним УР, може призвести до їхньої загибелі [5].

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

Предметом дослідження даної випускної кваліфікаційної роботи магістра є – моделі, методи і засоби придбання безумовних рефлексів тваринами та їх згасання.

Предметом дослідження випускної кваліфікаційної роботи магістра Хорошайлової О.М. є – моделі, методи і засоби моделювання навчення тварин умовним рефлексам.

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 штучного інтелекту та  $p$ -адичного числення.

Для досягнення поставленої мети у даній роботі необхідно вирішити такі задачі:

- розглянути механізм утворення безумовних рефлексів;
- розглянути існуючі моделі розумової діяльності;
- розглянути моделі динаміки мислення;
- розглянути існуючі моделі підсвідомості;
- розробити технічне завдання на комплексний проєкт;
- розробити модель безумовного рефлексу;

- розробити моделі програмного забезпечення для автоматизації діяльності дослідника розумової діяльності тварин;
- розробити програмне та інформаційне забезпечення компонентів системи, що автоматизує діяльність дослідника БР;
- перевірити адекватність моделі на якій базується розроблене програмне забезпечення на прикладі моделювання безумовних рефлексів та їх згасання.

## 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

### 1.1 Огляд механізму утворення безумовних рефлексів

Безумовні рефлекси є основою розвитку всіх живих організмів. Тварини досить високорозвинених видів народжуються або вилуплюються з яйця, вже маючи набір безумовних рефлексів, які лежать в основі подальшого розвитку нервової системи цих організмів [6].

Кількість можливих корисних процесів в організмі та механізмів на їх основі обмежена внаслідок обмеженої кількості інформації, що міститься у вихідній материнській клітині. Тому вчені припускають, що механізм формування зв'язків між нейронами, що становлять ланцюжок безумовного рефлексу, не може суттєво відрізнятися від механізму утворення умовних рефлексів, оскільки така відмінність вимагала б існування додаткових механізмів [7].

Інформаційна ємність вихідної клітини обмежена; отже, процеси, що відбуваються в клітині під час розвитку ембріона можуть бути тільки найпростішими і природнішими в умовах, що складаються. Безумовні рефлекси на «апаратному» рівні представляються як короткі і найпростіші ланцюжки нейронів від рецепторів до ефекторів. Це зумовлено тим, що для створення коротких рефлексорних ланцюгів потрібно менше інформації (умов).

Між нейронами, що реалізують безумовний рефлекс, утворюються зв'язки. Механізм утворення з'єднань, за допомогою яких відбувається реалізація безумовних рефлексів, не має суттєвих відмінностей від механізму утворення зв'язків між нейронами, які були збуджені сигналами від інших збуджених нейронів, що діють на їх вхід. Однак, спочатку нейрони не мають жодних вхідних зв'язків, тому їх можна збуджувати тільки за рахунок практично випадкового самозбудження.

Проводячи сигнали від стимулів з оточуючого середовища на рецептори, безумовні рефлекси забезпечують можливість збудження

нейронів, між якими утворюються асоціативні зв'язки протягом життя організму. Випадкові самозбудження нейронів у зрілих організмів трапляються досить рідко. За такими збудженнями можуть утворюватися випадкові зв'язки. Однак, такі зв'язки між нейронами, що самозбуджуються, не приносять великої користі. Їх позитивний ефект полягає лише у розширенні можливостей для встановлення зв'язків між групою нейронів (до яких нейрон приєднується в результаті з'єднання нейрона після його збудження) з іншими нейронами. Спочатку такий зв'язок не відповідає якійсь конкретній події.

Для подальшого розвитку нервової системи (утворення асоціативних зв'язків) необхідно, щоб інтернейрони могли бути пов'язані з рефлексорним ланцюжком [8]. Через наявність зв'язку між безумовними рефlekсами сигнали, що ініційовані в рецепторах, потрапляють у нервову систему, в якій починають формуватися нейронні ланцюжки. Ці ланцюжки відбивають сліди подій, які впливають на організм і закріплюють досвід організму. Процеси функціонування нервової системи представлені рис. 1.1.

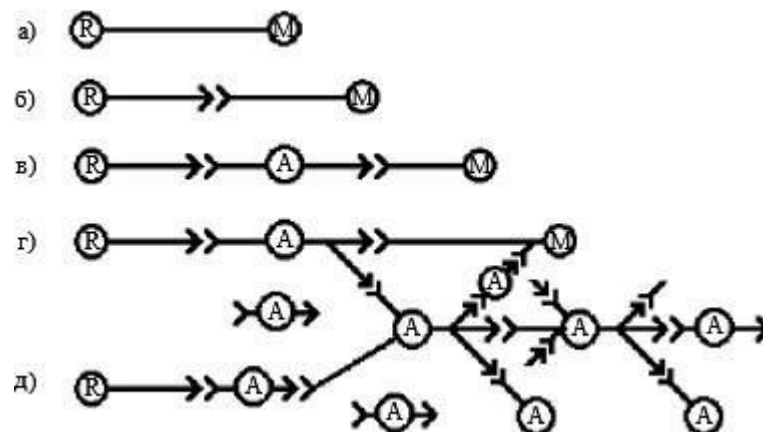


Рисунок 1.1 – Процеси функціонування нервової системи [9]

На рис. 1.1 введені такі позначення: R – рецептори; M – маніпулятори (ефектори); A – асоціативні нейрони. Розглянемо процеси, що представлені на цьому малюнку:

- а) представляє суміщений рецептор та ефектор (маніпулятор) у найкоротшому ланцюгу безумовних рефлексів;
- б) роздільні рецептор та ефектор зі збільшенням відстані між ними;
- в) поява інтернейронів А, що дозволяють збільшити відстань від рецептора до ефектора;
- г) підключення складних систем обробки інформації, що забезпечують формування складних умовних рефлексів на ефекторне управління;
- д) інші рецептори та нейрони А, що ще не використовуються.

Очевидно, що основною умовою утворення зв'язків між нейронами є їхнє сусідство у просторі та механічний контакт між ними, що дає можливість формування зв'язків між ними. Сусідство нейронів забезпечується розвитком нервових тканин, коли в процесі розвитку організму нові клітини утворюються у вигляді результату поділу раніше сформованих клітин, починаючи з вихідної клітини [9].

Механізм утворення безумовних рефлексів такий самий, як і механізм виникнення умовних рефлексів. Різниця тільки в тому, що самозбудження нейронів відбувається набагато частіше у віці ембріона, ніж у дорослому організмі. Питома вага самозбуджень нейронів також набагато вища. Це пов'язано з тим, що потенціали та порогові значення збудження нейронів у наймолодшому віці організму мають дещо інші значення, ніж у дорослому організмі. Більше того, під час розвитку організму в материнському лоні збудження різних нейронів відбувається рідше, ніж у дорослому організмі з великою кількістю нейронних зв'язків, і тому готовність нейрона до збудження зростає до максимуму. Тому, в період внутрішньоутробного зростання самозбудження нейронів відбувається часто, що забезпечує формування зв'язків між нейронами, що реалізують безумовні рефлексі, навіть в умовах відсутності нейрональних подразників, що ініціюють [9].

У [7] запропоновано електричну принципову схему мозку, представлену на рис. 1.2.

На рис. 1.2 представлено типову електричну схему, на якій зліва представлені входи-дендрити (розгалужені відростки нейронів, які отримують інформацію через контакти (синапси) від аксонів), у центральній частині – центральні тіла нейронів (у вигляді підсилювачів-формуваців F), а праворуч – виходи -аксони.

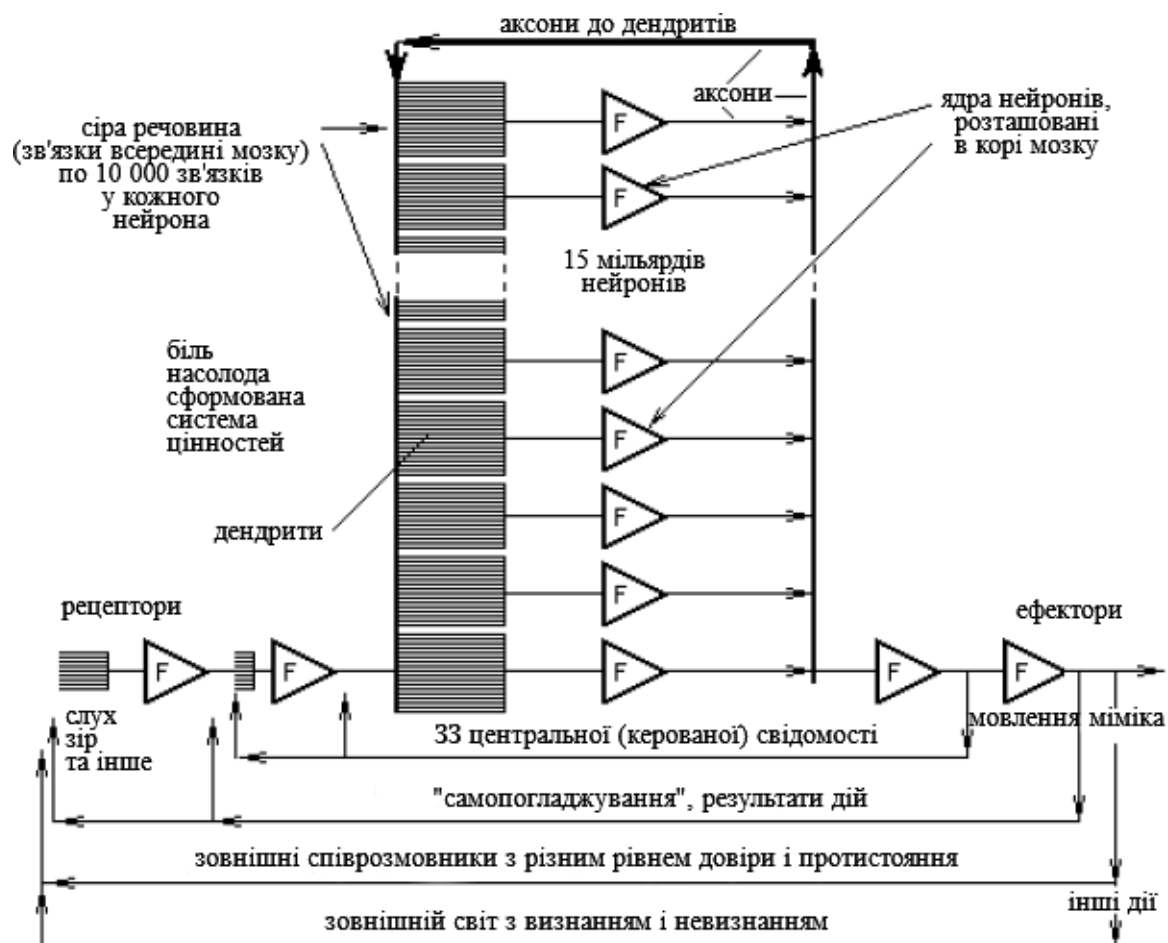


Рисунок 1.2 – Схема мозку електрична принципова [7]

Нейрони, представляють собою активні логічні елементи мозку, які забезпечують посилення та передачу сигналів по ланцюгу. З виходів попередніх каскадів нейронів сигнали міжнейронних зв'язків надходять на входи наступних каскадів, які посилюють їх і передають на входи подальших каскадів. Таким чином, відбувається взаємне збудження ланцюжків нейронів,

починаючи від вхідних елементів-рецепторів, далі через сукупність нейронів головного мозку, що забезпечують виконання множини логічних функцій, що склалися в організмі (типу за А слідує В), і закінчуючи вихідними нейронами-ефекторами. Ці нейрони керують різними реакціями організму на вхідний вплив (починаючи від мимовільного відсмикування лапи при дотику до гарячого предмета і закінчуючи більш складними діями. Наприклад, у людини або тварини, у відповідь на новий стимул зовнішнього середовища з'являється цілий комплекс реакцій, обумовлених орієнтовним рефлексом (поворот голови та очей у бік подразника, приношування тощо), вегетативних (судинні реакції, зміна частоти серцебиття та дихання тощо); зміна рівня активації центральної нервової системи.

Іншими словами, нейрони-ефектори ініціюють процеси зворотного зв'язку різного роду, починаючи від самозаохочення і закінчуючи визнанням або невизнанням дій тварини або людини з боку її родичів (наприклад, зграї або суспільства). Ці зв'язки, пов'язані з певними фізичними реалізаціями, опосередковані зовнішніми по відношенню до всього організму процесами та представлені в нижній частині рис. 1.2.

У комутаційній частині мозку (сірій речовині) реалізовані більш численні зворотні зв'язки, які мають більшу швидкість збудження окремих нейронів. Дані зв'язки представлені на входах підсилювачів-формуваців F у лівій частині рис. 1.2.

Набір БР у різних організмів може змінюватись у певних межах. Деякі рефлексивні можуть бути чітко виражені, а інші можуть бути слабкими або відсутніми. Таким чином, якщо з якоїсь причини (наприклад, через незбалансоване харчування) бажані поживні речовини не надходять до нейронів у достатній кількості, самозбудження нейронів відбуватиметься рідше, ніж необхідно для формування всіх необхідних безумовних рефлексів.

Утворення слідів подій призводить до накопичення досвіду організму та формування умовних рефлексів, що забезпечують адекватну реакцію організму на поточні події, використовуючи різні маніпулятори організму

(м'язи кінцівок та залози, які виробляють необхідні речовини). Рефлекси у нервовій системі реалізуються як сукупність нейронів, об'єднаних у єдиний контроль.

Відмінності в рівнях збудження нейронів у різних організмів (поряд з іншими факторами) визначають психологічний тип і темперамент людини або тварини – деякі організми більш збудливі, інші більш інертні. Оскільки порогові рівні впливають на збудження окремих нейронів, вони також впливають на формування зв'язків між нейронами і особливості пам'яті. Поріг збудження нейронів конкретних організмів можна регулювати відповідним харчуванням або шляхом прийому спеціальних ліків [9].

Функціональність та корисність більшості безумовних рефлексів, що формуються під час внутрішньоутробного життя організму очевидна. У той самий час деякі безумовні рефлекси можуть приносити організму якусь видиму користь. У різних зрілих організмів є й інші побічні ефекти (явища), що виходять за межі нервової системи. Наприклад, волосся на різних частинах тіла людини. Деякі з цих знаків є атавізмами і проявляються через багато поколінь з тих часів, коли ці знаки були корисні. У той же час вони не є нешкідливими. Швидше за все, лінії організмів із негативними властивостями загинули, бо не витримали зіткнень із небезпеками протягом життя. Тому організми із негативними рисами поступово вимерли.

Як зазначалося, механізми як умовних, так і безумовних рефлексів мають однакову природу. Отже, БР які після народження не задіяні або рідко використовуються, з часом згасають, як і умовні рефлекси, які не отримують частих повторень (підкріплень).

Відсутність якогось стандартного безумовного рефлексу в середньо статистичного організму конкретного виду вказує на те, що в цьому організмі не було умов для формування повного набору безумовних рефлексів, що забезпечують нормальний успішний розвиток організму.

Розглянемо підходи та моделі, засновані на ідеях, пов'язаних з нейронною організацією мозку та забезпечуючих формалізований опис

процесу мислення: *i*-моделі [10] та динамічні системи в ультратрихному ментальному просторі [11]. Порівняльний аналіз даних моделей з IBL-моделями (моделями на базі досвіду та теорії навчання на основі прикладів) в рамках комплексної роботи проведено в роботі Хорошайлової О.М.

