

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Тернопільський національний економічний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
комп'ютерної інженерії
к.т.н., доц. О.М.Березький

“ _____ ” _____ 20__ р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ
освітньо-кваліфікаційного рівня "Спеціаліст"
зі спеціальності 7.05010201 “Комп'ютерні системи та мережі”

на тему:

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА АНАЛІЗУ ТА
ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ
КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ
НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

Студент групи КСМзс-51 _____ Куцевич М.В.
(підпис)

Керівник:
д.е.н., професор _____ Ріппа С.П.
(підпис)

Нормоконтроль
к.т.н., доцент _____ Васильків Н.М.
(підпис)

Консультант
з охорони праці
доцент _____ Сапожник Г.В.
(підпис)

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		11

2012

					<i>ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		12

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Тернопільський національний економічний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії
спеціальність 7.05010201 – “Комп'ютерні системи та мережі”

“Затверджую”
завідувач кафедри
комп'ютерної інженерії
к.т.н., доц. О.М.Березький

“ ___ ” _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТА**
Куцевича Михайла Володимировича

1. **Тема проекту:** "Інтелектуальна система аналізу та прогнозування технічного стану комп'ютерних систем в умовах невизначеності" затверджена наказом університету № ___ від “ ___ ” _____ 20__ р.

2. **Термін здачі студентом закінченого проекту** “ ___ ” _____ 20__ р.

3. **Вихідні дані для проекту:** Технічне завдання.

4. **Перелік задач, які мають бути вирішені:**

– виконати аналіз основних підходів до проектування і синтезу штучних імунних систем для вирішення задач прогнозування і класифікації;

– створити узагальнену технологію побудови динамічних і статичних моделей діагностованих об'єктів на принципах функціонування штучних імунних систем з метою вирішення задач оцінювання та прогнозування їх стану;

– запропонувати алгоритм вирішення задач виявлення змін параметрів технічних систем на основі механізмів негативного відбору та клонального селекції;

– на основі запропонованих рішень створити високоефективну оригінальну інтелектуальну систему аналізу та прогнозування технічного стану комп'ютерних систем в умовах невизначеності.

5. **Перелік графічного матеріалу** (з точним вказанням обов'язкових креслень)

– Концептуальна модель програмної системи. Схема структурна

– Структура модулів системи. Схема структурна

– Діаграма об'єктної структури і відношень комбінованого алгоритму ШС і ШНМ

– Діаграма об'єктної структури і відношень кооперативного імунного алгоритму

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		13

6.Консультанти по проекту (із зазначенням розділів):

Розділ	Консультант	Підпис
Охорона праці	Сапожник Г.В.	

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва розділів дипломного проекту	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Аналіз основних підходів до проектування і синтезу штучних імунних систем для вирішення задач прогнозування і класифікації	15.09.2011 – 5.11.2011	
2	Розробка алгоритмів аналізу і прогнозування технічного стану об'єктів	6.11.2011 – 31.01.2012	
3	Розробка інтелектуальної системи аналізу і прогнозування технічного стану об'єктів	1.02.2012 – 14.04.2012	
4	Охорона праці	15.04.2012 – 23.04.2012	

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис)

Керівник дипломного проекту _____
(підпис)

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		14

АНОТАЦІЯ

Дипломний проект на тему «Інтелектуальна система аналізу та прогнозування технічного стану комп'ютерних систем в умовах невизначеності» на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «Спеціаліст» зі спеціальності 7.05010201 «Комп'ютерні системи та мережі» написаний обсягом 104 сторінки і містить 39 ілюстрацій, 2 таблиці, 5 додатків та 27 джерел інформації.

На основі кооперативного імунного алгоритму здійснено прогнозування дрейфу параметрів і визначення працездатності технічного об'єкта.

Розроблений алгоритм виявлення порушень в роботі технічної системи на основі модифікації імунних алгоритмів негативного відбору і імунної мережі.

Спроектowana і реалізована інформаційна система технічного діагностування.

					<i>ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		15

ANNOTATION

The diploma project “Intelligent system of analysis and prediction of technical state of computer systems under uncertain conditions” on acquiring educational by qualification «Specialist» degree, speciality 7.05010201 «Computer Systems and Networks» has the general volume of 104 pages and contains 39 illustrations, 2 tables, 5 additions and 27 sources of information.

Prediction of parameters drift and the technical performance determination of the object are made on the basis of cooperative immune algorithm.

The developed algorithm for detecting violations in the technical system based on the modification of immune algorithms negative selection and immune network.

Information system of technical diagnosis is designed and implemented.

					<i>ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		<i>16</i>

Технічне завдання

1. НАЙМЕНУВАННЯ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Інтелектуальна система аналізу та прогнозування технічного стану комп'ютерних систем в умовах невизначеності

1.2 Область застосування – системи діагностування технічного стану об'єктів.

2. ОСНОВА ДЛЯ РОЗРОБКИ

Основою для розробки є завдання на дипломний проект, затверджене кафедрою комп'ютерної інженерії факультету комп'ютерних інформаційних технологій Тернопільського національного економічного університету.

3. ПРИЗНАЧЕННЯ РОЗРОБКИ

Метою дипломного проекту є розробка нових алгоритмів визначення працездатності технічного об'єкту та виявлення відмов на основі штучних імунних систем, а також створення інтелектуальної системи аналізу і прогнозування технічного стану об'єктів.

4. ДжЕРЕЛА РОЗРОБКИ

Джерелами даної розробки є матеріали навчальної та реферативної наукової літератури, технічна документація, існуючі програмні системи, журнали, науково-дослідні роботи вітчизняних та закордонних вчених.

5. ТЕХНІЧНІ ВИМОГИ

5.1 Вимоги до апаратних засобів

5.1.1 Функціональні вимоги до апаратних засобів.

5.1.1.1 Система повинна працювати на IBM-сумісних робочих станціях.

5.1.1.2 Мінімальні вимоги до робочих станцій: процесор: Intel Pentium IV 1000 Mhz або вище, AMD Athlon 1000+ або вище; оперативна пам'ять - 1 Gb або більше; вільний дисковий простір: 20 Mb для програмних модулів системи і 500 Mb для формування баз даних (останнє значення не фіксоване і може змінюватися залежно від умов експлуатації); операційна система: Windows XP зі встановленим компонентом Microsoft NET Framework 2.0 або вище; клавіатура і мишею типу «миша»; пристрій запису на зовнішні оптичні носії для резервного копіювання файлів баз даних; пристрій для забезпечення безперебійного живлення ПЕОМ для можливості автономної роботи системи; друкувальний пристрій для можливості виведення файлів звіту на друк; відеопідсистема з можливістю відображення графічної інформації в розширенні 800x600 пікселів або вище; пристрої апаратного сполучення з датчиками безперервного контролю, тестуючим устаткуванням і програмне забезпечення для цих пристроїв.

5.2 Вимоги до програмної системи

5.2.1 Функціональні вимоги до програмної системи

5.2.1.1 Оператор системи повинен мати змогу виконувати наступні функції:

- діагностування відмов складних технічних об'єктів в умовах неточної, неповної і суперечливої інформації;

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		17

- моніторинг і прогнозування технічного стану об'єктів за даними спостережень за зміною контрольованих параметрів;
- можливість гнучкого налаштування структури і параметрів системи для конкретних умов експлуатації;
- можливість використання будь-якої доступної інформації, що поступає на сенсори системи, яка може вплинути на результат діагностування;
- можливість самонавчання системи в конкретних умовах експлуатації.

5.2.1.2 Вхідна інформація отримується шляхом:

- формування текстових файлів ASCII або файлів у форматі CSV, які містять інформацію про результати контролю параметрів технічного об'єкту;
- введення інформації кількісного і якісного характеру, що поступає з датчиків безперервного контролю параметрів технічного об'єкту і консолі оператора;
- обміну інформацією з устаткуванням і програмним забезпеченням для здійснення періодичного контролю параметрів технічного об'єкту.

5.2.1.3 Вихідна інформація:

- результати діагностування технічного об'єкту з вказівкою гістограм розподілу імовірних гіпотез (розділів) вибраного сценарію при використанні підходу диференціальної діагностики або з вказівкою найбільш імовірної відмови;
- інформація про можливу тривалість роботи тих вузлів технічного об'єкту, для яких були порушені умови експлуатації;
- звіти про результати діагностування і відображення супутньої інформації;
- вихідна інформація повинна подаватись у простому та інтуїтивно зрозумілому для користувача форматі;

5.2.2 Вимоги до надійності.

5.2.2.1 Передбачити контроль введеної інформації.

5.2.2.2 Розробити комплекс заходів контролю коректності дій користувача під час роботи з системою.

5.2.2.3 Забезпечити можливість відновлення роботи системи після збоїв.

5.2.3 Вимоги до програмного забезпечення:

5.2.3.1 Операційна система сімейства Windows;

5.2.3.2 Технологія .NET.

5.2.3.4 Сумісність з сучасними форматами даних:

- вхідна інформація подається у форматах «*.txt» та «*.svs»;
- вихідна інформація подається у форматах «*.txt» та «*.doc» для текстової інформації, «*.xls» для табличної інформації.

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		18

5.2.4 Вимоги до програмної документації

5.2.4.1 Коди програмних модулів повинні містити необхідні для їх розуміння коментарі;

5.2.4.2 Розроблене програмне забезпечення повинно включати довідкову систему

5.2.5 Вимоги експлуатації

5.2.5.1 Кліматичні вимоги до експлуатації, при яких забезпечується робота програми повинні відповідати кліматичним умовам експлуатації наявних технічних засобів.

5.2.5.2 Вимоги до кваліфікації та численності персоналу. Мінімальна кількість персоналу, необхідного для роботи програми, може складати одну штатну одиницю – кінцевого користувача програми – оператор.

5.2.6 Вимоги до захисту:

5.2.6.1 Мінімальна довжина пароля - 6 символів.

6. ВИМОГИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

В розділі “Охорона праці ” дипломного проекту повинен бути даний аналіз умов праці в приміщенні де працює розробник програмного засобу.

7. ПОРЯДОК КОНТРОЛЮ І ПРИЙОМКИ

7.1 Представлення дипломного проекту на попередній захист

7.2 Представлення дипломного проекту на захист

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		19

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ШІС - штучна імунна система

ШНМ - штучна нейронна мережа

ФМА - функціональна мережа антитіл

ТО - технічний об'єкт

РБФ - радіально-базисна функція

СКП - середньоквадратична помилка

ІСТД - інформаційна система технічного діагностування

БД - база даних

ТУЙ - таблиця умовних ймовірностей

ПЗ - програмне забезпечення

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		20

ВСТУП

Створення, модернізація та експлуатація сучасних технічних систем на всіх стадіях розробки і в будь-яких умовах повинні супроводжуватися вирішенням питань забезпечення їх технічним діагностуванням. У зв'язку з цим виникає проблема проектування систем діагностування, в яких повинні бути вирішені всі задачі щодо своєчасного високоякісного аналізу стану об'єкта (процесу) і враховані вимоги до автоматизованих інформаційних систем технічної діагностики. Як правило, складна технічна система містить велику кількість взаємозалежних компонентів і характеризується значною множиною параметрів, які визначають її стан. При цьому далеко не всі параметри можуть бути контрольованими, що визначається специфічними умовами функціонування та експлуатації системи. Крім того, наявність людського фактора вносить суб'єктивну складову в процес збору інформації щодо поточного стану технічної системи. Все це визначає одне з основних вимог, які пред'являються до системи діагностування, а саме: надійне функціонування в умовах неповної, неточної, а часто і суперечливої інформації.

Багато негативних впливів, які призводять до відмов технічної системи, носять прихований характер і можуть бути виявлені завчасно тільки при використанні ефективних обчислювальних методів обробки даних спостережень за контрольованими змінними і параметрами. Безумовно, важливою вимогою до систем технічної діагностики є високоякісне рішення задачі прогнозування технічного стану.

Аналіз сучасного стану досліджень в області виділених проблем показує наявність недоліків, пов'язаних, перш за все з ефективним і своєчасним виявленням аномалій у поведінці складної технічної системи, пошуком та ідентифікацією розташування та характеру відмови технічної системи або процесу за умови наявності невизначеностей різного ступеня і характеру. Від якості прогнозування технічного стану системи залежить ефективність її технічного обслуговування і безпека її експлуатації.

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		21

Метою дипломного проекту є розробка нових алгоритмів визначення працездатності технічного об'єкту та виявлення відмов на основі штучних імунних систем, а також створення інтелектуальної системи аналізу і прогнозування технічного стану об'єктів.

					<i>ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		22

1 АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПІДХОДІВ ДО ПРОЕКТУВАННЯ І СИНТЕЗУ ШТУЧНИХ ІМУННИХ СИСТЕМ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ПРОГНОЗУВАННЯ І КЛАСИФІКАЦІЇ

1.1 Принципи побудови штучних імунних систем

Розглядаючи обчислювальні аспекти парадигми імунних систем, можна виділити наступні основні елементи, необхідні для проектування їх штучних аналогів - штучних імунних систем (ШИС). Ними є:

- множина способів представлення компонентів системи (S);
- множина механізмів, що дозволяють оцінити взаємодію індивідуумів з довкіллям і один з одним (M);
- процедури адаптації, які управляють динамікою системи, тобто зміною її стану в часі (A).

Отже, в загальному вигляді ШИС можна представити так:

$$ШИС = (S, M, A). \quad (1.1)$$

Способи представлення дозволяють створювати абстрактні моделі імунних органів, клітин або молекул; механізми оцінки також називаються функціями афінності, дозволяють кількісно оцінити взаємодії цих «штучних імунних органів», а процедури адаптації, виражені у вигляді множини загальних алгоритмів досягнення мети, управляють динамікою ШИС.

Для проектування структури ШИС часто застосовуються методи, які активно використовуються в інших біологічних обчислювальних парадигмах таких як, наприклад, нейронні мережі і еволюційні алгоритми [1-4]. Набір оцінних функцій, взятих з цих обчислювальних парадигм, цілком може бути використаний для оцінки взаємодії індивідуумів ШИС. В той же час, еволюційні алгоритми добре підходять для управління зміною в часі станів клітин і молекул, з яких складається штучна імунна система. З урахуванням вищесказаного процес побудови ШИС можна розділити на два основні етапи:

- вибір відповідної форми представлення індивідуумів і міри афінності;

					<i>ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		23

- застосування будь-якого з існуючих алгоритмів (чи нового алгоритму) для управління зміною станів системи в часі.

Необхідно також відмітити, що форма представлення індивідуумів і міра афінності повністю визначаються предметною областю, в якій передбачається використовувати ШС і типом вирішуваної задачі. Тому загальний поетапний підхід до розробки ШС можна представити таким чином [5] (рисунок 1.1).

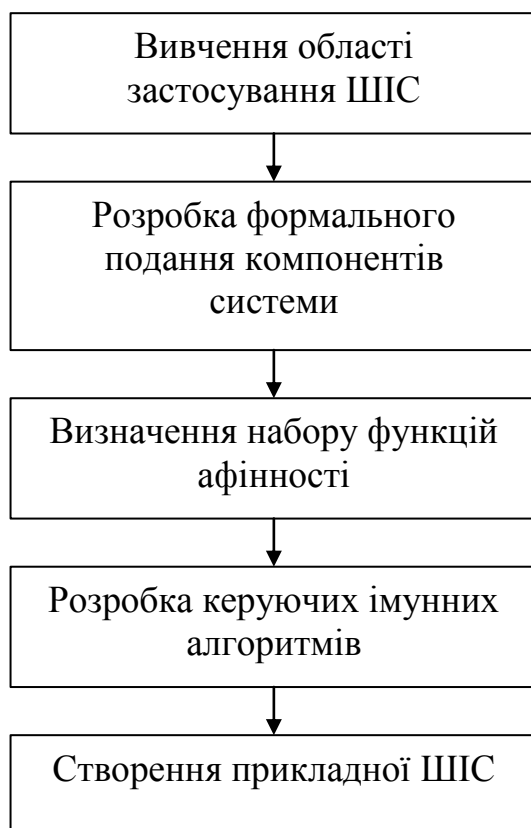


Рисунок 1.1 – Основні етапи розробки штучної імунної системи

Основною метою вивчення сфери застосування ШС є отримання набору ключових ознак (атрибутів) тих об'єктів або процесів, для вивчення яких розробляється ця ШС. Ці атрибути виступають в ролі аргументів задачі дослідження. Система здійснює пошук таких значень аргументів, які б найбільшою мірою задовольняли умовам задачі.

1.1.1 Простір форм

Перше що необхідно зробити при проектуванні ШС - це визначити

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		24

простір пошуку. З точки зору імунної системи множина стереохімічних взаємодій, що визначають міжмолекулярну афінність може бути представлено як багатовимірний простір форм P . Дійсно, для розпізнавання антигенів, молекули антитіл повинні утворювати з ними зв'язки комплексу за допомогою областей комплексу (доповнюючих одна одну областей), які більшою чи меншою мірою можуть охоплювати молекули, що зв'язуються між собою. На рисунку 1.2 наведений приклад такої взаємодії. Набір фізико-хімічних властивостей цих областей називається узагальненою формою молекули.

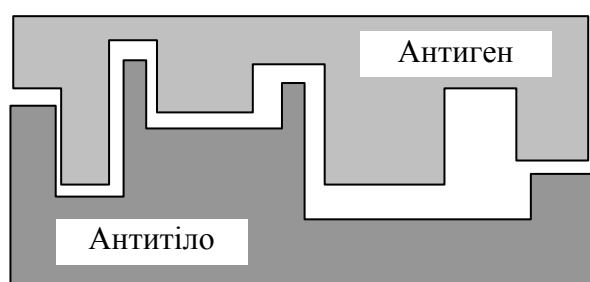


Рисунок 1.2 – Процес розпізнавання за допомогою областей комплексу

При використанні простору форм передбачається можливість повного опису узагальненої форми антитіла за допомогою рядка параметрів довжини l . Якщо при цьому припустити що і антиген в свою чергу має комплементарну антитілу область, яку можна описати за допомогою такої ж кількості параметрів, то при об'єднанні цих параметрів у вектори, антитіло (Ab) та антиген (Ag) можуть таким чином бути представлені як точки в l -мірному евклідовому просторі, так званому просторі форм. Відображення множини форм в множину параметрів розв'язуваної задачі не має значення в обчислювальному сенсі і повністю визначається предметною областю використання ШС. З рисунку 1.2 видно, що антитіло і антиген можуть бути частково комплементарними, при цьому залишаючись пов'язаними один з одним, але з меншою афінністю. Отже, можна сказати, що кожне антитіло здатне розпізнавати не єдиний антиген, а множину антигенів, чия форма доповнення (комплемент) знаходиться всередині

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		25

певного об'єму V в просторі форм. Цей обсяг характеризується параметром ε , так званім крос-реактивним порогом. Геометрично, крос-реактивний поріг може бути розглянутий як радіус гіперсфери об'єму V_ε . У більшості практичних задач при побудові ШІС допускається відступ від суворої біологічної парадигми і обчислення афінності як ступеня подібності форм індивідуумів, а не як ступеня їх комплементарності. Цей спосіб є більш зручним при побудові імунних алгоритмів, так як дозволяє уникнути витрат часу на рефлексію (обчислення доповнень) антигенів. Виходячи з міркувань зручності, цей спосіб буде використовуватися тут і далі в рамках представленої роботи. Отже, концепція простору форм, а також розпізнавання антигенів може бути проілюстрована наступним чином (рисунок 1.3).

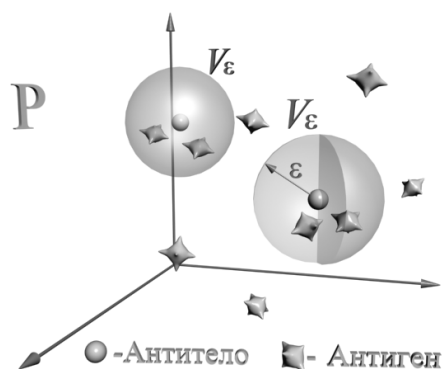


Рисунок 1.3 – Простір форм P , що містить антигени і антитіла (будь-яке антитіло розпізнає ті антигени, чия форма знаходиться всередині об'єму V_ε)

З математичної точки зору будь-яка молекула k в просторі форм P може бути представлена як набір параметрів (атрибутів) розміру l . Цей набір $k = (k_1, k_2, \dots, k_l)$, $k \in P^l$ може комбінувати в собі атрибути будь-якого типу, наприклад, дійсні числа, цілі числа, біти або символи. Найчастіше тип атрибутів визначається проблемною областю використання ШІС і є важливим моментом при визначенні міри афінності міжмолекулярної взаємодії. У будь-якому випадку тип використовуваних атрибутів визначає тип простору форм системи (відповідно речовий простір, цілочисельний простір, хеммінговий простір або

										Арк.
										26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ					

символьний простір).

1.1.2 Форми представлення індивідуумів і обчислення афінності відносно різних типів задач, що вирішуються

Розглянута вище узагальнена форма представлення компонентів системи може мати свої особливості залежно від типу задачі, що вирішується ШС. На сьогодні ШС застосовуються для вирішення трьох основних типів задач: розпізнавання (класифікації), оптимізації і апроксимації, а також інших задач, які можна привести до одного з цих трьох типів. Розглянемо особливості створення ШС для кожного з вказаних типів.

1.1.2.1 Задачі розпізнавання (класифікації)

В даному випадку молекули антитіла та антигену мають формальне подання у вигляді векторів координат (атрибутів): $Ab = (Ab_1, Ab_2, \dots, Ab_l)$ для антитіла і $Ag = (Ag_1, Ag_2, \dots, Ag_l)$ для антигену. Без втрати спільності припустимо, що дані вектори мають однаковий розмір. У цьому випадку під афінністю зв'язків антитіл один з одним або антитіл з антигенами розуміється відстань між відповідними векторами атрибутів, яка виражається у вигляді скалярного не негативного значення: $P^l \times P^l \rightarrow \mathfrak{R}^+$, визначає ступінь відповідності між молекулами (векторами атрибутів). Причому, при використанні обумовленого вище ступеня подібності форм, виходить, що чим менша відстань між індивідуумами, тим вища їх афінність один до одного. Значення відстані може бути обчислене за допомогою будь-яких з наведених нижче метрик:

- евклідова відстань D_E (використовується при речовому або цілочисельному кодуванні атрибутів)

$$D_E = \sqrt{\sum_{i=1}^l (Ab_i - Ag_i)^2}; \quad (1.2)$$

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		27

- манхеттенська відстань D_M (також використовується при речовому або цілочисельному кодуванні)

$$D_M = \sum_{i=1}^l |Ab_i - Ag_i|; \quad (1.3)$$

- хеммінгова відстань D_H (у разі бінарного кодування)

$$D_H = \sum_{i=1}^l \delta_i, \text{ где } \delta_i = \begin{cases} 1, & \text{при } Ab_i \neq Ag_i \\ 0, & \text{при } Ab_i = Ag_i \end{cases}. \quad (1.4)$$

У загальному випадку хеммінгова відстань може використовуватися при кодуванні індивідуумів не лише бінарними рядками, але і рядками символів кінцевого алфавіту довжини k . Наприклад, цілочисельне кодування можна розглядати як окремий випадок використання такого алфавіту. Існують і інші способи обчислення хеммінгової відстані [6], наприклад, використання логічних зв'язок XOR, правило r - суміжних бітів, циклічного зсуву атрибутів і т. д.

Враховуючи наявність кросс-реактивного порогу (ε), можна сказати, що для кожного антитіла існує деяка гранична відстань (або мінімальна афінність), при якому він ще здатний розпізнати антиген. При використанні хеммінгового простору цей параметр визначає точне число розпізнаваних цим антитілом антигенів. Що стосується інших типів простору, усе залежить від того, чи є вони кінцевими чи ні. З практичної точки зору параметр ε відіграє важливу роль в управлінні динамікою ШС, оскільки він визначає мінімальну міру відповідності індивідуумів, при якій ШС формує реакцію у відповідь. У різних видах імунних алгоритмів цей параметр зустрічається під іменами порогу афінності, порогу розпізнавання, порогу активації або порогу стиснення.

