

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Підвищення ефективності діагностування двигунів ЯМЗ-238 на базі станції
технічного обслуговування автомобілів «Немирів-Авто»»

Виконав: студент 2-го курсу, групи 1АТ-21м
спеціальності 274 – Автомобільний
транспорт

Безе Березняк М.С.

Керівник: к.т.н., ст. викладач каф. АТМ

Борисюк Д.В.

«07» грудня 2022 р.

Опонент: к.т.н. каф. АТМ

Сухоцька В.С.Д.

«14» 12 2022 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри АТМ

Цимбал С.В.
к.т.н., доц.

«14» 12 2022 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 27 – Транспорт
Спеціальність – 274 – Автомобільний транспорт
Освітньо-професійна програма – Автомобільний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри АТМ
к.т.н., доцент Цимбал С.В.

« 19 » 09 2022 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Березняку Максиму Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності діагностування двигунів ЯМЗ-238 на базі станції технічного обслуговування автомобілів «Немирів-Авто»

керівник роботи

Борисюк Дмитро Вікторович, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від «14» вересня 2022 року № 203.

2. Строк подання студентом роботи: 07.12.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: Вимоги до конструкції та експлуатації автотранспортних засобів (діючі міжнародні, державні, галузеві стандарти та технічні умови заводів-виробників автомобільної техніки); законодавство України в галузі безпеки руху, охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; структура автопарку України; район експлуатації автомобілів – Україна; досліджувані моделі АТЗ – автомобілі МАЗ та КрАЗ; об'єкт дослідження – агрегати вантажних автомобілів (на прикладі двигунів ЯМЗ-238 та їх модифікацій) що надходять в ЦРТС; предмет дослідження – процеси розпізнавання дефектів агрегатів автомобілі, що надходять в ремонт і розподіл їх на безліч реалізованих на підприємстві технологічних процесів централізованого ремонту за технічним станом.

4. Зміст текстової частини:

Анотація

Вступ

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА СТО «НЕМИРІВ-АВТО»

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ОРГАНІЗАЦІЇ РЕМОНТУ ТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНІКИ

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ АРМ ОПЕРАТОРА-ДІАГНОСТА

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

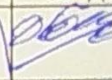
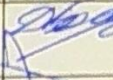
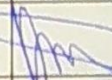



ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Додатки

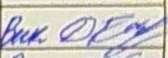


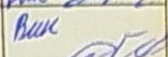

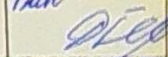
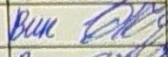

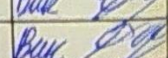
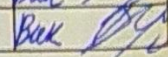

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
 1-3. Тема, мета та завдання дослідження.
 4-5. Загальні відомості про СТО «Немирів-Авто»
 6. Схеми процесу діагностування
 7. Моделювання технології виконання робіт
 8. Штучна нейронна мережа
 9. Алгоритм застосування ШНМ
 10. Результати досліджень
 11. Граф-моделі ШНМ для задач розпізнавання дефектів
 12. Модель і засоби діагностування двигуна ЯМЗ-238
 13. Розроблена структура організації та взаємодії між елементами автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора-діагноста
 14. Висновки

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

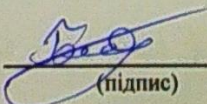
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розв'язання основної задачі	Борисюк Д.В., ст. викладач кафедри АТМ	 10.09.22	 02.12.22
Економічна частина	Буренніков Ю.Ю., доцент кафедри АТМ	 07.11.22	 06.12.22
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Дембіцька С.В., професор кафедри БЖДПБ	 02.11.22	 06.12.22

7. Дата видачі завдання «19» вересня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

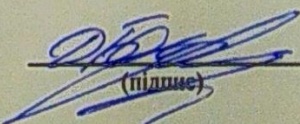
№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення об'єкту та предмету дослідження	19.09-02.10.2022	Вик. 
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	19.09-02.10.2022	Вик. 
3	Обґрунтування методів досліджень	19.09-02.10.2022	Вик. 
4	Розв'язання поставлених задач	03.10-20.11.2022	Вик. 
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	21.11-04.12.2022	Вик. 
6	Виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»	07.11-27.11.2022	Вик. 
7	Виконання розділу «Економічна частина»	07.11-27.11.2022	Вик. 
8	Нормоконтроль МКР	05.12-07.12.2022	Вик. 
9	Попередній захист МКР	08.12-09.12.2022	Вик. 
10	Рецензування МКР	12.12-16.12.2022	Вик. 
11	Захист МКР	20.12-28.12.2022	Вик. 

Студент


(підпис)

Березняк М.С.

Керівник роботи


(підпис)

Борисюк Д.В.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.43

Березняк М.С. Підвищення ефективності діагностування двигунів ЯМЗ-238 на базі станції технічного обслуговування автомобілів «Немирів-Авто». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 274 – Автомобільний транспорт, освітня програма – Автомобільний транспорт. Вінниця: ВНТУ, 2022. 187 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 51 назва; рис.: 46; табл. 29.

Дана дипломна робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, додатків та списку використаних джерел.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовані мета і завдання, визначені об'єкт і предмет дослідження, відображена наукова новизна отриманих результатів.

У першому розділі представлено загальну характеристику СТО «Немирів-Авто».

У другому розділі розглянуто теоретичні основи ремонту за технічним станом агрегатів автомобілів, конкретизована їх специфіка. Систематизовано фактори, що впливають на ЦРТС агрегатів автомобілів в цілому.

У третьому розділі представлена розроблена структура організації АРМ оператора-діагноста, яке базується на створеному програмному забезпеченні для розподілу агрегатів по заздалегідь розробленим на підприємстві технологічним маршрутам ремонту при ЦРТС з урахуванням їх розпізнаних поєднань дефектів.

У четвертому розділі представлено розрахунок порівняльного економічного ефекту результатів дослідження.

У п'ятому розділі розглянуто питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

Графічна частина складається з 15 плакатів.

Ключові слова: вантажний автомобіль, агрегат, двигун, математична модель, ремонт, технічний стан, діагностування, технологічний процес.

ANNOTATION

Bereznyak M.S. Increasing the efficiency of diagnosing YaMZ-238 engines on the basis of the Nemyriv-Avto vehicle maintenance station. Master's thesis on the specialty 274 - Automobile transport, educational program – Automobile transport. Vinnytsia: VNTU, 2022. 187 p.

In Ukrainian language. Bibliogr.: 51 titles; fig.: 46; table 29.

This thesis consists of an introduction, five sections, conclusions, appendices and a list of used sources.

The introduction substantiates the relevance of the selected topic, formulates the goal and objectives, defines the object and subject of research, reflects the scientific novelty of the results.

The first section presents the general characteristics of Nemyriv-Avto service station.

The second chapter discusses the theoretical foundations of repair by the technical condition of car units, their specificity is specified. Systematized factors affecting the CRTS of vehicle aggregates as a whole.