## 1.2 Огляд сутності *i*-моделей

*I*-моделі було розроблено у Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова. Сутність *i*-моделей у тому, що різні функціональні стани організму, які обумовлені його поведінкою у конкретній ситуації, можуть бути спочатку формально представлені у вигляді окремих інформаційно-програмних блоків, які потім на наступному логічному рівні об'єднуються в єдину систему. Кожна окрема модель (на апаратному рівні їй відповідає окремий блок, а на програмному рівні її можна розглядати як бібліотеку програм) носить назву *i*-моделі. Крім функціональних станів організму *i*-моделі здатні формально описувати всі процеси, які пов'язані з трансформацією набору шаблонів в єдиний образ. Таким чином *i*-модель можна розглядати як замінювач образу в пам'яті людини або тварини. У випадку для людини можна стверджувати, що *i*-модель є замінювачом поняття, пов'язаного з даним образом (множиною образів), що входять в дане поняття. Отже, окрема *i*-модель може відповідати інформаційним блокам різного характеру.

Набір зв'язаних між собою *i*-моделей називається *M*-мережею. *I*-моделі можуть здійснювати між собою обмін інформаційними повідомленнями. Цей обмін здійснюється за допомогою сигналів двох типів: збуджуючих та гальмуючих. *I*-модель відрізняється від моделі на нейронах, що навчається [12] тим, що у ній замість окремих нейронів, на які надходили збуджуючі або гальмуючі сигнали, використовуються цілі ланцюги нейронів, за допомогою яких описується функціонування *i*-моделей.

Розглянемо принцип функціонування *i*-моделей.

Існує кілька правил, за якими будуються *i*-моделі:

– це моделі, що описують дискретні процеси, тому модельний час має бути дискретним. Характеристикою кожної  $i$ -моделі у кожен момент дискретного часу є рівень збудженості;

– кожна  $i$ -модель має кінцеве число входів  $x_{in}$  і один вихід  $y_i$ .

Для опису правила з'єднання виходу  $i$ -моделі з входами інших  $i$ -моделей введемо множину входів  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , множину  $i$ -моделей  $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ , що складають мережу  $M$  та множину допустимої кількості з'єднань між двома  $i$ -моделями  $Q = \{0, 1\}$ . Тоді, правило з'єднання  $i$ -моделей описується предикатом «Зв'язок виходу у  $n$ -ї  $i$ -моделі можливий з  $x_n$ -м входом  $k$ -ї  $i$ -моделі у кількості  $Q$ » згідно з формулою (1.1):

$$\forall y P(y, X, Q). \quad (1.1)$$

Іншими словами, до будь-якого входу  $i$ -моделі може підходити тільки один зв'язок.

В  $M$ -мережі зв'язки між  $i$ -моделями мають наступну спрямованість – від виходу одних моделей до входів інших. Для опису зв'язків введено вектор виду  $(m_{zi}, \overline{m_{zi}}, m_{zi}^0, \overline{m_{zi}^0})$  з числовими компонентами, де  $z_i$  – імена пов'язаних між собою  $i$ -моделей;  $m_{zi}$  – збуджуюча компонента зв'язку,  $\overline{m_{zi}}$  – гальмуюча компонента зв'язку;  $m_{zi}^0$  – залишкове збудження зв'язку,  $\overline{m_{zi}^0}$  – залишкове гальмування зв'язку.

Таким чином, одна  $i$ -модель може впливати на іншу шляхом передачі збудження або гальмування. Вплив (збільшення або зменшення збудженості іншої  $i$ -моделі) залежить від величин компонентів вектору, що характеризує такий зв'язок. Слід зауважити, що компоненти зв'язків  $m_{zi}$  та  $\overline{m_{zi}}$  залежать від часу (вони поступово затухають за певним законом до значень  $m_{zi}^0$  та  $\overline{m_{zi}^0}$  відповідно), а також від ступеню використання зв'язку, що в свою чергу залежить від ступеню збудженості моделей, що зв'язуються. Завдяки затуханням такого типу модель має змогу описувати короточасну пам'ять  $M$ -

мережі. Довгострокова пам'ять зв'язків моделюється шляхом поступового зменшення компонентів  $m_{zi}^0$  та  $m_{zi}^0$  до нуля [10].

Об'єднання  $i$ -моделей у вигляді  $M$ -мережі дозволяє імітувати наступні процеси:

- звикання до незмінної ситуації в зовнішньому середовищі;
- адаптація до змін в зовнішньому світі;
- придбання нових навичок.

Процеси, що перелічені вище, імітуються шляхом організації доволі складної взаємодії між зв'язками в  $i$ -моделях. Характеристики вектору зв'язку та рівень збудженості моделі пов'язані так, що на невеликій вхідний збуджуючий сигнал  $i$ -модель може видати на своєму виходу доволі великий сигнал збудження. Така ситуація можлива, якщо гальмуючий вплив даного зв'язку був невеликого рівня, а збудженість даної моделі, навпаки була дуже високою.

Розглянемо процес функціонування  $M$ -мережі.

Як було зазначено вище,  $i$ -моделі можуть формально описувати різні речі. Розрізняють наступні види  $i$ -моделей [10]:

- такі, що описують певні об'єкти зовнішнього світу;
- такі, що описують певні стани, в яких може перебувати організм;
- такі, що описують певні дії організму у поточній ситуації.

Нехай у деякий момент реального часу у зовнішньому середовищі відбулася деяка подія. Реакцією  $M$ -мережі на цю подію буде збудження набору  $i$ -моделей, що пов'язані з виконанням реакції організму на дану подію. Далі збудження буде поширюватися по  $M$ -мережі у відповідності з певним законом.

Наприклад,  $i$ -модель, для ситуації коли об'єкт зголоднів, повинна мати зв'язки з  $i$ -моделями, тих об'єктів, які можуть бути їжею. Таким чином, при моделюванні ситуації «почуття голоду» найвища ступінь збудженості у  $M$ -мережі повинна мати  $i$ -модель «голод». Ця модель буде значно посилювати всі сигнали збудження, що надходять від пов'язаних з нею  $i$ -моделей об'єктів

типу «їжа», та передавати їх далі по *M*-мережі. При поширенні збудження може бути досягнутий певний рівень збудження *i*-моделі «напад на їжу». Тоді видається сигнал на ефектори і дія відбувається, що призведе до моделювання харчової поведінки тварини.

У випадку, коли тварина не голодна, може відбутися гальмування *i*-моделлю «голод» сигналів збудження, що йдуть від *i*-моделей об'єктів «їжа».

Поведінка *M*-мережі обумовлюється через вибір як порогів збудження *i*-моделей, так і законів зміни компонент векторів, що описують відповідні зв'язки. У випадку, коли пороги та закони зміни компонент зафіксовані, маємо справу з *M*-автоматом [10]. Структурна схема *M*-автомата представлена на рис. 1.3.

Пунктирною рамкою на рис. 1.3. позначено підсистему «посилення-гальмування» (ППГ), завданням якої є забезпечення управління поширенням збудження *M*-мережею.

Елементи зовнішнього світу моделюються різними внутрішніми станами автомата. У дискретні моменти часу в блок сприйняття надходять інформаційні сигнали про поточну ситуацію у зовнішньому світі. Завданням даного блоку є фільтрація даної інформації та генерація патернів, що відповідають об'єктам, для яких існують описи у вигляді *i*-моделей. Ці моделі ініціалізуються шляхом отримання підкріплюючого збудження. Подальше збудження по *M*-мережі здійснюється з урахуванням внутрішніх станів *M*-автомата (наприклад, "почуття впевненості", "почуття голоду").

Коли збудження досягне *i*-моделей, що відповідають певним діям (реакціям) організму, відбувається порівняння рівня їх збудження з пороговим значенням. Ті *i*-моделі, у яких рівень збудження перевищив поріг, генерують сигнали дії, які передаються ефекторам для виконання у зовнішньому світі. Далі відбувається наступний цикл, що виконує *M*-автомат.

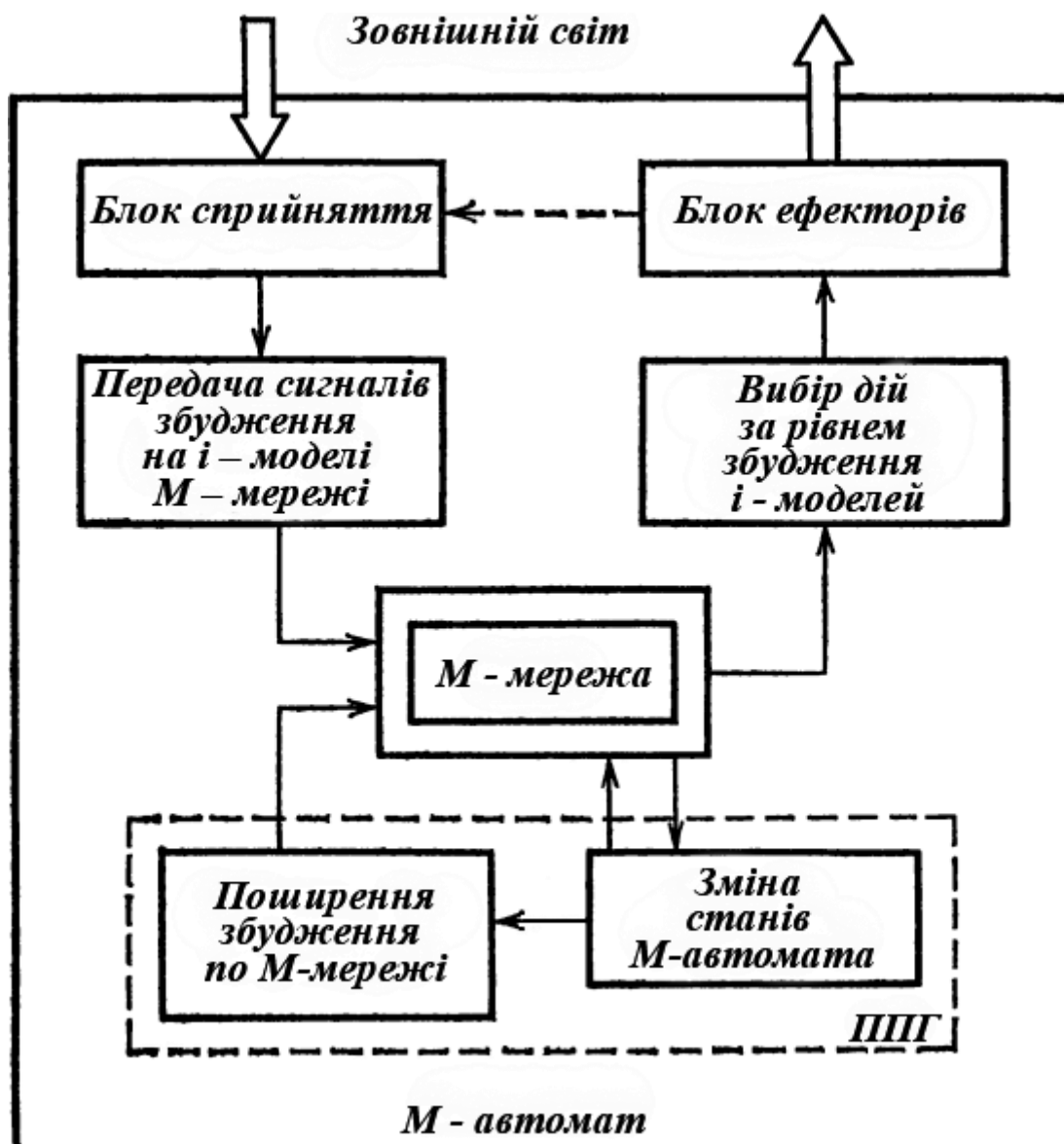


Рисунок 1.3 – Структурна схема М-автомата [10]

### 1.3 Опис процесу мислення як динамічної системи в ультраметричному просторі

Математичною основою опису процесів мислення за думкою [11] є ультраметрична геометрія. Запропоновано всі об'єкти ментального простору занумерувати за допомогою  $p$ -адичних чисел, а гілки  $p$ -адичних дерев (див. рис. 1.1 пояснювальної записки Хорошайлової О.М.) використовувати як своєрідні ментальні координати. Таким чином з'являється можливість порівняти близькість (відстань) двох  $I$ -станів у ментальному просторі. Під  $I$ -

станами мають на увазі послідовності вхідної інформації, що надходить на аналізатори тварини або людини.

На понятті «відстань» базується багато понять математичного аналізу (наприклад, що стосуються безперервності чи границь) [13]. Нехай  $X$  – деяка множина. Метрикою називають функцію  $\rho: X \times X \rightarrow R_+$  (де  $R_+$  – множина позитивних дійсних чисел), що має такі властивості (аксіоми метрики):

- $\rho(x, y) \geq 0 \quad \forall x, y \in X$ ;
- $\rho(x, y) = 0 \Leftrightarrow x = y$ , (невиродженість);
- $\rho(x, y) = \rho(y, x)$ , (симетричність);
- $\rho(x, y) \leq \rho(x, z) + \rho(z, y)$ , (нерівність трикутника).

Тоді, метричним простором назвемо пару  $(X, \rho)$ . Кожна точка  $x$  у цьому просторі має нескінченне число координат (1.2):

$$x = (a_1, \dots, a_n, \dots). \quad (1.2)$$

Кожна координата має кінцеве число значень (1.3):

$$\alpha \in A_m = \{0, \dots, m-1\}, \quad (1.3)$$

де  $m > 1$  – натуральне число, основа алфавіту  $A_m$ .

В моделях, що формалізують ментальну діяльність, метрика  $\rho$  є ультраметричною, тобто має задовольняти посиленій нерівності трикутника (1.4):

$$\rho(x, y) \leq \max[\rho(x, z), \rho(z, y)], \quad x, y, z \in X. \quad (1.4)$$

Геометричною інтерпретацією формули 1.3 є рівнобедрений трикутник.

Позначимо простір  $I$ -послідовностей як  $Z_m$ . Введемо ультраметрику на множині  $Z_m$ . Для цього зафіксуємо дійсне число  $0 < q < 1$ .

Нехай  $\epsilon$  є послідовності цифр (1.5):

$$x = (a_0, a_2, \dots, a_n, \dots), y = (\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n, \dots) \in Z_m. \quad (1.5)$$

Припустимо, що (1.6):

$$\rho_m(x, y) = q^k, \text{ якщо } a_j = \beta_j, j = 0, 1, \dots, k-1, \text{ та } a_k \neq \beta_k. \quad (1.6)$$

Ця функція є ультраметрикою [11], за допомогою якої можна знайти відстань  $\rho_m(x, y)$  між цими двома цифрами  $x$  і  $y$ . Для цього необхідно їх порівняти і знайти першу позицію  $k$  таку, в якій послідовності мають різні цифри. Стандартний вибір константи  $q$ :  $q = 1/m$ . Тоді (1.7):

$$\rho_m(x, y) = \frac{1}{m^k}. \quad (1.7)$$

Нехай  $m = 3$ , а  $x = (0, 1, 0, 1, \dots)$  і  $y = (0, 1, 0, 0, \dots)$ . Для даного прикладу значення  $k = 3$ , отже  $\rho_3(x, y) = 1/27$ .

Розглянемо приклад алфавіту  $A$ , що складається з  $m$  букв, тобто  $A = (a_0, \dots, a_{m-1})$ . У цьому випадку, множина всіх речень складених з символів цього алфавіту, може бути ототожнена з  $Z_m$ . Кожне речення  $x$  може бути описане наступною послідовністю (1.8):

$$x = (a_0, \dots, a_k, \dots), a_j \in A. \quad (1.8)$$

Нехай  $A$  - український алфавіт, що окрім букв за замовчанням, включає пробіл  $a_0$ , точку і всі граматичні розділові знаки. Розглянемо наступні речення:

$x$  = (Робітник повинен ходити на роботу);

$y$  = (Робітник повинен виконувати посадові інструкції);

$z$  = (Робітник отримує премію).