1.1.2.2 Задачі оптимізації

Мета вирішення подібного роду задач полягає в знаходженні оптимальних значень (мінімумів або максимумів) деякого критерію

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		28

$y = f(x_1, x_2, \dots, x_l), x_i \in X, i = \overline{1, l}$, де X - дозволена множина задачі. У загальному випадку розглядаються задачі багатокритеріальної оптимізації [4, 7]:

$$y = (y_1, y_2, \dots, y_n) \rightarrow \min(\max), \quad (1.5)$$

де $y_j = f_j(x_1, x_2, \dots, x_l), j = \overline{1, n}, n$ - кількість критеріїв задачі.

Залежно від умов задачі можливий пошук глобального або локального оптимуму.

У задачах оптимізації узагальнена форма антитіл є вектором аргументів $Ab = (x_1, x_2, \dots, x_l)$, а в якості антигенів використовуються самі критерії y_j , виражені у вигляді функцій: $Ag = f(x_1, x_2, \dots, x_l)$. Значення афінності g_j обчислюються на підставі значень критеріїв y_j , відображених у множині не негативних чисел, тобто:

$$f : X \rightarrow \mathfrak{R}, \quad F : \mathfrak{R} \rightarrow \mathfrak{R}^+. \quad (1.6)$$

Таким чином, має місце деяка функція афінності $g = F(f(x_1, x_2, \dots, x_n))$, яка визначає міру відповідності індивідуумів один одному. У таких задачах ми не можемо оперувати поняттям відстані, оскільки оптимальні значення критеріїв нам заздалегідь не відомі, і, отже, не відома максимально можлива міра відповідності індивідуумів. Тому управління динамікою ШІС проводиться за рахунок відносних значень афінності або рангу індивідуумів сукупності. Цей підхід дуже близький до концепції придатності, яка використовується в еволюційних алгоритмах, що виникли трохи раніше за виникнення теорії штучних імунних систем [8].

1.1.2.3 Задачі апроксимації

У задачах апроксимації необхідно знайти математичну залежність, яка найбільш точно описує явисьє чи процес по наведеній таблиці експериментальних даних. Формально таке явисьє чи процес може бути

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		29

представлений у вигляді системи («чорного ящика»), що має l входів (x_1, x_2, \dots, x_l) і n виходів (y_1, y_2, \dots, y_n) . Задача полягає в побудові математичної моделі, яка описує зв'язок входів системи з її виходами. Таблиця даних містить ряд спостережень або результатів експериментів, проведених відносно системи, і складається з двох частин. У лівій частині містяться окремі значення входів системи, а в правій частині - відповідні їм значення виходів. Математичні вирази в таких завданнях є деревами, так званими генетичними програмами (рисунок 1.4).

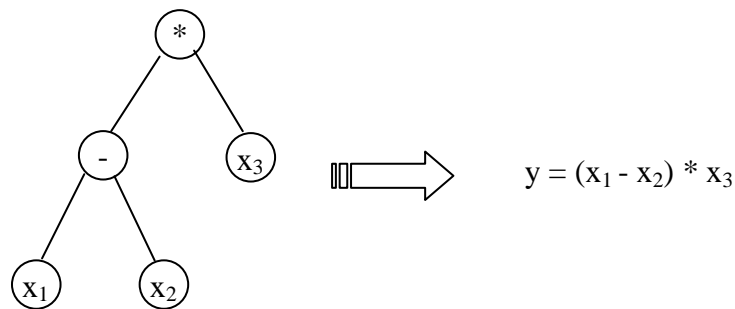


Рисунок 1.4 – Приклад генетичної програми у вигляді дерева і відповідного їй математичного виразу

Термін «генетична програма» використовується в цьому зв'язку з того часу, коли були створені алгоритми апроксимації функцій, що називаються системами генетичного програмування [9], у основі яких лежать генетичні алгоритми, які з'явилися раніше [10, 11].

Для цього типу задач молекули антитіл мають формальне представлення у вигляді рядків символів, що кодують генетичну програму. На сьогодні існує декілька методів перетворення дерев виразів в символічні рядки [11]. Незважаючи на загальну відмінність цих методів, усі вони використовують розбиття множини символів на два або три алфавіти: функціональний (що містить знаки математичних операцій і функції), термінальний (що містить символи операндів і констант) і, якщо того вимагає метод, то розділовий (що містить роздільники, наприклад дужки, які використовуються для встановлення зв'язків між вузлами дерева). Таким чином $Ab = \langle F, T, D \rangle$, де F , T і D - відповідно

функціональна, термінальна і розділова множина. Основна проблема такого кодування - можливість отримання синтаксично невірних виразів. Одним із способів вирішення вказаної проблеми є розподіл рядка антитіла на області з обмеженим або взагалі забороненим використанням символів того або іншого алфавіту в межах цих областей.

В якості антигенів в даній системі виступають рядки таблиці експериментів: $\mathbf{Ag} = \bigcup_{i=1}^r \langle x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}, y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{in} \rangle$, де r - кількість рядків таблиці. Обчислення афінності є пошук значення помилки моделі відносно даних експериментів і може виражатися у вигляді такої функціональної залежності:

$$D_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^r (y_{ij} - y_{ij}^M)^2}{r}}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (1.7)$$

де D_j - середньоквадратична помилка j -го виходу моделі на навчальних даних;

r - кількість рядків таблиці експериментів;

y_{ij} - реальне значення j -го виходу системи в i -му рядку таблиці даних;

y_{ij}^M - значення j -го виходу моделі при установці i -го набору вхідних параметрів з таблиці даних.

1.1.3 Комбінація підходів при рішенні різного роду задач

В даному випадку під комбінацією підходів розуміється можливість одночасного використання деякими імунними алгоритмами в межах однієї задачі декількох способів обчислення значень афінності.

ШПС, як і будь-яку іншу систему можна розглядати в контексті двох видів взаємодії (рисунок 1.5) :

- взаємодія із зовнішнім середовищем;
- взаємодія з внутрішньою структурою (внутрішнім оточенням).

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		31

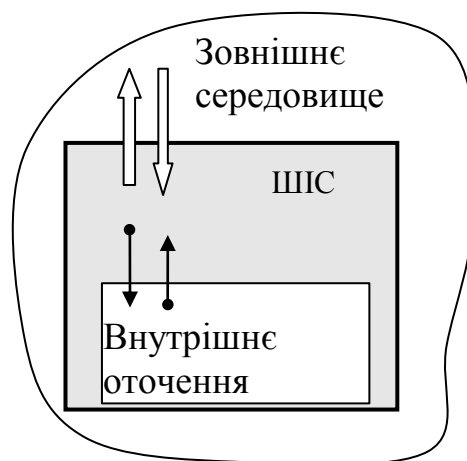


Рисунок 1.5 – Представлення ШС в контексті взаємодії з двома видами оточення: зовнішнім і внутрішнім

У ролі зовнішнього середовища виступає задача, для вирішення якої створюється ШС. Тут відбувається взаємодія з антигенами як носіями інформації про задачу, що впливає на поведінку системи. В якості внутрішнього оточення виступають компоненти системи (клітини і антитіла), які можуть взаємодіяти не тільки з антигенами, але й один з одним, також керуючи динамікою ШС. Для кількісного розрахунку обох видів взаємодії використовується поняття афінності. Проте в загальному випадку для розрахунку цих двох видів афінності можуть використовуватися абсолютно різні підходи, внаслідок відмінності способів взаємодії системи із зовнішнім і внутрішнім середовищем. Якщо, наприклад, розглянути ШС, яка використовується для вирішення задачі оптимізації та працює під управлінням алгоритму імунної мережі, то по відношенню до задачі ШС поводить себе як система оптимізації, здійснюючи відповідним чином кількісний розрахунок взаємодії антитіл з антигенами (зовнішнім середовищем). При цьому стосовно внутрішнього оточення (взаємодія антитіл один з одним) ШС веде себе як система розпізнавання, видаляючи надлишкові антитіла (розпізнані іншими антитілами) із сукупності. Таким чином, кожен індивідуум системи може володіти двома різними значеннями афінності, розрахованими для двох видів взаємодії в межах однієї розв'язуваної задачі.

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		32

1.2 Алгоритми штучних імунних систем

Імунні алгоритми є обчислювальними процедурами, що використовуються для моделювання різних імунних механізмів і теорій, які служать будівельним матеріалом при створенні ШИС. На даний момент можна виділити, принаймні, чотири основні моделі таких механізмів: моделі кісткового мозку, моделі тимуса (вилочкової залози), алгоритми клональної селекції і моделі імунних мереж. Перші дві засновані на моделюванні компонентів (органів) імунної системи, другі дві відтворюють процеси, що відбуваються в імунній системі згідно з існуючими на сьогодні теоріями. Моделі кісткового мозку не розглядаються у рамках цієї роботи. Модель тимуса реалізована у вигляді алгоритму негативного відбору, який використовується для вирішення задач бінарної класифікації. У даній роботі запропонована модифікація цього методу, призначена для вирішення задачі виявлення аномалій в поведінці складної технічної системи. Дві моделі, що залишилися, описуються далі в загальному вигляді для вирішення задач розпізнавання і з незначними модифікаціями можуть бути використані для вирішення різних типів завдань.

1.2.1 Алгоритм клональної селекції

Формально алгоритм клональної селекції можна представити таким чином [13]:

$$CLONALG = (P^l, G^k, l, k, m_{Ab}, \delta, f, I, \tau, AG, AB, S, C, M, n, d), \quad (1.8)$$

де P^l - простір пошуку (простір форм);

G^k - представлення простору;

l - довжина вектора атрибутів (розмірність простору пошуку);

k - довжина рецептора антитіла;

m_{Ab} - розмір популяції антитіл;

δ - функція експресії;

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		33

f - функція афінності;

I - функція ініціалізації початкової популяції антитіл;

τ - умова завершення роботи алгоритму;

AG - підмножина антигенів;

AB - популяція антитіл;

S - оператор селекції;

C - оператор клонування;

M - оператор мутації;

n - кількість кращих антитіл, що відбираються для клонування;

d - кількість гірших антитіл, що підлягають заміні новими.

Розглянемо простір форм (P^l) фенотипів і простір їх представлень у вигляді антитіл (G^k) або простір генотипів. Функція

$$\delta: P^l \rightarrow G^k$$

(1.9)

є функцією перетворення варіантів рішень з P^l в їх внутрішні представлення (G^k) у вигляді індивідуумів популяції. Ця функція інакше називається функцією експресії. Тут слід сказати, що на практиці, при розробці ШС, частенько вводять подібні перетворення з міркувань зручності застосування імунних операторів і обчислення афінності індивідуумів. Наприклад, вектор речових атрибутів розмірності l може бути перетворений в рядок біт довжини k , що робить можливим застосування специфічних операторів мутації і обчислення афінності за допомогою різних видів хеммінгової відстані. Незважаючи на вказану важливість, цей аспект не розглядається у вивчених автором публікаціях, що стосуються проектування ШС. Тому терміни «генотип», «фенотип» і «експресія» в цьому описі були запозичені з близьких по функціональному призначенню і структурі еволюційних алгоритмів, хоча більше підходять до вживання в контексті еволюції хромосом, чим молекулярних структур антитіл. Передбачається, також, що для кожного вирішення $p \in P^l$ існує одне і тільки одне його

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		34

представлення $\delta(p) \in G^k$. При цьому в загальному випадку зворотне твердження невірне. Використовуючи узагальнене представлення, можна ввести функцію афінності f :

$$f : P^l \times P^l \rightarrow \mathbb{R}^+. \quad (1.10)$$

При цьому задача полягає в максимізації функції афінності.

Приймаючи початковий розмір популяції антитіл (m_{Ab}), можна ввести функцію ініціалізації у виді:

$$I : G^k \times m_{Ab} \rightarrow AB \mathbb{G}^k. \quad (1.11)$$

Часто ініціалізація проводиться випадковим чином з використанням рівномірного розподілу.

Нехай Q - унарний стохастичний оператор перетворення на множині G^k , який використовує керуючу множину K_Q для генерації керуючих параметрів, які визначають спосіб перетворення на поточному кроці роботи алгоритму. Наприклад, у разі мутації бітових рядків, бітова маска може бути використана в якості керуючого параметра, в якому одиничні позиції визначають номери біт індивідуума, що піддаються мутації. Отже, функціональний запис оператора Q може бути представлений так:

$$Q : G^k \times K_Q \rightarrow G^k. \quad (1.12)$$

Оптимальним рішенням $Ab_{opt} \in G^k$ відносно оператора Q і антигена $Ag \in AG$, $AG \subset G^k$ називається індивідуум, афінність якого не може бути збільшена при подальшій дії оператора перетворення Q , тобто

$$\forall k \in K_G : f(Q(Ab_{opt}, k), Ag) \leq f(Ab_{opt}, Ag). \quad (1.13)$$

Умова зупину (τ) виконується коли популяція антитіл повністю розпізнає популяцію антигенів, тобто

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		35

$$\forall Ag \in AG : \exists Ab \in G^k \mid Ab = Ab_{opt}. \quad (1.14)$$

Оператор селекції S формує підмножина G_s індивідуумів, афінність яких є кращою в цьому поколінні. Таким чином, S спільно з керуючою множиною K_s представляє функцію:

$$S : G^k \times K_s \rightarrow \{0, 1\}, \quad (1.15)$$

множина, яка утворюється в результаті селекції:

$$G_s = \{ Ab \in G^k \mid S(Ab, k_s) = 1 \}, \mid G_s \mid = n. \quad (1.16)$$

Аналогічно проводиться відбір індивідуумів в популяцію клітин пам'яті.

Оператор клонування C збільшує представництво елементів множини G_s в популяції і спільно з керуючою множиною K_c може бути записаний так:

$$C : G_s \times K_c \rightarrow G_s. \quad (1.17)$$

Оператор мутації M з керуючою множиною K_m :

$$M : G^k \times K_m \rightarrow G^k. \quad (1.18)$$

Метадинаміка системи виражена у вигляді функції заміщення гірших антитіл популяції:

$$R : G^k \times d \rightarrow AB_d \in G^k. \quad (1.19)$$

Гірші антитіла задалегідь відбираються за допомогою оператора селекції.

Блок-схема алгоритму клональної селекції представлена на рисунку 1.6.

Нижче наводиться узагальнений покроковий опис алгоритму.

Крок 1. *Ініціалізація*. Створення (зазвичай випадковою генерацією) початкової популяції антитіл (AB).

Крок 2. *Обчислення афінності*. Для кожного антитіла Ab_j , $Ab_j \in AB$

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		36

вчислити його афінність по відношенню до кожного антигена Ag_i , $Ag_i \in AG$.
 Результати записати в матрицю афінностей $D: D = \begin{bmatrix} |AG| \times m_{Ab} \end{bmatrix}$ і
 $d_{ij} = f(Ab_j, Ag_i), d_{ij} \in D$.

Крок 3. Клональна селекція і поширення. Вибрати з популяції по n кращих антитіл для кожного рядка матриці D , і помістити їх в окрему популяцію клонів AB_C , $|AB_C| = n \cdot |AG|$. Генерувати клони елементів популяції AB_C пропорційно їх афінності, тобто чим вища афінність, тим більша кількість клонів створюється і навпаки.

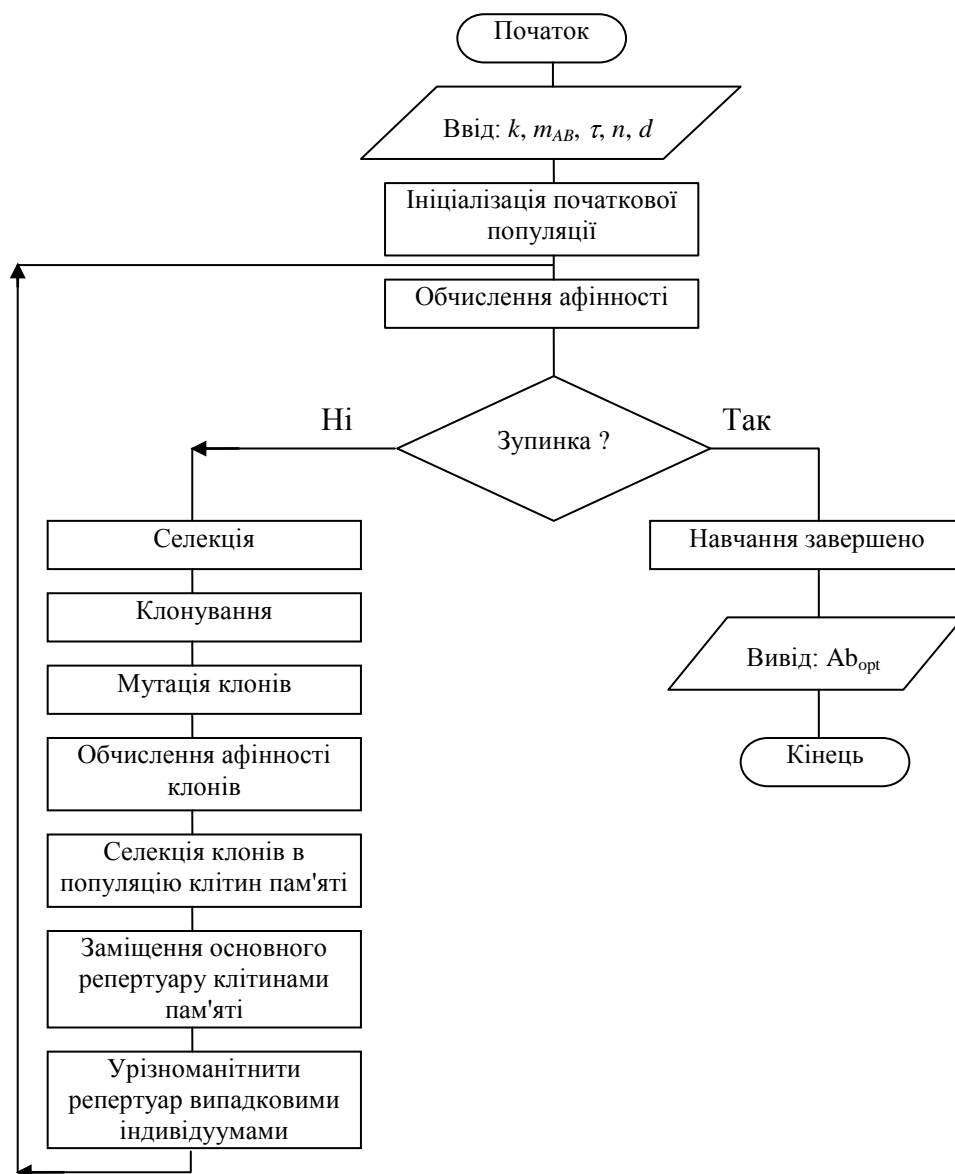


Рисунок 1.6 – Блок-схема алгоритму клональної селекції

Крок 4. *Дозрівання афінності*. Піддати мутації усі клони популяції AB_C з імовірністю обернено-пропорційної їх афінностям, тобто чим нижча афінність індивідуума, тим вища імовірність його мутації. Вчислити нову афінність кожного антитіла Ab_j , $Ab_j \in AB_C$ аналогічно кроку 2, отримавши матрицю афінностей D_C . Вибрати з популяції AB_C n антитіл, для яких відповідний вектор-стовпець матриці D_C дає кращий узагальнений результат афінності, і перенести їх в популяцію клітин пам'яті M_R .

Крок 5. *Метадинаміка*. Замінити d гірших антитіл популяції AB новими випадковими індивідуумами.

Крок 6. Замінити n антитіл популяції AB клітинами пам'яті з M_R і перейти до кроку 2 доки не буде досягнутий критерій зупинки.

Особливістю алгоритму клональної селекції є те, що він, на відміну від імунної мережі, підтримує постійний розмір популяції антитіл.

1.2.2 Алгоритм імунної мережі

Імунна мережа математично може бути представлена у вигляді графа, причому необов'язково повнозв'язного, який складається з множини вузлів - клітин мережі (антитіл) і множини зважених ребер, що означають зв'язки між клітинами. Значення ваги ребра відповідає афінності зв'язку клітин одої з одною. В імунних мережах розрізняють два види афінності:

- афінність зв'язку «антиген-антитіло» ($Ag - Ab$) - міра відмінності;
- афінність зв'язку «антитіло-антитіло» ($Ab - Ab$) - міра подібності.

Формалізм імунної мережі схожий на *CLONALG* з додаванням декількох нових операторів і параметрів [13]:

$$immNET = (P^l, G^k, l, k, m_{Ab}, \delta, f, I, \tau, AG, AB, S, C, M, n, d, H, R), \quad (1.20)$$

де P^l - простір пошуку (простір форм);

G^k - представлення простору;

l - довжина вектору атрибутів;

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		38

k - довжина рецептора клітини;
 m_{Ab} - розмір популяції клітин;
 δ - функція експресії;
 f - функція афінності;
 I - функція ініціалізації початкової популяції клітин мережі;
 τ - умова завершення роботи алгоритму;
 AG - підмножина антигенів;
 AB - популяція клітин мережі (антитіл);
 S - оператор селекції;
 C - оператор клонування;
 M - оператор мутації;
 n - кількість кращих клітин, що відбираються для клонування;
 d - кількість гірших клітин, що підлягають заміні новими;
 H - оператор клонального знищення;
 R - оператор стискання мережі.

У цьому типі алгоритму оператор H використовує пороговий коефіцієнт загибелі (σ_d) як керуючий параметр, зменшуючи розмір мережі за рахунок знищення нестимульованих клітин :

$$H : G^k \times G^k \times \sigma_d \rightarrow \{0, 1\}, \quad (1.21)$$

множина стимульованих клітин (G_d) може бути визначена так:

$$G_d = \{Ab \in G^k \mid \exists Ag \in AG : H(Ab, Ag, \sigma_d) = 0\}, \quad (1.22)$$

де

$$H(Ab, Ag, \sigma_d) = \begin{cases} 0, & f(Ab, Ag) > \sigma_d; \\ 1, & f(Ab, Ag) \leq \sigma_d. \end{cases} \quad (1.23)$$

Оператор стиснення мережі використовує пороговий коефіцієнт стиснення σ_s як керуючий параметр, також зменшуючи розмір мережі за рахунок знищення подібних клітин:

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		39

$$R: G^k \times G^k \times \sigma_s \rightarrow \{0, 1\}. \quad (1.24)$$

Стисла мережа визначається множиною:

$$G_R = \{Ab_i \in G^k \mid \forall i, j: R(Ab_i, Ab_j, \sigma_s) = 0\}, \quad i, j = \overline{1, m_{Ab}}, \quad (1.25)$$

де

$$R(Ab_i, Ab_j, \sigma_s) = \begin{cases} 0, & f(Ab_i, Ab_j) > \sigma_s \\ 1, & f(Ab_i, Ab_j) \leq \sigma_s \end{cases}, \quad i \neq j. \quad (2.26)$$

Блок-схема алгоритму імунної мережі показана на рисунку 1.7.

Поведінка імунної мережі багато в чому відрізняється від поведінки алгоритму клональної селекції, що знаходить своє віддзеркалення в алгоритмі, покрокова реалізація якого представлена нижче.

Крок 1. *Ініціалізація.*

Крок 1.1. Створення початкової популяції клітин пам'яті (M_R).

Крок 1.2. Створення популяції антитіл (AB).

Крок 2. *Антигенна присутність.* Починаючи з цього блоку, алгоритм здійснює по одному проходу для кожного антигена.

Крок 2.1. Обчислення афінності. Обчислюється афінність усіх клітин пам'яті m_j , $m_j \in M_R$ для чергового антигена Ag_i , $Ag_i \in AG$ і вибирається одна краща клітина m_b .

Крок 2.2. Клонування. Вибрана клітина пам'яті клонується пропорційно своїй афінності з утворенням популяції клонів M_c .

Крок 2.3. Дозрівання афінності. Проводиться мутація клонів з M_c . Змінені клони додаються до популяції антитіл, тобто $AB \leftarrow AB \cup M_c$. Обчислюється афінність популяції антитіл AB з антигеном Ag_i .