The third chapter, the developed structure of the organization of the operator-diagnosticsian's AWP is presented, which is based on the created software for the distribution of units according to the technological routes of repair at the CRTS previously developed at the enterprise, taking into account their recognized combinations of defects.

In the fourth chapter presents the calculation of the comparative economic effect of the research results.

In the fifth chapter deals with the issue of occupational health and safety in emergency situations.

The graphic part consists of 15 posters.

Key words: truck, unit, engine, mathematical model, repair, technical condition, diagnostics, technological process.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА СТО «НЕМИРІВ-АВТО»	13
1.1. Загальні відомості про СТО «Немирів-Авто»	13
1.2. Виробнича характеристика СТО «Немирів-Авто»	14
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ОРГАНІЗАЦІЇ РЕМОНТУ ТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНІКИ	20
2.1. Огляд основних систем і стратегій технічного обслуговування і ремонту автомобільного транспорту та їх складових частин	20
2.2. Концепції управління процесами ТО і ремонту автомобільного транспорту та їх автоматизація	30
2.3. Ефективність ЦРТС агрегатів автомобільного транспорту	36
2.4. Застосування штучних когнітивних систем в процесах діагностування складних технічних пристроїв	39
2.5. Висновки	45
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ АРМ ОПЕРАТОРА-ДІАГНОСТА	46
3.1. Загальні положення	46
3.2. Структурна схема АРМ оператора-діагнosta	47
3.3. Висновки	50
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	52
4.1. Розрахунок порівняльного економічного ефекту результатів дослідження	52
4.2. Висновки	57
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	58
5.1. Аналіз умов роботи на дільниці	58
5.2. Виробнича санітарія	58
5.2.1. Мікроклімат	59

5.2.2. Освітлення	61
5.2.3. Шум	63
5.2.4. Вібрація	63
5.3. Техніка безпеки	65
5.4. Електробезпека	66
5.5. Пожежна безпека	66
5.5.1. Пожежна безпека на дільниці	66
5.5.2. Пожежна безпека при експлуатації автотранспортних засобів	68
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	74
ДОДАТОК А (обов'язковий). МЕТОДИКА РОЗПОДІЛУ АГРЕГАТИВ РЕМОНТНОГО ФОНДУ ПО ТЕХНОЛОГІЧНИМ МАРШРУТАМ РЕМОНТУ З УРАХУВАННЯМ ЇХ РОЗПІЗНАНИХ КОМБІНАЦІЙ ДЕФЕКТІВ	80
ДОДАТОК Б (обов'язковий). РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ШНМ В ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ	101
ДОДАТОК В (обов'язковий). СТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА РОЗБИРАННЯ ДВИГУНА ЯМЗ-238 І СПЕЦИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ	135
ДОДАТОК Г (обов'язковий). ТАБЛИЦІ КОНТРОЛЬОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ ДВИГУНА ЯМЗ-238 І СКЛАД ДІАГНОСТИЧНИХ ЗАСОБІВ	142
ДОДАТОК Д (обов'язковий). ГРАФ-МОДЕЛЬ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ КОНТРОЛЬОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ ЦПГ ДВЗ ЯМЗ-238 І ДЕФЕКТІВ	146
ДОДАТОК Е (обов'язковий). ГРАФ-МОДЕЛЬ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ КОНТРОЛЬОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ КШМ ДВЗ ЯМЗ-238 І ДЕФЕКТІВ	148
ДОДАТОК Ж (обов'язковий). ГРАФ-МОДЕЛЬ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ КОНТРОЛЬОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ ГРМ ДВЗ ЯМЗ-238 І ДЕФЕКТІВ	150
ДОДАТОК З (обов'язковий). ТАБЛИЦЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПЛАНУВАННЯ ЧИСЛА СПОСТЕРЕЖЕНЬ	152

ДОДАТОК І (обов'язковий). СТРУКТУРНА СХЕМА ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ ПРИ ПЕРЕДРЕМОНТНОМУ ДІАГНОСТУВАННІ (ПД) ДВИГУНІВ ЯМЗ-238	155
ДОДАТОК К (обов'язковий). РЕЗУЛЬТАТИ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ КОНТРОЛЬОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ	157
ДОДАТОК Л (обов'язковий). ТАБЛИЦІ ІМОВІРНОСТЕЙ ПОМИЛОК 1-ГО І 2-ГО РОДУ ДЛЯ СТРУКТУРНИХ ПАРАМЕТРІВ ДВИГУНА ЯМЗ-238 ДО І ПІСЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ МЕТОДИКИ	160
ДОДАТОК М (обов'язковий). БАЗОВІ НАБОРИ НАВЧАЛЬНИХ ПРИКЛАДІВ ДЛЯ ЗАДАЧІ РОЗПІЗНАВАННЯ ДЕФЕКТІВ ДВИГУНА ЯМЗ-238	163
ДОДАТОК Н (обов'язковий). РОЗРАХУНОК ТЕРМІНУ ОКУПНОСТІ ПРОЕКТУ	167
ДОДАТОК О (обов'язковий). ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	170
ДОДАТОК П (обов'язковий). ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ	186

Додаток А (обов'язковий).

**МЕТОДИКА РОЗПОДІЛУ АГРЕГАТИВ РЕМОНТНОГО ФОНДУ ПО
ТЕХНОЛОГІЧНИМ МАРШРУТАМ РЕМОНТУ З УРАХУВАННЯМ ЇХ
РОЗПІЗНАНИХ КОМБІНАЦІЙ ДЕФЕКТІВ**

ДОДАТОК А. МЕТОДИКА РОЗПОДІЛУ АГРЕГАТИВ РЕМОНТНОГО ФОНДУ ПО ТЕХНОЛОГІЧНИМ МАРШРУТАМ РЕМОНТУ З УРАХУВАННЯМ ЇХ РОЗПІЗНАНИХ КОМБІНАЦІЙ ДЕФЕКТІВ

А.1. Моделювання технології виконання робіт при ЦРТС агрегатів автомобілів

Проектування технологічних процесів ЦРТС агрегатів автомобілів пов'язане з формуванням найбільш ефективної виробничо-технічної бази, що забезпечує істотне зниження внутрішньовиробничих втрат ремонтного підприємства. При цьому зовнішні по відношенню до конкретного підприємства фактори, відповідно до мети і завдань цього дослідження, можна вважати форс-мажорними та виключити їх з подальшого аналізу.