Для даного прикладу загальним початковим відрізком для усіх речень є  $\rho_m(x, y) = \rho(x, z) = 1/m^9$ , тобто 9 символів. Для першого та другого речень загальний початковий відрізок має довжину 17 символів, тобто  $\rho_m(y, z) = 1/m^{17}$ .

Проаналізуємо, наприклад текст  $w = (\text{Ми повинні ходити на роботу})$ . Для цього випадку  $\rho_m(x, w) = \rho_m(y, w) = \rho_m(z, w) = 1$ .

Таким чином, вибір перших букв у реченнях має важливу роль для визначення відстані у ментальному просторі – ментальні точки, що починаються із слів «Робітник», ніяк не зв'язані з точками, що починаються з займенників «Ми», «Вони» і т. д.

Розглянемо опис динаміки у ментальному просторі. Ментальний простір представляється у вигляді ультраметричного простору  $(Z_m, \rho_m)$ . Згідно [11], у ментальному просторі існує наступна ієрархія:

- $I$ -стани, або  $I$ -послідовності (послідовності цифр);
- асоціації, тобто сімейство  $I$ -станів, близьких у  $m$ -адичній метриці (можна інтерпретувати як пучок гілок із загальним коренем);
- ідеї, тобто сімейство пучків гілок (множина асоціацій).

Іншими словами, існує наступна ієрархія:

Інформаційні стани  $x \rightarrow$  асоціації  $A \rightarrow$  ідеї  $J$ .

Якщо  $x$  належить дереву  $X_I$ , то для деякого класу відображень  $f: X_I \rightarrow X_I$  динаміка  $I$ -станів породжує динаміку в просторі асоціацій  $X_A$  та ідей  $X_ID$ . Для формалізації динаміки, спочатку необхідно описати взаємодію між  $I$ -станами. Для цього використовується перетворення простору  $I$ -станів  $X_I$ , яке на основі  $I$ -станів  $x_1, x_2, \dots, x_n$  породжує інший  $I$ -стан  $x = f(x_1, \dots, x_n)$ .

Зафіксуємо функцію  $f$ . Таким чином, реалізовано опис процесів мислення у вигляді динамічної системи  $x = f(x_{n-1})$  на просторі  $I$ -станів  $X_I$ . З початкового  $I$ -стану  $x_0$ , покроково здійснюються переходи  $x_0, x_1, \dots, x_n, \dots$ . Переходи відбуваються до тих пір, поки не буде знайдене можливе рішення у вигляді атрактора. Атрактор – це нерухома точка у ментальному просторі. Можлива ситуація, коли ланцюжок переходів, що починається з початкової

точки  $x_0$ , не призведе до жодного атрактора, тобто людина, або тварина не змогла знайти вирішення задачі. Такий підхід і відтворює процес мислення.

Іншою важливою рисою моделі [11] є те, що для формалізації процесу мислення було виділено дві тісно пов'язані між собою області: свідомість і підсвідомість. Для реалізації безумовних та умовних рефлексів основну роль відіграє підсвідомість, тому розглянемо її модель більш детально.

#### 1.4 Модель області підсвідомості

Мозок істоти можна поділити на дві області – свідомості та підсвідомості [11]. Ці області мають два відповідні центри управління – управляючий центр свідомості (УЦС) та управляючий центр підсвідомості (УЦП).

Центральною складовою частиною УЦП є область динамічної обробки інформації  $D$ , в якій розміщуються так звані динамічні процесори мислення  $\pi$ . Кожен з них має свою спрямованість (наприклад, процесор голоду, страху, релігійний і т. д.). Вони відповідають за генерацію рішення (знаходження атрактора) в залежності від поточної ситуації, що описується  $I$ -послідовністю. Серед них можна виділити дві групи процесорів. Процесори першої групи  $\pi_c$  завжди надсилають результати своєї роботи в УЦС, а процесори другої групи  $\pi_{під}$  завжди надсилають результати своєї роботи в УЦП.

Розглянемо модель області підсвідомості, представлену на рис. 1.4. Інформація із зовнішнього середовища ( $I$ -послідовність) може поступити як до центру УЦС так і до УЦП. Нехай вона надійшла до УЦП. Далі вона перетворюється центром УЦП у деяку ідею-проблему  $J_0$  яка посилається, як початкова умова, в один з процесорів мислення  $\pi_c$ , або  $\pi_{під}$ , що розташовані в області  $D$ . Починаючи з ідеї  $J_0$ , ініціалізований процесор виробляє через деяку послідовність ітерацій  $J_1, \dots, J_N, \dots$  ідею-атрактор  $J$ .

УЦП може з вірогідністю 50% надіслати рішення  $J$  в область динамічної обробки інформації в  $\pi_{\text{під}}$  як початкову умову, або надіслати рішення  $J$  в аналізатор підсвідомості АН<sub>П</sub>. Розглянемо роботу аналізатора АН<sub>П</sub>.

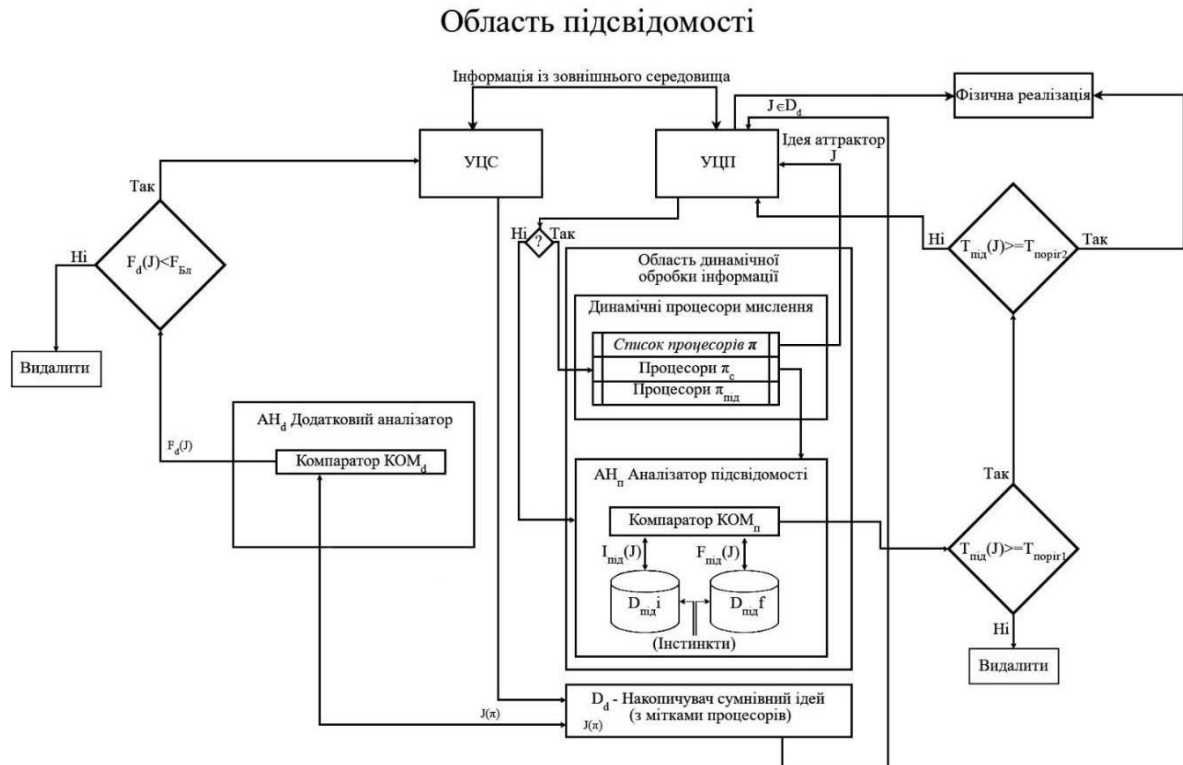


Рисунок 1.4 – Модель області підсвідомості

Складовою частиною АН<sub>П</sub> є компаратор КОМ<sub>П</sub> за допомогою якого здійснюється вимірювання відстаней у базі підсвідомості між рішенням  $J$  і базою даних цікавих ідей ( $D_{\text{під}i}$ ), тобто вимірювання  $\rho(J, D_{\text{під}i})$ . КОМ<sub>П</sub> також здійснює вимірювання відстаней між рішенням  $J$  і базою даних заборонених ідей ( $D_{\text{під}f}$ ), тобто вимірювання  $\rho(J, D_{\text{під}f})$ . У базі заборонених ідей зберігаються біологічно негативні рефлекси (наприклад, утікання від джерела шуму). У базі цікавих ідей можуть зберігатися біологічно позитивні рефлекси (наприклад, пошук їжі за запахом).

КОМ<sub>П</sub> обчислює міру інтересу до рішення  $J$  –  $I_{\text{під}}(J)$ , міру протидії  $F_{\text{під}}(J)$  і міру узгодженості  $T_{\text{під}}(J)$  за формулами (1.9) – (1.11) [11]:

$$I_{\text{під}}(J) = \frac{1}{1 + \rho(J, D_{\text{під}}, i)}, \quad (1.9)$$

$$F_{\text{під}}(J) = \frac{1}{1 + \rho(J, D_{\text{під}}, f)}, \quad (1.10)$$

$$T_{\text{під}}(J) = a \times I_{\text{під}}(J) - b \times F_{\text{під}}(J), \quad (1.11)$$

де  $a, b > 0$  – деякі параметри, залежні від мислячої системи.

Якщо  $T_{\text{під}}(J) < T_{\text{поріг1}}$ , де  $T_{\text{поріг1}}$  – поріг узгодженості, то рішення  $J$  видаляється.

Якщо  $T_{\text{під}}(J) > T_{\text{поріг2}}$  то рішення  $J$  відправляється на фізичну реалізацію (організм має ресурси для його виконання). У протилежному випадку рішення  $J$  потрапляє знов до УЦП.

У накопичувач сумнівних ідей підсвідомості  $D_d$  надходять ідеї з області УЦС, у випадку, коли міра протидії до рішення  $J$  у цій області, дорівнювала мірі інтересу до рішення  $J$ .

Розглянемо тепер той випадок, коли рішення  $J$  було надіслано в область динамічної обробки інформації в один з процесорів  $\pi_{\text{під}}$ .

Для кожного процесора має бути заданий динамічний закон переходу від одного  $I$ -стану (асоціації чи ідеї) до іншого, доки не буде знайдено аттрактор. Найпростіші динамічні закони задаються мономіальними функціями виду (1.12 – 1.13) [11]:

$$f_s(x) = x^s, s = 2, 3, \dots, \quad (1.12)$$

$$s = (s_{\text{фіз}}, s_{\text{псих}}, s_{\text{інф}}) \in S = S_{\text{фіз}} \times S_{\text{псих}} \times S_{\text{інф}}, \quad (1.13)$$

де  $s_{\text{фіз}}$  – фізіологічний стан мислячої системи;

$s_{\text{псих}}$  – психологічний стан мислячої системи;

$s_{\text{інф}}$  – інформаційний стан мислячої системи.

Далі задається область тяжіння  $r$  атрактору  $A(a_j) = U_r(a_f)$ , що визначає кількість знаків, які повинні збігатися у різних  $I$ -станів і здійснюється крок за кроком рух за траєкторією до атрактору. При цьому обчислюється ступінь близькості відстані до нього. Якщо за кілька етапів  $N$ , або обмежувальний бар'єр часу рішення не буде досягнуто, то УЦС змінить або  $I$ -стан  $J_0$  або параметр  $s$ .

Процесор  $\pi_{\text{під}}$  виробляє ідею-атрактор  $J$ . При цьому ставиться мітка – яким процесором було знайдено атрактор. Далі ідея-атрактор  $J$  перевіряється у компараторі  $\text{КОМ}_d$  додаткового аналізатору  $\text{АН}_d$  на близькість до сумнівних ідей за формулою (1.14):

$$\rho(J, D_d) = \min \rho(J, J_3), J_3 \in D_d. \quad (1.14)$$

Міра протидії сумнівних ідей  $F_d(J)$  розраховується за формулою (1.15):

$$F_d(J) = \frac{1}{1 + \rho(J, D_d)}. \quad (1.15)$$

І порівнюється з порогом блокування заборонених ідей  $F_{\text{блок}}$  (він свій у кожної істоти). Якщо  $F_d(J) < F_{\text{блок}}$  – ідея не заборонена. У іншому випадку – ідея заборонена. Таким чином, якщо ідея не сумнівна і не заборонена, результат  $J$  передається в УЦС.

Таким чином, модель області підсвідомості розглянуто.

Виходячи з того, що процес придбання умовних рефлексів базується на БР, доцільно розробити технічне завдання на комплексний проєкт в рамках даної роботи.

## **1.5 Розробка технічного завдання на комплексний проєкт**

### **1.5.1 Підстава для розробки**

Підставою для розробки служить завдання на дипломну кваліфікаційну роботу магістра на тему "Дослідження та програмна реалізація методів моделювання розумової діяльності: моделювання безумовних рефлексів", затверджене наказом № 435 від 05 листопада 2021 р. по НУ «Запорізька політехніка».

### **1.5.2 Мета розробки та її призначення**

Метою розробки є створення програмного продукту, який автоматизує діяльність дослідників когнитивних функцій тварин. Програмний застосунок призначений для дослідження механізмів безумовних та умовних рефлексів в залежності від заданих користувачем параметрів експерименту та характеристик організму.

### **1.5.3 Основні вимоги до програмного продукту**

Розроблюване програмне забезпечення має надавати користувачеві-досліднику наступні функціональні можливості:

- вибір режиму роботи застосунку (безумовні рефлекси, умовні рефлекси);
- встановлення параметрів стимулів, що впливають на організм (тип аналізатору; інтенсивність; ступінь протидії; тривалість; температура; місцезнаходження впливу; відстань до об'єкту; частота звуку; частина тіла, на яку впливають; площа впливу);
- встановлення параметрів організму та експерименту при роботі з умовними рефlekсами (тривалість умовного стимулу; інтервал між початком стимулу та безумовним подразником; кількість стимулів за день; інтервал

між експериментами; кількість повторень для закріплення рефлексу; кількість повторів для розробки; поріг узгодженості; поріг фізичної реалізації);

- вплив на організм стимулом (стимулами) з вказаними параметрами;
- перегляд інформації щодо поточної реакції організму на стимул;
- перегляд інформації щодо попередніх реакцій.

Вхідними даними, необхідними для функціонування програмного продукту, є бази ситуацій, заборонених та цікавих ідей, закодовані послідовності стимулів у вигляді р-адичних чисел та додаткові параметри, які введені користувачем.

Вихідними даними є модифіковані бази ситуацій, заборонених та цікавих ідей, виведена на дошку інформація, щодо поточного стану об'єкта та його реакції.

#### **1.5.4 Вимоги до видів забезпечення і компонентів**

Програмний застосунок має працювати під управлінням операційної системи Windows 7 або вище. Тому вимоги до апаратно-технічних засобів обумовлені вимогами до ОС.

Для забезпечення роботи програми необхідні наступні ресурси:

- вільне місце на жорсткому диску, достатнє для встановлення програми та 32 Гб для розміщення операційної системи;
- оперативна пам'ять 1 Гб або більше (для 64-розрядної версії);
- відеокарта DirectX 9 або новішої версії з драйвером WDDM 1.0;
- монітор (мінімум 800x600 пікселів);
- процесор або система на кристалі (SoC) з частотою 1 ГГц чи вищою;
- маніпулятори вводу (клавіатура, миша).

ПЗ, що розроблюється повинно підтримувати спільний режим роботи з ОС Windows. Програма повинна бути підготовлена до можливої модернізації. Для реалізації програмного продукту повинна використовуватися мова програмування C++ та середовище розробки QT Creator 5.4.2.