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		40

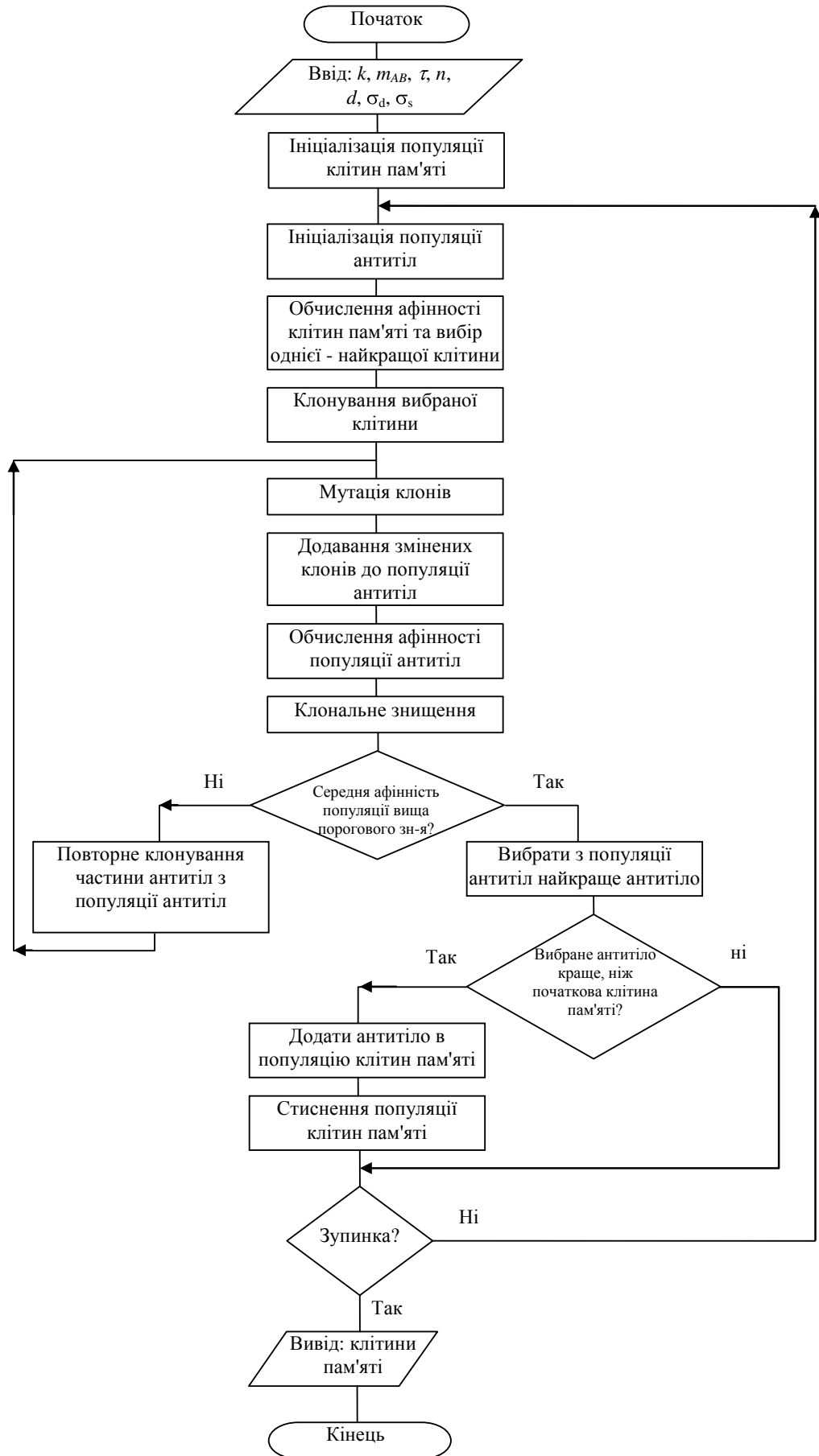


Рисунок 1.7 – Блок-схема алгоритму імунної мережі

Крок 2.4. *Метадинаміка*. Проводиться клональне знищення нестимульованих клітин відповідно до порогу σ_d .

Крок 2.5. Повторне клонування частини антитіл з популяції AB з утворенням популяції клонів M_c і перехід до кроку 2.3., якщо середня афінність популяції AB нижча заданого порогового значення.

Крок 2.6. З популяції AB вибирається клітина-кандидат (краще антитіло) в популяцію клітин пам'яті Ab_b .

Крок 2.7. Перехід до кроку 3, якщо $f(Ab_b, Ag_i) < f(m_b, Ag_i)$.

Крок 2.8. Додавання антитіла Ab_b в популяцію M_R .

Крок 2.9. *Міжклітинна взаємодія*. Визначається афінність взаємодії усіх клітин популяції M_R один з одним, тобто $f(m_i, m_j)$, $m_i, m_j \in M_R$.

Крок 2.10. *Стискання мережі*. Знищуються клітини популяції M_R , що розпізнають одна одну, відповідно до заданого порогу σ_s .

Крок 3. Перевірка виконання умови зупинки алгоритму і перехід до кроку 2, якщо умова зупинки не виконується.

1.2.3 Механізми селекції

Селекція антитіл для клонування в ШС відбувається пропорційно їх афінності з антигеном. Отже, в якості механізму селекції можна застосовувати алгоритми, подібні алгоритму рулетки [10]. Іншими можливими типами селекції, подібними до тих, що застосовуються в еволюційних алгоритмах, є: елітна селекція, селекція на основі ранжирування і турнірна селекція [8, 10]. У простому випадку селекція відбувається за допомогою сортування популяції антитіл у порядку зменшення значень їх афінності з подальшим вибором n перших індивідумів.

1.2.4 Соматична мутація для різних типів простору форм

Соматична гіпермутація виконує дві важливі функції у формуванні адаптивної імунної відповіді. Перша функція полягає в підтримці

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		42

різноманітності репертуару. Друга, спільно з процесом відбору, збільшує афінність антитіл до зовнішнього подразника (антигену).

Різні типи використовуваного простору форм припускають різні реалізації оператора мутації в ШС. Так у разі Хеммінгового або цілочисельного простору, алгоритм випадково вибирає позицію в рядку індивідуума і змінює значення елемента в межах використовуваного алфавіту k . Такий тип мутації називається одноточковою мутацією. Аналогічним чином проводиться багатоточкова мутація з тією лише різницею, що в рядку випадково вибирається не одна, а одночасно декілька позицій. Якщо структура індивідуума припускає наявність яких-небудь обмежень, наприклад, якщо атрибут в рядку не повинен повторюватися, то в цьому випадку мутація може проводитися за схемою перестановок випадковим чином вибраних пар атрибутів. Така мутація дістала назву інверсивної мутації.

Мутація індивідуумів в речовому просторі форм здійснюється у більшій частині схожим на інші види мутації чином, тобто випадковий вибір одного або декількох атрибутів і зміна їх значень. Особливістю цього виду мутації є те, що значення атрибутів повинні вибиратися з певного інтервалу.

Типовим прикладом оператора мутації в матеріальному просторі форм є рівномірна мутація. В даному випадку атрибут m_a , $a \in \{1, \dots, l\}$ у рядку $m = \langle m_1, \dots, m_a, \dots, m_l \rangle$ випадково вибирається з рівномірним розподілом з інтервалу $[m, n]$, де m і n - відповідно нижня і верхня межа зміни змінної m_a .

Розглянемо графічні приклади різних типів мутації на рисунках 1.8–1.10.

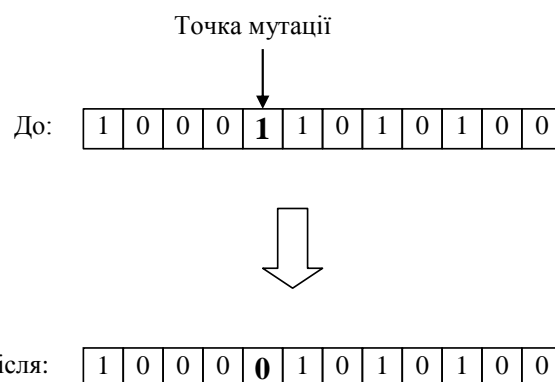


Рисунок 1.8 – Схема одноточкової мутації

Схема одноточкової мутації розглянута на прикладі бінарного кодування індивідуумів. В цьому випадку, всередині рядка індивідуума випадковим чином вибирається одна точка, і значення біта, що відповідає цій точці, інвертується.

При двоточковій (див. рисунок 1.9) мутації в рядку індивідуума випадковим чином вибираються дві точки, в яких проводиться інверсія бітів. Природним розширенням схеми двоточкової мутації є схема багатоточкової або N-точкової мутації. В даному випадку можна вибирати не лише місце розташування точок мутації, але і кількість цих точок.

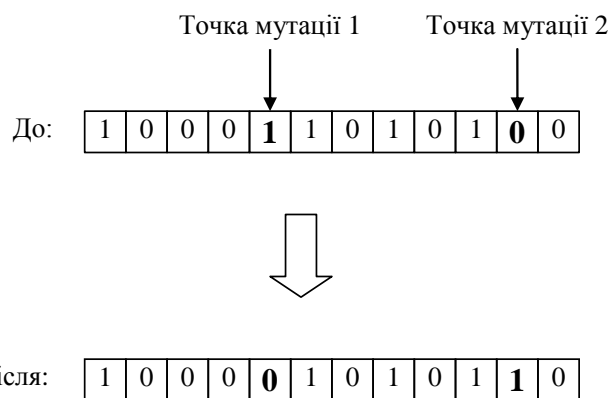


Рисунок 1.9 – Схема двоточкової мутації

Якщо з яких-небудь міркувань необхідно забезпечити збереження постійного складу елементів в рядку індивідуума (так, наприклад, в задачі про комівояжера не можна щоб одне і те ж місто входило до складу шляху двічі), то можна скористатися схемою мутації за допомогою циклічного зсуву, яка показана на рисунку 1.10.

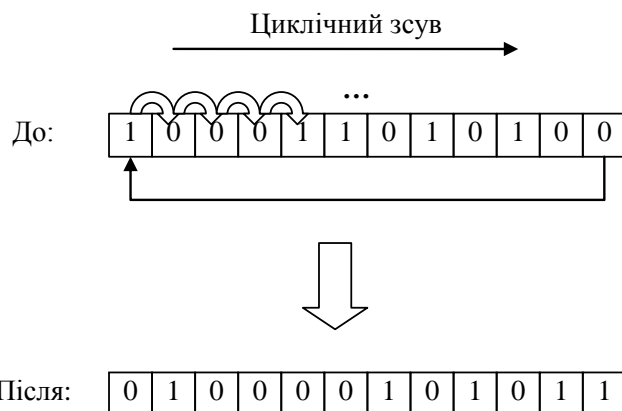


Рисунок 1.10 – Схема мутації за допомогою циклічного зсуву

Отже, проаналізовані основні підходи до проектування і синтезу штучних імунних систем для вирішення задач прогнозування і класифікації та описані основні імунні алгоритми для вирішення виділених задач.

1.3 Постановка задачі

Існує велика кількість методів оцінювання та прогнозування стану системи. Проте жоден з них не забезпечує прийняття ефективних управлінських рішень в умовах неповної, неточної та суперечливої інформації, а також при виникненні порушень, що не входять до списку відомих.

Тому метою дипломного проекту є створення інформаційно-аналітичної системи діагностування технічних систем, що забезпечує підвищення оперативності і точності прийняття рішень про технічний стан об'єкта за рахунок використання нових методів, алгоритмів та програмного забезпечення на основі теорії байєсівських мереж та штучних імунних систем. Це сучасний апарат підтримки прийняття рішень, який дає можливість враховувати невизначеності статистичного і структурного характеру при моделюванні складних систем. Крім того, обидва наукових напрями дуже швидко розвиваються і знаходять все більше практичних застосувань. Це свідчить про їх досить високу ефективність при вирішенні практичних завдань. Для розробки інформаційно-аналітичної системи діагностування необхідно вирішити наступні завдання:

- виконати аналіз основних підходів до проектування і синтезу штучних імунних систем для вирішення задач прогнозування і класифікації;
- створити узагальнену інформаційно-аналітичну технологію побудови динамічних і статичних моделей діагностованих об'єктів на принципах функціонування штучних імунних систем з метою вирішення задач оцінювання та прогнозування їх стану;

					<i>ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		45

- запропонувати алгоритм вирішення задач виявлення змін параметрів технічних систем на основі механізмів негативного відбору та клонального селекції;

- на основі запропонованих рішень створити високоефективну оригінальну інформаційно-аналітичну систему для вирішення задач діагностування складних технічних систем різного призначення.

					<i>ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		46

2 РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ АНАЛІЗУ І ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ

2.1 Побудова імунних алгоритмів прогнозування і розпізнавання

Основною особливістю більшості існуючих на сьогодні популяційних алгоритмів є принцип конкуренції індивідуумів всередині популяції. Цей принцип реалізується за рахунок селекції кращих індивідуумів, надання їм можливості репродукуватися і, як наслідок, перейти в нове покоління. Процес змагання, проте, припускає необхідність кодування у рамках одного індивідуума всього рішення задачі цілком. Таким чином, популяція складається з множини альтернативних рішень, які в процесі роботи алгоритму зазнають зміни, спрямовані на поліпшення їх якості. Імунні алгоритми також є популяційними алгоритмами. Вони розвивають популяцію антитіл здатних розпізнавати вторгнення антигенів.

Одним з можливих застосувань імунних алгоритмів є задача прогнозування тимчасових рядів, які найчастіше зводяться до задач апроксимації, а точніше екстраполяції даних (нижче буде показано, що задачі розпізнавання також можуть бути представлені як задачі апроксимації). У таких задачах кожне антитіло популяції є повним математичним описом моделі даних, що апроксимуються. В процесі конкуренції і зміни антитіл утворюється одна або декілька кращих моделей, які стають остаточним рішенням задачі апроксимації.

Істотним недоліком популяційних алгоритмів, як і багатьох інших ітераційних методів є значні тимчасові витрати на навчання і адаптацію популяції, які практично не дозволяють використовувати ці методи для роботи в реальному режимі часу, які швидко розвиваються і динамічно змінюваними зовнішніми умовами. У контексті вирішення задачі прогнозування технічного стану і виявлення відмов, зазначений недолік набуває особливої значимості і спонукає до розробки різних модифікацій алгоритму, які, при збереженні основної концепції, забезпечували б необхідну швидкість навчання, а, отже, і

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		47

можливість роботи алгоритму в динамічному середовищі.

У цій роботі запропонований один з варіантів модифікації імунного алгоритму, заснований на принципі кооперації антитіл замість їх конкуренції. В цьому випадку кожне антитіло популяції є тільки частиною рішення або у разі задачі апроксимації - частиною моделі. В межах популяції, антитіла з'єднуються один з одним певним чином (кооперуються) і формують структуру, здатну вирішувати завдання на системному рівні, тобто на рівні усієї популяції, а не на рівні окремого індивідуума. Такий підхід дозволяє значною мірою зменшити витрати часу на тренування при збереженні прийнятної якості апроксимації.

2.1.1 Задача прогнозування тимчасового ряду

Часовий ряд є набором даних, які були зібрані або зафіксовані через послідовні (рівні) проміжки часу. Розглянемо динамічну систему (тобто систему, характеристики якої змінюються в часі) з одним виходом y . Значення на виході системи в різні моменти часу можуть бути представлені у вигляді наступної послідовності:

$$\{y_{t-n}, \dots, y_{t-1}, y_t\}, \quad (2.1)$$

де t - час.

Якщо і y_{t-j} два послідовно зафіксованих в часі значення виходу системи і $\langle -i \rangle, \langle -j \rangle = const, i, j = \overline{0, n}$, то послідовність (2.1) є тимчасовим рядом спостережень за поведінкою динамічної системи.

Згідно теореми Такенса, задача прогнозування часового ряду зводиться до типової задачі апроксимації функції багатьох змінних за заданим набором прикладів за допомогою процедури занурення ряду в l -мірний простір. У цьому випадку значенням часового ряду y_t є довільна функція від l попередніх значень того ж ряду. Тобто:

$$y_t = f(a_{t-1}, \dots, y_{t-1}). \quad (2.2)$$

Ця функція забезпечує однозначне передбачення наступного значення ряду по l його попереднім значенням.

2.1.2 Розпізнавання за допомогою генетичних програм

У роботі [14] описується підхід до рішення задач розпізнавання, при якому елементом, що розпізнає, є генетична програма. В даному випадку в якості термінальних символів на вході програми виступають значення атрибутів розпізнаваного об'єкту (a_1, a_2, \dots, a_n) , а множина вихідних значень умовно ділиться на підмножини (C_1, C_2, \dots, C_k) , що не перетинаються, при $C_1 \cap C_2 \cap \dots \cap C_k = \emptyset$, $C_1 \cup C_2 \cup \dots \cup C_k = \mathfrak{R}$. Кількість таких підмножин (k) визначається кількістю класів об'єктів; межі підмножин відділяють один клас від іншого. Наприклад, при бінарній класифікації, вихідні значення генетичної програми можуть бути умовно представлені у вигляді двох чисел: 0 - відповідає першому класу об'єктів і 1 - відповідає другому класу. При цьому для розподілу класів вводиться поріг округлення R , а процедура розподілу відбувається таким чином:

$$y_c = \begin{cases} 0, & y \leq R \\ 1, & y > R \end{cases}, \quad (2.3)$$

де y_c - клас, до якого належить об'єкт з набором атрибутів (a_1, a_2, \dots, a_n) ;

y - речовий вихід генетичної програми, на вхід якої подається набір атрибутів (a_1, a_2, \dots, a_n) .

Оцінна функція генетичної програми в задачах розпізнавання зазвичай дуже проста і заснована на підрахунку кількості правильно розпізнаних елементів навчальної вибірки.

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		49

2.1.3 Кооперативний імунний алгоритм для вирішення задач апроксимації

2.1.3.1 Представлення рішень

Раніше було показано, що задачі прогнозування і розпізнавання зводяться до задач апроксимації функцій багатьох змінних. Отже, в загальному вигляді розглядається завдання побудови моделі нелінійної структури:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (2.4)$$

для якої залежність між входами x_i і виходом y представлена у вигляді таблиці цих експериментів T :

$$T = \bigcup_{i=1}^k (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}, y_i), \quad (2.5)$$

де k - кількість рядків таблиці.

Залежністю (2.4) в загальному випадку є математичне вираження, яке може бути записане у вигляді формули. Наприклад, допустимо, що модель має три входи (x_1, x_2, x_3) і один вихід. Допустимо, також, що залежність між входами моделі і її виходом може бути описана за допомогою формули:

$$y = a_{12} \cdot (a_1 x_1 + a_2 x_2) \cdot a_3 x_3, \quad (2.6)$$

де a_1, a_2, a_3, a_{12} - деякі константи, що виконують функцію коефіцієнтів.

Формула (2.6) може бути представлена у вигляді графа, зображеного на рисунку 2.1. Цей граф є не що інше, як генетична програма, зображена на рисунку 1.4 з тією лише різницею, що в даному випадку усі дуги графа мають ваги. Цей граф містить вершини двох типів:

- термінальна вершина - вершина, яка не має дуг, що входять в неї; такі вершини є змінними задачами;

- функціональна вершина - вершина, яка має дуги, що як входять, так і виходять з неї; функціональні вершини містять знаки математичних операцій і функції.

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		50

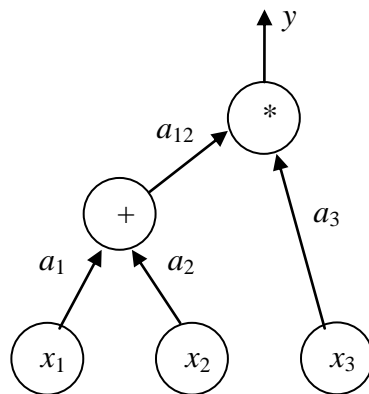


Рисунок 2.1 – Представлення математичного виразу у вигляді графа

Кожна вершина може мати множину виходящих дуг. Дуги, що входять, можуть мати тільки функціональні вершини. Кількість дуг, що входять у вершину, залежить від кількості аргументів функції, яку представляє вершина. Оскільки більшість математичних операцій і функцій є унарними або бінарними, то велика частина вершин матиме одну або дві дуги, що входять.

Однією з основних властивостей графа є те, що він не містить циклів і завжди може бути представлений у вигляді дерева. Розглянемо ще один приклад математичного виразу:

$$y = a_{123} \cdot (a_{12} \cdot (a_1 x_1 + a_2 x_2) \cdot a_3 x_3) + a_{12} \cdot (a_1 x_1 \cdot a_2 x_2) \quad (2.7)$$

Генетична програма, що відповідає виразу (2.7) показана на рисунку 2.2.

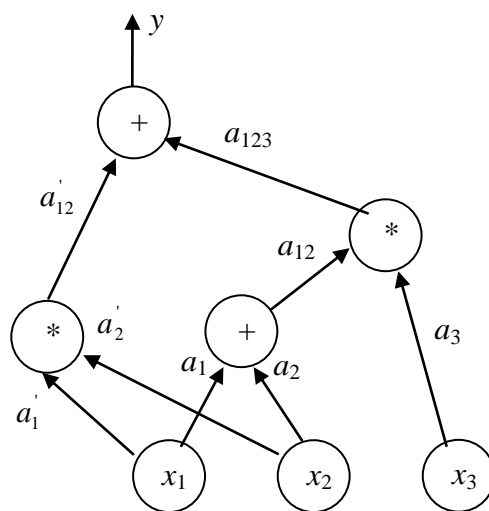


Рисунок 2.2 – Граф математичного виразу (генетична програма), що відповідає виразу (2.7)

На відміну від класичного уявлення ця програма виглядає як мережа, що нагадує за структурою багатозв'язні програмні мережі (МІР-мережі), описані в роботі [6] або нейронні мережі прямого поширення. Проте функціональне призначення вузлів даної мережі відрізняється від тих і інших, і як було сказано вище, мережа завжди може бути представлена як класична генетична програма, тобто у вигляді дерева виразу (рисунк 2.3).

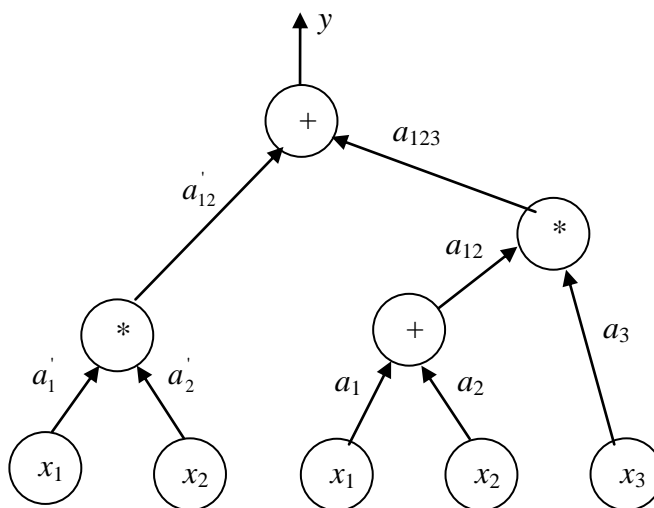


Рисунок 2.3 – Представлення графа виразу (2.7) у вигляді дерева

2.1.3.2 Кодування антитіл

Проектування штучних імунних систем починають з визначення простору пошуку або простору форм. Кожна форма ототожнюється з антитілом імунної системи і є рядком, що кодує одне можливе рішення задачі. В якості простору форм можуть використовуватися бінарний, цілочисельний, речовий, символний простір або їх комбінації. Пропонований в цій роботі метод, на відміну від класичних підходів, використовує не індивідуальне, а популяційне кодування генетичних програм. Індивідуальне кодування припускає представлення усієї генетичної програми у вигляді рядка в межах одного антитіла популяції. У популяційному кодуванні кожне антитіло є лише частиною генетичної програми, тобто кодує одну вершину графа або один вузол дерева математичного виразу.

Множина термінальних вершин графа не піддається ніяким змінам в

процесі рішення задачі, отже, популяцію імунного алгоритму повинні складати тільки антитіла, що кодують функціональні вершини. У рамках цієї роботи обмежимося розглядом унарних і бінарних математичних операцій і функцій. В цьому випадку рядок антитіла може бути представлений так (рисунок 2.4).