Беручи за основу класичну форму організації ЦРТС, де технологічний процес розбирання (і збірки) агрегатів автомобілів представляє сукупність $K = \{k: k = 1, \overline{K}\}$ встановлених заздалегідь типових поєднань ремонтних робіт (далі - комплексів ремонтних робіт - КРР), цільову функцію дослідження можна представити в наступним аддитивним виразом, що характеризує поточні виробничі втрати:

$$C_{\Sigma_{вн}} = \Sigma C_{\Sigma_{ном}} = (C_{\Sigma_{зайв}} + C_{\Sigma_{проп}} + C_{\Sigma_{розп}}) N_p \rightarrow \min, \quad (A.1)$$

де $C_{\Sigma_{вн}}$ - узагальнені внутрішньовиробничі втрати ремонтного підприємства, грн.;

$C_{\Sigma_{ном}}$ - втрати виробництва, що формуються помилками розподілу ремонтів агрегатів по КРР, грн.;

$C_{\Sigma_{зайв}}$ - витрати на виконання зайвих робіт при усуненні помилково виявлених дефектів, грн.;

$C_{\Sigma_{проп}}$ - витрати на виконання умовно повторних робіт при пропуску помилково не виявлених дефектів, грн.;

$C_{\Sigma\text{розп}}$ - втрати, що формуються помилками при розподілі агрегатів по технологічним маршрутам ремонту, грн.;

N_p - виробнича програма підприємства, од. / рік.

При цьому кожен з КРР є деяка підмножина $\{i\}_k$ ремонтних (розбірно-складальних) операцій, вся безліч $R = \{r: r = \overline{1, R}\}$ яких є необхідним і достатнім, для усунення дефектів будь-якого агрегату з числа ремонтваних на даному підприємстві.

Складова $C_{\Sigma\text{ном}}$ цільової функції (А.1) може бути виражена функціоналом $C_{\Sigma\text{ном}} = f(C_{ij} P_{ij})$, де C_{ij} - узагальнені витрати на виконання робіт з виявлення та усунення і-го дефекту j-го ремонтуємого агрегату, грн.; P_{ij} - ймовірність події, яка полягає у виникненні помилки розпізнавання і-го дефекту j-го ремонтується агрегату.

При цьому ймовірність P_{ij} , враховуючи положення теорії ймовірностей, можна визначити наступним вираженням:

$$P_{ij} = a_{ij} + b_{ij}, \quad (\text{A.2})$$

де a_{ij} - помилка розпізнавання 1-го роду (помилкова несправність) і-го дефекту j-го ремонтуємого агрегату на етапі передремонтного діагностування;

b_{ij} - помилка розпізнавання 2-го роду (пропуск несправності) і-го дефекту j-го ремонтуємого агрегату на етапі передремонтного діагностування.

Вводячи цілочисельні змінні, що приймають значення

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо і-й відсутній дефект j-го ремонтуємого агрегату визначається як присутній;} \\ 0 & \text{в іншому випадку (помилкова несправність)} \end{cases}$$

$$\eta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо і-й присутній дефект j-го ремонтуємого агрегату визначається як відсутній;} \\ 0 & \text{в іншому випадку (пропуск несправності),} \end{cases}$$

ймовірність P_{ij} можна записати в розгорнутому вигляді:

$$P_{ij} = \{1 - [\delta_{ij}(1 - \alpha_{ij}) + \eta_{ij}(1 - \beta_{ij})]\}. \quad (\text{A.3})$$

У загальному випадку через помилкове визначення i -го дефекту j -го двигуна, коли в дійсності такого дефекту немає (помилкова несправність - α_{ij}) виникають втрати $C_{\Sigma ij}^{зайв.}$ витрати $C_{\Sigma ij}^{прон}$ на умовно повторне виконання робіт формуються помилками β_{ij} , що виникають у разі пропуску i -го дефекту при ПД j -го ремонтуємого агрегату автомобіля (пропуск несправності).

Аналіз можливих виробничих ситуацій дозволяє уявити функціонал (A.1) в наступному вигляді:

$$C_{\Sigma вн} = \Sigma C_{\Sigma ном} = (C_{\Sigma зайв} + C_{\Sigma прон} + C_{\Sigma розп}) N_2. \quad (\text{A.4})$$

Таким чином, досягнення поставленої мети – зниження внутрішньо-виробничих втрат при функціонуванні системи ЦРТС агрегатів автомобілів - можливо лише при вирішенні задач зниження абсолютних значень помилок на всіх етапах виробничого процесу ремонту.

А.2. Обґрунтування вибору застосовуваного математичного апарату

Сукупність методів для інтелектуального аналізу даних об'єкта досліджень отримали назву Data Mining. Знання, що здобуваються цими методами, зазвичай представляють у вигляді моделей.

Одним з таких класів моделей є штучні нейронні мережі (ШНМ) – це математичні моделі, що представляють собою упорядкований набір штучних нейронів, які пов'язані один з одним певним чином.

Вибір штучної нейронної мережі в якості математичного апарату для вирішення задачі розпізнавання дефектів агрегатів ремонтного фонду та розподілу їх по комплексам ремонтних робіт при ЦРТС зумовлений низкою причин:

1. Завдяки здатності до навчання і запам'ятовуванн., а також шляхом зміни адаптивних параметрів штучних нейронів з яких складається мережа, можна домогтися високого ступеня точності при вирішенні даного завдання.

2. Застосування штучної нейронної мережі дозволяє уникнути процесу накопичення статистичної інформації для розрахунку ймовірностей появ дефектів (як це робить при методі організації та оптимізації технологічних процесів ЦРТС за типовими сполученням ремонтних робіт) для оптимального розподілу агрегатів по комплексам ремонтних робіт.

3. Перевірка адекватності побудованих на основі штучної нейронної мережі моделей проводиться з використанням тестових вибірок, які формуються під час проведення експерименту над об'єктом досліджень, що гарантує високу ступінь надійності моделей та ін.

При застосуванні ШНМ перш за все постає питання вибору архітектури мережі (числа "прихованих шарів" і кількості "штучних нейронів" в кожному з них) під конкретну задачу.

Штучний нейрон являє собою вузол ШНМ, змодельований за спрощеним принципом функціонування біологічного нейрона. Першою роботою, яка заклала теоретичні основи створення інтелектуальних пристроїв, вважається стаття У. Мак-Каллока і В. Питтса, яка була опублікована в 1943 році, а перший переклад на російську вийшов в 1956 році.

З математичної точки зору, штучний нейрон являє собою функцію від єдиного аргументу - лінійної комбінації всіх сигналів на вході (дана функція отримала назву "активаційна функція"), за допомогою якої виробляється вихідний сигнал нейрона.

У загальному вигляді, математична модель штучного нейрона є зваженим суматором і має вигляд [17, 23]:

$$S = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i + x_0 \cdot w_0 = \sum_{i=0}^n x_i \cdot w_i, \quad (\text{A.5})$$

де S - зважена сума вхідних сигналів нейрона;

x_i - значення на i -му вході нейрона;

w_i - вага i -го синапсу;

n - кількість входів;

x_0 і w_0 - відповідно значення додаткового вхідного сигналу ($X_0 = 1$) і його ваги.

Вихідне значення нейрона є функцією його стану:

$$Y = f(S), \quad (\text{A.6})$$

де $f(S)$ - функція активації.

Всі шари нейронної мережі можна умовно розділити на три групи:

- перший шар нейронів багат шарової нейронної мережі називається вхідним. У ньому зазвичай не виконуються ніякі обчислювальні операції, тому що він складається з нейронів, які служать для отримання даних (сигналів) і подальшої передачі на входи прихованого шару ШНМ;

- приховані (проміжні) шари є основними, тому що найчастіше складають більшу частину структури ШНМ. Обчислення в них виробляються по формулами (A.6) і (A.7);

- вихідний шар - результат роботи мережі.