#### **1.5.5 Вимоги до надійності**

Розроблюване програмне забезпечення повинно проводити обробку виключних ситуацій, повідомляючи оператора про некоректність введених їм вхідних даних або проведених операцій, обмежувати оператора у можливості введення вхідних даних (явно вказувати тип даних, який очікується, проводити їх валідацію).

#### **1.5.6 Обмеження на установку і виконання програми**

Обмеження на встановлення і використання програми обумовлені вимогами до апаратно-технічних засобів, описаними у п. 1.3.4.

#### **1.5.7 Вимоги до програмної документації**

Програмна документація повинна включати: опис експериментів та вихідний код програми.

#### **1.5.8 Умови експлуатації**

Умови експлуатації повинні відповідати вимогам, які пред'являються до технічних засобів. Показники температури, відносної вологості і швидкості руху повітря повинні відповідати оптимальним і допустимим значенням в робочій зоні виробничих приміщень.

## 1.6 Постановка задач дослідження

З багатьох видів нейронної активності є один простий, у якому зовнішній стимул викликає негайну дію із боку організму. Це рефлекторна діяльність. Термін «рефлекс» було введено в біологію ще у 19-му столітті англійським неврологом Маршаллом Холлом. Під рефлексом Холл мав на увазі автоматичну відповідь м'яза або кількох м'язів на подразник, що збуджує аферентний нерв. Цей термін тепер використовується для опису дії, яка є вродженою активністю центральної нервової системи, не пов'язаної зі свідомістю, коли певний стимул, збуджуючи аферентний нерв, викликає стереотипну негайну реакцію м'язи або залози.

Метою комплексної дипломної роботи є автоматизація діяльності дослідників вищих когнітивних функцій тварин. У межах даної роботи досліджуються моделі, методи і засоби придбання та згасання БР у піддослідних організмів.

Розглянемо більш детально перелік задач (див. с.10 та 11 ), що необхідно вирішити при розробці програмного та інформаційного забезпечення компонентів автоматизованої системи, що забезпечує імітацію процесів придбання та згасання БР. Для досягнення мети даної роботи необхідно:

- розглянути механізм утворення безумовних рефлексів (на нейронному рівні процесів функціонування нервової системи);
- розглянути існуючі моделі розумової діяльності (у межах даної роботи необхідно розглянути *i*-моделі та М-мережі, які було розроблено у Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова);
- розглянути моделі динаміки мислення (динаміка на ультраметричному просторі – просторі, що має задовольняти посиленій нерівності трикутника);
- розглянути існуючі моделі підсвідомості (модель Хреннікова, що базується на *p*-адичному численні);

- розробити технічне завдання на комплексний проєкт (як для безумовних, так і умовних рефлексів);
- розробити модель безумовного рефлексу (удосконалити модель Хреннікова);
- розробити моделі програмного забезпечення для автоматизації діяльності дослідника розумової діяльності тварин (діаграму класів та діаграму активностей);
- розробити програмне та інформаційне забезпечення компонентів системи, що автоматизує діяльність дослідника БР;
- перевірити адекватність моделі на якій базується розроблене програмне забезпечення на прикладі моделювання безумовних рефлексів та їх згасання у черевоногих тварин – морського зайця *Aplysia californica*.

## 1.7 Висновки до першого розділу

Огляд механізму утворення безумовних рефлексів показав, що безумовні рефлекси набуваються завдяки створення з'єднань між нейронами. Поступово у нервовій системі формуються нейронні ланцюжки, що відбивають сліди подій, що відбувалися з організмом. Було з'ясовано, що механізм утворення безумовних рефлексів такий самий, як і механізм виникнення умовних рефлексів.

Було розглянуто формальну модель мислення, що реалізується у вигляді мережі *i*-моделей, які є замінювачами образів у пам'яті людини або тварини. Поведінка *M*-мережі обумовлюється вибором порогів збудження *i*-моделей, а також законів зміни компонент векторів, що описують відповідні зв'язки.

Інший підхід до формалізації процесу мислення запропоновано [13], де розглядається динаміка у ментальному просторі, що представляється у вигляді ультраметричного простору, тобто простору де виконується нерівність посиленого трикутника, а інформація описується за допомогою *p*-

адичних чисел. Цей підхід дозволяє моделювати як УР, так і БР шляхом запису інформації у бази цікавих та заборонених ідей, тому його було обрано для подальшого розвитку у рамках цієї роботи.

Так як умовні рефлексі базуються на безумовних рефлексі, у першому розділі було розроблено технічне завдання на комплексний проєкт.

Для досягнення поставленої мети комплексної роботи було сформульовано постановку певних задач дослідження у рамках даної дипломної кваліфікаційної роботи магістра.

## 2 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

### 2.1 Розробка моделі безумовного рефлексу

Об'єктом дослідження комплексної випускної роботі є процеси мислення тварин. Предметом дослідження у даній роботі є моделі, методи і засоби придбання безумовних рефлексів тваринами. БР є невід'ємною складовою процесу придбання умовних рефлексів.

Експерименти на тваринах широко використовуються для розробки нових ліків або перевірки безпеки інших продуктів. Розподіл цілей для яких використовуються тварини наведено на рис. 2.1.

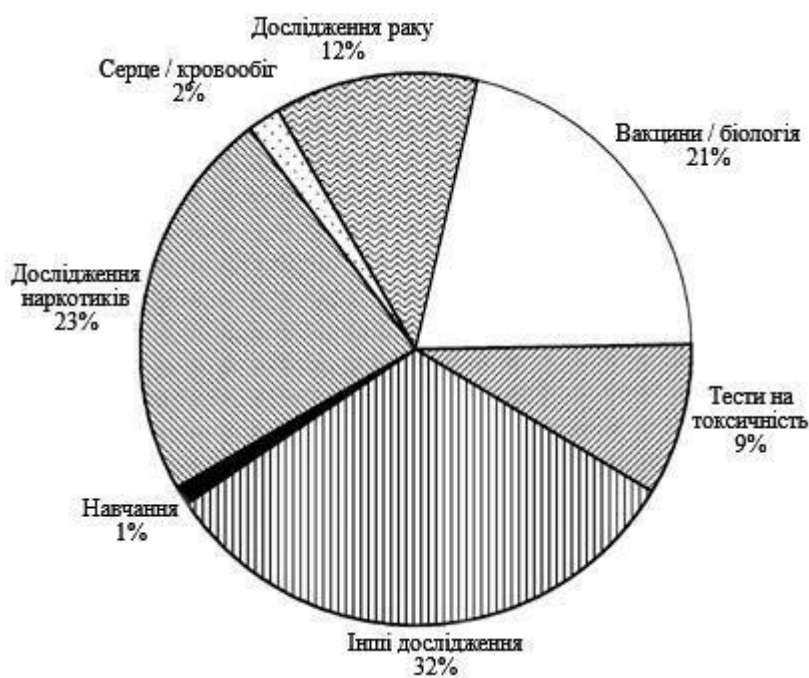


Рисунок 2.1 – Розподіл цілей для яких використовуються тварини [14]

Багато з цих експериментів завдають тваринам біль або іншим чином знижують якість їхнього життя. Експериментатори на тваринах добре поінформовані про цю етичну проблему і визнають, що експерименти слід проводити якомога гуманніше. Вони також згодні з тим, що використовувати тварин неправильно, якщо є альтернативні методи тестування які дають такі ж достовірні результати [15].

Для автоматизації процесу проведення експериментів з тваринами по дослідженню як умовних рефлексів так і безумовних, а також моделювання цих рефлексів, необхідно вирішити задачу кодування інформації, що надходить з зовнішнього середовища. Як було зазначено у розділі 1, інформація повинна бути закодована за допомогою  $p$ -адичного числення у вигляді  $I$ -послідовностей [11].

У експериментах з тваринами частіше за все стимули з зовнішнього середовища імітують за допомогою сигналів, що надходять на наступні аналізатори піддослідного організму: зоровий (очі); слуховий (вуха); то тактильний (шкіра). Цю вхідну інформацію необхідно формально представити у вигляді  $I$ -послідовностей.

Набір загальних характеристик вхідної інформації, необхідний для опису вхідних даних експерименту для усіх видів аналізаторів наступний:

- тип аналізатору;
- інтенсивність стимулюючого сигналу;
- ступінь протидії організму на подразник;
- тривалість сигналу;
- місцезнаходження впливу (зліва, зверху и т. д.).

Для зорового та слухового аналізаторів необхідно також ввести характеристику «Відстань». Для слухового аналізатору необхідно також ввести характеристику «Частота сигналу».

Для тактильного аналізатору, крім загальних характеристик, важливі наступні характеристики стимулу:

- частина тіла, на яку впливає стимул;
- температура стимулу, що впливає;
- площа впливу.

Кодування характеристик стимулу, що впливає на зоровий аналізатор представлено у табл. 2.1. Згідно з даними табл. 2.1 для кодування інформації для зорового аналізатору потрібно 5 розрядів (по числу рядків у таблиці),

тобто для формального опису необхідно використовувати 5-адичні числа (якщо нумерувати позиції у  $p$ -адичному числі починаючи з «1»).

Таблиця 2.1 – Кодування інформації для зорового аналізатора

| Код | Тип аналізатора | Інтенсивність | Ступінь протидії | Місцезнаходження | Тривалість         | Відстань          |
|-----|-----------------|---------------|------------------|------------------|--------------------|-------------------|
| 1   | <b>зоровий</b>  | дуже висока   | дуже висока      | справа           | <b>дуже висока</b> | дуже далеко       |
| 2   |                 | Висока        | висока           | зліва            | висока             | <b>далеко</b>     |
| 3   |                 | Середня       | <b>середня</b>   | по центру        | середня            | середня дальність |
| 4   |                 | <b>Низька</b> | низька           | зверху           | низька             | близько           |
| 5   |                 | дуже низька   | дуже низька      | <b>знизу</b>     | дуже низька        | дуже близько      |

Приклад формального представлення стимулу, що діє на зоровий аналізатор з виділеними товщиною параметрами у табл. 2.1: 143512.

Кодування характеристик стимулу, що впливає на слуховий аналізатор представлено у табл. 2.2. Згідно з даними табл. 2.2 для кодування інформації для слухового аналізатору, як і для зорового аналізатору потрібно 5 розрядів.

Таблиця 2.2 – Кодування інформації для слухового аналізатора

| Код | Тип аналізатора | Інтенсивність      | Ступінь протидії | Місцезнаходження | Тривалість    | Частота сигналу    | Відстань          |
|-----|-----------------|--------------------|------------------|------------------|---------------|--------------------|-------------------|
| 1   |                 | <b>дуже висока</b> | дуже висока      | справа           | дуже висока   | дуже висока        | дуже далеко       |
| 2   | <b>слуховий</b> | висока             | висока           | зліва            | <b>висока</b> | висока             | <b>далеко</b>     |
| 3   |                 | середня            | <b>середня</b>   | по центру        | середня       | середня            | середня дальність |
| 4   |                 | низька             | низька           | <b>зверху</b>    | низька        | низька             | близько           |
| 5   |                 | дуже низька        | дуже низька      | знизу            | дуже низька   | <b>дуже низька</b> | дуже близько      |

Приклад формального представлення стимулу, що діє на слуховий аналізатор з виділеними товщиною параметрами у табл. 2.2: 2134252.

Кодування характеристик стимулу, що впливає на тактильний аналізатор представлено у табл. 2.3. Згідно з даними табл. 2.3 для кодування інформації для тактильного аналізатору потрібно 8 розрядів.

Таблиця 2.3 – Кодування інформації для тактильного аналізатора

| Код | Тип аналізатора   | Інтенсивність | Ступінь протидії | Місцезнаходження | Тривалість     | Частина тіла     | Температура        | Площа         |
|-----|-------------------|---------------|------------------|------------------|----------------|------------------|--------------------|---------------|
| 1   |                   | дуже висока   | дуже висока      | справа           | дуже висока    | голова           | дуже висока        | <b>велика</b> |
| 2   |                   | висока        | <b>висока</b>    | зліва            | висока         | торс             | висока             | середня       |
| 3   | <b>тактильний</b> | середня       | середня          | по центру        | <b>середня</b> | спина            | середня            | мала          |
| 4   |                   | <b>низька</b> | низька           | <b>зверху</b>    | низька         | права рука       | низька             |               |
| 5   |                   | дуже низька   | дуже низька      | знизу            | дуже низька    | ліва рука        | <b>дуже низька</b> |               |
| 6   |                   |               |                  |                  |                | права нога       |                    |               |
| 7   |                   |               |                  |                  |                | <b>ліва нога</b> |                    |               |
| 8   |                   |               |                  |                  |                | хвіст            |                    |               |

Приклад формального представлення стимулу, що діє на тактильний аналізатор з виділеними товщиною параметрами у табл. 2.3: 34243751.

Таким чином інформацію, що поступає на будь-який аналізатор із зовнішнього середовища було закодовано у вигляді 8-адичного числа.

Згідно з розробленою у п. 2.1 дипломної роботи Хорошайлової О.М. моделлю придбання умовного рефлексу, процесори мислення взаємодіють з базами цікавих  $D_{\text{під}i}$  або заборонених  $D_{\text{під}f}$  ідей підсвідомості (тут зберігаються БР), що знаходяться в УЦП (рис. 2.2 пояснювальної записки Хорошайлової О.М.). В цих базах інформація зберігається у зв'язці "ситуація - реакція - лічильник". У базі  $D_{\text{під}i}$  зберігаються безумовні рефлекси, що забезпечують реакцію організму у нейтральних (не зв'язаних з загрозою) ситуаціях, харчові, статеві та інші рефлекси, що відносяться до типу "біологічно позитивні". У табл. 2.4 наведено приклад БР, що розміщуються у базі  $D_{\text{під}i}$ .

Таблиця 2.4 – Фрагмент бази цікавих ідей

| Ситуація | Реакція | Лічильник |
|----------|---------|-----------|
| 30000200 | 0       | 1         |
| 12432300 | 3       | 3         |

Ситуація містить закодовану послідовність, що поступає з аналізатора у загальному виді, тобто при пошуку співпадінь замість нулів можуть бути будь-які значення.

Перша ситуація, що представлена у табл. 2.4 – «На тактильний аналізатор торсу не має ніякого впливу». Для цієї ситуації стандартна дія – 0 (описується далі). Друга ситуація: на зоровий аналізатор з високою інтенсивністю діє сигнал впливу (наприклад аплізія баче їжу); ступінь протидії організму низька (тобто аплізія зголодніла і готова до дій, щоб насититися); їжа знаходиться по центру зорового аналізатору; тривалість дії сигналу висока (тобто аплізія не втрачає їжу з поля зору); їжа знаходиться на середній відстані. Для цієї ситуації стандартна дія – 3 (описується далі).

Лічильник враховує скільки разів поспіль інтенсивність збудження була відносно невисокою.

Реакція організму (дія) на вхідний сигнал подразника містить код реакції, що описаний у базі знань реакції, фрагмент якої наведено у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Фрагмент бази знань реакцій організму

| № реакції | Дія              |
|-----------|------------------|
| 0         | Нічого не робити |
| 1         | Смикнуться       |
| 2         | Сховати вуса     |
| 3         | Підповзти        |

У таблиці 2.5 наведено приклад чотирьох реакцій морського зайця *Aplysia californica* (один з найбільших представників задньозябрових молюсків) на подразник.

У базі заборонених ідей  $D_{\text{під}f}$  зберігаються безумовні рефлекси, що забезпечують реакцію організму у ситуаціях зв'язаних з загрозою, тобто рефлекси, що відносяться до типу "біологічно негативні". У табл. 2.6 наведено приклад БР, що розміщуються у базі  $D_{\text{під}f}$ .

Таблиця 2.6 – Фрагмент бази заборонених ідей

| Ситуація | Реакція | Лічильник |
|----------|---------|-----------|
| 34000220 | 1       | 1         |
| 30000100 | 2       | 2         |

Наприклад, у другій ситуації (табл.2.6) будь-який вплив на область голови незалежно від інших характеристик стимулу призведе до того, що аплізія сховає вуса.