Код функції	Код 1-го вузла-нащадка	Код 2-го вузла-нащадка	Вес 1-го вузла-нащадка	Вес 2-го вузла-нащадка
-------------	------------------------	------------------------	------------------------	------------------------

Рисунок 2.4 – Пропонована структура індивідуума популяції імунного алгоритму

Як видно з рисунку, антитіло має змішане (цілочисельне і речове) кодування. Код функції і коди вузлів представляються цілими числами, а ваги - речовими. Під кодом функції розуміється її номер або індекс в масиві функцій (функціональна множина). Функціональна множина (F) може містити будь-яку кількість математичних операцій, функцій і поліномів, тобто $F = \{+, -, *, /, SIN, COS, TAN, LN, POLY1, POLY2, \dots\}$. Тут під $POLY1, POLY2, \dots$ розуміється можливість використання поліномів Колмогорова-Габора, таких наприклад як: $f_1(x_1, x_2) = c + a_1x_1 + a_2x_1x_2$, $f_2(x_1, x_2) = c + a_1x_2 + a_2x_1^2$ і т.д [17, 18]. Усі вершини графа генетичної програми пронумеровані. Номери вершин, від яких дуги спрямовані до цієї вершини, зберігаються в розділі кодів вузлів нащадків цієї вершини. Завдяки тому, що всі вершини можуть містити будь-яку кількість виходящих дуг, то при будь-якому приєднанні цієї вершини до графа не вийде синтаксично невірною математичного виразу, навіть у разі, коли коди обох вузлів нащадків виявляться рівними. Ця важлива властивість дозволяє давати максимальну свободу еволюції структури графа під час навчання.

2.1.3.3 Обчислення афінності

Будь-який імунний алгоритм передбачає наявність популяції антигенів (AG), яка буде розпізнаватися популяцією антитіл (AB). У задачах апроксимації в якості популяції антигенів виступає множина рядків даних таблиці

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		53

експериментів T , $Ag_i = t_i$, $Ag_i \in AG$, $t_i \in T$, $i = \overline{1, k}$. Існує також можливість, запропонована в роботі [103], розбиття таблиці експериментів на підмножини рядків, причому $Ag_i = T_i$, $T_i \subseteq T$ і в загальному випадку $|Ag_i| \neq |Ag_j|$, $Ag_i \cap Ag_j \neq \emptyset$ при $i \neq j$. Оцінка i -ої генетичної програми і j -го антигену обчислюється як Евклідова відстань:

$$D_{Eij} = \sqrt{\sum_{n=1}^r (Ag_{jn}^y - y_{in}^M)^2}, \quad (2.8)$$

де r - кількість рядків таблиці експериментів, що входять до складу патерну антигена Ag_j ;

Ag_{jn}^y , - реальне значення виходу системи в n -му рядку даних антигена Ag_j ;

y_{in}^M - значення виходу моделі при установці n -го набору вхідних параметрів рядка даних антигена Ag_j .

Оскільки в цій роботі, при обчисленні значень афінності, використовується міра подібності, а не міра комплементу індивідуумів, вводиться додаткова функція афінності (щоб зберегти цільовий напрям максимізації афінності) у виді:

$$f_{aff} = \frac{1}{1 + D_E}. \quad (2.9)$$

Внаслідок того, що кожне антитіло є тільки частиною генетичної програми, то його афінність обчислюватиметься на підставі оцінки підграфа (піддерева), утвореного поточною вершиною і усіма її нащадками.

Таким чином, значення функції f_{aff} змінюються в інтервалі від 0 до 1, тобто $f_{aff} : \mathbb{R}^+ \rightarrow [0, 1]$. Для управління чутливістю антитіл вводиться поріг афінності (ε). Фактом розпізнавання антитілом Ab_i , $Ab_i \in AB$ антигену Ag_j

										Арк.
										54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ					

вважається значення функції афінності $f_{aff} \geq \varepsilon$. Отже, чим менше значення порога афінності, тим більше робастними будуть результати роботи системи. Очевидно, що в даному випадку $\varepsilon \in [0, 1]$. Кількість антигенів, розпізнаних антитілом Ab_i , називається концентрацією антигену і позначається ν_i^{Ag} .

Для розрахунку концентрації визначимо функцію зв'язування антитіла з антигеном як:

$$b: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow [0, 1] \quad (2.10)$$

Ця функція може набувати тільки два значення: 1 - зв'язування сталося (антиген розпізнаний антитілом) і 0 - зв'язування не сталося (антиген не розпізнаний антитілом). Використовуючи значення функції f_{aff} і порогу ε , можна представити функцію b у вигляді наступного співвідношення:

$$b = \begin{cases} 0, & \text{при } f_{aff} < \varepsilon; \\ 1, & \text{при } f_{aff} \geq \varepsilon. \end{cases} \quad (2.11)$$

Тоді значення концентрації антигена для антитіла Ab_i може бути розраховане так:

$$\nu_i^{Ag} = \sum_{j=1}^k b_{ij} \quad (2.12)$$

де b_{ij} - значення функції зв'язування антитіла Ab_i з антигеном Ag_j .

Стимульованою вважається клітина, у якій значення $\nu_i^{Ag} > 0$.

Розглянемо фрагмент популяції, зображений на рисунку 2.5. Використовуючи співвідношення (2.8) - (2.12) концентрацію ν_3^{Ag} можна представити як деяку композицію концентрацій ν_1^{Ag} і ν_2^{Ag} , тобто $\nu_3^{Ag} = \nu_1^{Ag} \circ \nu_2^{Ag}$. В цьому випадку можна виділити наступні два варіанти співвідношення цих трьох величин.

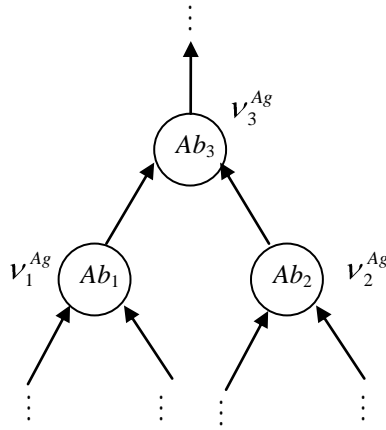


Рисунок 2.5 – Фрагмент популяції антитіл (концентрація v_3^{Ag} може бути представлена як композиція $v_1^{Ag} \circ v_2^{Ag}$; залежно від співвідношення $v_1^{Ag}, v_2^{Ag}, v_3^{Ag}$, клітина Ab_3 може бути стимульованою або нестимульованою)

Варіант 1. $v_3^{Ag} > \max(v_1^{Ag}, v_2^{Ag})$ - антитіло Ab_3 має велику концентрацію антигену в порівнянні з антитілами Ab_1 і Ab_2 . Отже, з точки зору генетичної програми, введення вузла Ab_3 поліпшує апроксимацію залежності, наближаючись до вирішення задачі. В даному випадку клітина Ab_3 є стимулюючою і концентрація антигену для неї залишається рівною v_3^{Ag} .

Варіант 2. $v_3^{Ag} \leq \max(v_1^{Ag}, v_2^{Ag})$. Тут введення вузла Ab_3 погіршує або не змінює апроксимацію залежності, з чого виходить, що клітина Ab_3 є нестимулюючою і її значення v_3^{Ag} прирівнюється до 0.

Алгоритм навчання використовує інформацію про стимулюючі і не стимулюючі клітини для того, щоб збільшувати або зменшувати розмір репертуару антитіл.

2.1.3.4 Навчальний алгоритм

У загальному випадку на початку навчання передбачається наявність тільки одного антитіла в популяції антитіл. В процесі навчання популяція антитіл структуруватиметься у вигляді графа, подібного до того, який

зображений на рисунку 2.2. У контексті імунних алгоритмів назвемо цю структуру функціональною мережею антитіл (ФМА). В якості основних властивостей цієї мережі можна виділити наступні:

- ріст мережі, що базується на принципі клонального відбору;
- стискання мережі, засноване на знищенні нестимулюючих клітин (апоптоз);
- еволюція налаштувань і структури мережі, заснована на механізмах оцінювання і соматичної гіпермутації.

У загальному вигляді навчальний алгоритм може бути описаний таким чином.

Крок 1. *Ініціалізація*. Створення початкової популяції антитіл AB . У цій роботі початкова популяція складається з одного антитіла, але можлива ініціалізація популяції будь-якого зумовленого розміру.

Крок 2. *Інфікування (присутність антигенів)*. Для кожного антитіла $Ab_i \in AB$ на підставі виразу (2.9) обчислити концентрацію антигену v_i^{Ag} .

Крок 3. *Селекція і клонування*. Вибрати антитіло з найбільшим значенням концентрації (найбільш стимульована клітина). Клонувати вибране антитіло. Можливе створення як одного, так і декількох клонів.

Крок 4. *Дозрівання афінності*. Піддати мутації усі клони вибраної клітини з інтенсивністю, обернено-пропорційною їх значенням концентрації v_i^{Ag} . Під час мутації можлива зміна коду функції і кодів першого і другого нащадків (еволюція структури мережі), а, також, зміна вагів першого і другого нащадків (еволюція налаштувань мережі).

Крок 5. Повторно вичислити концентрації антитіл мережі, подібно до кроку 2.

Крок 6. *Стискання мережі*. Знищити всі клітини мережі, значення концентрацій яких (v_i^{Ag}) менше або дорівнює деякому заданому порогу v_{\min}^{Ag} (знищення нестимулюючих клітин).

Крок 7. Перехід до кроку 2, якщо не виконується умова зупинки.

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		57

Ріст мережі є вибором і репродукцією найбільш стимульованої клітини популяції згідно з принципом клональної селекції. Вибір клітини для клонування відбувається згідно зі значеннями концентрації антигена, вичисленими для усіх клітин мережі. Клітина з найбільшою концентрацією вибирається для клонування.

Розглянемо роботу процедури росту ФМА на конкретному прикладі. Допустимо, поточна конфігурація мережі, така (рисунок 2.6). В даному випадку клітина Ab_1 вибрана для клонування, оскільки $v_1^{Ag} > v_2^{Ag}$ (рисунок 2.7).

Так як вершина Ab_3 не має вихідних дуг, то мережа після клонування утворює два виходи (y_1, y_2), що по суті не є проблемою і добре підходить під концепцію мультигенних індивідуумів.

Загальний вихід мережі (y) може бути розрахований як композиція виходів y_1 і y_2 ($y = f(y_1, y_2)$). Крім того, утворення другого виходу мережі можна розглядати як альтернативне рішення, яке може розвиватися незалежно від основного.

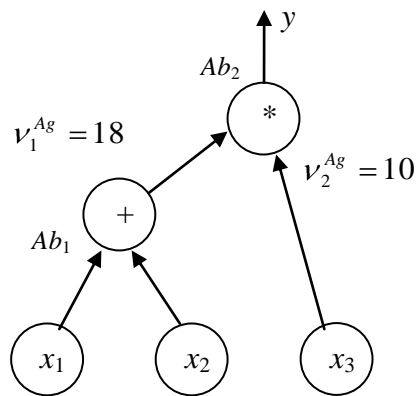


Рисунок 2.6 – Приклад конфігурації ФМА перед початком процедури росту

Завдяки механізму мутації відбувається адаптація структури антитіл і, як наслідок, збільшення афінності популяції. У цій роботі інтенсивність мутації залежить від значень концентрації v^{Ag} антитіл мережі. Чим більше значення v^{Ag} , тим менша інтенсивність мутації. Мутації може бути піддана будь-яка

частина рядка антитіла. Під інтенсивністю β розуміється кількість елементарних дій оператора мутації на антитіло Ab . Елементарна дія проводиться за схемою одноточкової мутації.

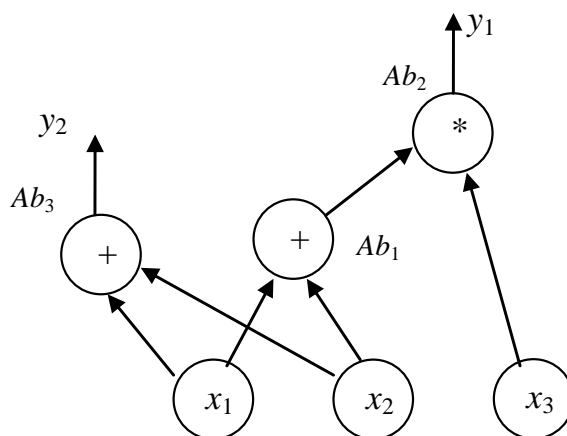


Рисунок 2.7 – Стан ФМА після клонування клітини Ab_1

Оскільки оператор може впливати на будь-яку частину антитіла, то він може оновлювати не лише вагові характеристики дуг графа ФМА, але і структуру самої ФМА. Допустимо антитіло Ab_3 (див. рисунок 2.7) піддалося мутації таким чином, що були змінені код функції і код 2-го вузла-нащадка. Нова структура мережі може виглядати так (рисунок 2.8). Ця структура не суперечить синтаксису математичного виразу, який представляє, і легко може бути зображена у вигляді дерева (рисунок 2.9).

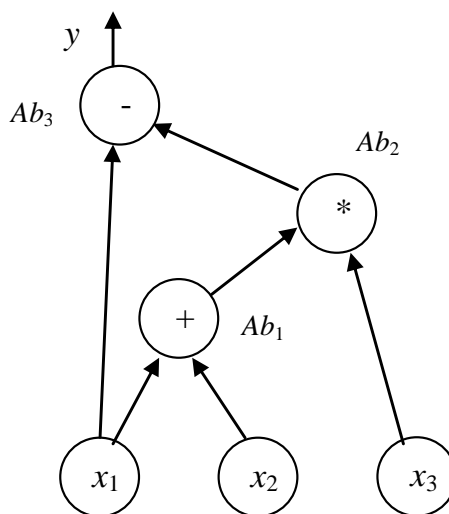


Рисунок 2.8 – Структура ФМА після мутації

Ще один важливий факт полягає в тому, що в цьому прикладі мережа, завдяки мутації, «позбавилася» від другого виходу, утворивши єдину структуру.

Для того, щоб уникати утворення значної кількості виходів мережі, в пропонованому методі встановлено обмеження, згідно з яким будь-яка функціональна вершина мережі може утворювати зв'язок тільки з термінальними вершинами або іншими функціональними вершинами, що не мають витікаючих дуг.

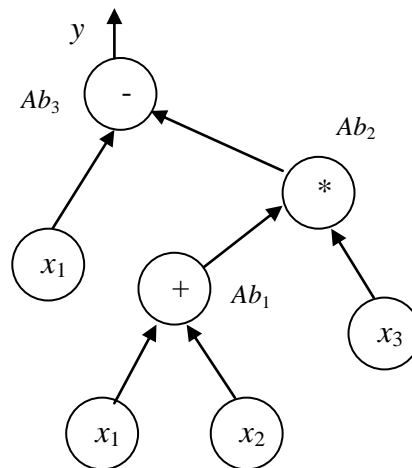


Рисунок 2.9 – Представлення ФМА у вигляді бінарного дерева

Стисання мережі має на увазі процес знищення нестимульованих клітин, що призводить до зменшення розміру мережі. Процес стисання мережі також розглянемо на прикладі (рисунок 2.10).

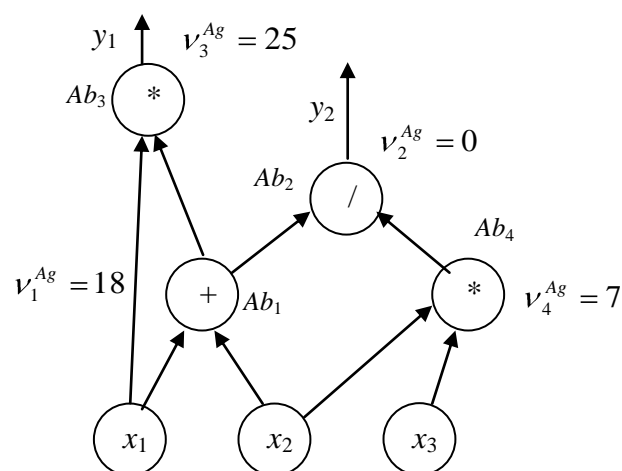


Рисунок 2.10 – Стан мережі перед стисанням. Антитіло Ab_2 є нестимульованим і повинно бути видаленим з мережі

В даному випадку клітина Ab_2 має концентрацію антигена $v_2^{Ag} = 0$, тобто є нестимульованою.

Видалення вершини Ab_2 призводить до утворення нової структури мережі, зображеної на рисунку 2.11. Як і у випадку з оператором мутації, видаленню з мережі можуть бути піддані тільки функціональні вершини, що містяться у вихідному шарі, тобто що не мають витікаючих дуг.

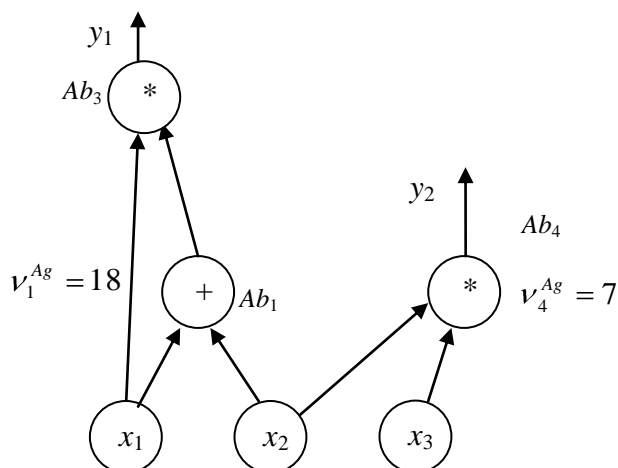


Рисунок 2.11 Структура мережі після видалення нестимульованої вершини

Нижче наводиться експериментальне дослідження запропонованого підходу на тестових прикладах.

2.2 Визначення працездатності технічного об'єкту на основі запропонованої модифікації імунного алгоритму

2.2.1 Прогнозування дрейфу параметрів

Прогнозування дрейфу параметрів технічного об'єкта (ТО) зводиться до прогнозування багатовимірного часового ряду, утвореного набором значень вихідних характеристик об'єкта y_0, y_1, \dots, y_n . Передбачається, що експлуатація ТО здійснюється на інтервалі часу $[t_0, T]$. При цьому на інтервалі $[t_0, t_k]$ проводиться дискретний контроль характеристик $y_i(t)$, $i = \overline{1, n}$. Вимірювання

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		61

проводяться в моменти часу $t_0 < t_1 < t_2 < \dots < t_k$. Результати вимірювань $z_i(t_j), i = \overline{1, n}; j = \overline{1, k}$ представляють собою багатомірний часовий ряд навчальних прикладів. Подальша підготовка ряду передбачає його занурення в l -мірний простір. Параметр l може бути обчислений за допомогою автокореляційної функції для кожного $y_i(t)$. В результаті виходить n таблиць даних (антигенів) розмірністю $k \times (l_i + 1)$. Навчання алгоритму проводиться окремо по кожній таблиці. Розглянемо одну з n моделей, отриманих в результаті навчання. Функціональна мережа антитіл, відповідна цієї моделі може бути представлена у вигляді чорного ящика наступним чином (рисунок 2.12).

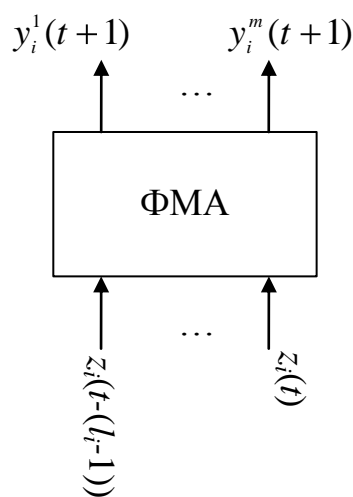


Рисунок 2.12 – Прогнозуюча модель ФМА

У цій мережі виходи $y_i^j(t+1), j = \overline{1, m}$ є рядом альтернативних рішень задачі пошуку функціональної залежності виду: $y_i(t+1) = f(z_i(t), \dots, z_i(t - (l_i - 1)))$. Параметр m задається вручну в налаштуваннях алгоритму навчання ФМА. Таким чином, здатність ФМА утворювати декілька виходів дає можливість для кожної з вихідних характеристик об'єкту побудувати не один, а групу прогнозів, серед яких, вибравши найкращий і найгірший варіанти, побудувати конус прогноз (рисунок 2.13). На цьому рисунку, при існуванні граничного допустимого значення параметра y_i^{np} , отримуємо в точках 1 і 2 відповідно «песимістичний» і

«оптимістичний» прогнози технічного стану ТО.

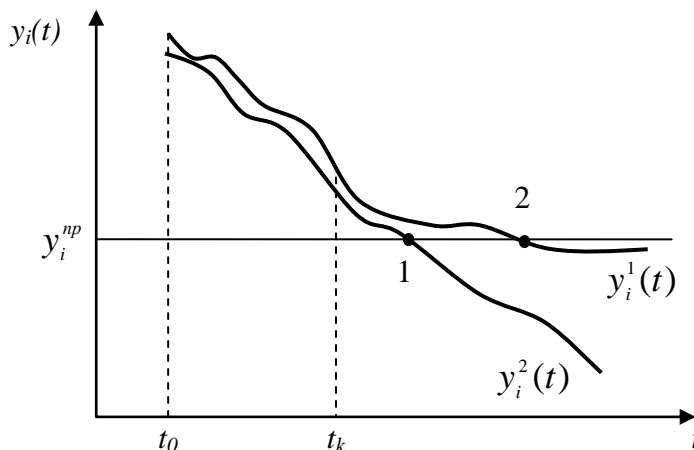


Рисунок 2.13 – Інтервал навчання і конус прогнозу, утворений групою моделей

Якщо задача вимагає набуття значення характеристики ТО в певний момент часу (t_f) в майбутньому, то за наявності конуса прогнозу, на виході системи прогнозування буде отриманий інтервал $[y_i^{\min}(t_f), y_i^{\max}(t_f)]$, всередині якого знаходиться шукане значення характеристики.

2.2.2 Визначення працездатності ТО

За наявності кінцевої множини (МА) атрибутів системи: $MA = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ і кінцевої множини типів відмов $MO = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$, задача визначення працездатності ТО зводиться до побудови такої функціональної мережі антитіл, яка здатна знаходити відповідність між набором значень атрибутів, що характеризують поточний стан ТО і типом відмови, присутнім в системі, тобто

$$F(a_1, a_2, \dots, a_n) = e, \quad e \in MO. \quad (2.13)$$

Модель функціональної мережі антитіл, що відповідає (2.13) показана на рисунку 2.14. Термінальними вершинами тут виступають атрибути системи. Виходом мережі є деяке дійсне число $y_e \in \mathcal{R}$, що характеризує тип виявленої

ВІДМОВИ.

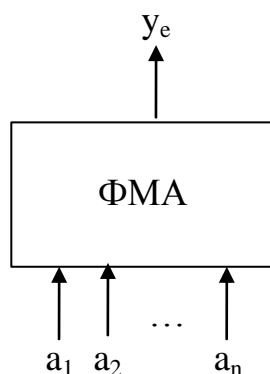


Рисунок 2.14 – Класифікуюча ФМА, що реалізовує функцію відповідності F

Для навчання мережі будується таблиця відповідності, рядок якої має наступний вигляд: $\langle a_1^i, a_2^i, \dots, a_n^i, e_j \rangle$. Тут $e_j, j = \overline{1, m}$ - значення розпізнаваного типу відмови, яке рівне 1. Усі інші значення рівні 0. Під час тренування мережа вчиться відділяти тип e_j від усіх інших типів відмов. Приймаючи поріг округлення рівним 0 ($R = 0$) маємо (рисунок 2.15).

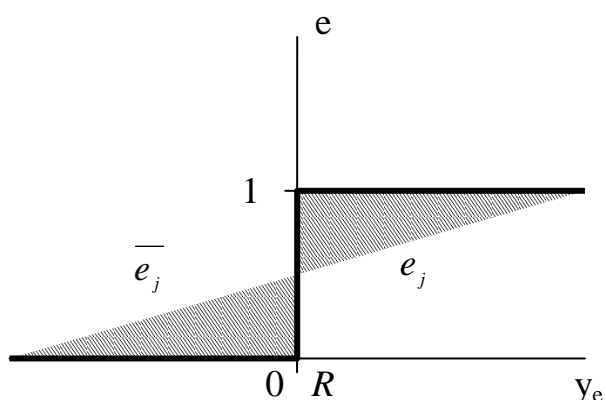


Рисунок 2.15 – Бінарна класифікація, призначена для виділення класу e_j з усієї іншої множини відмов

При вирішенні задачі виявлення аномалій в роботі ТО, в якості атрибутів системи розглядаються значення контрольованих параметрів, які змінюються в часі процесу (сигналів): $y_0(t), y_1(t), \dots, y_n(t)$. Передбачається, що дискретний

контроль значень параметрів $y_i(t)$, $i = \overline{1, n}$ проводиться на інтервалі $[t_0, t_k]$. На даному ряді вибирається тимчасове вікно шириною l -вимірів ($l < k$). Значення часового ряду, що потрапили всередину тимчасового вікна утворюють вектор атрибутів $MA = \langle y_t, y_{t-1}, \dots, y_{t-l+1} \rangle$. Вектору атрибутів ставиться у відповідність приналежність до одного з двох класів: $MO = \{e_1, e_2\}$. При цьому e_1 = "аномалії немає", e_2 = "аномалія є". Тимчасове вікно зміщується (ковзає) вздовж часового ряду на величину Δl кроків, утворюючи множину векторів, які ділять признаковий простір на дві частини: з аномаліями і без них. Задача полягає у віднесенні будь-якого вектора, утвореного ковзаючим тимчасовим вікном, до одного з двох виділених класів. З іншого боку, якщо розглядати досліджуваний процес як динамічну систему, то отримується за допомогою ковзного вікна множина векторів є відновленим фазовим портретом динамічної системи, а самі вектора - точки, що належать до фазової траєкторії цієї системи. При нормальній поведінці, дана траєкторія може сприйматися як еталонний образ, будь-яке відхилення від якого є ознакою аномалії (рисунок 2.16).