Вибір сигмоїди як активаційної функції визначено тим, що вона диференційована на всій осі абсцис і має дуже просту похідну. При використанні алгоритму зворотного поширення помилки, це сприяє прискоренню процесу навчання мережі.

Вихідне значення нейрона, при сигмоїдальній активаційній функції, набуває такого вигляду:

$$Y = f(S) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha S}} \quad (\text{A.7})$$

На рис. А.1 схематично представлена модель штучного нейрона, де кількість вхідних сигналів позначається X . Тут множинні сигнали $x_1, x_2, x_3, \dots, x_j$ на відповідних входах (в сукупності позначаються вектором X) мають свої переваги (які відображають силу синаптичного зв'язку та їх безліч позначається вектором W). Добуток сигналів і відповідних переваг подається на сумуючий блок, який алгебраїчно складає входи.

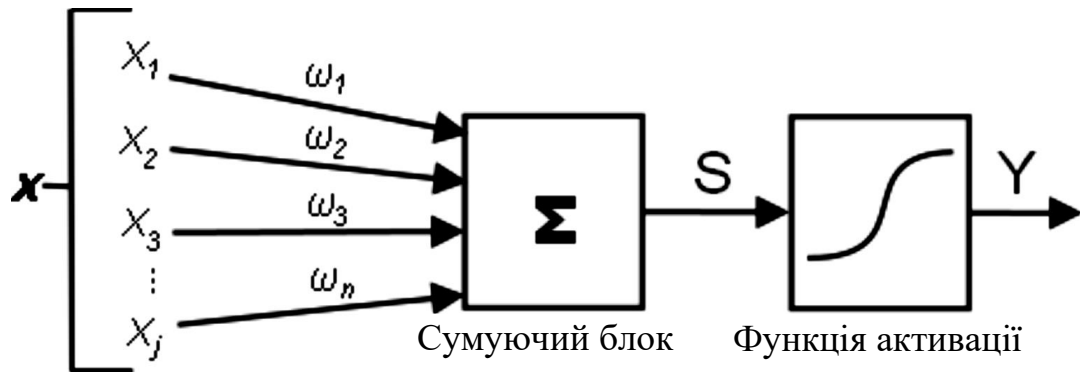


Рисунок А.1 – Модель штучного нейрона

В результаті підсумовування, отримане значення є аргументом активаційної функції, яка і створює вихідне значення Y .

Виходячи з теоретичних напрацювань Хехт-Нільсеном питання про оптимальну кількість прихованих шарів, а також з аналізу практичної застосовності ШНМ для різних завдань класифікації, можна зробити висновок, що використання більше двох прихованих шарів при проектуванні мережі частіше недоцільно.

За формулами (А.8) і (А.9), що є наслідком з теорем «Арнольда - Колмогорова - Хехт-Нільсена», можна розрахувати необхідну кількість нейронів для прихованого шару.

Спочатку відбувається оцінка необхідного числа ваг синаптичного зв'язку [17, 33]:

$$\frac{N_y \cdot Q}{1 + \log_2 Q} \leq N_w \leq N_y \cdot \left(\frac{Q}{N_x} + 1 \right) \cdot (N_x + N_y + 1) + N_y, \quad (\text{А.8})$$

де N_y - число нейронів вихідного шару;

Q - кількість значень навчальної вибірки;

N_w - необхідна кількість синаптичних ваг;

N_x - число нейронів вхідного шару

Після цього, число нейронів в прихованому шарі буде визначатися за формулою [27, 33]:

$$L = \frac{N_w}{N_x + N_y} \quad (\text{A.9})$$

Однак, як показує практика побудови ШНМ, при такому підході не можна стверджувати, що число нейронів в прихованому шарі було оптимально підібрано під поставлену задачу, крім того, зазвичай в результаті виходить великий розмах інтервалу, в якому лежить значення L .

Тому, наслідок з теорем Арнольда - Колмогорова - Хехт-Нільсена буде використано лише для визначення верхньої межі значення нейронів (R) в прихованому шарі. Відкинувши нижню межу інтервалу у формулі (A.8), прирівнявши N_w до залишиної верхньої межі і підставивши формулу (A.9) в (A.8), отримуємо:

$$R = \frac{N_y \left(\frac{Q}{N_x} + 1 \right) (N_x + N_y + 1) + N_y}{N_x + N_y} \quad (\text{A.10})$$

Надалі, R використовується як верхня межа, до якої число нейронів буде нарощуватися, поки не досягне оптимального значення. Як показує досвід побудови моделей на основі ШНМ, нарощування нейронів в прихованому шарі понад отриманої межі R в більшості випадків є недоцільним.

А.3. Постановка завдання класифікації агрегатів ремонтного фонду в залежності від розпізнаних поєднань дефектів

Технічний стан кожного з безлічі $O = \{O_i: i = 1, 2, 3, \dots, M\}$ агрегатів автомобілів, що надходять в ремонтний фонд характеризується набором контрольованих параметрів, значення яких визначаються на етапі перед-ремонтного діагностування при ЦРТС. Певні поєднання даних параметрів і їх значень означають наявність або відсутність дефектів агрегатів.

Введемо поняття «здатність до узагальнення» (від англ. Generalization ability) - це придбана в процесі навчання властивість нейронної мережі видавати вірні результати для будь-яких нових вхідних сполучень, які не брали участі в процесі навчання.

Якщо ШНМ видає високий відсоток вірних результатів не тільки для навчальної вибірки, а й для нових, раніше невідомих прикладів, то вважається, що вона придбала здатність до узагальнення.

У разі, коли високий відсоток вірних результатів забезпечується тільки для навчальної вибірки, а на тестових прикладах часто помиляється, то можна зробити висновок що у нейронної мережі не з'явилася здатність до узагальнення.

Нехай кількість комплексів ремонтних робіт (КРР) при ЦРТС є заздалегідь відомим значенням Z , а X - поєднання параметрів агрегатів, що контролюються, що надходять в ремонтний фонд. Відхилення в значеннях параметрів від номінальних свідчать про наявність дефектів агрегатів Y . У такому випадку, задача нейромережної класифікації зводиться до побудови алгоритму Θ , де на початковому етапі відбувається класифікація $\Theta: X \rightarrow Y$, ґрунтуючись на придбаній, в процесі навчання, здатності нейронної мережі до узагальнення, а далі відбувається розподіл сукупності агрегатів по КРР в залежності від виявлених сполучень дефектів $\Theta: Y \rightarrow Z$, де $y \in Y$ і $z \in Z$.

При побудові нейромережевого класифікатора, перш за все, необхідно визначити складність поділу об'єктів на класи. Для спрощення завдання класифікації, слід домогтися лінійного поділу об'єктів дослідження.