Приклад бази правил процесора, що обробляє збудження тактильного аналізатора наведено на рис. 2.2, де чорним позначено цифру, що кодує тип аналізатора, червоним – інтенсивність збудження, а синім – ступінь протидії збудженню.

Скидання лічильника, якщо:

3 1 ...

3 2 ...

Збільшення лічильника, якщо:

3 4 ...

3 5 ...

Стан лічильника для повної протидії:

$\geq 5$

Взаємозв'язок внутрішньої протидії та інтенсивності подразника:

3 1 1 ... - бездіяльність

3 2 1 ... - бездіяльність

3 3 1 ... - бездіяльність

3 4 1 ... - бездіяльність

3 5 1 ... - бездіяльність

3 1 2 ... - реакція

3 2 2 ... - бездіяльність

3 3 2 ... - бездіяльність

3 4 2 ... - бездіяльність

3 5 2 ... - бездіяльність

3 1 3 ... - реакція

3 2 3 ... - реакція

3 3 3 ... - бездіяльність

3 4 3 ... - бездіяльність

3 5 3 ... - бездіяльність

3 1 4 ... - реакція

3 2 4 ... - реакція

3 3 4 ... - реакція

3 4 4 ... - бездіяльність

3 5 4 ... - бездіяльність

3 1 5 ... - реакція

3 2 5 ... - реакція

3 3 5 ... - реакція

3 4 5 ... - реакція – якщо лічильник  $< 5$ , бездіяльність – якщо лічильник  $\geq 5$

3 5 5 ... - реакція – якщо лічильник  $< 5$ , бездіяльність – якщо лічильник  $\geq 5$

Рисунок 2.2 – База правил тактильного процесору

Отже, якщо збудження відносно мале – лічильник інкрементується, якщо відносно велике – скидається. Реакція не відбувається, якщо протидія дорівнює інтенсивності збудження. Реакція відбувається, якщо протидія менше ніж інтенсивність збудження, але не відбувається якщо значення лічильника більше п'яти. Таким чином реалізується звикання до збуджень низької інтенсивності.

Приклад роботи тактильного процесору морського зайця *Aplysia californica* з реакціями, описаними у табл. 2.5, наведено у табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Приклад роботи тактильного процесору

| Ситуація | Реакція | Лічильник(оновлений) |
|----------|---------|----------------------|
| 35133232 | 0       | 2                    |
| 35133232 | 0       | 3                    |
| 35133232 | 0       | 4                    |
| 35133232 | 0       | 5                    |
| 31533232 | 1       | 0                    |
| 35133232 | 1       | 1                    |
| 35533232 | 1       | 2                    |
| 35533232 | 1       | 3                    |
| 35533232 | 1       | 4                    |
| 35533232 | 1       | 5                    |
| 35533232 | 0       | 6                    |
| 35533132 | 2       | 4                    |
| 33533232 | 1       | 6                    |
| 33533232 | 1       | 6                    |

Шоста позиція у коду ситуації (табл. 2.7) – це частина тіла на яке здійснюється вплив («2» – торс, а «1» – голова).

З прикладу видно, що лічильник поступово збільшується, коли збудження відносно невелике, та скидається щойно відбувається максимальне збудження. Реакції не відбувається при низькому збудженні та при значенні лічильника рівному п'яти, або більше, тобто БУ згасає.

## **2.2 Розробка моделей програмного забезпечення**

Для моделювання бізнес-процесів та їм подібних процесів, аналізу, проектуванню та впровадженню програмних систем використовується Unified Modeling Language (UML) – стандартна мова візуального моделювання.

Таким чином, UML – це стандартна мова моделювання, а не процес розробки програмного забезпечення. Згідно специфікації UML 1.4.2 ця мова [16]:

- надає вказівки щодо порядку діяльності команди;
- вказує, які артефакти слід розробити;
- спрямовує завдання окремих розробників і команди в цілому;
- пропонує критерії для моніторингу та вимірювання продуктів і діяльності проекту.

Для формалізації програмного забезпечення, що розроблюється в даному комплексному проєкті, у межах даної пояснювальної записки буде розглянуто побудову діаграми класів (див. розділ 3) та діаграми активностей.

У пояснювальній записці Хорошайлової О.М. розглянуто побудову наступних моделей: діаграма прецедентів; діаграма послідовностей та діаграма станів.

UML моделює в основному три типи діаграм, а саме структурні діаграми, діаграми взаємодії та діаграми поведінки. Діаграма активності – це діаграма поведінки, тобто вона описує динамічні аспекти системи. У цій роботі діаграма активностей використовується для того, щоб проілюструвати потік управління в системі та звернутися до етапів виконання варіанта



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);

- перетворення параметрів стимулу у код та передача параметрів до алгоритму роботи;
- пошук рефлексу з відповідним стимулом у базі знань;
- визначення реакції;
- передача даних щодо реакції до інтерфейсу;
- виведення даних щодо реакції інтерфейсом;
- перехід на дію «Користувач отримує дані щодо реакції».

Тепер розглянемо послідовність дій користувача для випадку вибору умовних рефлексів:

- користувач задає параметри першого та другого стимулів, 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;
- перетворення параметрів стимулу у код та передача параметрів до алгоритму роботи.

Далі, у залежності від другого стимулу, обирається подальший алгоритм обробки. Розглянемо послідовність дій для випадку, коли обидва стимули – безумовні:

- пошук відповідних рефлексів у базі знань;
- визначення більш пріоритетного рефлексу;
- визначення реакції;
- передача даних щодо реакції до інтерфейсу;
- перехід на дію «Виведення інтерфейсом даних щодо реакції».

Розглянемо послідовність дій для випадку, коли є умовний та безумовний стимули. Спочатку відбувається пошук відповідних рефлексів у базі ситуацій. У випадку, коли збіг знайдено, виконуються наступні дії:

- внесення змін до бази ситуацій в залежності від отриманих параметрів;
- визначення реакції з урахуванням внесених змін;
- передача даних щодо реакції до інтерфейсу;
- перехід на дію «Виведення інтерфейсом даних щодо реакції».

У випадку, коли збіг не знайдено, виконуються наступні дії:

- внесення до бази ситуацій нового рефлексу;
- передача даних щодо реакції до інтерфейсу (реакція відсутня);
- перехід на дію «Виведення інтерфейсом даних щодо реакції».

Таким чином, користувач отримує дані щодо реакції організму на стимули.

## **2.3 Висновки до другого розділу**

У даному розділі було розроблено модель процесу придбання та згасання БР тваринами. Ця модель базується на моделі Хреннікова [13].

Модель, що розроблена, на відміну від попередньої, має засоби для урахування ефекту накопичення впливів на організм, а також згасання вже придбаного БР у разі відсутності його підтвердження протягом деякого часу. Безумовні рефлекси фіксуються у базі цікавих та заборонених ідей підсвідомості.

Для формалізації програмного забезпечення застосунку, в рамках даної роботи було розроблено модель у вигляді UML-діаграми - діаграму активностей, що описує потік управління в системі.

## 3 ОСНОВНІ РІШЕННЯ З РЕАЛІЗАЦІЇ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ

Згідно до технічного завдання (див. п.1.3.4) для розробки програмного застосунку слід використовувати мову об'єктно-орієнтованого програмування C++ та середовище розробки QT Creator 5.4.2.

В даному розділі пояснювальної записки розглянуто проєктування програмного забезпечення, яке в рамках комплексної роботи по автоматизації діяльності дослідника когнітивної поведінки тварин забезпечує проведення експериментів з застосуванням БР та моделювання їх згасання, а також розробка інтерфейсу користувача для роботи з БР.

Проєктування іншої частини програмної системи, що автоматизує діяльність дослідника під час експериментів щодо умовних рефлексів, розглянуто у пояснювальній записці Хорошайлової О.М.

### 3.1 Розробка ієрархії класів

При моделюванні об'єктно-орієнтованих систем широко використовуються діаграми класів, оскільки вони є єдиними UML-діаграмами, які можна відображати безпосередньо за допомогою об'єктно-орієнтованих мов. Діаграма класів є статичним представленням програми. Вона описує атрибути та операції класу, а також обмеження, що накладаються на систему.

Діаграма класів застосунку представлена на рис. 3.1. У межах даної дипломної роботи було розроблено класи, контури яких виділені товщиною лінії.

Змінні класів Knowledge та InformationStatus є складовими для класу Unconditional (відношення агрегації), тому ці класи зв'язані відношенням агрегації, або іншими словами відношенням «частина-ціле».

Клас `InformationStatus` призначений для зберігання стимулу (безумовного або умовного) у вигляді послідовного коду у  $p$ -адичній системі. Функції класу наведені в табл. 3.1.

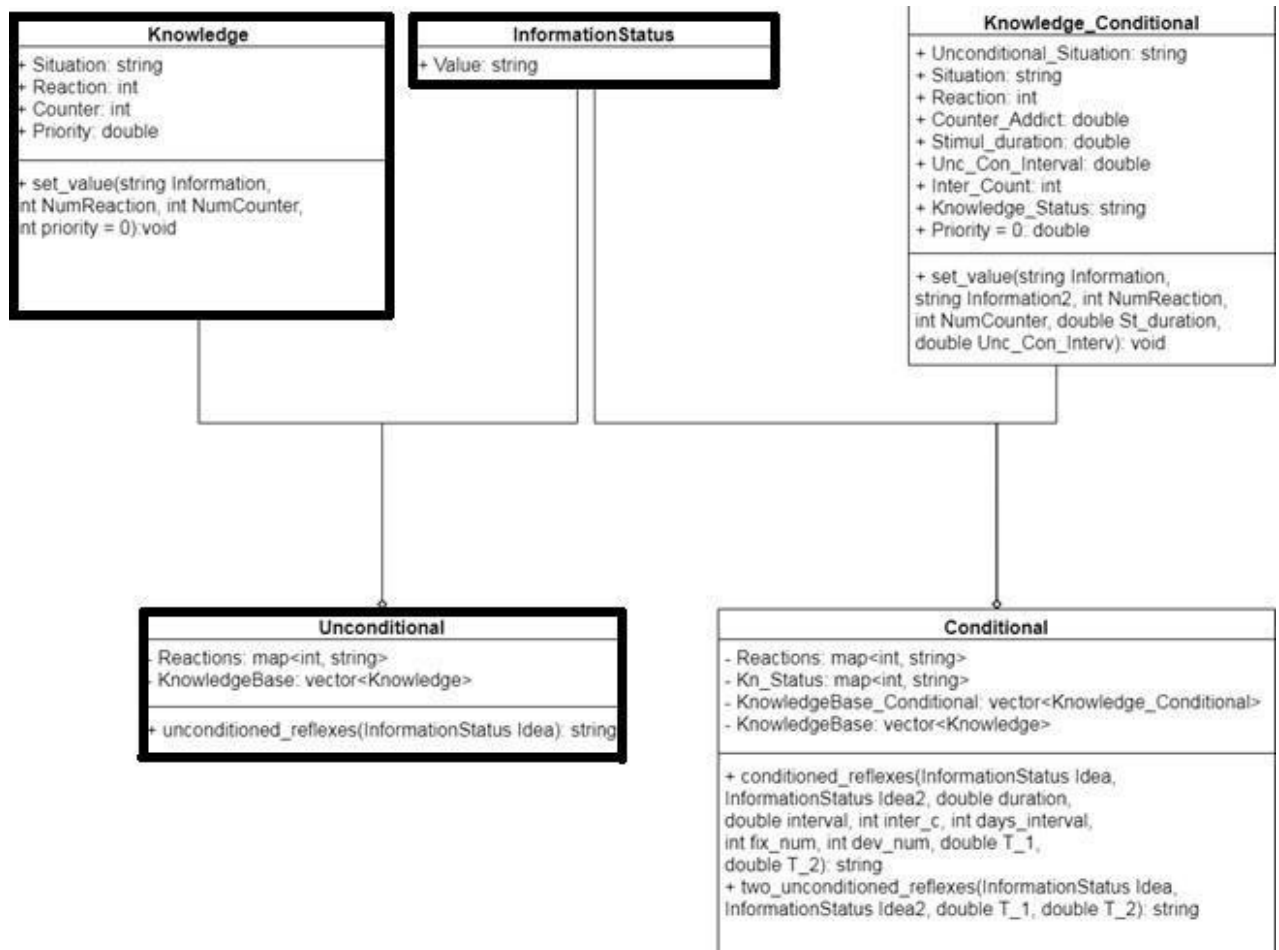


Рисунок 3.1 – Діаграма класів застосунку

Таблиця 3.1 – Опис класу `InformationStatus`

| Поля та методи класу                               | Опис                                  |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>public:</b>                                     |                                       |
| <code>InformationStatus(string Information)</code> | Конструктор, до якого передається код |
| <code>String Value</code>                          | Рядок, я кому зберігається код        |

Клас `Unconditional` призначений для збереження бази цікавих та заборонених ідей та роботи з ними. Опис функцій класу наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Опис класу `Unconditional`

| Поля та методи класу                                                | Опис                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| <b><i>public:</i></b>                                               |                                                                                        |
| <code>Unconditional()</code>                                        | Конструктор                                                                            |
| <code>string unconditioned_reflexes(InformationStatus Idea);</code> | Функція, що виконує основний алгоритм з аналізу стимулу та повернення реакції на нього |
| <b><i>private:</i></b>                                              |                                                                                        |
| <code>map&lt;int, string&gt; Reactions</code>                       | Всі можливі реакції на стимули                                                         |
| <code>vector&lt;Knowledge&gt; KnowledgeBase</code>                  | База цікавих та заборонених ідей                                                       |

Клас `Knowledge` призначений для зберігання даних щодо безумовних стимулів (коду, реакції, лічильнику, пріоритету). Поля та методи класу наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Клас `Knowledge`

| Поля та методи класу                                                                                | Опис                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <b><i>public:</i></b>                                                                               |                                                              |
| <code>Void set_value( string Information, int NumReaction, int NumCounter, int priority = 0)</code> | Конструктор, до якого передаються всі характеристики стимулу |
| <code>string Situation</code>                                                                       | Код ситуації                                                 |
| <code>int Reaction</code>                                                                           | Код реакції (у базі ідей)                                    |
| <code>int Counter</code>                                                                            | Лічильник звикання                                           |
| <code>double Priority</code>                                                                        | Пріоритет                                                    |

### 3.2 Розробка інтерфейсу користувача для роботи з безумовними рефлексами

Програмний застосунок складається з трьох форм:

- початкової форми, що надає доступ до інших компонентів системи;
- форми роботи з безумовними рефлексами;
- форми роботи з умовними рефлексами.

Особливості проєктування перших двох форм розглядається у даній пояснювальній записці, а у пояснювальній записці Хорошайлової О.М. розглянуто реалізацію третьої форми – форми роботи з умовними рефлексами (рис. 3.2).

Вибір елементів керування проводиться відповідно до активностей користувача на формі. Таким чином, на початковій формі необхідно розмістити дві кнопки, натискаючи на котрі користувач переходить по іншим формам. Розроблений дизайн форми представлено на рис. 3.2.