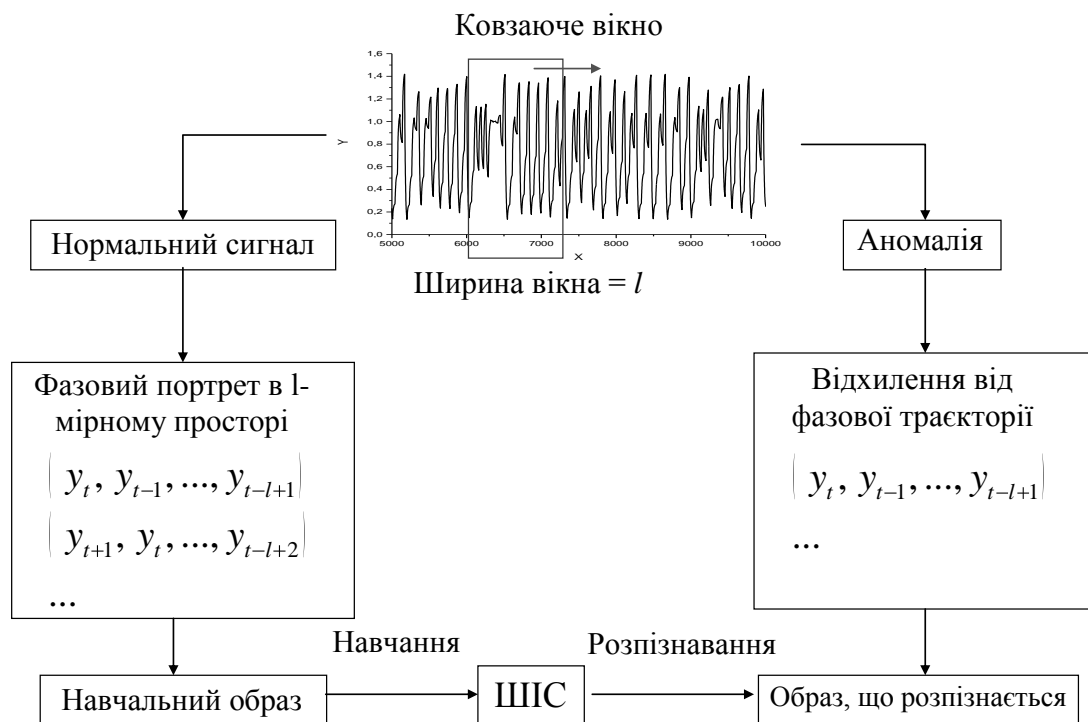


Рисунок 2.16 – Виявлення аномалії контрольованого параметра технічної системи

Основним недоліком такого підходу є необхідність наявності в навчальній вибірці як даних, що відповідають нормальній поведінці процесу, так і даних, що відповідають всіляким аномаліям. Проте, отримання останніх в повному об'ємі не завжди можливо, а недостатньо добре навчена система може помилково віднести аномальні прояви до нормальної поведінки, що зменшує її ефективність. Для усунення вказаного недоліку, в роботах [20, 21] запропонований метод, заснований на використанні негативного відбору, який також не позбавлений недоліків. У даній роботі запропонована і реалізована модифікація методу негативного відбору, опис якої наводиться нижче.

2.3 Виявлення аномалій в роботі технічного об'єкту на основі модифікованого алгоритму негативного відбору

2.3.1 Негативний відбір

В якості альтернативного підходу до вирішення задачі виявлення аномалій розглянемо метод негативного відбору, який також є частиною парадигми штучних імунних систем. Негативний відбір в імунній системі використовується для розпізнавання чужорідних антигенів шляхом знищення тих клітин (антитіл), які реагують на власні антигени. Цей процес називається розпізнаванням «свій-чужий». Метод негативного відбору і побудований на його основі алгоритм, що узагальнює дану властивість імунної системи, складається з наступних основних компонентів:

- визначається множина «своїх» рядків S довжини l , що складаються з символів кінцевого алфавіту. Ці рядки моделюють нормальну поведінку системи;

- генерується множина R детекторів, які не розпізнають (не співпадають) ні з одним рядком з множини S . При порівнянні рядків використовується правило часткового збігу, згідно з яким два рядки вважаються такими, що співпали, якщо вони знаходяться один від одного на відстані, що не перевищує деякого значення ε , розрахованого з використанням певної метрики (наприклад,

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		66

метрики Евкліда);

- дані, що поступають, контролюються шляхом безперервного зіставлення з кожним з детекторів. Виявлення збігу хоч би з одним з детекторів розглядається як аномалія в поведінці контрольованої системи.

Цей алгоритм є робастним методом, основною перевагою якого є здатність виявляти нові аномалії, а не шукати їх серед заздалегідь відомої множини подій цього типу.

Класичний варіант алгоритму негативного відбору має один суттєвий недолік. Генерація множини детекторів у фазі навчання відбувається випадково, внаслідок чого заздалегідь неможливо визначити мінімально необхідну кількість детекторів, яка буде забезпечувати максимальну якість розпізнавання. Збільшення кількості детекторів веде до уповільнення фази розпізнавання, а його зменшення - до погіршення якості роботи алгоритму, тому що збільшується ймовірність утворення «порожнин», які є областями у просторі «чужих», які не розпізнаються жодним з детекторів.

2.3.2 Модифікація фази навчання алгоритму негативного відбору

Вирішення конкретної задачі за допомогою узагальненого алгоритму вимагає опису специфічної реалізації деяких операторів і функцій. В даному випадку імунна мережа використовує речове кодування антитіл (рисунок 2.17), при якому для обчислення відстані застосовується метрика Евкліда (1.2). При цьому слід зазначити, що вектори $\{Ab_1, Ab_2, \dots, Ab_l\}$ розташовані в тому ж просторі, що і вектори $\{y_t, y_{t-1}, \dots, y_{t-l+1}\}$, що відповідають елементам навчального і розпізнаваного сигналів.

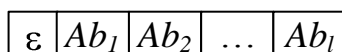


Рисунок 2.17 – Представлення клітини імунній мережі

Крім того, навчальний сигнал містить тільки вектори, що відповідають

нормальній поведінці контрольованого параметра ТО і що утворюють множину «своїх» S . Наслідуючи термінологію імунних мереж можна сказати, що множина S є популяцією антигенів мережі (AG).

При використанні Евклідової метрики (D_E) та зазначеного кодування, антитіла формують навколо себе l -мірну радіальну область розпізнавання з радіусом ε , який є крос-реактивним порогом. Як показано на рисунку 2.17, крос-реактивний поріг включений до складу структури антитіла, що дозволяє адаптивно налаштовувати його значення. Таким чином, імунна мережа заповнює простір «чужих» розпізнають гіперсфери, що розпізнають різного радіусу, що дає можливість його більш повного покриття.

Для розрахунку значень афінності зв'язку «антиген-антитіло» використовується наступне співвідношення:

$$f_{Ab-Ag} = \frac{k_\varepsilon}{\varepsilon} + D_{E(Ab-Ag)} \rightarrow \min, \quad (2.1) \quad 4)$$

де ε - крос-реактивний поріг антитіла (детектора);

k_ε - коефіцієнт значущості крос-реактивного порогу (параметр налаштування алгоритму).

Параметр k_ε є дуже важливим параметром навчання. Він управляє робастністю отриманого рішення. Збільшення цього параметра «примушує» імунну мережу підтримувати детектори більшого радіусу, що дає грубіше, але при цьому стійкіше рішення. Проте надмірне збільшення k_ε негативно позначається на точності рішення. На рисунку 2.18 демонструється вплив параметра k_ε на спосіб генерації детекторів.

Для розрахунку значень афінності зв'язку «антитіло-антитіло» запропонована наступна формула:

$$f_{Ab-Ab} = -\frac{D_{E(Ab_1-Ab_2)} - (\varepsilon_{Ab_1} + \varepsilon_{Ab_2})}{2 \cdot \min(\varepsilon_{Ab_1}, \varepsilon_{Ab_2})}, \quad (2.1) \quad 5)$$

При цьому можлива наступна інтерпретація значень: f_{Ab-Ab} - гіперсфери детекторів, що розпізнають, які не перекриваються.

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		68

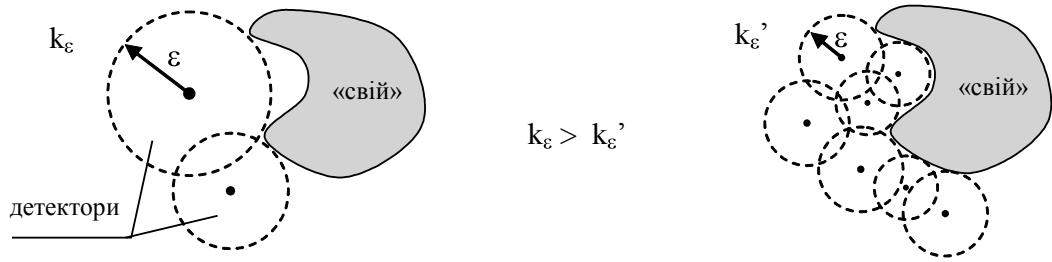


Рисунок 2.18 – Вплив значення параметра k_ϵ на спосіб генерації детекторів

Цей варіант не вимагає стиснення, тому що антитіла не розпізнають один одного (рисунок 2.19 а); $0 < f_{Ab-Ab} < 1$ - гіперсфери перекриваються оболонками, а саме значення ϵ ступенем перекриття (див. рисунок 2.19 б). При цьому стиск здійснюється залежно від величини параметра порога стиснення σ_s , який є параметром алгоритму навчання; ≥ 1 - гіперсфера меншого радіусу (ϵ) повністю знаходиться всередині гіперсфери більшого радіуса (див. рисунок 2.19 в). В даному випадку стиснення, безумовно, необхідне, тому що спостерігається надмірність елементів, що розпізнають.

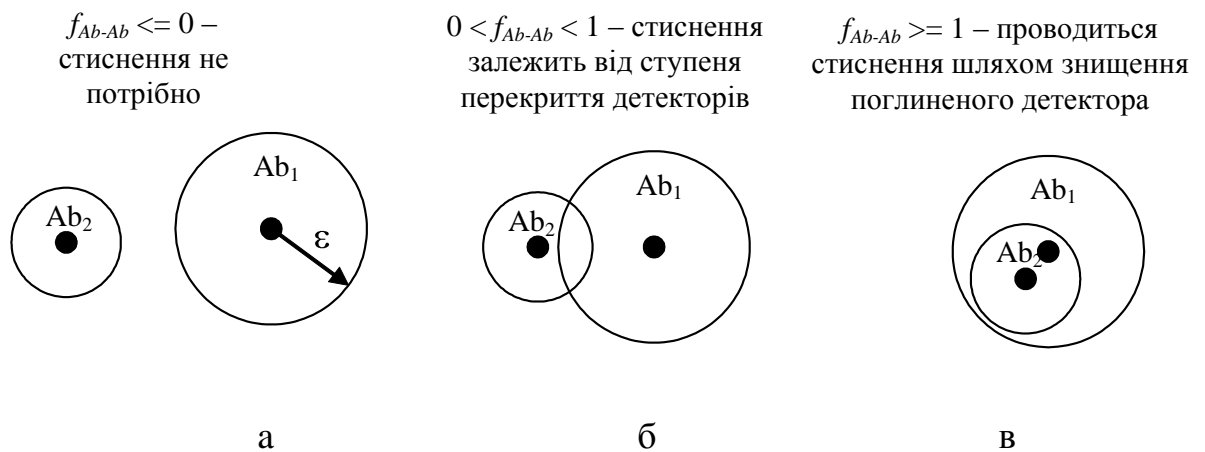


Рисунок 2.19 – Різне взаємне розташування гіперсфер детекторів, що розпізнають

У цій реалізації оператор клонального знищення імунної мережі H діє тільки на ті антитіла, які розпізнають хоч би один антиген. Таким чином, результуюча імунна мережа у кінці кожного покоління гарантовано не містить

детекторів, що розпізнають «свої» антигени.

В даному розділі дипломного проекту розроблено комбінований алгоритм для виявлення аномалій в контрольованих параметрах об'єктів діагностування, що використовує механізми негативного відбору та клонального селекції.

					<i>ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		70

3 РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ І ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТІВ

На підставі розроблених алгоритмів прогнозування і діагностування відмов створена програмна система, що дозволяє проводити аналіз і прогнозування технічного стану устаткування, а також його діагностування на підставі цих спостережень за рядом контрольованих параметрів і проведенні додаткових процедур тестування. Система має гнучку архітектуру, що дозволяє здійснювати впровадження додаткових програмних модулів без перебудови усього алгоритму. Концептуальний, технічний опис системи представлений нижче.

3.1 Концепція проекту системи

3.1.1 Функціональне і експлуатаційне призначення системи

Найменування системи: «Інформаційна система технічного діагностування», надалі ІСТД.

Система призначена для прогнозування технічного стану і діагностування відмов складних технічних об'єктів, для яких мають місце наступні особливості:

- складний характер взаємозв'язків вузлів і підсистем технічного об'єкту;
- неможливість безперервного моніторингу усіх основних технічних параметрів об'єкту;
- велика кількість зовнішніх збурюючих впливів, що створює неоднозначну відповідність між технічним станом об'єкту і значеннями його контрольованих параметрів;
- наявність дрейфу контрольованих параметрів, що є наслідком погіршення технічного стану об'єкту.

До можливостей ІСТД слід віднести:

- діагностування відмов складних технічних об'єктів в умовах неточної, неповної і суперечливої інформації;

					<i>ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		71

- моніторинг і прогнозування технічного стану об'єктів за даними спостережень за зміною контрольованих параметрів;

- можливість гнучкого налаштування структури і параметрів системи для конкретних умов експлуатації;

- можливість використання будь-якої доступної інформації, що поступає на сенсори системи, яка може вплинути на результат діагностування;

- можливість самонавчання системи в конкретних умовах експлуатації.

До основних технічних характеристик ІСТД відносяться:

- модульна архітектура системи (дозволяє організувати паралельну роботу окремих модулів);

- відкрита архітектура системи (уніфікований API, взаємозамінність окремих модулів);

- робота на платформі Win32 з можливістю перенесення системи на інші платформи;

- наявність інтерфейсу оператора для взаємодії з системою в експлуатаційному режимі;

- наявність інтерфейсу системного програміста для взаємодії з системою в режимі налаштування;

- наявність програмного інтерфейсу для виклику окремих функцій системи із зовнішніх застосувань;

ІСТД не має принципових обмежень на сферу застосування. Система може працювати у функціонально-обмеженому режимі, коли специфічний характер процесів не дозволяє здійснювати прогнозування дрейфу контрольованих параметрів технічного об'єкту або прогнозування буде малоефективним. В цьому випадку система здійснює діагностування відмов тільки за фактом їх виникнення.

					<i>ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		72

3.1.2 Функціональні характеристики системи

ІСТД забезпечує виконання наступних функцій:

- функції введення інформації кількісного і якісного характеру, що поступає з датчиків безперервного контролю параметрів технічного об'єкту і консолі оператора;
- функції обміну інформацією з тестуючим устаткуванням і програмним забезпеченням для здійснення періодичного контролю параметрів технічного об'єкту;
- функції формування звіту про результати діагностування і відображення супутньої інформації;
- функції попередньої обробки інформації для перетворення до виду, придатного для використання (дискретизація безперервних числових рядів, обчислення динамічних і статистичних характеристик даних, що поступають, і так далі);
- функції формування і використання бази цих спостережень за зміною контрольованих параметрів;
- функції оцінки працездатності об'єкту і виявлення порушень в його роботі;
- функції прогнозування дрейфу контрольованих параметрів за історичними даними спостережень;
- функції налаштування структури і параметрів підсистеми прогнозування;
- функції діагностування відмов за фактом їх виникнення або по прогнозованих значеннях контрольованих параметрів;
- функції експертного налаштування підсистеми логічного висновку, що здійснює процес діагностування;
- функції формування і використання бази цих відмов, які мали місце в період експлуатації системи для здійснення можливості адаптації (донавчання) підсистеми логічного висновку до конкретних умов функціонування;

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		73

- функції оптимізації роботи з тестуючим устаткуванням і програмним забезпеченням для скорочення часу, що витрачається на діагностування технічного об'єкту;

3.1.3 Умови використання системи

Для нормальної експлуатації системи потрібна наявність ПЕОМ і інших технічних засобів з наступними характеристиками:

- процесор: Intel Pentium IV 1000 Mhz або вище, AMD Athlon 1000+ або вище;

- оперативна пам'ять - 1 Gb або більше;

- вільний дисковий простір: 20 Mb для програмних модулів системи і 500 Mb для формування баз даних (останнє значення не фіксоване і може змінюватися залежно від умов експлуатації);

- операційна система: Windows XP зі встановленим компонентом Microsoft NET Framework 2.0 або вище;

- клавіатура і маніпулятор, типу «миша»;

- пристрій запису на зовнішні оптичні носії для резервного копіювання файлів баз даних;

- пристрій для забезпечення безперебійного живлення ПЕОМ для можливості автономної роботи системи;

- друкуючий пристрій для можливості виведення файлів звіту на друк;

- відеопідсистема з можливістю відображення графічної інформації в розширенні 800x600 пікселів або вище;

- пристрої апаратного сполучення з датчиками безперервного контролю, тестуючим устаткуванням і програмне забезпечення для цих пристроїв.

В якості вхідних даних можуть використовуватися текстові файли ASCII або файли у форматі CSV, які містять інформацію про результати контролю параметрів технічного об'єкту. Ця інформація проходить попередню обробку і зберігається у базі цих історичних спостережень. Інформація може поступати не лише від сенсорів, реалізованих у вигляді датчиків, але і від технічного

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		74

персоналу, що обслуговує об'єкт діагностування. В цьому випадку дані вводяться в систему за допомогою оператора за допомогою спеціально передбачених для цього елементів інтерфейсу системи. Це переважно дані якісного характеру, які складно або неможливо отримати апаратно за допомогою датчиків. Вихідними даними є результати діагностування технічного об'єкту з вказівкою гістограм розподілу імовірних гіпотез (розділів) вибраного сценарію при використанні підходу диференціальної діагностики або з вказівкою найбільш імовірної відмови. Якщо діагностування проводиться за результатами прогнозування технічного стану, то на додаток до вказаних вихідних даних виводиться інформація про можливу тривалість роботи тих вузлів технічного об'єкту, для яких були порушені умови експлуатації.

ІСТД реалізована на мові програмування Microsoft Visual C++ 2005 з використанням технології .NET. Мова Visual C++ є об'єктно-орієнтованим засобом програмування, що дозволяє представити розроблені алгоритми у вигляді ієрархії класів з успадковними властивостями і методами [22, 23]. Це, у свою чергу, дає можливість отримати найбільш ефективну структуру алгоритму, забезпечує підвищену надійність програмного продукту, що розробляється, а, також, зручність його подальшого супроводу. Технологія .NET має інтеграцію з Windows за допомогою спеціального компонента .NET Framework, який здійснює пуск додатків в спеціальному виконуваному середовищі. Виконване середовище забезпечує збільшення ефективності виконуваного коду за рахунок використання інструментів автоматичного управління розподіленою пам'яттю, мінімізації конфліктів програмного забезпечення і конфліктів версій, можливості перенесення виконуваного коду на інші платформи, посилення безпеки додатків, мінімізації розмірів виконуваних файлів, що полегшує їх транспортування по мережі і віддалений запуск і так далі. Крім того, технологія .NET дозволяє створювати призначені для користувача бібліотеки класів, які компілюються у вигляді файлів динамічних бібліотек (DLL) і можуть бути повторно використані у разі потреби. Можливість розподілу класів на модулі,

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		75

що динамічно підключаються, мають зручний інтерфейс API, визначила структуру ІСТД.

3.1.4 Загальна характеристика інтерфейсу системи

Інтерфейс системи з оператором і системним програмістом представлений у вигляді набору стандартних графічних елементів управління Windows, об'єднаних в окремі форми по функціональному призначенню. Існує можливість прямого доступу до функцій системи, за допомогою використання програмного інтерфейсу (API), що дозволяє створювати призначені для користувача елементи управління або підключатися до інтерфейсу іншої платформи, відмінної від Windows. Крім того, налаштування кожного модуля системи зберігаються у файлах конфігурації, інформація в яких представлена в зрозумілому для сприйняття вигляді. Використовуючи будь-який доступний редактор файлів ASCII, можна перенастроювати систему, змінюючи значення у файлах конфігурації.

3.2 Модульна структура системи

ІСТД складається з 4 модулів (.dll), що динамічно підключаються, і одного виконуваного модуля (.exe). Кожен модуль містить бібліотеку класів, в якій реалізовані алгоритми роботи системи. Концептуальна модель системи діагностування представлена в додатку А. Система може бути умовно розділена на вісім логічних блоків: блок інтерфейсів, блок обробки сигналів сенсорів і результатів тестування, блок оцінки і прогнозування технічного стану ТО, база цих спостережень за зміною сигналів сенсорів, база цих еталонних значень, база даних статистики відмов, блок логічного висновку, представлений байесовою мережею і блок управління тестами (диспетчер тестів). Функціональний опис кожного блоку представлений нижче.

					<i>ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		76

3.2.1 Блок інтерфейсів

Включає інтерфейс оператора (системного програміста), інтерфейс з датчиками і інтерфейс з тестуючим устаткуванням і програмним забезпеченням.

Цей блок виконує наступні основні функції:

- введення даних, що поступають з сенсорів технічного об'єкту, для якого проводиться діагностування;
- вивід інформації про результати діагностування;
- управління процесом діагностування, включаючи можливість вибору тестів, відмінних від пропонованих системою;
- передачу команд на проведення додаткових тестів;
- введення результатів додаткового тестування;
- налаштування параметрів підсистеми оцінки і прогнозування технічного стану, представлених штучною імунною системою;
- формування бази еталонних значень;
- налаштування підсистеми логічного висновку, представленої діагностуючою байєсовською мережею;

3.2.2 Блок обробки сигналів сенсорів і результатів тестування

Здійснює перетворення даних, що поступають, до вигляду придатного для подальшого використання. Функції цього блоку включають:

- дискретизацію безперервних сигналів, що поступають з датчиків кількісного контролю технічного об'єкту. Дискретизація може проводитися на підставі частотного розподілу сигналів або по вибраних інтервалах;
- обчислення знаків зміни сигналів, що поступають з датчиків;
- побудова гістограм розподілів і обчислення статистичних характеристик сигналів;
- квантування сигналів для отримання портретних відображень;
- спеціальний аналіз сигналів, що поступають з датчиків або отриманих в результаті проведення тестів.

					<i>ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		77

3.2.3 Блок оцінки і прогнозування технічного стану

Цей блок здійснює відстежування змін технічного стану об'єкту під час його роботи. Оброблені сигнали у формі поточних спостережень поступають на вхід цього блоку, де відбувається їх порівняння з еталонними значеннями інтервалів, частот, розподілів, портретних відображень і т. д. При виявленні відхилень значень поточних спостережень від норми походить прогнозування динаміки цих змін. При цьому для побудови моделі динамічного процесу використовується штучна імунна система, яка здійснює прогнозування тимчасового ряду за історичними даними спостережень, записаними раніше. Для прогнозування ШС може використовуватися один з комбінованих алгоритмів, представлених блоками «Алгоритм 1», «Алгоритм 2» і так далі або здійснювати колективний прогноз, підключаючи одночасно декілька алгоритмів. Налаштування параметрів ШС проводиться системним програмістом через блок інтерфейсів.