Так як поставлена задача має на увазі більше двох класів для розподілу агрегатів між ними, то найбільш раціональним способом формування вихідних сигналів буде сукупність компонентів вектора. Іншими словами, кожен можливий дефект буде мати свій вихідний сигнал, а про наявність дефекту або його відсутність буде говорити «0» або «1» на відповідному виході. При цьому дуже важливо домогтися якомога більше близьких до «0» або «1» значень, для цього необхідно провести попередню обробку вхідних даних.

А.4. Алгоритм нормування вихідних даних при навчанні математичного апарату ШНМ

Для підвищення достовірності розпізнавання і зменшення часу навчання математичного апарату штучної нейронної мережі, дані, що надходять на вхідний шар мережі, повинні бути типізовані і лежати в певному діапазоні, тому необхідно виконати масштабування навчального набору даних.

Зазвичай навчальний набір даних подається на вхідний шар у вигляді бінарних значень, цілих чисел, чисел з плаваючою комою і т.д. Їх розкид повинен бути в певному діапазоні, який залежить від виду застосовуваної функції активації. Однак, найчастіше, сигнали, що надходять мають великий розкид значень на кожному нейроні вхідного шару, що значно знижує здатності ШНМ до навчання та аналізу.

Область значень сигмоїдальної функції знаходиться в діапазоні $[0; 1]$, тому вона є стискаючою (рис. А.2).

На рис. А.3 представлена блок-схема алгоритму нормування вихідних даних при навчанні ШНМ з сигмоїдою як активаційною функцією.

В процесі роботи представленого алгоритму масштабування вихідних даних, передача на функцію активації здійснюється в оптимальному вигляді. Даний алгоритм є універсальним, тому при його застосуванні для функції активації відмінною від сигмоїдальної, на кроці 3 змінюється інтервал масштабування і, можливо, тип нормування.

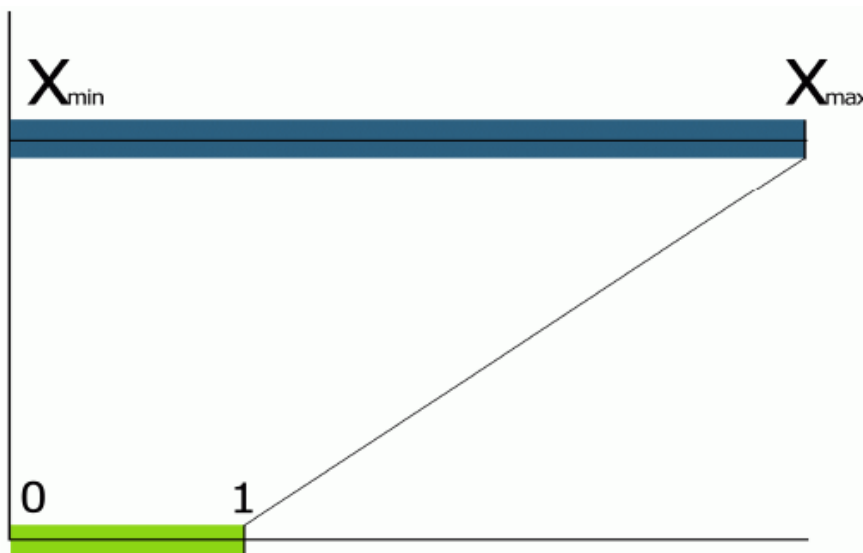


Рисунок А.2 – Масштабування вихідних даних в область значень сигмоїдальної функції активації

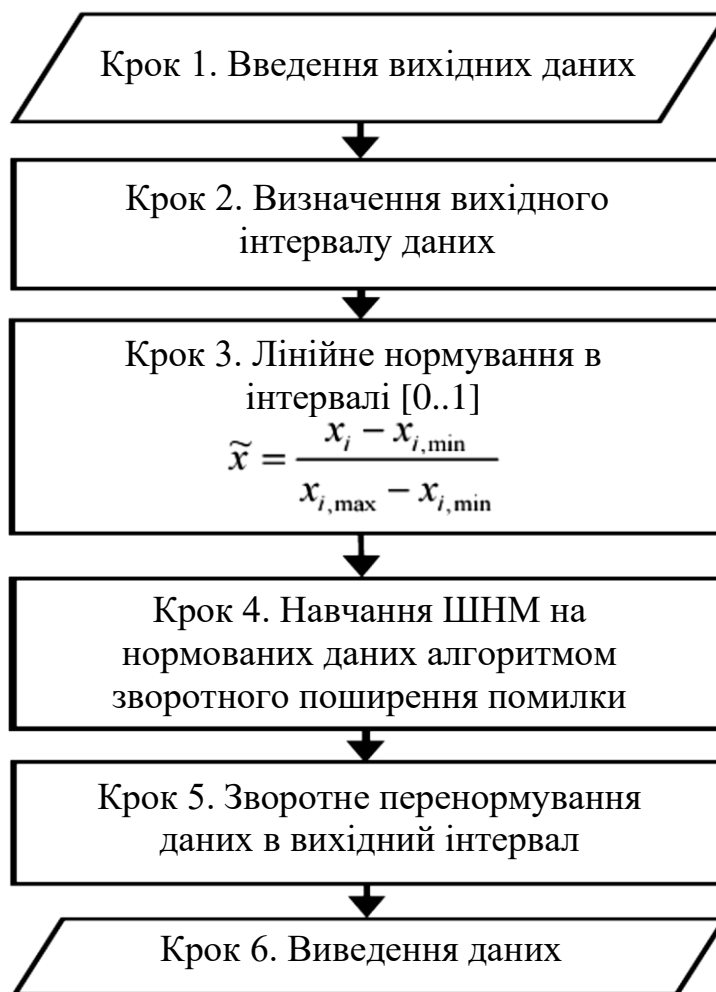


Рисунок А.3 – Блок-схема алгоритму ШНМ в робочому інтервалі сигмоїдальної активаційної функції при лінійному нормуванні

Лінійна нормалізація використовується при щільному заповненні інтервалу змінної x_i значеннями, тому що орієнтована на граничні значення (x_{\min} , x_{\max}).

Попередня обробка даних є важливим етапом при побудові моделей штучних нейронних мереж, тому що, наприклад, невірно вибраний діапазон масштабування вихідних даних в область значень функції активації в значній мірі вплине на здатність ШНМ до узагальнення після навчання (наприклад, здатність ШНМ виявляти поєднання дефектів, яких не було в навчальній вибірці).

A.5. Алгоритм навчання ШНМ методом зворотного поширення помилки

При побудові ШНМ хоча б з одним прихованим шаром, застосування методу d-правила Розенблатта для навчання мережі, обмежено, тому що необхідно знати правильні значення на входах і виходах прихованих шарів, що є неможливим.

Одним з найбільш популярних методів навчання персептрона, при наявності прихованих шарів, є метод градієнтного спуску (від англ. Gradient descent), який полягає в тому, що при кожному новому наближенні (ітерації) відбувається коригування кожного вагового коефіцієнта Δw_{LL-1} в напрямку, протилежному градієнту (антиградієнта) функції помилки (від англ. Error function) ε .