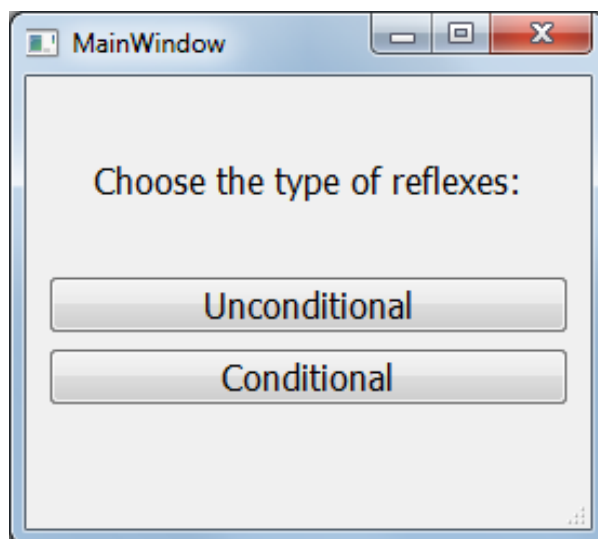


Рисунок 3.2 – Головна форма застосунку

При проєктуванні форми роботи з безумовними рефлексами (рис. 3.3) були використані наступні елементи керування:

- випадальні списки (для вибору параметрів стимулу – аналізатор, інтенсивність, протидія, місце впливу, тривалість, відстань до об'єкту, частота звуку, частина тіла, температура, площа впливу);
- кнопка (для запуску алгоритму);
- текстове поле (для виведення інформації щодо реакції).

Для зручності роботи на формі також знаходяться ілюстрація аплізії та код стимулу.

The image shows a software window titled "Dialog" with the following elements:

- Parameters section:**
  - Analyzer: Tactile
  - Intensity: Very low
  - Counteraction: Very low
  - Place: From below
  - Duration: Very low
  - Distance: Very close
  - Sound frequency: < 64 Hz
  - Part of the body: Back
  - Temperature: Very low
  - Area: Small
- Action and Code:**
  - Act: [Button]
  - Code: 20000200
- Reaction and Diagram:**
  - Reaction: Nothing to do Counter = 0
  - Diagram: A snail with labels for Back, Tail, Head, Leg, and Torso.

Рисунок 3.3 – Форма для роботи з безумовними рефlekсами

Слід зазначити, що з метою більш звичного представлення інформації користувачу, у інтерфейсі значення випадальних списків для характеристик «Ступінь протидії», «Температура» (рис. 3.4) та «Інтенсивність» представлені у зростаючому порядку (на відміну від значень, що представлені у табл. 2.3). Нумерацію позицій *p*-адичних чисел прийнято з «0».

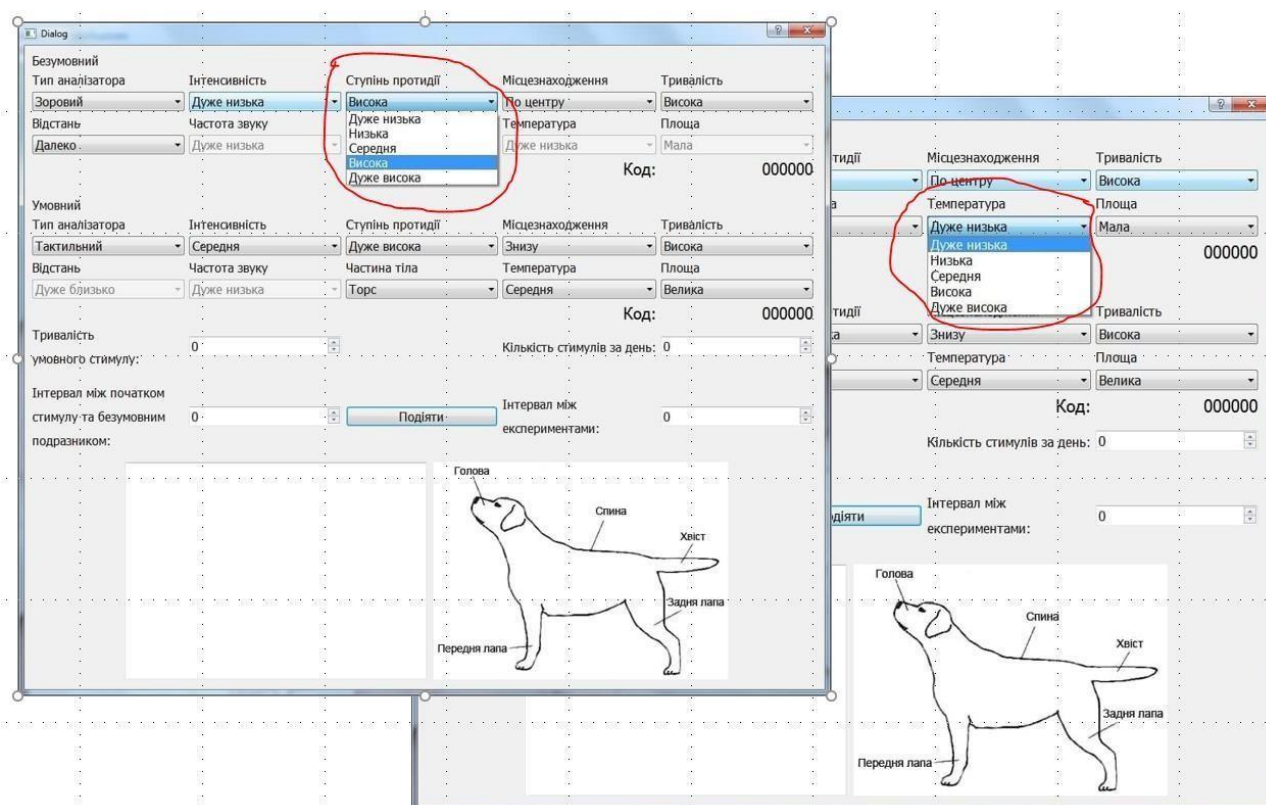


Рисунок 3.4 – Представлення інформації у випадаяючих списках

Програмний код розроблених класів, а також код для форми проведення експериментів з аплізією наведені у додатку А.

Інші файли, що складають комплексний проєкт наведені у пояснювальній записці Хорошайлової О.М.

### 3.3 Висновки до третього розділу

У даному розділі розглянуто основні рішення щодо реалізації тієї частини системи, що відповідає за роботу дослідника з безумовними рефlekсами. Було розглянуто модель програмного забезпечення застосунку у вигляді діаграми класів, яка є статичним представленням програми.

У табличному виді представлено опис кожного класу, що реалізований у межах даної роботи.

Також розглянуто розробку інтерфейсу користувача для роботи з безумовними рефlekсами. Він складається із двох форм.

За допомогою цих форми дослідник може запустити процес моделювання, отримати результати моделювання та виконати наступні налаштування параметрів стимулу: аналізатор; інтенсивність; протидія; місце впливу; тривалість; відстань до об'єкту; частота звуку; частина тіла; температура та площа впливу.

## 4 ЕКСПЛУАТАЦІЯ, ТЕСТУВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРАМИ

### 4.1 Приклад моделювання безумовних рефлексів

Для коректного функціонування розробленого застосунку необхідна версія ОС Windows 7 або вище.

Для запуску програмного застосунку необхідно скомпілювати та запустити програмне забезпечення у середовищі розробки Qt Creator 5.4.2. Програма не потребує та не підтримує виклик з додатковими аргументами з командного рядка.

Після запуску програми оператор (дослідник) потрапляє на її головну форму (рис. 3.2). Знаходячись на головній формі він може:

- перейти у режим роботи з безумовними рефлексами;
- перейти у режим роботи з умовними рефлексами.

Перейшовши на форму роботи з безумовними рефлексами (рис. 3.3) (після натискання кнопки «Unconditional»), дослідник може задати значення параметрів стимулу та почати алгоритм моделювання, натиснувши кнопку «Act».

Після натискання кнопки «Act» у текстовому полі відобразиться інформація щодо реакції організму на стимул подразника.

На рис. 3.3 наведено приклад роботи з безумовними рефлексами. Можна побачити реакцію на стимул з кодом 20000200 (тактильний аналізатор, дуже низька інтенсивність, дуже низька протидія, місце впливу – зправа, дуже мала тривалість взаємодії, частина тіла – спина, дуже низька температура, дуже мала площа). У даному випадку реакція – «Не робити нічого» (Nothing to do) з лічильником 0. Це реакція морського зайця *Aplysia californica* на стимул такого типу у відповідності з базою реакцій організму (табл. 2.5). Значення лічильнику «0» показує, що у такій ситуації аплізія перебуває вперше.

Розглянемо реакцію на ситуацію, що описується кодом 240220121 (рис. 4.1)

Рисунок 4.1 – Моделювання ситуації з кодом 240220121

Опис закодованої ситуації (нумерація позицій *p*-адичних чисел прийнято з «0»): аналізатор тактильний, дуже низька інтенсивність, вплив на корпус (центровано), середня тривалість сигналу стимулу, не електричний вплив, середня температура, середня площа взаємодії, дуже низька ступінь протидії.

Поведінка аплізії згідно результатів моделювання: Відсутність реакції (Nothing to do) при будь-якій кількості впливів (у даному випадку уже було 2 впливи – Counter=2). Але інтенсивність стимулу була недостатньо сильною для реакції.

Розглянемо реакція на іншу ситуацію. Ситуація описується кодом 204220121, тобто: аналізатор тактильний, дуже висока інтенсивність, вплив на корпус (центровано), середня тривалість сигналу стимулу, не електричний вплив, середня температура, середня площа взаємодії, дуже висока ступінь протидії.

Поведінка аплізії згідно результатів моделювання: Аплізія сіпається (To twitch), лічильник впливів залишається на нулі. Інтенсивність впливу занадто висока, тож реакція не зникає.

Розглянемо моделювання ситуації, коли на аплізію постійно діє подразник невеликої інтенсивності. Код такої ситуації 244220121 (рис. 4.2): аналізатор тактильний, дуже низька інтенсивність, вплив на корпус (центровано), середня тривалість сигналу стимулу, не електричний вплив, середня температура, середня площа взаємодії, дуже висока ступінь протидії.

Dialog

**Unconditional**

| Analyzer | Intensity | Point    | Duration | Distance   |
|----------|-----------|----------|----------|------------|
| Tactile  | Very low  | Centered | Average  | Very close |

| Sound frequency | Amperage | Part of the body | Temperature | Area   |
|-----------------|----------|------------------|-------------|--------|
| < 64 Hz         | 0 A      | Torso            | Average     | Medium |

Counteraction: Very high

Code: 244220121

☐ Conditional ☒ Unconditional

| Analyzer | Intensity | Point    | Duration | Distance         |
|----------|-----------|----------|----------|------------------|
| Tactile  | Average   | Centered | Average  | Average distance |

| Sound frequency | Amperage | Part of the body | Temperature | Area  |
|-----------------|----------|------------------|-------------|-------|
| < 64 Hz         | 5 mA     | Tail             | Average     | Small |

Code: 000000

Duration of conditional stimulus: 2

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

The number of repetitions for fixation: 50

Consistency threshold: 1,00

Number of stimuli per day: 1

Interval between experiments: 0,02

The number of repetitions for development: 99

Physical realization threshold: 1,00

Act

Reaction: To twitch Counter = 1

Reaction: To twitch Counter = 2

Reaction: To twitch Counter = 3

Reaction: To twitch Counter = 4

Reaction: To twitch Counter = 5

Reaction: Nothing to do Counter = 6

Reaction: Nothing to do Counter = 7

Diagram labels: Back, Tail, Leg, Torso, Head

Рисунок 4.2 – Моделювання ситуації з кодом 244220121

Поведінка аплізії згідно результатів моделювання: до п'яти впливів реакція – сіпання (To twitch), після шостого впливу реакція відсутня (Nothing to do) тому що аплізія звикла до слабого подразника.

Змінемо місце впливу на аплізію – будемо здійснювати вплив на голову. Код ситуації 244220021 (рис. 4.3): аналізатор тактильний, дуже низька інтенсивність, вплив на голову (центровано), середня тривалість сигналу стимулу, не електричний вплив, середня температура, середня площа взаємодії, дуже висока ступінь протидії.

Поведінка аплізії згідно результатів моделювання: до п'яти впливів реакція – сховати вусики (Hide mustache), після шостого впливу реакція відсутня (аплізія звикла до слабого подразника).

Dialog

**Unconditional**

|                 |           |                  |             |            |
|-----------------|-----------|------------------|-------------|------------|
| Analyzer        | Intensity | Point            | Duration    | Distance   |
| Tactile         | Very low  | Centered         | Average     | Very close |
| Sound frequency | Amperage  | Part of the body | Temperature | Area       |
| < 64 Hz         | 0 A       | Head             | Average     | Medium     |

Counteraction: Very high

Code: 244220021

☐ Conditional ☒ Unconditional

|                 |           |                  |             |                  |
|-----------------|-----------|------------------|-------------|------------------|
| Analyzer        | Intensity | Point            | Duration    | Distance         |
| Tactile         | Average   | Centered         | Average     | Average distance |
| Sound frequency | Amperage  | Part of the body | Temperature | Area             |
| < 64 Hz         | 5 mA      | Tail             | Average     | Small            |

Code: 000000

Duration of conditional stimulus: 2

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

The number of repetitions for fixation: 50

Consistency threshold: 1,00

Number of stimuli per day: 1

Interval between experiments: 0,02

The number of repetitions for development: 99

Physical realization threshold: 1,00

Act

Reaction: Hide mustache Counter = 4

Reaction: Hide mustache Counter = 5

Reaction: Nothing to do Counter = 6

Reaction: Nothing to do Counter = 7

Diagram labels: Back, Tail, Leg, Torso, Head

Рисунок 4.3 – Моделювання ситуації з впливом на голову аплізії

Розглянемо моделювання ситуації коли інтенсивність стимулу замала для звикання, але достатня для підтримки реакції піддослідного організму, тобто на момент проведення експерименту  $\text{Counter} = \text{Counter}(\text{попередній})$ , а реакція на подразник була  $\text{Reaction} = \text{To twitch}$  (сіпання).

Нехай код ситуації буде 224220121 (рис. 4.4): аналізатор тактильний, середня інтенсивність, вплив на корпус (центровано), середня тривалість сигналу стимулу, не електричний вплив, середня температура, середня площа взаємодії, дуже висока ступінь протидії.

Поведінка аплізії згідно результатів моделювання: реакція – сіпання, лічильник впливів не змінюється.

**Dialog**

**Unconditional**

| Analyzer | Intensity | Point    | Duration | Distance   |
|----------|-----------|----------|----------|------------|
| Tactile  | Average   | Centered | Average  | Very close |

| Sound frequency | Amperage | Part of the body | Temperature | Area   |
|-----------------|----------|------------------|-------------|--------|
| < 64 Hz         | 0 A      | Torso            | Average     | Medium |

Counteraction: Very high

Code: 224220121

☐ Conditional ☒ Unconditional

| Analyzer | Intensity | Point    | Duration | Distance         |
|----------|-----------|----------|----------|------------------|
| Tactile  | Average   | Centered | Average  | Average distance |

| Sound frequency | Amperage | Part of the body | Temperature | Area  |
|-----------------|----------|------------------|-------------|-------|
| < 64 Hz         | 5 mA     | Tail             | Average     | Small |

Code: 000000

Duration of conditional stimulus: 2

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

The number of repetitions for fixation: 50

Consistency threshold: 1,00

Number of stimuli per day: 1

Interval between experiments: 0,02

The number of repetitions for development: 99

Physical realization threshold: 1,00

Act

Reaction: To twitch Counter = 1  
Reaction: To twitch Counter = 1  
Reaction: To twitch Counter = 1

Diagram labels: Back, Tail, Leg, Torso, Head

Рисунок 4.4 – Моделювання ситуації з кодом 224220121

## **4.2 Висновки до четвертого розділу**

У даному розділі представлено процес проведення дослідником імітаційних експериментів з аплізією. Продемонстровано моделювання процесів як придбання безумовних рефлексів аплізії так і їх згасання у різних ситуаціях, що досліджувались.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання комплексної дипломної кваліфікаційної роботи магістра у межах даної роботи було виконано наступні задачі:

- розглянуто механізм утворення безумовних рефлексів (на нейронному рівні процесів функціонування нервової системи);
- розглянуто *i*-моделі та М-мережі, за допомогою яких формалізують розумову діяльність;
- розглянуто моделі динаміки мислення, та обрано для подальшого розвитку модель підсвідомості Хреннікова, що базується на р-адичному представленні інформації;
- розроблено технічне завдання на комплексний проєкт;
- розроблено модель безумовного рефлексу (удосконалено модель Хреннікова);
- розроблено моделі програмного забезпечення для автоматизації діяльності дослідника розумової діяльності тварин (діаграма класів та діаграма активностей);
- розроблено програмне та інформаційне забезпечення компонентів системи, що автоматизує діяльність дослідника БР;
- перевірено адекватність моделі на якій базується розроблене програмне забезпечення на прикладі моделювання безумовних рефлексів та їх згасання у черевоногої тварини – морського зайця *Aplysia californica*.