3.2.4 База даних системи діагностування

База даних зберігає наступні елементи:

- спостереження за зміною контрольованих параметрів технічного об'єкту, які поступають у базу в період експлуатації і використовуються підсистемою прогнозування технічного стану;
- еталонні значення контрольованих параметрів технічного об'єкту, які записуються у базу на етапі налаштування і використовуються підсистемою оцінки технічного стану;
- статистику відмов технічного об'єкту (типи відмов і їх характеристики), що сталися в період експлуатації системи діагностування, інформація про яких використовується для коригування таблиць умовної імовірності діагностуючої байєсовської мережі.

База даних представлена трьома блоками на зображенні концептуальної моделі і реалізована у вигляді трьох окремих модулів програми.

					<i>ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		78

3.2.5 Блок логічного висновку (діагностуюча байєсовська мережа)

Формує логічний висновок відносно стану цільових вузлів імовірнісної моделі технічного об'єкту на підставі значень спостережень за контрольованими параметрами (значення вузлів пасивного контролю) і результатів додаткового тестування (значення вузлів активного контролю). Причому в якості значень вузлів пасивного контролю можуть використовуватися як поточні спостереження, так і результати прогнозування спостережень, які створюються блоком оцінки і прогнозування технічного стану. Налаштування структури і таблиць умовної імовірності байєсовської мережі відбувається системним програмістом за допомогою блоку інтерфейсів системи. В процесі експлуатації системи, на підставі статистики відмов, відбувається автоматичне коригування таблиць умовної імовірності по методу налаштування параметрів байєсовської мережі з використанням навчальних прикладів.

3.2.6 Блок диспетчера тестів

Блок має наступні функціональні характеристики:

- вибір сценарію діагностування і формування розділів сценарію;
- ранжирування тестів на основі інформативно-вартісного показника за вибраним сценарієм;
- формування черги тестів і запитів на проведення операцій тестування;
- формування звіту про результати діагностування;

Блок має взаємозв'язок з підсистемою оцінки і прогнозування технічного стану і при необхідності може включати в звіт дані про розрахункові терміни працездатності устаткування за порушених умов експлуатації.

3.2.7 Модульна структура системи

В додатку Б представлена модульна структура ІСТД.

Модуль ais.dll містить бібліотеку класів ШІС. Кожен контрольований параметр технічної системи використовує окремий екземпляр ШІС. У модулі bbn.dll реалізовані функції байєсовської мережі і диспетчера тестів. Модуль

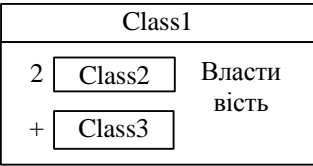
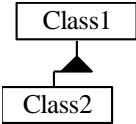
					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		79

bbn.dll у своїй роботі використовує дані, що утворюються на виході модуля ais.dll і містить функції, що коригують роботу ШІС. Модуль dm.dll виконує роль диспетчера первинних даних діагностуючої системи. У його функції входить отримання і обробка сигналів сенсорів і результатів тестування. Дані накопичуються у базі і вибираються звідти в міру необхідності за допомогою запитів з модулів ais.dll і bbn.dll. Модуль ui.dll є графічним інтерфейсом ІСТД. Він складається з двох частин: інтерфейсу оператора і інтерфейсу системного програміста. Для налаштування компонентів ІСТД використовуються файли конфігурації (.cfg). Для зберігання баз даних використовуються електронні таблиці у форматі CSV.


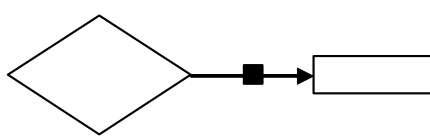
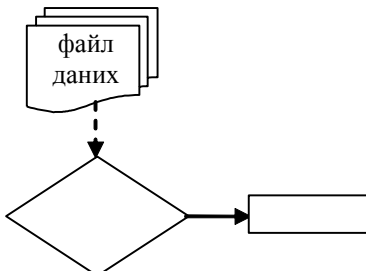
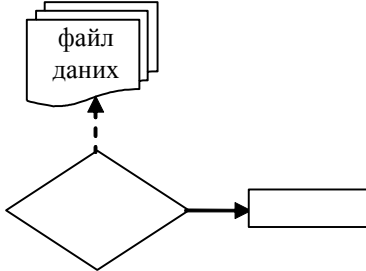
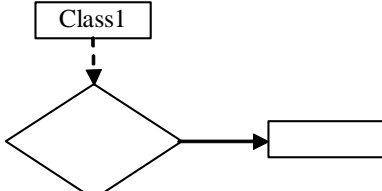
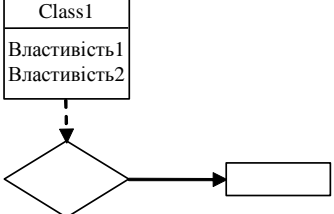
3.3 Об'єктна декомпозиція системи

Перш ніж приступити до опису структури і зв'язків класів ІСТД, розглянемо умовні позначення, які використовуються в приведених нижче схемах (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Умовні позначення стосунків між елементами об'єктної структури

Позначення	Опис
	<p>Показує відношення включення між класами Class1, Class2 і Class3. Цифра зліва від прямокутника «Class2» показує, яка кількість екземплярів об'єктів відповідного класу може містити контейнер Class1. Знак «+» говорить про те, що повинен міститися як мінімум один екземпляр.</p>
	<p>Показує відношення спадкоємства між класами. Class2 являється похідним від Class1.</p>

Продовження таблиці 3.1

Позначення	Опис
	<p>Показує відношення між класами. Наприклад, передача повідомлення об'єкту Class2, представлена нижче</p> <pre> BOOL Class1 :: Create(void) { Class2 ->Init(); } </pre> <p>реалізує відношення ініціалізації.</p>
	<p>Властивість поліморфізму, властива об'єктно-орієнтованій парадигмі, розділяє типи повідомлень, що передаються класам, на віртуальні (що реалізуються за допомогою механізму віртуальних функцій) і примусові (що реалізуються за допомогою виклику через протокол відповідного класу). Чорний квадрат показує, що реалізація цього відношення є примусовою.</p>
	<p>Показує, що для реалізації цього відношення використовується додаткова зовнішня інформація, що зберігається у вигляді окремої структури в пам'яті ПЕОМ або на зовнішніх носіях.</p>
	<p>Показує, що реалізація цього відношення оновлює зовнішню структуру даних, ПЕОМ, що зберігається в пам'яті, або на зовнішніх носіях.</p>
	<p>Показує, що для реалізації цього відношення потрібна наявність екземплярів об'єкту Class1.</p>
	<p>Показує, що для реалізації цього відношення потрібна наявність інформації, представлені властивостями Властивість1 і Властивість2 класу Class1.</p>

Розроблена система умовних позначень дозволяє на досить абстрактному, але в теж час рівні, що легко перекладається на програмний код, описувати стосунки між класами інформаційної системи, що збільшує ефективність процесу проектування, зменшує імовірність появи помилок, дозволяє враховувати і представляти у рамках однієї діаграми більшу кількість інформації, що використовується в проекті.

Далі послідовно розглянемо діаграми об'єктної структури компонентів ІСТД, починаючи з компонентів штучної імунної системи.

3.3.1 Штучна імунна система

В додатку В показана діаграма, що відповідає комбінованим алгоритмам, які описані в роботі.

Комбіновані алгоритми містять у своїй структурі два основні класи. Клас CLONALG реалізує набір операторів, які використовуються в алгоритмі клонального відбору і сам алгоритм. Згідно концепції комбінування, викладеної вище, об'єктами синтезу цього класу є функціональні структури, які безпосередньо здійснюють процес обробки даних. Ці структури представлені загальним батьківським класом Domain. Нащадки цього класу реалізують специфічні для кожної із структур методи. Більшість цих методів (як видно на діаграмі) використовуються в CLONALG, який інкапсулює Domain.

Кооперативний імунний алгоритм реалізований у вигляді класу FAN (додаток Г), який інкапсулює функціональну структуру, представлену об'єктами, типу Cell, організованими у вигляді мережі. Клас Cell (клітина) є батьківським класом для двох типів: FuncCell (функціональна клітина) і TermCell (термінальна клітина). Кожен з цих класів реалізує специфічні методи, які викликаються класом FAN. Як показує діаграма, клас FAN може містити довільну (один і більше) кількість об'єктів, типу Cell.

Рисунок 3.1 демонструє загальну ієрархічну структуру розробленої штучної імунної системи. В даному випадку клас AIS є коренем ієрархії. У ньому реалізовані основні процедури взаємодії з генератором випадкових чисел

					<i>ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		82

(клас RndGenerator) і описані процедури завантаження налаштувань і запуску ШІС.

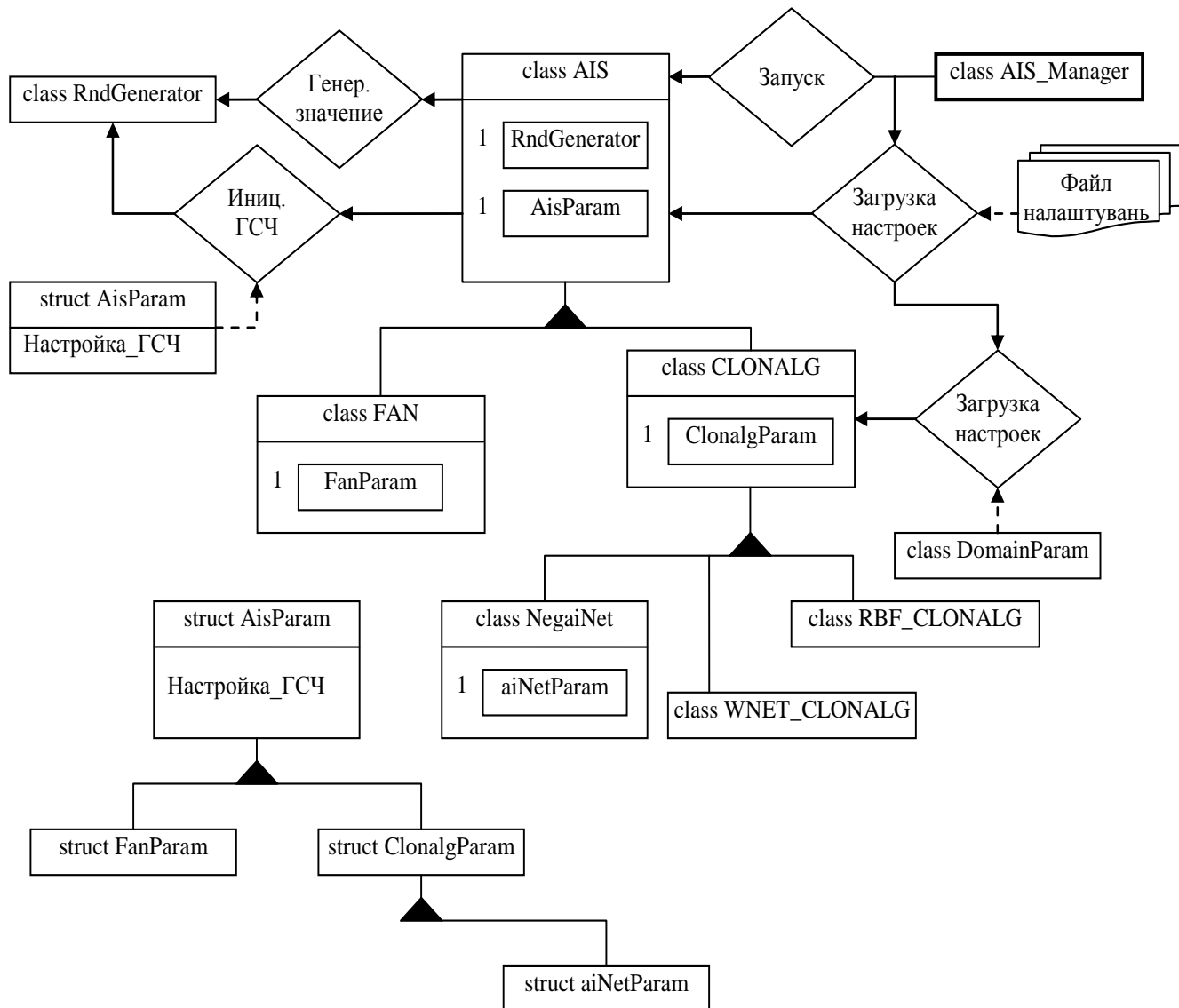


Рисунок 3.1 – Діаграма об'єктної структури і відношень системи імунних алгоритмів

На діаграмах (рисунок 3.2, 3.3) показана взаємодія ШІС з іншими компонентами ІСТД.

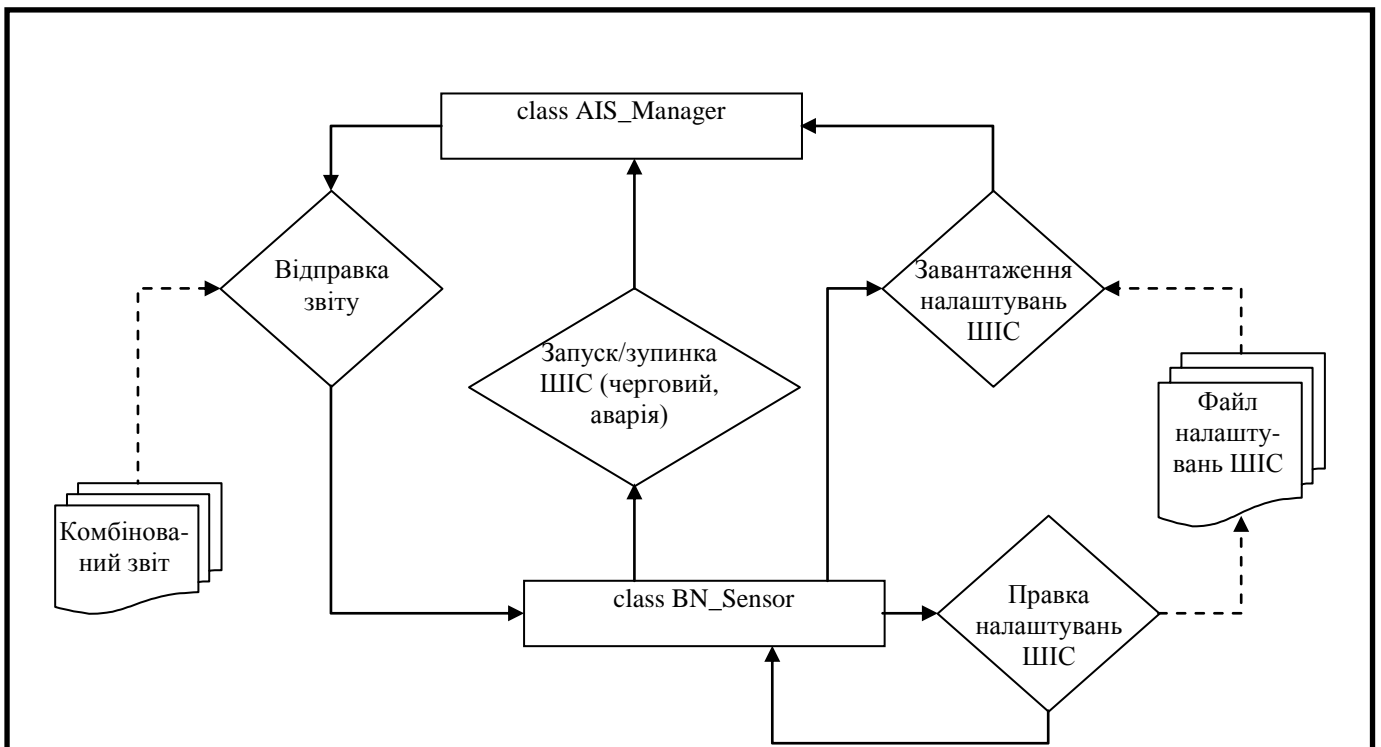


Рисунок 3.3 – Діаграма взаємодії ШПС і сенсора байєсовської мережі

Клас AIS_Manager керує роботою окремих компонентів ШПС. При цьому ШПС може працювати в двох режимах: в режимі навчання і в режимі діагностування. У режимі навчання системний програміст (клас SPI) встановлює відповідні налаштування, оновлюючи файл налаштувань, і запускає систему на навчання. Читаючи інформацію про налаштування, AIS_Manager формує протокол завантаження навчальних даних і відправляє запит диспетчерові даних (клас Data_Manager). У відповідь на запит формується вибірка навчальних даних і відбувається навчання системи. Після навчання системний програміст, шляхом зміни налаштувань і повторного запуску системи, переводить ШПС в режим чергового діагностування. У цьому режимі завантаження і контроль даних проводяться періодично (сесійний режим). Час між окремими сесіями може змінюватися або на етапі навчання системи системним програмістом, або на етапі калібрування байєсовською мережею (клас BN_Sensor). Чергове діагностування припускає використання бази еталонів для контролю характеристик сигналу, а, також, навчених моделей імунних алгоритмів для виявлення аномалій в даних. При цьому після кожної сесії формується

комбінований звіт, який передається відповідному сенсору байєсовської мережі для аналізу і подальшого ухвалення рішення. При виявленні відхилень від норми на одному з сенсорів, байєсовська мережа зупиняє поточну сесію ШС і знову запускає систему, але вже в режимі аварійного діагностування. Аварійний режим відрізняється від чергового перерозподілом тимчасових інтервалів між сесіями для ШС, що відносяться до різних контрольованих параметрів технічного об'єкту, що керується байєсовською мережею, підключенням прогнозуючих моделей з можливістю оперативного перенавчання компонентів ШС і т. д.

3.3.2 Класи інтерфейсів

Клас `Data_Manager` є інтерфейсом системи ІСТД з даними, що поступають від датчиків технічного об'єкту. Діаграма стосунків класу з іншими компонентами ІСТД представлена на рисунку 3.4.

База спостережень зберігає історичну інформацію про значення різних параметрів технічної системи. Цю інформацію можна представити у вигляді таблиці, фрагмент якої показаний на рисунку 3.5.

Максимальний розмір бази спостережень встановлюється системним програмістом в налаштуваннях класу `Data_Manager`. Досягши максимального розміру найбільш старі записи знищуються з бази. Порядок вибору даних з бази визначається протоколами завантаження даних. У них вказується ім'я параметра, ряд значень якого необхідно завантажити, кількість завантажуваних записів, а також додаткова інформація, пов'язана з можливістю попередньої обробки даних, що створюється класом `Data_Manager`.

Фрагмент протоколу завантаження даних показаний на рисунку 3.6. Аналогічно здійснюється робота з результатами тестування компонентів технічного об'єкту. Різниця полягає лише в тому, що у базу записуються дані не через рівні проміжки часу, а у міру проведення процедур тестування.

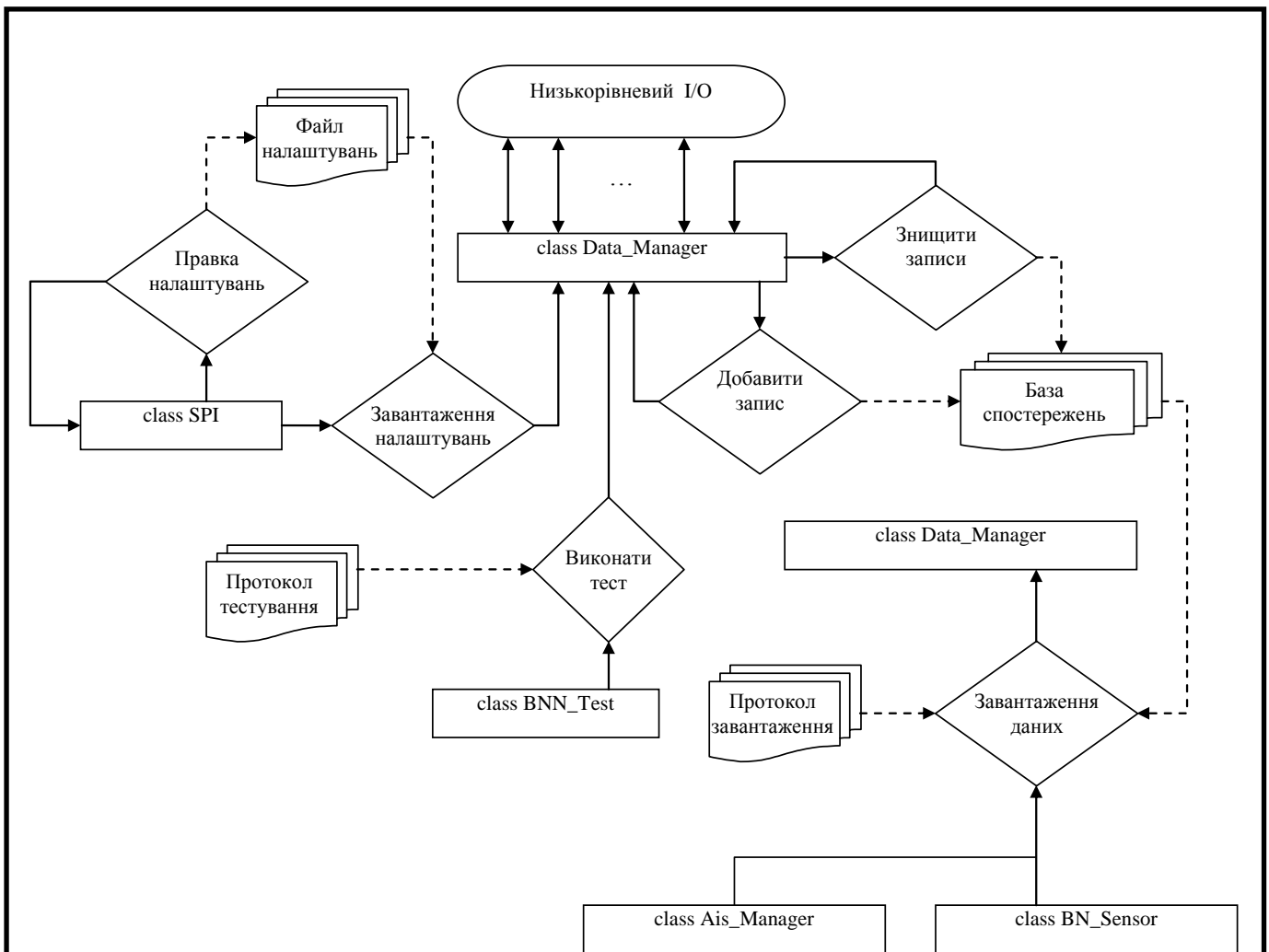


Рисунок 3.4 – Діаграма відношень класу Data_Manager

num	Name	Ua	Ub	Uc	fa	fb	fc
	Last_rec_date	27.03.2006	27.03.2006	27.03.2006	27.03.2006	27.03.2006	27.03.2006
	Last_rec_time	11:30:18	11:30:18	11:30:18	11:30:18	11:30:18	11:30:18
	timescale (msec)	1,0	1,0	1,0	100,0	100,0	100,0
1		1,54	3,35	-4,89	49,73	49,58	50,49
2		2,94	2,04	-4,97	50,46	50,20	49,62
3		4,04	0,53	-4,57	49,51	50,08	50,14
4		4,75	-1,03	-3,71	50,37	49,67	50,15
5		5,00	-2,49	-2,50	49,87	50,48	49,62
6		4,76	-3,71	-1,04	49,85	49,52	50,50
7		4,05	-4,56	0,52	50,39	50,32	49,55
8		2,94	-4,97	2,03	49,50	49,94	50,26
9		1,55	-4,89	3,34	50,45	49,78	50,02
10		0,01	-4,34	4,33	49,75	50,43	49,71
11		-1,54	-3,36	4,89	49,98	49,50	50,46
12		-2,93	-2,05	4,97	50,29	50,41	49,51
13		-4,04	-0,54	4,57	49,53	49,82	50,36
14		-4,75	1,02	3,72	50,49	49,90	49,89
15		-5,00	2,49	2,51	49,64	50,35	49,83
16		-4,76	3,70	1,05	50,11	49,51	50,40
17		-4,05	4,56	-0,51	50,17	50,47	49,50

Рисунок 3.5 – Фрагмент файлу бази спостережень параметрів технічної системи

```

Name=Ua
Rec_count=100
Preproc_1=norm
Preproc_2=<none>
Preproc_3=<none>
norm_left=0.1
norm_right=0.9

```

Рисунок 3.6 – Фрагмент протоколу завантаження даних

Класи UI і SPI реалізують відповідно до функції інтерфейсу з оператором і системним програмістом. За допомогою графічних елементів цих інтерфейсів здійснюється налаштування ІСТД, а також управління процесом тестування компонентів технічної системи. Крім того, за допомогою класу UI відбувається виведення результатів діагностування на пристрій відображення.