При цьому методі на кожній ітерації відбувається коригування ваг. Наприклад, при передачі сигналів з останнього прихованого шару на вихідний шар, коригування проводиться за такою формулою:

$$\Delta w_{LL-1} = -\eta \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial w_{LL-1}} \quad (\text{A.11})$$

де η - швидкість навчання алгоритму.

Для оцінки точності нейромережевої класифікації після навчання, використовується функція оцінювання помилки ε . Вона залежить від вагових коефіцієнтів і є функцією від них.

Найбільш поширеною функцією оцінювання помилки є квадратична функція помилок (від англ. Quadratic error function) [27, 38]:

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N_y} (y_L^{\text{ж.}} - y_L^{\text{ф.}})^2, \quad (\text{A.12})$$

де N_y - число нейронів вихідного шару;

$y_L^{\text{ж.}}$ - бажаний вихідний вектор нейронної мережі;

$y_L^{\text{ф.}}$ - одержуваний (фактичний) вихідний вектор нейронної мережі.

Для зменшення простору пошуку залежності (А.6), при обмеженому наборі вхідних даних, і оцінки якості навчання ШНМ, ставиться завдання мінімізації функції помилки (похибки). Тоді цільова функція має вигляд:

$$\varepsilon \rightarrow \min. \quad (\text{A.13})$$

Метод зворотного поширення помилки є ітеративним градієнтним алгоритмом, він являє собою модифікацію класичного методу градієнтного спуску, який використовується для мінімізації цільової функції (А.13).

При цьому методі, в процесі навчання, ваги нейронів нейронної мережі коригуються з урахуванням сигналів, що надійшли з попереднього шару, а також з урахуванням похибок при обробці шарів в зворотному напрямку починаючи з останнього шару (принцип зворотного поширення). Крім того, значення помилки можна мінімізувати за рахунок збільшення числа епох (ітерацій) навчання мережі. Головна вимога для застосування даного алгоритму - обрана активаційна функція повинна бути диференційована.

На рис. А.4 видно, що у вхідному шарі $l = 0$ міститься X_i кількість нейронів. В даному шарі відбувається лише передача сигналів, без будь-яких математичних операцій, від входу на наступний шар, тому його позначення відрізняється від інших шарів. Перший прихований шар $l = 1$, кожен наступний позначається $l = 2 \dots L-1$. У прихованих шарах кількість нейронів дорівнює P_1, \dots, P_{L-1} . Останній шар L є вихідним, кількість нейронів в ньому дорівнює P_L .

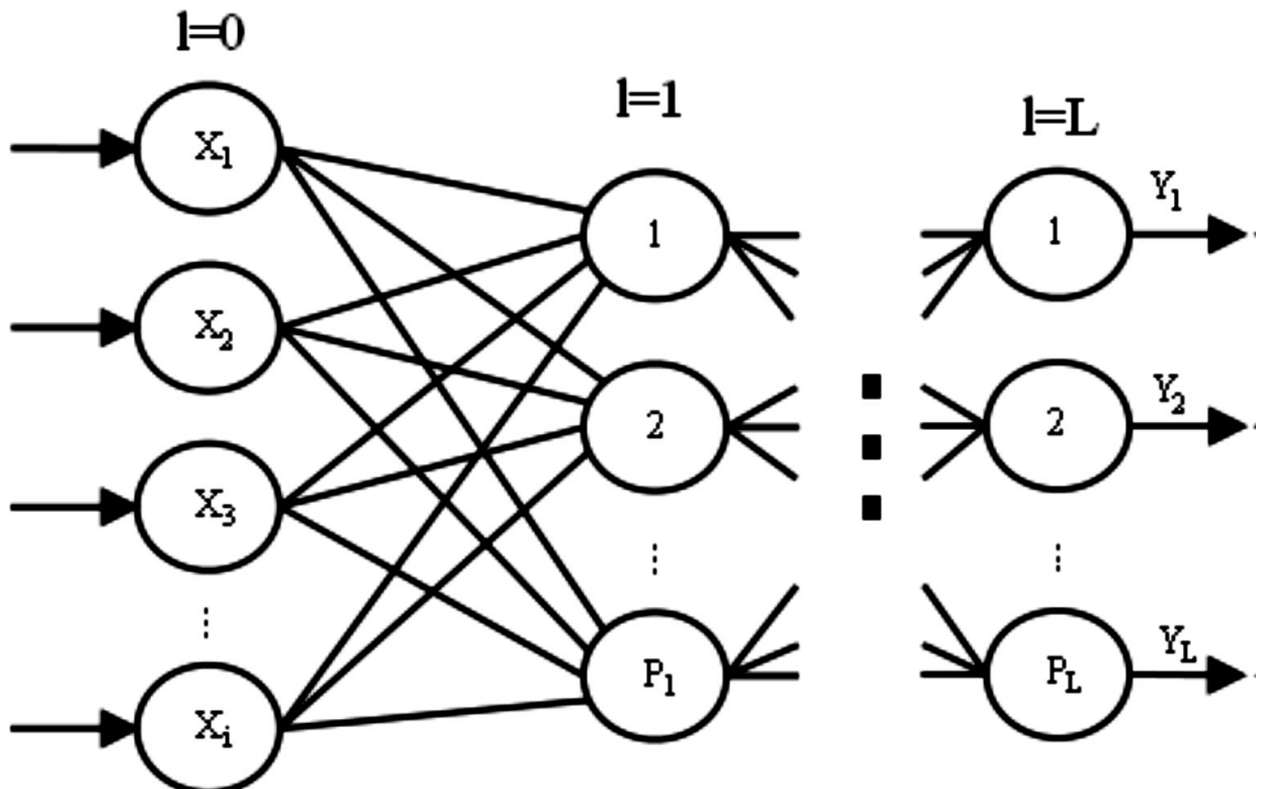


Рисунок А.4 – Схема багатошарового перцептрона

Для переходу в циклі між шарами ($l = 0, 1, 2, \dots, L-1, L$) і нейронами в шарах введемо додаткові позначення:

- q - порядковий номер нейрона $l-1$ шару;
- q' - порядковий номер нейрона l шару;
- q'' - порядковий номер нейрона $l+1$ шару;
- Q - останній нейрон $l-1$ шару;
- Q' - останній нейрон l шару;
- Q'' - останній нейрон $l+1$ шару.

Алгоритм навчання ШНМ методом зворотного поширення помилки представлений на рис. А.5 і складається з наступних кроків:

- Крок 1. Вхідні сигнали надходять в нормованому вигляді (див. рис. А.3), а відповідні їм ваги спочатку задаються генератором випадкових чисел з вузького діапазону, наприклад $[-1; 1]$.