Наукова новизна результатів дослідження полягає у тому, що дістала подальшого розвитку відома модель процесів мислення Хреннікова. Модель, що розроблена, на відміну від попередньої, має засоби для урахування ефекту накопичення зовнішніх впливів на організм, а також згасання вже придбаного БР у разі відсутності його підтвердження протягом деякого часу. Розроблено бази цікавих та заборонених ідей підсвідомості для зберігання безумовних рефлексів. Біологічно позитивні рефлекси формально описуються у вигляді

*p*-адичних чисел і зберігаються у базі цікавих ідей. Біологічно негативні рефлекси зберігаються у базі заборонених ідей.

Практична цінність комплексної роботи полягає в тому, що на підставі проведених досліджень розроблено програмне та інформаційне забезпечення, що забезпечують підвищення ефективності діяльності дослідника вищих когнітивних функцій тварин.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Reflex [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.britannica.com/science/reflex-physiology>.
2. Prosser, C. The extinction of startle responses and spinal reflexes in the white rat / C. Prosser, W. S. Hunter // *Journal of Experimental Psychology*. – 1941. – Vol. 29(6). – P. 609–618.
3. Coombs, C. H. Adaptation of the galvanic response to auditory stimuli / C. H. Coombs // *Journal of Experimental Psychology*. – 1938. – Vol. 22(3). P. 244–268.
4. APA PsycInfo [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.apa.org/pubs/databases/psycinfo>.
5. Зорина, З. А., Полетаева И. И. Зоопсихология. Элементарное мышление животных: Учебное пособие / З. А. Зорина, И. И. Полетаева. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 320 с.
6. Johnson, M. Brain Development and Cognition: A Reader / M. Johnson, Y. Munakata, R. Gilmore. – Oxford: Wiley-Blackwell, 2008. – 560 p.
7. Шумилов, В. Н. Принципы функционирования мозга / В. Н. Шумилов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2015. – 188 с.
8. Hofman, M. Plasticity in the Adult Brain: From Genes to Neurotherapy./ [M. Hofman, G. Boer, E. Someren etc.]. – London: Elsevier Science, 2002. – 496 p.
9. Syryamkin, V. I. A mechanism for the formation of unconditioned reflexes / V. I. Syryamkin, V. N. Shumilov // *Cognitive Robotics : III International conference, Tomsk, 22–24 November, 2018: proceedings*. – Tomsk: IOP, 2019. – P. 241–245.
10. Хренников, А. Ю. Моделирование процессов мышления в радических системах координат / А. Ю. Хренников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 296 с.
11. Farley, B. Simulation of Self-Organized Systems by Digital

Computer / B. Farley, W.A. Clark // Computer Science. – 1964. –Vol. 4. – P. 76–79.

12. Яковлев, Г. Н. Функциональные пространства / Г. Н. Яковлев. – М.: МФТИ, 2000. – 128 с.

13. Baumanns, V. Use of animals in experimental research: an ethical dilemma? / V. Baumanns // Gene Therapy. – 2004. –Vol. 11. – P. 64–66.

14. Experimenting on animals [Electronic resource]. – Access mode: [https://www.bbc.co.uk/ethics/animals/using/experiments\\_1.shtml](https://www.bbc.co.uk/ethics/animals/using/experiments_1.shtml).

15. The Unified Modeling Language [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.uml-diagrams.org/>.

**ДОДАТОК А**  
**Текст програми**

## A.1 Текст розробленого застосунку

### A.1.1 Файл unconditional.cpp

```
#include "unconditional.h"

Unconditional::Unconditional()
{
    Knowledge NewKnowledge1;
    NewKnowledge1.set_value("2xxxx01xx", 1, 1);
    KnowledgeBase.push_back(NewKnowledge1);
    Knowledge NewKnowledge2;
    NewKnowledge2.set_value("2xxxx00xx", 2, 3);
    KnowledgeBase.push_back(NewKnowledge2);

    Reactions[0] = "Nothing to do";
    Reactions[1] = "To twitch ";
    Reactions[2] = "Hide mustache";
}

string Unconditional::unconditioned_reflexes(InformationStatus Idea)
{
    for(int i = 0; i < int(KnowledgeBase.size()); ++i)
    {
        bool IsIdentify = true;
        for(int j = 0; j < int(KnowledgeBase[i].Situation.size()); ++j)
        {
            if(KnowledgeBase[i].Situation[j] != 'x' && KnowledgeBase[i].Situation[j]
            != Idea.Value[StartPoint+j])
            {
                IsIdentify = false;
                break;
            }
        }
        if(IsIdentify) // Rules
        {
            if(Idea.Value[StartPoint+IDIntensity] >= '3')
                KnowledgeBase[i].Counter++;
            if(Idea.Value[StartPoint+IDIntensity] <= '1') KnowledgeBase[i].Counter =
            0;
            if(KnowledgeBase[i].Counter > 5)
            {
                return ("Reaction: " + Reactions[0] + "    Counter = " +
                to_string(KnowledgeBase[i].Counter) + '\n');
            }
            else
            {
                if(Idea.Value[StartPoint+IDIntensity] <
                Idea.Value[StartPoint+IDCounteraction] || (Idea.Value[StartPoint+IDIntensity]
                == '4' && Idea.Value[StartPoint+IDCounteraction] == '4'))
                {
                    return ("Reaction: " + Reactions[KnowledgeBase[i].Reaction] + "
                    Counter = " + to_string(KnowledgeBase[i].Counter) + '\n');
                }
                else
                {
                    return ("Reaction: " + Reactions[0] + "    Counter = " +
                    to_string(KnowledgeBase[i].Counter) + '\n');
                }
            }
        }
    }
}
```

```

    }
    return "Not identified\n";
}

```

### A.1.2 Файл mainwindow.cpp

```

#include "mainwindow.h"
#include "ui_mainwindow.h"
#include "unconditional.h"

MainWindow::MainWindow(QWidget *parent)
    : QMainWindow(parent)
    , ui(new Ui::MainWindow)
{
    ui->setupUi(this);
}
MainWindow::~MainWindow()
{
    delete ui;
}
void MainWindow::on_Unconditional_clicked()
{
    Snail *s = new Snail();
    s->show();
    this->close();
}
void MainWindow::on_Conditional_clicked()
{
    Dog *d = new Dog();
    d->show();
    this->close();
}

```

### A.1.3 Файл snail.cpp

```

#include "snail.h"
#include "ui_snail.h"
#include "unconditional.h"
#include <QDir>

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

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

    ui->pic_label->setPixmap(myPixmap);
    ui->cond_rbtn->setChecked(true);
}

Snail::~Snail()
{

```

```

        delete ui;
    }

void Snail::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);
        ui->Amperage->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);
            ui->Amperage->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);
            ui->Amperage->setEnabled(false);
        }
    else
    {
        ui->Distance->setEnabled(false);
        ui->Frequency->setEnabled(false);
        ui->Body_part->setEnabled(true);
        ui->Temperature->setEnabled(true);
        ui->Square->setEnabled(true);
        ui->Amperage->setEnabled(true);
    }
}

void Snail::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);
        ui->Amperage_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);
        ui->Amperage_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);
            ui->Amperage_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);
            ui->Amperage_2->setEnabled(true);
        }
    }
}

void Snail::on_Act_clicked()
{
    if (ui->unc_rbtn->isChecked())
    {
        string code;
        if( ui->Analyzer->currentIndex() == 0 )
            code = "---";
        else
        {
            code = to_string(ui->Analyzer->currentIndex()-1)+to_string(4-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->Amperage->currentIndex());
                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);
        string reaction = unc.unconditioned_reflexes(Idea);
        ui->Reactions_log->append(QString::fromStdString(reaction));
    }
    else
    {
        string code;
        if( ui->Analyzer->currentIndex() == 0 )

```

```

        code = "---";
    else
    {
        code = to_string(ui->Analyzer->currentIndex()-1)+to_string(ui-
>Intensity->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->Amperage->currentIndex());
            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);

    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->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->Amperage_2->currentIndex());
            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);

    string reaction = cond.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));
}
}

void Snail::on_unc_rbtn_clicked()
{
    ui->Counteraction->setEnabled(true);
}

```

```

    ui->Analyzer_2->setEnabled(false);
    ui->Intensity_2->setEnabled(false);
    ui->Place_2->setEnabled(false);
    ui->Duration_2->setEnabled(false);
    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);
    ui->Amperage_2->setEnabled(false);
}

void Snail::on_cond_rbtn_clicked()
{
    ui->Counteraction->setEnabled(false);
    ui->Analyzer_2->setEnabled(true);
    ui->Intensity_2->setEnabled(true);
    ui->Place_2->setEnabled(true);
    ui->Duration_2->setEnabled(true);
    QString arg1 = ui->Analyzer_2->currentText();
    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);
        ui->Amperage_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);
            ui->Amperage_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);
            ui->Amperage_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);
        ui->Amperage_2->setEnabled(true);
    }
}
}

```

### **A.1.4 Файл main.cpp**

```
#include "mainwindow.h"
#include <QApplication>
int main(int argc, char *argv[])
{
    QApplication a(argc, argv);
    MainWindow w;
    w.show();
    return a.exec();
}
```

**ДОДАТОК Б**  
**Копії слайдів презентації**

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗУМОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ: МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗУМОВНИХ РЕФЛЕКСІВ

РОЗРОБИЛА: ст. групи КНТ-220м

Горшкова 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 та згасання безумовних рефлексів (БР) тварин.
- **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 механізм утворення безумовних рефлексів;
- розглянути існуючі моделі розумової діяльності;
- розглянути моделі динаміки мислення;
- розглянути існуючі моделі підсвідомості;
- розробити технічне завдання на комплексний проєкт;
- розробити модель безумовного рефлексу;
- розробити моделі програмного забезпечення для автоматизації діяльності дослідника розумової діяльності тварин;
- розробити програмне та інформаційне забезпечення компонентів системи, що автоматизує діяльність дослідника;
- перевірити адекватність моделі на якій базується розроблене програмне забезпечення на прикладі моделювання безумовних рефлексів та їх згасання.

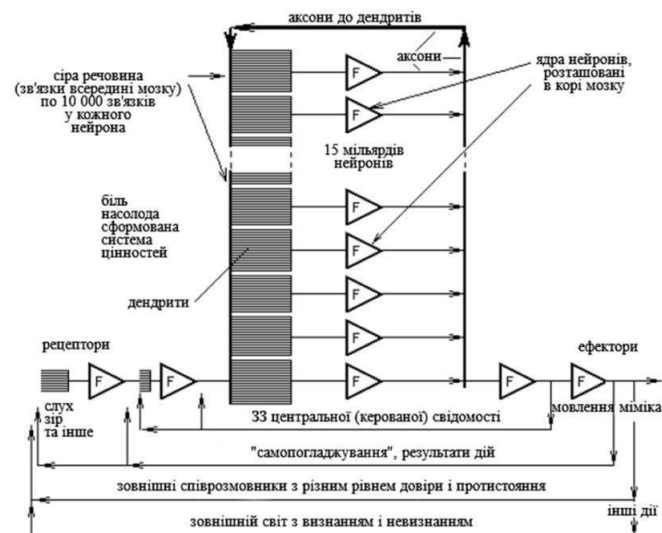


НУ "ЗП", Кафедра програмних засобів

3

Рисунок Б.3 – Слайд №3

## Електрична принципова схема мозку



Шумилов, В.Н. Принципы функционирования мозга / В.Н. Шумилов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2015. – 188 с.

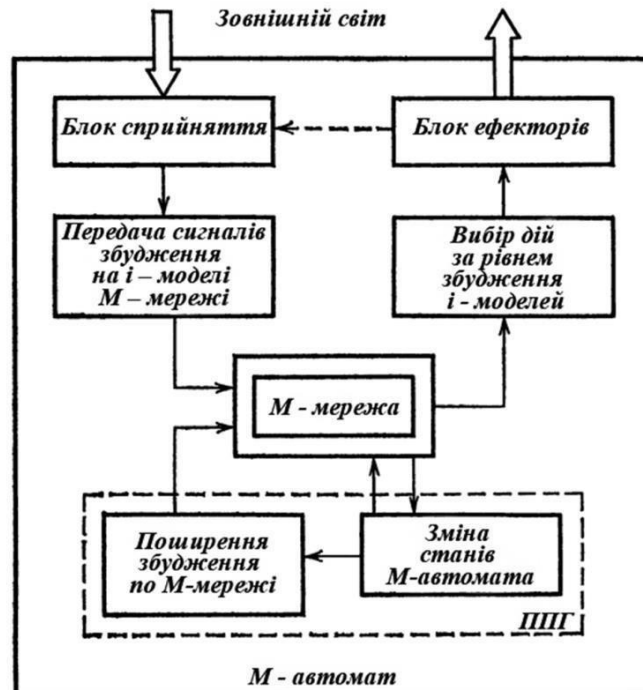


НУ "ЗП", Кафедра програмних засобів

4

Рисунок Б.4 – Слайд №4

## Структурна схема М-автомата



Гаазе-Рапопорт, М.Г. От амёбы до робота: модели поведения / М.Г. Гаазе-Рапопорт, Поспелов Д.А. – М: Либроком, 2015. – 296 с.



НУ "ЗП", Кафедра програмних засобів

5

Рисунок Б.5 – Слайд №5

## Ультраметрична метрика

**Аксиома посиленої нерівності трикутника:**

$$\rho(x, y) \leq \max[\rho(x, z), \rho(z, y)], x, y, z \in X$$

**Відстань між  $x$  та  $y$  в ультраметричному просторі:**

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

**Приклад**

Нехай  $m = 3$ , а  $x = (0, 1, 0, 1, \dots)$  і  $y = (0, 1, 0, 0, \dots)$

Тоді значення  $k = 3$  (кількість позицій в  $x$  та  $y$ , що співпадають)

Отже відстань між  $x$  та  $y$ :  $\rho_3(x, y) = 1/27$ .