Вміст графічних елементів інтерфейсу зберігається у файлах налаштування (файлах конфігурації системи). Фрагмент одного з них, призначеного для налаштування ШС, показаний на рисунку 3.7.

[ImmuneAlgorithm]	[WaveletNet]
Imm_TransposRate=0.3	WNET_ScaleRight=20
Imm_AddClonalSupThr=0.5	WNET_EnablePolywog1=0
Imm_AddReplRate=0.3	WNET_EnablePolywog2=0
Imm_TransposMaxPts=3	WNET_EnableMhat=1
Imm_TransposMinPts=3	WNET_EnableSlog1=0
Imm_PopSize=30	WNET_EnablePolywog3=0
Imm_AddNetSupThr=0.5	WNET_NumbersAcc=0.01
Imm_AddNetSelRate=0.7	WNET_NumOfHidden=3
Imm_AddNonselfAffThr=0.1	WNET_EnableShannon=0
Imm_RankType=2	WNET_EnableSlog2=0
Imm_UseTimeRNG=0	WNET_EnablePolywog4=0
Imm_RNGType=5	WNET_BiasLeft=-5
Imm_NumOfGen=300	WNET_EnablePolywog5=0
Imm_TskType=0	WNET_ScaleLeft=0.1
Imm_AddBeta=0.2	WNET_BiasInt=1
Imm_RankDepMut=0	WNET_EnableRasp1=0
Imm_AddClonSelRate=0.7	WNET_EnableRasp2=0
Imm_MutatRate=0.8	WNET_OutFcn=1
Imm_MutatIntens=3	WNET_WeightInt=5
Imm_AlgType=0	WNET_EnableMorlet=1

Рисунок 3.7 – Фрагмент файлу конфігурації комбінованого імунного алгоритму і вейвлет-нейронної мережі

Рисунки 3.8–3.10 демонструють фрагменти графічного інтерфейсу налаштування компонентів ІСТД.

Основные

Тип алгоритма: Клональный

Тип задачи: Распознавание

Размер популяции: 30

Количество поколений: 300

Мутация и ранжирование

Вероятност. уровень мутации: 0.8

Интенсивность мутации: 3

Тип ранжирования: Нормальный

Зависимость уровня мутации от ранга

Настройки ГСЧ

Тип ГСЧ: Парка-Миллера

Инициализировать таймером

Транспозиции

Вероятностный уровень: 0.3

Мин. кол-во точек: 3

Макс. кол-во точек: 3

Дополнительные настройки

Сетевой уровень селекции: 0.7

Клональный уровень селекции: 0.7

Уровень замещения: 0.3

Множ. коэффициент (beta): 0.2

Пороговый коэфф. удаления: 0.1

Порог клонального сжатия: 0.5

Порог сетевого сжатия: 0.5

Рисунок 3.8 – Интерфейс налаштування імунного алгоритму

Использовать предиктор

Общие настройки

Кол-во скрытых нейронов: 7

Точность представления: 0,01

Весовой интервал: [-2 2]

Интервал смещения: 1

Настройки выходного слоя

Функция активации вых. слоя: Линейная

Интервал пар-ра: 0.1 : 5

Радиально-базисные функции

Функция Гаусса

Функция Коши

Мульти-квадратичная функция

Обратная мульти-квадратичная

Сплайн-функция

Параметры функций

Интервал си: -2 : 2

Интервал сигма: 0.1 : 2

Интервал альфа: -2 : 2

Рисунок 3.9 – Интерфейс налаштування РБФ-мережі, що синтезується

Использовать предобработку данных

Фазы предобработки

Фаза 1: Фаза 2: Вкл. Фаза 3: Вкл.

Настройка нормализации

Левая граница: Правая граница:

Настройка погружения

Ширина ряда: Активная колонка:

Исп. только активную колонку

Настройка разностей

Тип: Порядок: Значение спада: Значение роста:

Добавить исходную колонку

Рисунок 3.10 – Інтерфейс налаштування попередньої обробки даних для класу Data_Manager

Отже, в даному розділі розроблена концепція проекту інформаційної системи технічного діагностування, яка включає опис функцій і експлуатаційних характеристик системи, приведений технічний опис проекту інформаційної системи, запропоновано і розроблено модульне представлення інформаційної системи з описом інтерфейсів класів, представлених у вигляді діаграм об'єктної структури і відношень, спроектована і реалізована система.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Організація робочого місця оператора ПК

Робоче місце - це частина простору, у якому операціоніст здійснює трудову діяльність, і проводить велику частину робочого часу. Робоче місце, добре пристосоване до трудової діяльності операціоніст, правильно і доцільно організоване, у відношенні простору, форми, розміру забезпечує йому зручне положення при роботі і високій продуктивності праці при найменшій фізичній і психічній напрузі. При правильній організації робочого місця продуктивність праці зростає з 8 до 20 відсотків [24-26].

При організації робочого місця бажано дотримуватися головного принципу – працівник повинний почувати себе комфортно, ні хребет, ні кінцівки, ні органи зору не повинні піддаватися зайвому навантаженню.

Зручне крісло, що дозволяє працювати злегка відкинувшись, що знімає напругу хребта - це початок правильної облаштуваності. Бажано, щоб крісло вільно переміщалося на коліщатах, у такий спосіб можна змінювати одну зручну позу на іншу (злегка посуваючи крісло до столу чи, навпаки, відкочуючи від нього).

Далі варто подбати про зняття напруги в шийній частині хребта. Тут визначальну роль грає не тільки висота столу (оптимальна висота для людини середнього росту - 75-80 см), але і регулювання висоти і нахилу екрана монітора. Основна рекомендація – погляд знаходиться на кілька сантиметрів вище центра екрана, а площина екрана нахилена під кутом 5-15 градусів до вертикалі. Головне, щоб погляд на екран був спрямований трішки вниз і голову не доводилося б задирати, навіть працюючи з об'єктами, що знаходяться у верхній частині екрана. Численні дослідження довели, що основна причина головних болів при роботі на комп'ютері - це напруги шийного відділу хребта.

Так званий тунельний синдром (запалення сухожилів зап'ясть) загрожує далеко не всім, а тільки тим, хто багато друкує на клавіатурі (іноді це захворювання називають "професійною хворобою друкарок"). Але в будь-якому

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		91

випадку, розташовуючи клавіатуру і мишу, треба подбати, щоб руки в ліктях і зап'ястях не були зайво зігнуті. Перевагу варто віддати клавіатурам з підставкою під зап'ястя чи клавіатурам зі спеціальним профілем (різні види ергономічних клавіатур).

Також потрібно виключити всі моменти, що приводять до напруги очей. Розгортку екрана не слід установлювати занадто високою. Для 15-дюймового екрана максимум - 1024x768, для 17-дюймового - 1280x1024.

Монітор потрібно розмістити так, щоб яскраві сонячні промені взагалі не попадали на екран. У крайньому випадку, вони повинні бути бічними.

При настроюванні яскравості і контрастності монітора можна скористатися рекомендаціями Nokia Test, але потім все таки кожний працівник налаштує параметри так, як комфортніше його очам. Додатково можна підібрати найбільш приємну очам температуру кольору - 6500 градусів дає м'які червонуваті тони, 9000 - тверді синюваті. І, нарешті, не треба забувати про зовсім прості способи захисту: через кожні одну-дві години потрібно відриватися від роботи, щоб зробити легку розминку, відволіктись і т.п..

Відповідно до ГОСТ 12.2.032-78 конструкція робочого місця і взаємне розташування всіх його елементів повинне відповідати антропометричним, Велике значення має також характер роботи. Зокрема, при організації робочого місця оператора ПК повинні бути дотримані наступні основні умови:

- оптимальне розміщення устаткування, що входить до складу робочого місця;
- достатній робочий простір, що дозволяє здійснювати всі необхідні рухи і переміщення;
- необхідно природне і штучне освітлення для виконання поставлених задач;
- рівень акустичного шуму не повинний перевищувати допустимого значення.

Важливим моментом є також раціональне розміщення на робочому місці документації, канцелярських приналежностей, що повинно забезпечити

					<i>ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		92

працюючому зручну робочу позу, найбільш економічні рухи і мінімальні траєкторії переміщення працюючого і предмета праці на даному робочому місці.

Створення сприятливих умов праці і правильне естетичне оформлення робочих місць на виробництві має велике значення як для полегшення праці, так і для підвищення його привабливості, що позитивно впливає на продуктивність праці. Фарбування приміщень і меблів повинні сприяти створенню сприятливих умов для зорового сприйняття, гарного настрою. У службових приміщеннях, у яких виконується одноманітна розумова робота, що вимагає значної нервової напруги і великого зосередження, фарбування повинне бути спокійних тонів – мало насичені відтінки холодного зеленого чи блакитного кольорів.

4.2 Вибір освітлення робочих місць

Для освітлення робочих приміщень використовують освітлення трьох видів: природне, обумовлене енергією Сонця і розсіяного світла небозводу, штучне, здійснюване електролампами, і змішане, тобто сполучення природного і штучного освітлення [24-26].

Штучне освітлення по функціональному призначенню підрозділяється на наступні види : робоче, аварійне, евакуаційне й охоронне .

Робоче освітлення забезпечує необхідні умови освітлення при нормальному режимі роботи освітлювальних установок.

Аварійне освітлення забезпечує мінімально необхідні освітлювальні умови для продовження роботи при тимчасовому виході з ладу робочого висвітлення.

Евакуаційне освітлення служить для евакуації людей із приміщень при аваріях робочого освітлення в місцях, небезпечних для проходу людей, на сходах і по основних проходах виробничих приміщень.

Охоронне освітлення (при відсутності спеціальних технічних засобів охорони) повинне передбачатися уздовж границь територій, які охороняються у

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		93

нічний час.

Штучне робоче освітлення промислових підприємств здійснюється за допомогою двох систем: загального освітлення і комбінованого освітлення, тобто сукупності місцевого і загального освітлення.

Раціональне освітлення робочого місця є одним з найважливіших факторів, що впливають на ефективність трудової діяльності людини, що попереджають травматизм і професійні захворювання. Правильно організоване освітлення створює сприятливі умови праці, підвищує працездатність і продуктивність праці. Освітлення на робочому місці оператора ПК повинне бути таким, щоб працівник міг без напруги зору виконувати свою роботу. Стомлення органів зору залежить від ряду причин:

- недостатність освітленості;
- надмірна освітленість;
- неправильний напрямок світла.

Недостатність освітлення приводить до напруги зору, послаблює увагу, приводить до настання передчасної стомленості. Надмірно яскраве освітлення викликає роздратування, осліплення і різь в очах. Неправильний напрямок світла на робочому місці може створювати різкі тіні, відблиски, дезорієнтувати працюючого. Усі ці причини можуть привести до нещасного чи випадку профзахворювання, тому дуже важливий правильний розрахунок освітленості.

Розрахунок освітленості робочого місця зводиться до вибору системи освітлення, визначенню необхідного числа світильників, їхнього типу і розміщення. Виходячи з цього, розрахуємо параметри штучного освітлення для приміщення підприємства.

Штучне освітлення виконується за допомогою електричних джерел світла двох видів: ламп накаливання і люмінесцентних ламп. Будемо використовувати люмінесцентні лампи, що у порівнянні з лампами накаливання мають істотні переваги:

- по спектральному складі світла вони близькі до денного, природного освітлення;

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		94

- володіють більш високим КПД (у 1.5-2 рази вище, ніж КПД ламп накалювання);
- мають підвищену світловіддачу (у 3-4 рази вище, ніж у ламп накалювання);
- більш тривалий термін служби.

Розрахунок освітлення здійснюється для кімнати з нормальними умовами середовища площею 20 м², ширина якої 4 м, довжина 5 м, висота - 3 м. Зорова праця відноситься до другого розряду, тому відповідно до СНиП II-4-79 норма для загального штучного освітлення $E = 300$ Лк. При виборі освітлювальних приладів використовуємо світильники типу ОКН -236. Габаритні розміри 1264 x 186 x 81 мм. Кожен світильник комплектується двома лампами TL36/40 потужністю 40 Вт. Світловий потік лампи $F_{л} = 3120$ Лм.

Розрахунок штучного освітлення виконуємо методом коефіцієнту використання світлового потоку. Основною задачею розрахунку штучного нормативного рівня штучного освітлення за формулою:

$$N = \frac{E_n \cdot S \cdot z \cdot K_3}{n \cdot F_{л} \cdot \eta} \quad (4.1)$$

де E_n - нормоване освітлення, лк;

K_3 - коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітлення в процесі експлуатації (для даного приміщень $K_3 = 1,6$);

$S = A \cdot B$ - освітлювана площа приміщення, м² (A – довжина приміщення, B – ширина приміщення);

z - коефіцієнт мінімального освітлення; (для люмінесцентних ламп $z=1,1$);

n - кількість ламп у світильнику;

$F_{л}$ - світловий потік лампи;

η - коефіцієнт використання, відн. од.

Коефіцієнт використання світлового потоку з люмінесцентними лампами визначаємо за таблицею 14, в залежності від коефіцієнтів відображення стелі ($\rho_p = 70\%$), стін ($\rho_c = 50\%$) і підлоги ($\rho_r = 10\%$) або робочої поверхні та індексу

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
						95
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

приміщення і:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} \quad (4.2)$$

де А, В - довжина і ширина приміщення, м;

h - висота підвісу світильників, м.

Підставивши значення одержимо:

$$i = 5 \cdot 4 / 3 \cdot (5 + 4) = 0,74$$

Знаючи індекс приміщення і, рп, рс, і рр знаходимо n = 35%

Підставимо всі значення у формулу для розрахунку кількості
 $N = 300 \cdot 20 \cdot 1,1 \cdot 1,6 / 2 \cdot 3120 \cdot 0.35 = 5.8$

Отже використовуємо 6 світильників, які розміщуємо двома рядами, по три у кожному ряді.

Для живлення освітлювальної мережі використовується напруга 220 В.

Перетин дроту повинен задовольняти таким вимогам:

- дроти повинні допускати протікання по ним розрахункового струму освітлювального навантаження, не нагріваючись вище допустимої температури;
- напруга на джерелах світла повинна бути не нижче мінімальних значень;
- механічна міцність дротів повинна бути достатньою для даного типу електропроводки.

Розраховуємо встановлену потужність освітлення як суму потужностей ламп усіх світильників. Так як для освітлення приміщення використовуються люмінесцентні світильники, які вмикаються в мережу по стартерним схемам, то до потужності ламп додаємо втрати в пускорегулюючих автоматах (20% від потужності ламп).

$$P_{\sigma} = \sum_{i=1}^n P_i + 0,2 \cdot P_i = 1,2 \cdot \sum_{i=1}^n P_i$$

де P_i – потужність і-ої лампи ($P = 40$ Вт);

n – кількість ламп ($n = 12$).

Підставивши значення одержимо:

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		96

$$P_b = 1,2 \cdot 12 \cdot 40 = 576 \text{ Вт}$$

Розрахункове навантаження освітлювальної мережі визначаємо за формулою:

$$P_p = P_b \cdot K_c \quad (4.3)$$

де K_c – коефіцієнт попиту (для бібліотек, адміністративних будівель $K=0.9$)

$$P_p = 576 \cdot 0,9 = 518,4 \text{ Вт}$$

Визначаємо розрахунковий струм освітлювальної мережі за формулою:

$$I_p = \frac{P_p}{U_\phi \cdot \cos \varphi} \quad (4.4)$$

де P_p - розрахункове навантаження освітлювальної мережі, Вт;

$U_\phi = 220 \text{ В}$ – фазна напруга;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності навантаження, для люмінесцентних ламп

$$\cos \varphi = 0.9$$

$$I = 518,4 / 220 \cdot 0,9 = 2,62 \text{ А}$$

Відповідно значенню розрахункового струму для з'єднання світильників в освітлювальну мережу вибираємо мідний дріт з перетином струмопровідної жили 2.5 мм^2 .

За механічною міцністю дріт перетином 2.5 мм^2 є задовільним.

4.3 Параметри мікроклімату на робочому місці

Мікрокліматичні параметри виробничого середовища - це сполучення температури, відносної вологості і швидкості повітря. Ці параметри в значній мірі впливають на функціональну діяльність людини, її самопочуття, здоров'я, а також і на надійність роботи обчислювальної техніки [24-26].

Параметри мікроклімату можуть мінятися в широких межах, у той час як необхідною умовою життєдіяльності людини є підтримка сталості температури тіла завдяки властивості терморегуляції, тобто здатності Основний принцип

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		97

нормування мікроклімату - створення оптимальних умов для теплообміну тіла людини з навколишнім середовищем. У санітарних нормах ДСН 3.3.6.042-98 встановлені величини параметрів мікроклімату, що створюють комфортні умови. Ці норми встановлюються в залежності від пори року, характеру трудового процесу і характеру виробничого приміщення (значні чи незначні тепловиділення). Для робочих приміщень роботи в яких виконуються сидячи, стоячи, або пов'язані з ходьбою, але не потребують систематичного напруження або піднімання та перенесення важких предметів допустимі й оптимальні значення параметрів мікроклімату приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Допустимі й оптимальні значення параметрів мікроклімату

Пора року	Зона	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний Період	Оптимальна	22 - 24	60 - 40	< 0.1
Перехідний Період	Допустима	18 - 21	< 75	< 0.1
Теплий період року (t > 10°С)	Оптимальна	23 - 25	60 - 40	< 0.1
	Допустима	< 28 в 13 годині самого жаркого міс.	< 55	< 0.2

В даний час для забезпечення комфортних умов використовуються кондиціонування повітря та опалювальну систему. Системи опалення і системи кондиціонування встановлені так, щоб ні тепле, ні холодне повітря не направлялося на людей.

Вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони не повинні перевищувати граничну допустиму концентрацію і підлягають системному контролю. У приміщенні, де використовуються ПК, шкідливі речовини не використовуються.

4.4 Нормування шуму

Відомо, що шум несприятливо діє на людину, особливо при тривалому впливі. У користувача, діяльність якого пов'язана з переробкою інформації, що часто супроводжується елементами творчості, це виражається у зниженні розумової працездатності (наприклад, швидкість обробки тексту зменшується на 10-15 %, зростає кількість помилок), у прискоренні розвитку зорового стомлення, зміні відчуття кольорів, підвищенні витрати енергії, появі головного болю, розвитку безсоння, послабленні уваги та ін.

З фізіологічної точки зору під поняттям "шум" мається на увазі будь-який неприємний чи небажаний для людини звук незалежно від його характеру і походження. Звук являє собою коливання твердого, рідкого чи газоподібного середовища під впливом механічних коливань матеріальних тіл. Коливання, сприймані органом слуху людини як звук, лежать приблизно в межах 20Гц - 20кГц. Ці границі не однакові в різних людей і залежать від віку людини і стану його слухового апарата.

Основними фізичними параметрами звуку є: інтенсивність, звуковий тиск і частота коливань.

Шуми підрозділяються на широкополосні з безупинним спектром шириною більш однієї октави і тональні, у спектрі яких маються чутні дискретні тони.

По тимчасових характеристиках шуми підрозділяються на постійні, рівень яких за робітник день змінюється в часі не більш, ніж на 5 дБА, і непостійні, рівень яких змінюється в часі більш, ніж на 5 дБА. Непостійні шуми підрозділяються на коливні, переривчасті й імпульсні.

Відповідно до ГОСТ 12.1.003 - 83 (" Шум. Загальні вимоги безпеки ") характеристикою постійного шуму на робочих місцях є середньоквадратичні рівні тисків в октавних смугах частот зі середньгеометричними стандартними частотами: 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 і 8000 Гц. У цьому ГОСТ зазначені значення гранично припустимих рівнів шуму на робочих місцях підприємств.

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		99

Для приміщення конструкторських бюро, розраховувачів і програмістів рівні шуму не повинні перевищувати відповідно: 71, 61, 54, 49, 45, 42, 40, 38 дБ. Ця сукупність восьми нормативних рівнів звукового тиску називається граничним спектром.

У приміщеннях з ПЕОМ рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях повинні відповідати вимогам ГОСТ 12.1.003 ССБТ "Шум. Общие требования безопасности". Рівні шуму на робочих місцях осіб, що працюють з ПЕОМ, визначені ДСанПіН 3.3.2-007-98, та не повинні перевищувати 50дБА.

Будівельно-акустичні методи захисту від шуму передбачені будівельними нормами і правилами (СНиП-11-12-77). це:

- звукоізоляція конструкції, що обгороджує, ущільнення по периметрі притворів вікон і дверей;
- звукопоглинаючі конструкції й екрани;
- глушители шуму, звукопоглинаюче облицювання.

На робочому місці оператора ПК джерелами шуму, як правило, є технічні засоби, такі як - комп'ютер, принтер, вентиляційне устаткування, а також зовнішній шум. Вони видають досить незначний шум, тому в приміщенні достатньо використовувати звукопоглинання. Зменшення шуму, що проникає в приміщення ззовні, досягається ущільненням по периметрі притворів вікон і дверей.

Під звукопоглинанням розуміють властивість акустично оброблених поверхонь зменшувати інтенсивність відбитих ними хвиль за рахунок перетворення звукової енергії в теплову. Звукопоглинання є досить ефективним заходом щодо зменшення шуму. Найбільш вираженими звуковбирними властивостями володіють волокнисто-пористі матеріали: фібролітові плити, скловолокно, мінеральна вата, поліуретановий поропласт, пористий полівінілхлорид і ін.

До звуковбирних матеріалів відносяться лише ті, коефіцієнт звукопоглинання яких не нижче 0.2. Звуковбирні облицювання з зазначених

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		100

матеріалів (наприклад, мати із супертонкого скловолокна з оболонкою зі склотканини потрібно розмістити на стелі і верхніх частинах стін). Максимальне звукопоглинання буде досягнуто при облицюванні не менш 60% загальної площі поверхонь приміщення, що обгороджують [24-26].

4.5 Електробезпека та пожежна безпека на робочому місці

Значення гранично допустимих рівнів напруги і струмів встановлюються ГОСТ 12.1.038-82. Розглянуте приміщення відноситься до класу приміщень без підвищеної небезпеки поразки електричним струмом, тому що в даному приміщенні відсутні ознаки підвищеної чи особливої небезпеки (вологості, провідникового пилу, струмоведучих основ (металевих, земляних), підвищеної температури і т.д. [24-26].

Застосовувана техніка (ПК і принтери) відносяться до електроустановок напругою до 1000 В, підключення яких здійснюється від мережі однофазного перемінного струму напругою 220 В, частотою 50 Гц. струм спрацьовування 25 А.

У моніторах комп'ютерів є і більш високі напруги (до 25 кВ), що надійно ізолювані від оператора і не можуть представляти небезпеки, доступ до ланцюгів з такою напругою можливий лише при проведенні ремонтних робіт, що здійснюються в спеціалізованих ремонтних організаціях.

Усунути небезпеку поразки струмом при замиканні на корпус можна за допомогою установки в приміщенні нульового захисного провідника. Призначення нульового захисного провідника - створення для струму короткого замикання ланцюга з малим опором, щоб цей струм був достатнім для швидкого відключення ушкодженої установки від мережі.

Крім того, на робочому місці оператора ПЕОМ необхідно забезпечити захист від статичної електрики.

В приміщеннях розрядні струми статичної електрики найчастіше виникають при дотику обслуговуючого персоналу до кожного з елементів

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		101

ПЕОМ.

Такі розряди можуть привести до виходу з ладу ПЕОМ. Вони впливають на працюючих, погіршують умови праці.

Для зниження величини виникаючих розрядів статичної електрики, покриття технологічних підлог варто виконувати з одношарового антистатичного лінолеуму марки АСН. До загальних заходів захисту від статичної електрики можна віднести зволоження повітря (до 75%), іонізацію повітря. Дані захисні міри регламентує ГОСТ 12.4.124-83.

Дане приміщення згідно ОНТП 24-86 відноситься до категорії В - горючі і важко горючі приміщення, у яких використовують тверді, горючі і важко горючі речовини і матеріали, здатні при взаємодії з киснем, повітрям чи один з одним тільки горіти.