- Крок 2. Подання вхідного і вихідного образу з навчальної вибірки. Нехай h - номер прикладу в навчальній вибірці, $h = 1, 2, 3, \dots, H$. Тоді, поточний вхідний образ - $X_h = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_i\}_h$, а поточний вихідний - $M_h = \{m_1, m_2, m_3, \dots, m_u\}_h$.

- Крок 3. Прохід в прямому напрямку від шару $l = 1$ до $l = L$. При цьому значення виходів нейронів кожного шару розраховується як:

$$y_{q'}^{(l)} = f_{\sigma} \left(\sum_{q=0}^Q w_{q'q}^{(l)} y_q^{(l-1)} \right), \quad (\text{A.14})$$

де σ - сигмоїдальна активаційна функція.

- Крок 4. Прохід в зворотному напрямку від шару $l = L$ до $l = 1$. При цьому відбувається коригування ваг за формулами узагальненого дельта-правила (від англ. Generalized delta rule). Крім того, введення додаткового моменту μ дозволило підвищити ефективність навчання алгоритму:

$$w_{q'q}^{(l)}(t+1) = w_{q'q}^{(l)}(t) + \Delta w_{q'q}^{(l)}, \quad (\text{A.15})$$

де

$$\Delta w_{q'q}^{(l)} = \eta \delta_{q'}^{(l)} y_q^{(l-1)} + \mu \Delta w_{q'q}^{(l-1)}, \quad (\text{A.16})$$

де, для прихованих шарів:

$$\delta_{q'}^{(l)} = y_{q'}^{(l)} (1 - y_{q'}^{(l)}) \sum_{q''=1}^{Q''} \delta_{q''}^{(l+1)} w_{q''q'}^{(l+1)} \quad (\text{A.17})$$

для вихідного шару:

$$\delta_{q'}^{(L)} = y_{q'}^{(L)} (1 - y_{q'}^{(L)}) (d_{q'} - y_{q'}^{(L)}). \quad (\text{A.18})$$

- Крок 5. Цикл h закривається. Обчислення помилки по формулі (А.12).

- Крок 6. Якщо величина помилки ε зменшується при кожній новій ітерації нарощування числа нейронів або кількість епох навчання ще не підійшла до кінця, то виконуємо кроки 2-5 необхідну кількість разів для коригування ваг обернено пропорційно величині помилки.

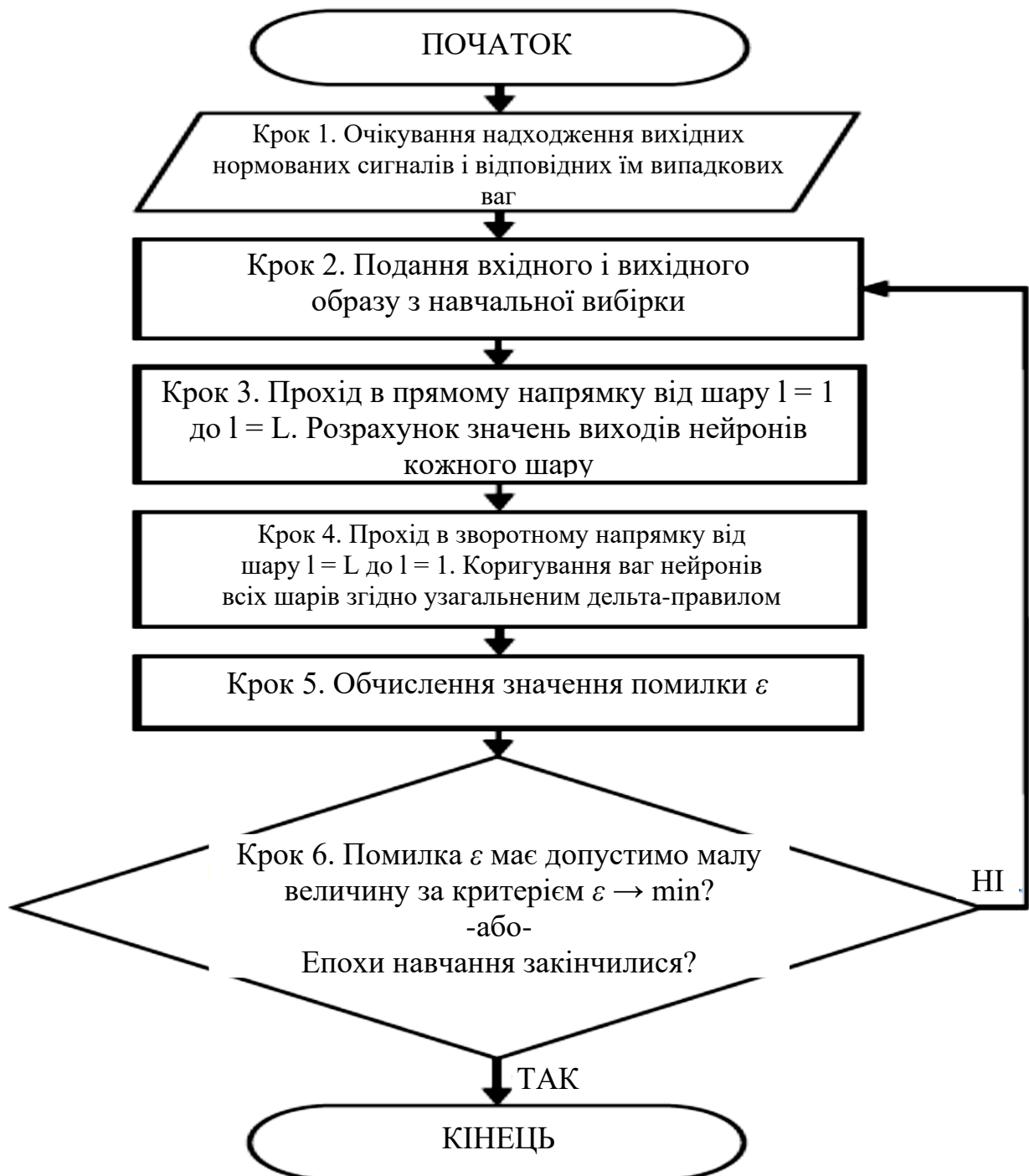


Рисунок А.5 – Блок-схема алгоритму навчання ШНМ методом зворотного поширення помилки

Припинення роботи алгоритму відбувається в разі, якщо величина помилки буде відхилятися від бажаного на допустимо малу величину, або якщо кількість епох навчання підійде кінця.

А.6. Розробка методики розподілу агрегатів автомобілів по КРР з урахуванням поєднань дефектів

Методика нейромережевої класифікації агрегатів при централізованому ремонті за технічним станом (ЦРТС) була розділена на два етапи:

- На першому етапі відбувається розпізнавання дефектів агрегатів в залежності від поєднань контрольованих параметрів, відхилення яких від допустимих значень вказують на наявність того чи іншого дефекту.

- На другому етапі агрегати, за результатами виявлених сполучень дефектів, розподіляються по комплексам ремонтних робіт.

Методика розподілу агрегатів по комплексам ремонтних робіт в залежності від виявлених дефектів при ЦРТС приведена у вигляді блок-схем (рис. А.6 і А.7).