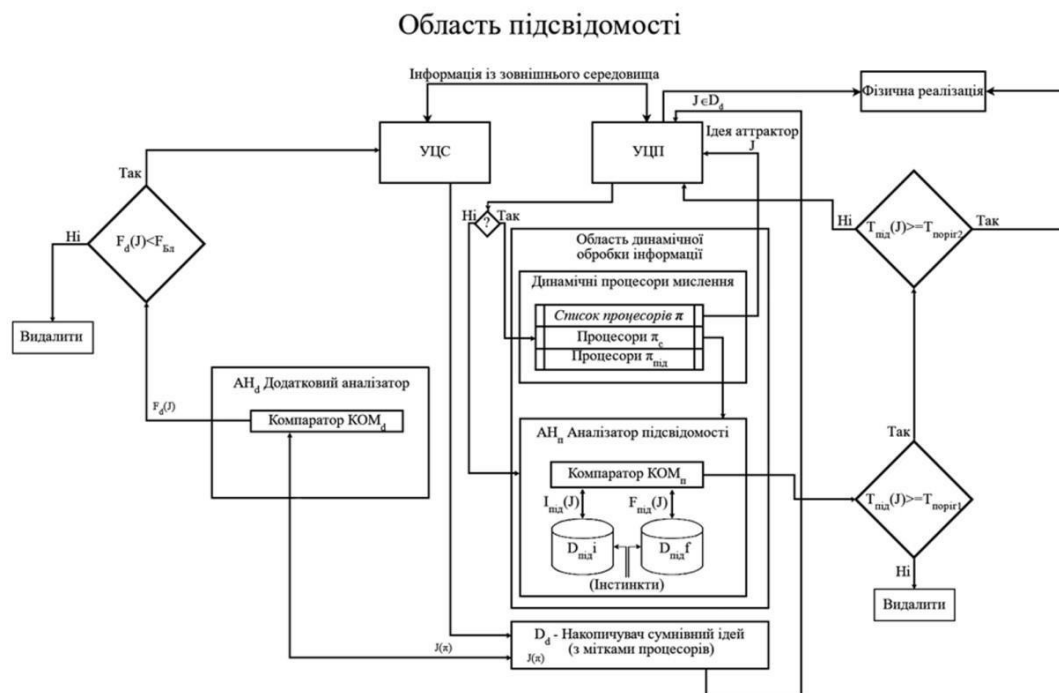


НУ "ЗП", Кафедра програмних засобів

6

Рисунок Б.6 – Слайд №6

## Модель області підсвідомості



НУ "ЗП", Кафедра програмних засобів

7

Рисунок Б.7 – Слайд №7

## Кодування інформації для слухового аналізатора

| Код | Тип аналізатора | Інтенсивність | Ступінь протидії | Місцевна-ходження | Тривалість  | Частота сигналу | Відстань          |
|-----|-----------------|---------------|------------------|-------------------|-------------|-----------------|-------------------|
| 1   |                 | дуже висока   | дуже висока      | справа            | дуже висока | дуже висока     | дуже далеко       |
| 2   | слуховий        | висока        | висока           | зліва             | висока      | висока          | далеко            |
| 3   |                 | середня       | середня          | по центру         | середня     | середня         | середня дальність |
| 4   |                 | низька        | низька           | зверху            | низька      | низька          | близько           |
| 5   |                 | дуже низька   | дуже низька      | знизу             | дуже низька | дуже низька     | дуже близько      |

Код для опису інформації: **2134252**



НУ "ЗП", Кафедра програмних засобів

8

Рисунок Б.8 – Слайд №8

## Представлення безумовних рефлексів у інформаційній базі істоти

Фрагмент бази цікавих ідей

| Ситуація | Реакція | Лічильник |
|----------|---------|-----------|
| 30000200 | 0       | 1         |
| 12432300 | 3       | 3         |

Фрагмент бази заборонених ідей

| Ситуація | Реакція | Лічильник |
|----------|---------|-----------|
| 34000220 | 1       | 1         |
| 30000100 | 2       | 2         |

Фрагмент бази знань реакцій організму

| № реакції | Дія              |
|-----------|------------------|
| 0         | Нічого не робити |
| 1         | Смикнуться       |
| 2         | Сховати вуса     |
| 3         | Підповзти        |



НУ "ЗП", Кафедра програмних засобів

9

Рисунок Б.9 – Слайд №9

## Фрагмент бази правил тактильного процесору

Скидання лічильника, якщо:

3 1 ...

3 2 ...

Збільшення лічильника, якщо:

3 4 ...

3 5 ...

Стан лічильника для повної протидії:

>=5

Взаємозв'язок внутрішньої протидії та інтенсивності подразника:

3 1 1 ... - бездіяльність

3 2 1 ... - бездіяльність

3 3 1 ... - бездіяльність

3 4 1 ... - бездіяльність

3 5 1 ... - бездіяльність

3 1 2 ... - реакція

3 2 2 ... - бездіяльність

3 3 2 ... - бездіяльність

3 4 2 ... - бездіяльність

3 5 2 ... - бездіяльність

3 1 3 ... - реакція

3 2 3 ... - реакція

3 3 3 ... - бездіяльність

3 4 3 ... - бездіяльність

3 5 3 ... - бездіяльність

3 1 4 ... - реакція

3 2 4 ... - реакція

3 3 4 ... - реакція

3 4 4 ... - бездіяльність

3 5 4 ... - бездіяльність

3 1 5 ... - реакція

3 2 5 ... - реакція

3 3 5 ... - реакція

3 4 5 ... - реакція – якщо лічильник <5, бездіяльність – якщо лічильник >= 5

3 5 5 ... - реакція – якщо лічильник <5, бездіяльність – якщо лічильник >= 5



цифра, що кодує тип аналізатора



інтенсивність збудження



ступінь протидії збудженню



НУ "ЗП", Кафедра програмних засобів

10

Рисунок Б.10 – Слайд №10

## Приклад роботи тактильного процесору

| Ситуація | Реакція | Лічильник |
|----------|---------|-----------|
| 35133232 | 0       | 2         |
| 35133232 | 0       | 3         |
| 35133232 | 0       | 4         |
| 35133232 | 0       | 5         |
| 31533232 | 1       | 0         |
| 35133232 | 1       | 1         |
| 35533232 | 1       | 2         |
| 35533232 | 1       | 3         |
| 35533232 | 1       | 4         |
| 35533232 | 1       | 5         |
| 35533232 | 0       | 6         |
| 35533132 | 2       | 4         |
| 33533232 | 1       | 6         |
| 33533232 | 1       | 6         |

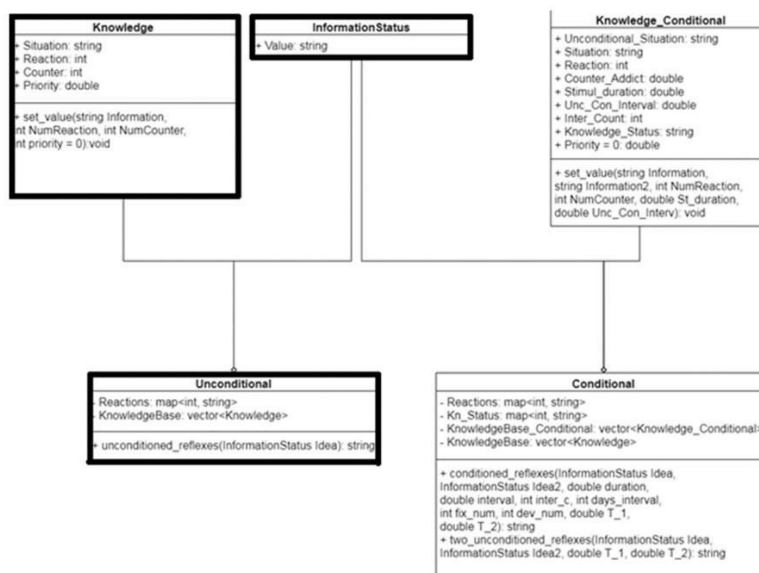


НУ “ЗП”, Кафедра програмних засобів

11

Рисунок Б.11 – Слайд №11

## Діаграма класів застосунку

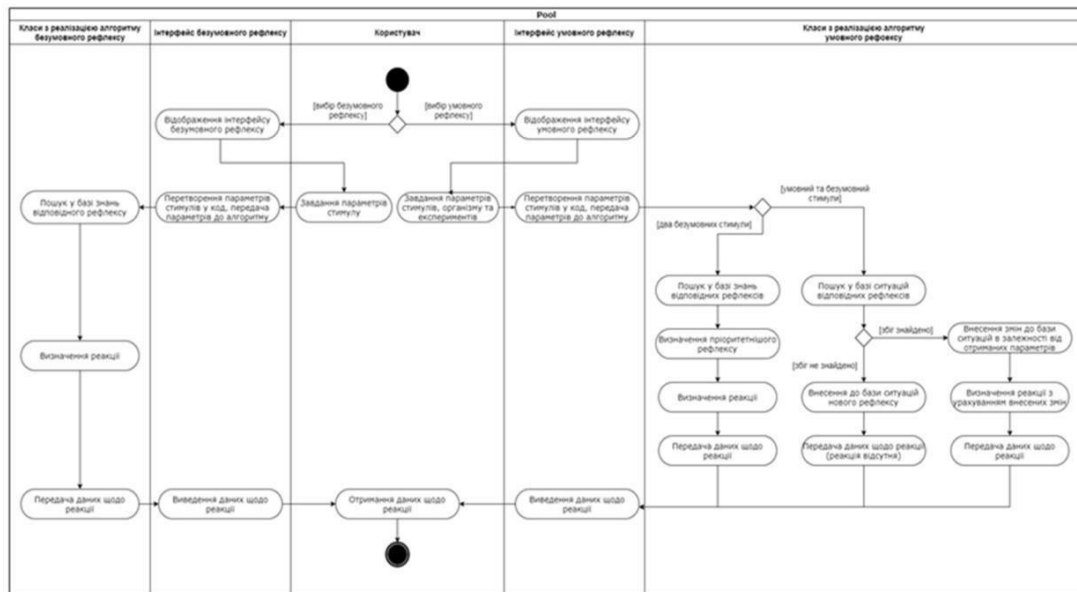


НУ “ЗП”, Кафедра програмних засобів

12

Рисунок Б.12 – Слайд №12

# Діаграма активностей



НУ "ЗП", Кафедра програмних засобів

13

Рисунок Б.13 – Слайд №13

## Опис класу Unconditional

| Поля та методи класу                                   | Опис                                                                                   |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>public:</b>                                         |                                                                                        |
| Unconditional()                                        | Конструктор                                                                            |
| string unconditioned_reflexes(InformationStatus Idea); | Функція, що виконує основний алгоритм з аналізу стимулу та повернення реакції на нього |
| <b>private:</b>                                        |                                                                                        |
| map<int, string> Reactions                             | Всі можливі реакції на стимули                                                         |
| vector<Knowledge> KnowledgeBase                        | База цікавих та заборонених ідей                                                       |

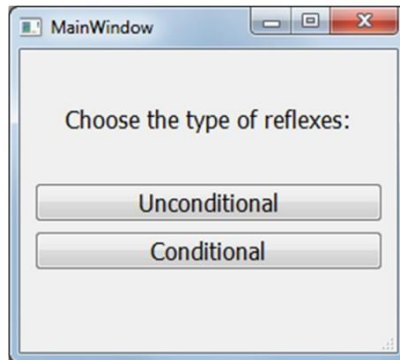


НУ "ЗП", Кафедра програмних засобів

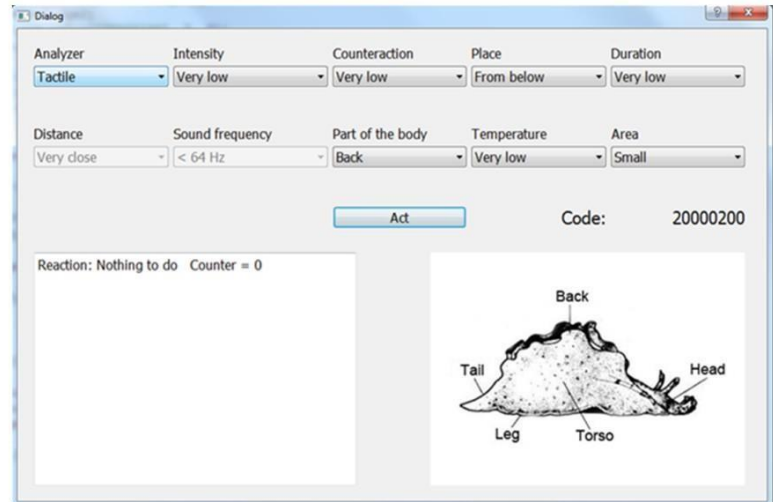
14

Рисунок Б.14 – Слайд №14

# Розроблені форми



Головна форма застосунку



Форма для роботи з безумовними рефлексами

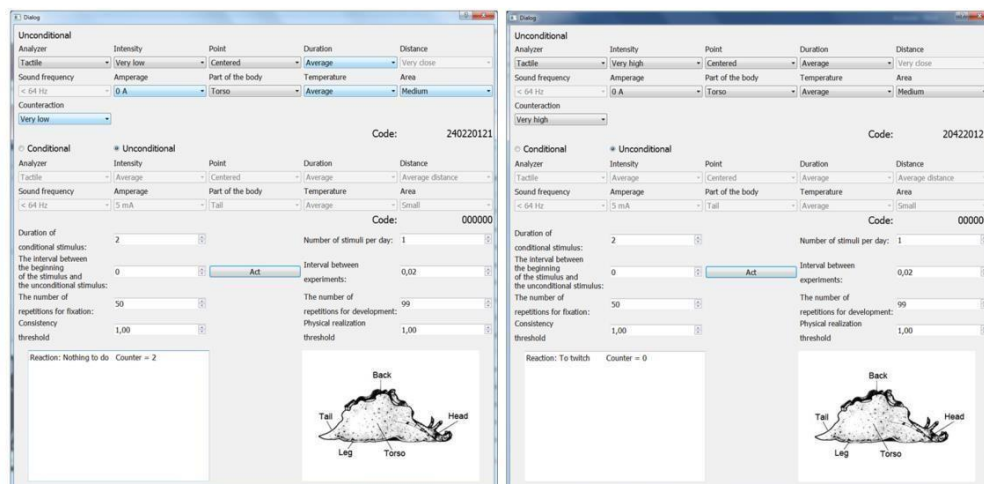


НУ "ЗП", Кафедра програмних засобів

15

Рисунок Б.15 – Слайд №15

## Приклад моделювання безумовного рефлексу



Реакція відсутня

Реакція: Аплізія сіпається

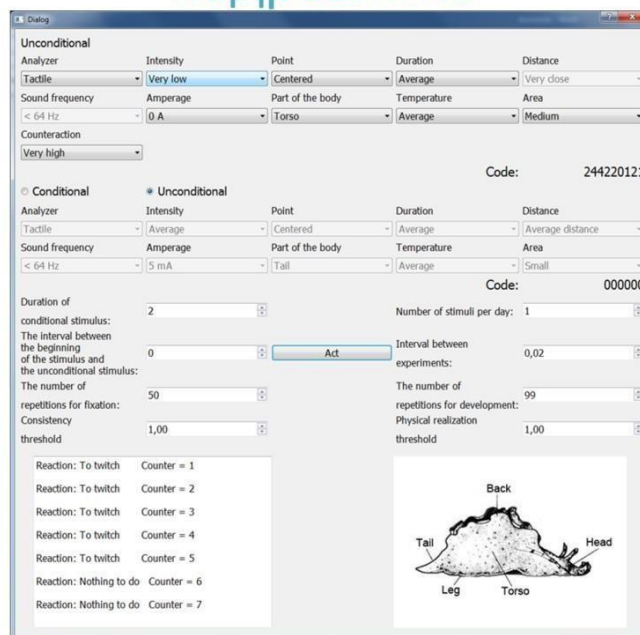


НУ "ЗП", Кафедра програмних засобів

16

Рисунок Б.16 – Слайд №16

## Приклад моделювання звикання до подразника



Реакція відсутня після 5-го впливу



НУ "ЗП", Кафедра програмних засобів

17

Рисунок Б.17 – Слайд №17

## Висновки

- **Наукова новизна** результатів дослідження - дістала подальшого розвитку відома модель процесів мислення Хреннікова. Модель, що розроблена, на відміну від попередньої, має засоби для урахування ефекту накопичення зовнішніх впливів на організм, а також згасання вже придбаного БР у разі відсутності його підтвердження протягом деякого часу.
- **Практична цінність** комплексної роботи полягає в тому, що на підставі проведених досліджень розроблено програмне та інформаційне забезпечення, що забезпечують підвищення ефективності діяльності дослідника вищих когнітивних функцій тварин.



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