Для забезпечення пожежної безпеки особливу увагу варто приділяти наявності струмомоведучої проводки в приміщенні. Дана проводка повинна бути виконана згідно вимог ГОСТ 9098-59.

Протипожежна профілактика:

- Наявність ручних вуглекислотних вогнегасників, марки ОУ-5, призначених для гасіння загоряння з відстані 2 м, при температурі 40-50 °С. Вогнегасники зберігаються в захищеному від сонячних променів і нагрівальних приладів місці, добре доступному при виникненні загоряння;

- Для опалення приміщень використовується центральне водяне опалення;

- Установлена система електричної пожежної сигналізації, з розрахунку, що два димові пожежні випромінювачі реагують на підвищення концентрації диму у навколишньому середовищі. Для даного приміщення рекомендується використовувати димові пожежні випромінювачі типу ИП-212, ДИП і ін.;

- Приміщення розташоване в будинку таким чином, що існує як мінімум два шляхи евакуації, один із яких не може бути перекритий вогнем - пожежні сходи.

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		102

4.6 Вимоги до режимів праці та відпочинку оператора ПК

Збереження високої продуктивності праці користувачів ПК може бути досягнуто методами запровадження раціонального режиму праці та відпочинку шляхом:

- створення організаційних умов для поступового входження у працю на початковій стадії роботи. Планування виробничих завдань треба проводити з урахуванням того, що роботу варто починати з якомога простіших елементів, поступово переходячи до більш складних;

- планування ритмічної роботи, суть якого полягає в такій її структуризації, яка дала б можливість користувачеві ПК рівномірно виконувати етапи виробничих завдань, що завершуються перервою на відпочинок;

- урахування того, що час на відпочинок, який надається для зниження втоми, повинен використовуватися згідно з характером виконаної роботи. Наприклад, після інтенсивної роботи з „мишею” слід дати можливість активно впливати на групи м'язів, що зазнають інтенсивного навантаження. Зняття втоми також сприяє зміна форм діяльності;

- планування режиму відпочинку працівників таким чином, щоб повністю використовувати можливості кімнати психологічного розвантаження та інші форми активного відпочинку, особливо у другий період робочої зміни, коли розвивається виражена втома.

Встановлюються такі внутрішньозмінні режими праці та відпочинку при роботі з ПК при 8-годинній денній робочій зміні в залежності від характеру праці:

- для розробників програм із застосуванням ПК, слід призначати регламентовану перерву для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожну годину роботи за ПЕОМ ;

- для операторів із застосування ПК, слід призначати регламентовані перерви для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожні дві години;

- для операторів комп'ютерного набору слід призначати регламентовані

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		103

перерви для відпочинку тривалістю 10 хвилин після кожною години роботи за ВДТ.

У всіх випадках, коли виробничі обставини не дозволяють застосувати регламентовані перерви, тривалість безперервної роботи з ПК не повинна перевищувати 4 години.

При 12-годинній робочій зміні регламентовані перерви повинні встановлюватися в перші 8 годин роботи аналогічно перервам при 8-годинній робочій зміні, а протягом останніх 4-х годин роботи, незалежно від характеру трудової діяльності, через кожен годину тривалістю 15 хвилин.

З метою зменшення негативного впливу монотонності є доцільним застосовувати чергування операцій усвідомленого тексту і числових даних (зміна змісту роботи). Чергування вводу даних та редагування текстів.

Для зниження нервово-емоційного напруження, втоми зорового аналізатору, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втомі доцільні деякі перерви використовувати для виконання комплексу вправ. Активний відпочинок має полягати у виконанні комплексу гімнастичних вправ, спрямованих на зняття нервового напруження, м'язове розслаблення, відновлення функцій фізіологічних систем, що порушуються протягом трудового процесу, зняття втоми очей, поліпшення мозкового кровообігу і працездатності.

За умови високого рівня напруженості робіт з ПК показане психологічне розвантаження у спеціально обладнаних приміщеннях (в кімнатах психологічного розвантаження) під час регламентованих перерв або в кінці робочого дня.

Режим праці та відпочинку тих, хто працює з ПК, визначається в залежності від виконуваної роботи відповідно до ДСанПіН 3.3.2-007-98 [24-26].

В даному розділі розглянуті питання охорони праці.

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		104

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовані основні підходи до проектування і синтезу штучних імунних систем для вирішення задач прогнозування і класифікації.
2. Описані основні імунні алгоритми для вирішення виділених задач.
3. На основі кооперативного імунного алгоритму здійснено прогнозування дрейфу параметрів і визначення працездатності технічного об'єкта.
4. Розроблений алгоритм виявлення порушень в роботі технічної системи на основі модифікації імунних алгоритмів негативного відбору і імунної мережі.
5. Розроблена концепція проекту інформаційної системи технічного діагностування, яка включає опис функцій і експлуатаційних характеристик системи.
6. Приведений технічний опис проекту інформаційної системи.
7. Запропоновано і розроблено модульне представлення інформаційної системи з описом інтерфейсів класів, представлених у вигляді діаграм об'єктної структури і відношень.
8. Спроектована і реалізована інформаційна система технічного діагностування.
9. Розглянуті питання охорони праці.

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		105

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: [пер. с англ.]. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. – 182 с.
2. Горбань А. Н. Обучение нейронных сетей / А. Н. Горбань. – М.: СП ПараГраф, 1990. – 160 с.
3. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / [Г. К. Вороновский, К. В. Махотило, С. Н. Петрашер, С.А. Сергеев]. — Харьков: Основа, 1997. – 256 с.
4. Овчинников В. А. Алгоритмизация комбинаторно-оптимизационных задач при проектировании ЭВМ и систем: [учеб. для вузов] / В. А. Овчинников. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 288 с.
5. De Castro L.N. Immune Engineering: Development of Computational Tools Inspired by the Artificial Immune Systems. (In Portuguese). Dr. Thesis, DCA – FEEC/UNICAMP / De Castro L.N. – Campinas/SP, Brazil, August 1998 to May 2001. – 286 p.
6. Dasgupta D. Artificial Immune Systems and Their Applications / Dasgupta D. – Berlin: Springer-Verlag, Inc., 1999. – 306 p.
7. Мазуров В. Д. Метод комитетов в задачах оптимизации и классификации / В. Д. Мазуров. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 248 с.
8. Holland, J. H. Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence / Holland, J. H. – [second edition]. – MIT Press, 1992. – 228 p.
9. Genetic Programming III: Darwinian Invention and Problem Solving / Koza J. R., Bennett III F. H., Andre D., Keane M. A. – San Francisco: Morgan Kaufmann, 1999. – 1154 p.
10. Скурихин А. Н. Генетические алгоритмы / А. Н. Скурихин // Новости искусственного интеллекта. – 1995. – № 4. – С. 6-46.

					<i>ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		106

11. Генетические алгоритмы в задачах динамического планирования аварийных ремонтных работ / А. Н. Мельник, А. А. Фефелов, В. И. Литвиненко [и др.] // Вестник Херсонского государственного технического университета. – 2003. – № 3. – С. 279–285.

12. Ferreira C. Designing Neural Networks Using Gene Expression Programming / Ferreira C. // In A. Abraham, B. de Baets, M. Кцппен, and B. Nickolay, eds., Applied Soft Computing Technologies: The Challenge of Complexity. – Berlin, Springer-Verlag, 2006. – pp. 517-536.

13. Бідюк П. І. Формалізація методів побудови штучних імунних систем / П. І. Бідюк, В. І. Литвиненко, А. О. Фефелов // Наукові вісті Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. – 2007. – № 1. – С. 29–41.

14. Ferreira C. Gene Expression Programming: Mathematical Modeling by an Artificial Intelligence / Ferreira C. – Portugal: Angra do Heroismo, 2002. – 478 p.

15. Dasgupta D. A Comparison of Negative and Positive Selection Algorithms in Novel Pattern Detection / Dasgupta D., Nino F. // In the Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC), October 8-11, 2000. – Nashville, 2000. – pp. 125-130.

16. Dasgupta D. Immunity-Based Intrusion Detection Systems: A General Framework / Dasgupta D. // In the proceedings of the 22nd National Information Systems Security Conference (NISSC), October 18-21, 1999. – pp. 367-381.

17. Iba H. Genetic Programming Polynomial Models of Financial Data Series / Iba H., Nikolaev N. // Proceedings of 2000 Congress on Evolutionary Computation, CEC-2000. – IEEE Press. – pp. 1459-1466.

18. Nikolaev N. I. Accelerated Genetic Programming of Polynomials / Nikolaev N. I., Iba H. // Genetic Programming and Evolvable Machines. – 2001. – №2. – pp. 231-257.

19. Ferreira C. Gene Expression Programming: A New Adaptive Algorithm for Solving Problems / Ferreira C. // Complex Systems. – 2001. – №13 (2). – pp. 87-129.

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		107

20. Dasgupta D. Immunity-Based Aircraft Fault Detection System / Dasgupta D. // Conference Paper: AIAA 1st Intelligent Systems Technical Conference. – 2004. – pp. 1-14.

21. Negative selection algorithm for aircraft fault detection / Dasgupta D., KrishnaKumar K., Wong D., Berry M. // In G. Nicosia et al. (Eds), Proceedings of Third International Conference on Artificial Immune Systems (ICARIS 2004). – Springer, 2004. – pp. 1-13.

22. Грегори К. Использование Visual C++ 5. Специальное издание: Пер. с англ. / К. Грегори. – К.: Диалектика, 1997. – 816 с.

23. Костельцев А. В. GTK+. Разработка переносимых графических интерфейсов / А. В. Костельцев – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 368 с.

24. Методичні вказівки до написання розділу «Охорона праці» в дипломних проектах з освітньо-кваліфікаційного рівня «Спеціаліст» для спеціальності 7.091501 «Комп'ютерні системи та мережі» / Г.В.Сапожник, Н.М.Васильків. – Тернопіль: ТАНГ, 2004. – 24с.

25. Наватікян О.О., Кальниш В.В., Стрюков С.М. Охорона праці користувачів комп'ютерних відеодисплейних терміналів. – К, 1997.-400 с.

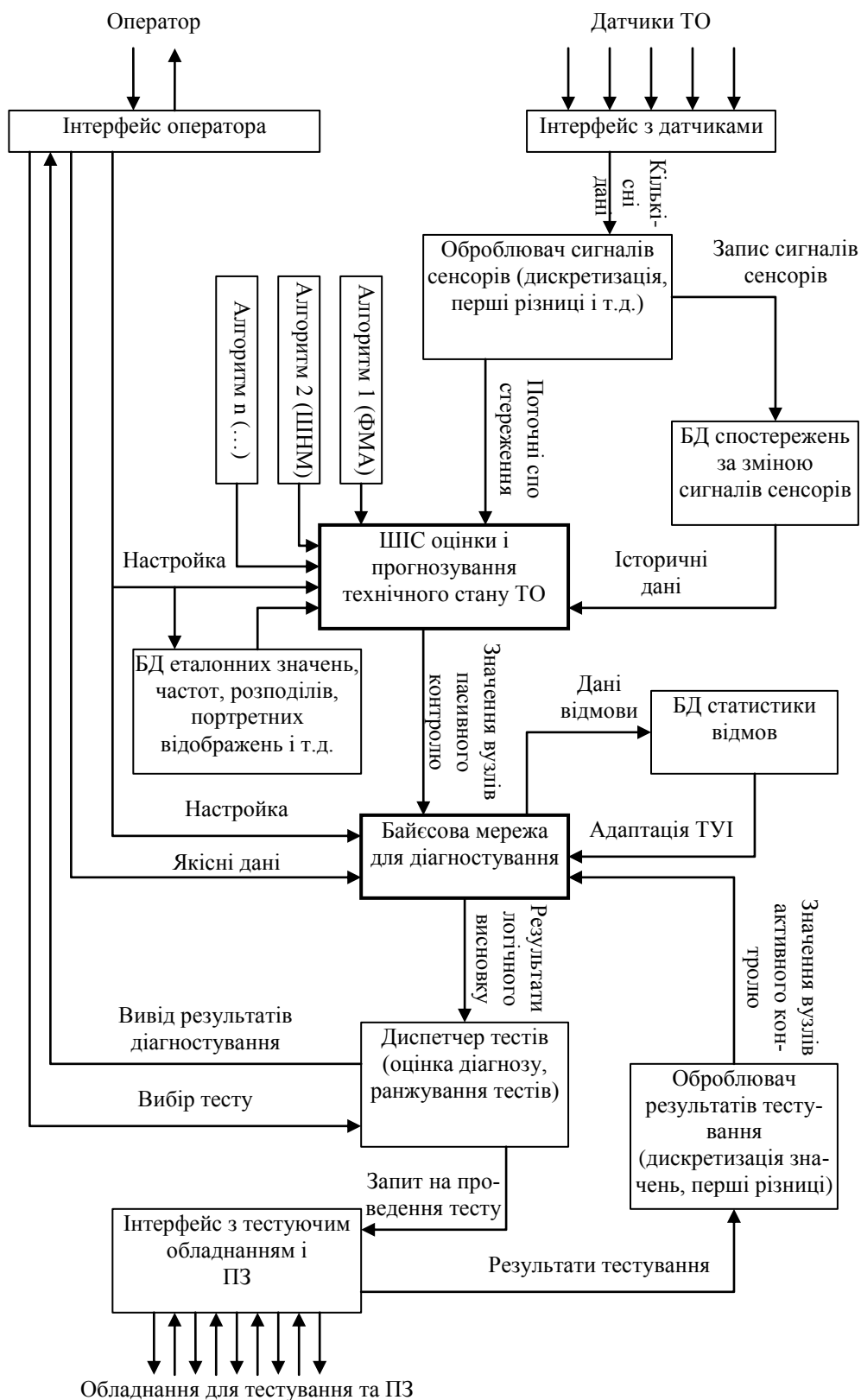
26. Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин. – К.: Держнаглядохоронпраці, 1999. – 112 с.

27. Методичні рекомендації до виконання дипломного проекту з освітньо-кваліфікаційного рівня “Спеціаліст”. Спеціальність «Комп'ютерні системи та мережі» / О.М. Березький, Р.Б.Трембач, Г.М. Мельник / Під ред. О.М. Березького. – Тернопіль: ТНЕУ, 2012. – 40 с.

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		108

Додаток А

Концептуальна модель програмної системи. Схема структурна

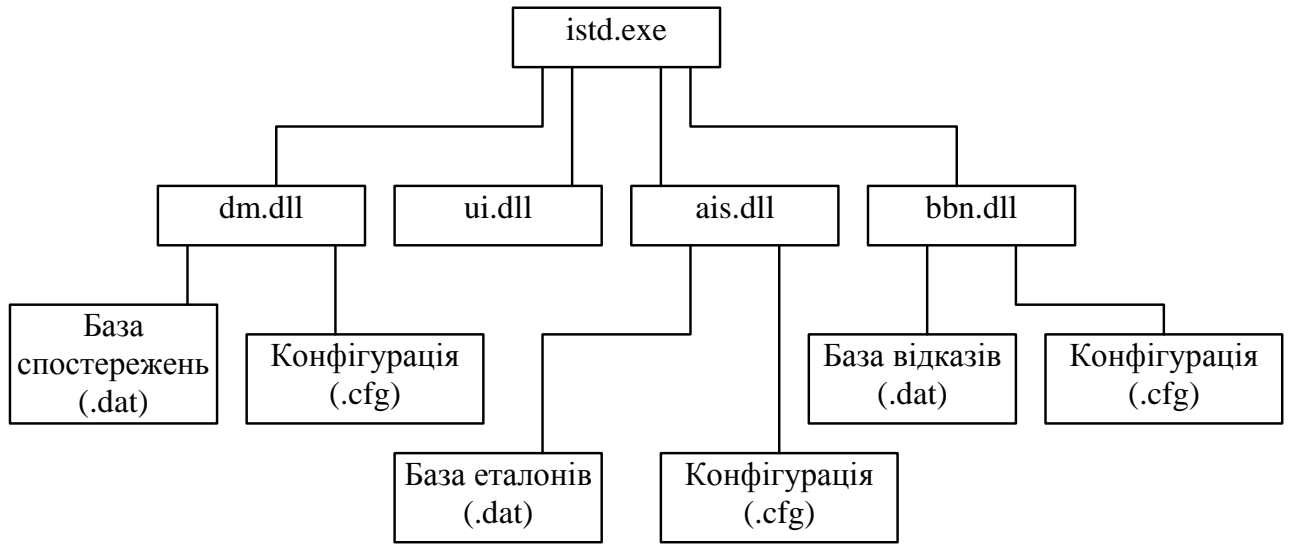


Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат
-----	------	----------	--------	-----

ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ

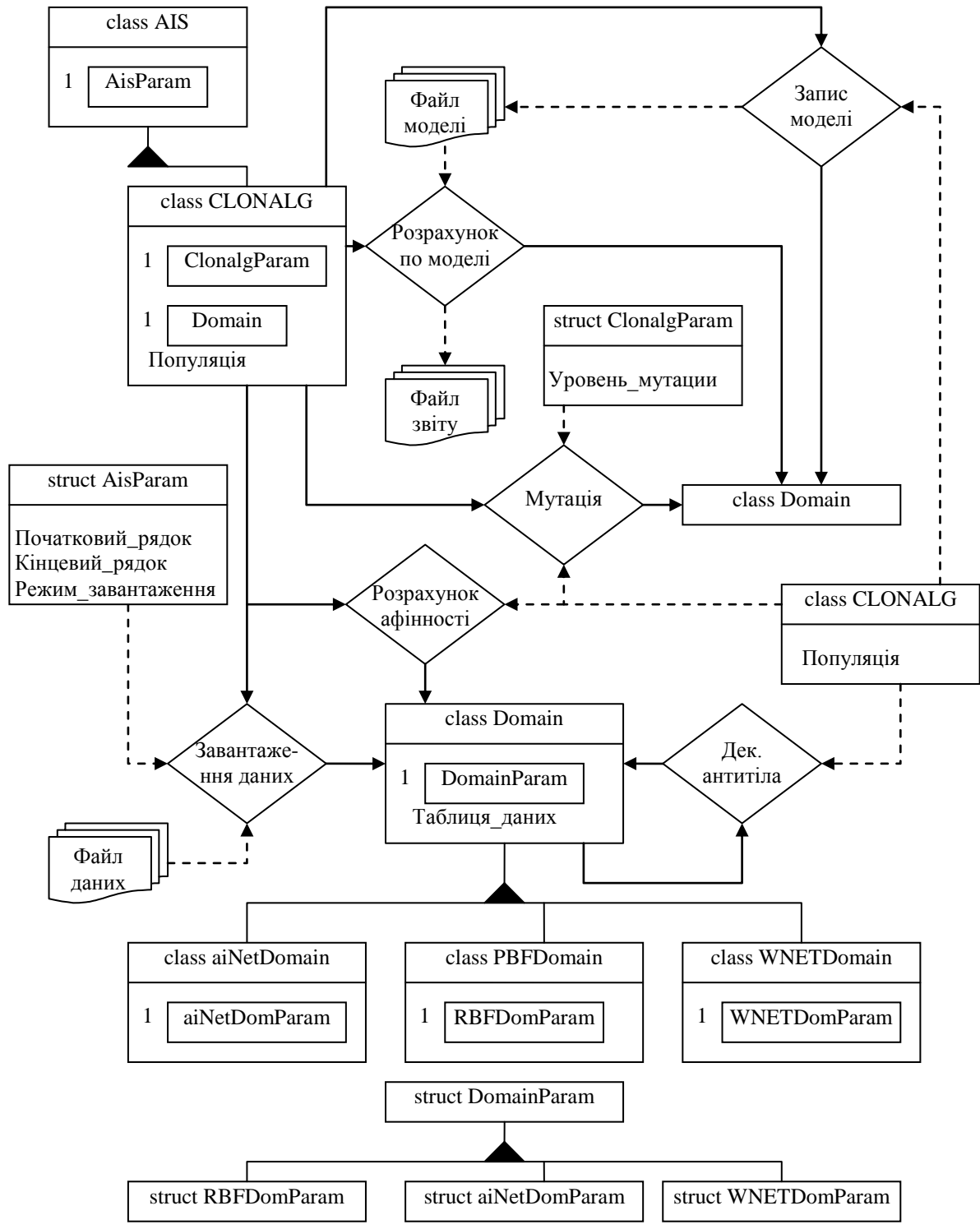
Додаток Б

Структура модулів системи. Схема структурна



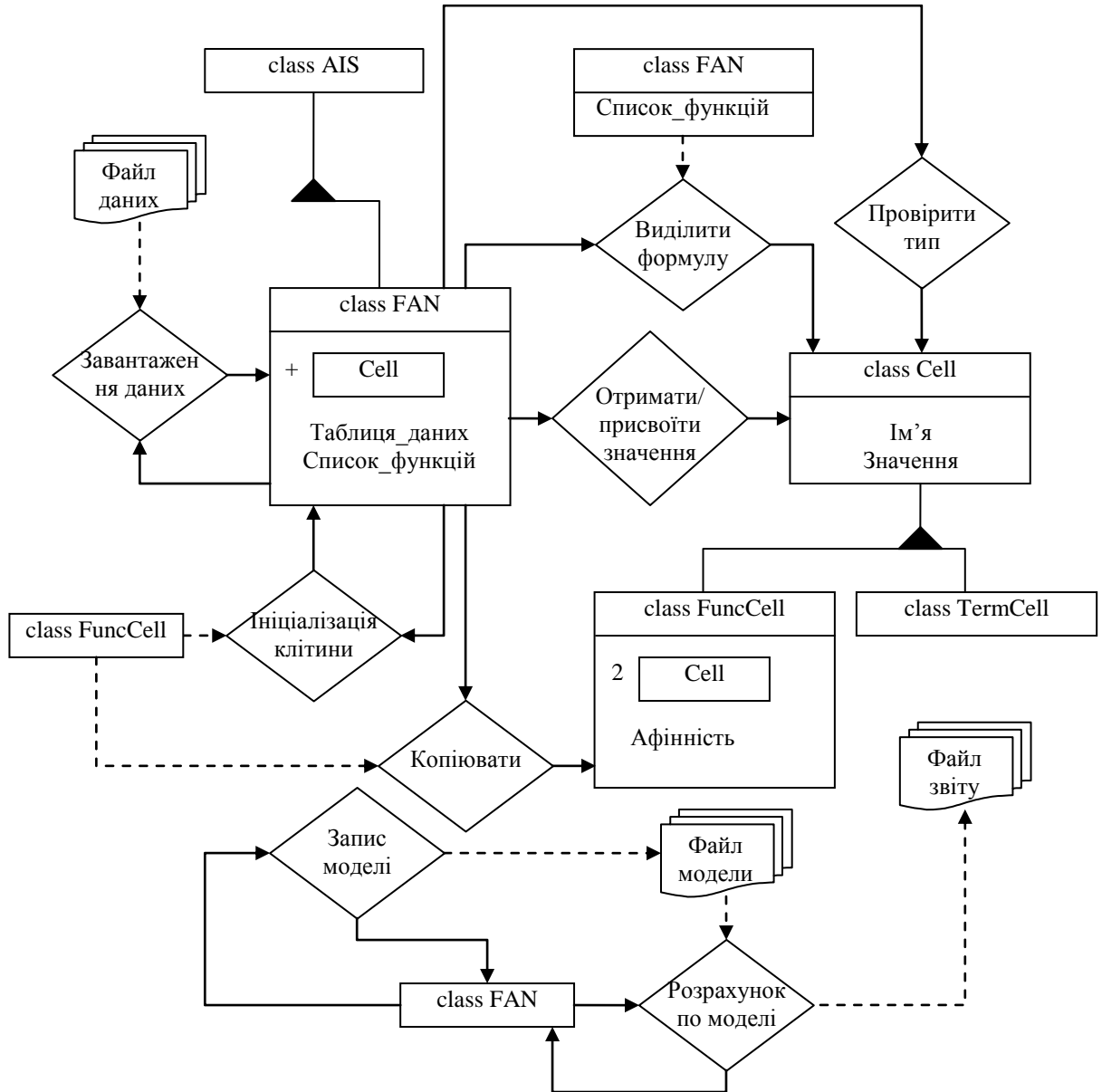
Додаток В

Діаграма об'єктної структури і відношень комбінованого алгоритму ШС і ШНМ



Додаток Г

Діаграма об'єктної структури і відношень кооперативного імунного алгоритму



Додаток Д
Довідка про використання

					ДП.КСМ.07153/07.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		113