А.6.1. Алгоритм застосування ШНМ для розпізнавання сполучень дефектів агрегатів ремонтного фонду

Для розпізнавання сполучень дефектів агрегатів ремонтного фонду з використанням штучної нейронної мережі при ЦРТС, був сформований алгоритм, блок-схема якого представлена на рис. А.6:

- Крок 1. База даних (БД) поєднань контрольованих параметрів (DB1) складається на основі отриманих експериментальних даних. При цьому БД слід розбити на дві частини, виходячи з обраного процентного співвідношення: на навчальну вибірку (на її основі відбувається навчання мережі, тому даний набір має найбільшу кількість прикладів з БД) і тестову вибірку (на її основі відбувається оцінка точності розпізнавання дефектів агрегатів).

- Крок 2. Нормування відбувається згідно з графіком на рис. А.2, а також на основі алгоритму, представленого на рис. А.3.

- Крок 3. Спочатку кількість нейронів в прихованому шарі $= 2$, для визначення оптимальної кількості будемо використовувати метод поступового нарощування їх числа, поки не буде досягнуто оптимального значення, при якому тестовий набір даних буде успішно розпізнано. Для визначення верхнього граничного значення кількості нейронів в прихованому шарі використовуємо формулу (A.10).

- Крок 4. Якщо число нейронів в прихованому шарі не досягло свого встановленого граничного значення R , то відбувається перехід на наступний крок. В іншому випадку, малоймовірно, що подальше збільшення числа нейронів підвищить якість навчання ШНМ, тому необхідно повернутися на крок 1 і переформувати початкову базу даних поєднань параметрів (DB1).

- Крок 5. Навчання ШНМ відбувається методом зворотного поширення помилки згідно блок-схеми алгоритму на рис. А.5. Кількість нейронів вхідного шару береться рівною кількості параметрів, що вказують на наявність дефектів в певних вузлах агрегатів. Число нейронів вихідного шару дорівнює кількості можливих дефектів розглянутого вузла агрегату.

Всі вихідні сигнали останнього шару мережі мають значення переводити в логічний тип даних, який приймає значення: 0 - відсутність дефекту, 1 - наявність дефекту. Поєднання вихідних сигналів $Y_1 \dots Y_L$ буде підставою для твердження про наявність того чи іншого дефекту.

- Крок 6. Оцінюється придбана, в процесі навчання, властивість нейронної мережі виявляти раніше невідомі їй дефекти (з тестової вибірки, які не брали участі в процесі навчання), що формуються в результаті різних сполучень параметрів згідно структурно-слідчої моделі взаємозв'язку параметрів агрегату.

- Крок 7. Якщо тестова вибірка розпізнає повністю, то можна зробити висновок, що ШНМ придбала здатність до узагальнення. В такому випадку відбувається перехід на крок 9. В іншому випадку, ШНМ або не придбала здатність до узагальнення, або величина помилки поки що ще висока, в такому випадку відбувається перехід на крок 8.

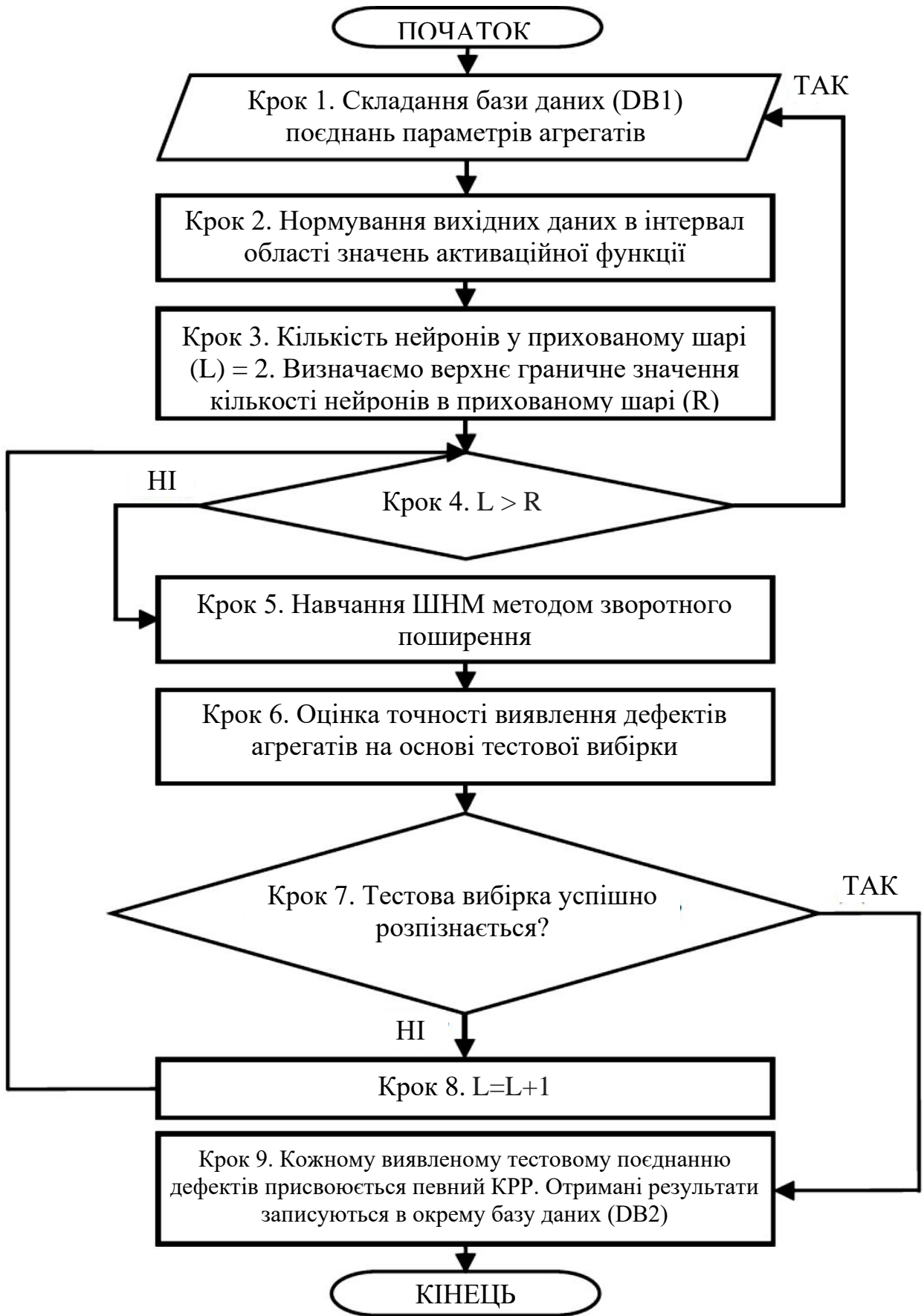


Рисунок А.6 – Блок-схема алгоритму застосування ШНМ для вирішення завдання розпізнавання дефектів агрегатів автомобілів

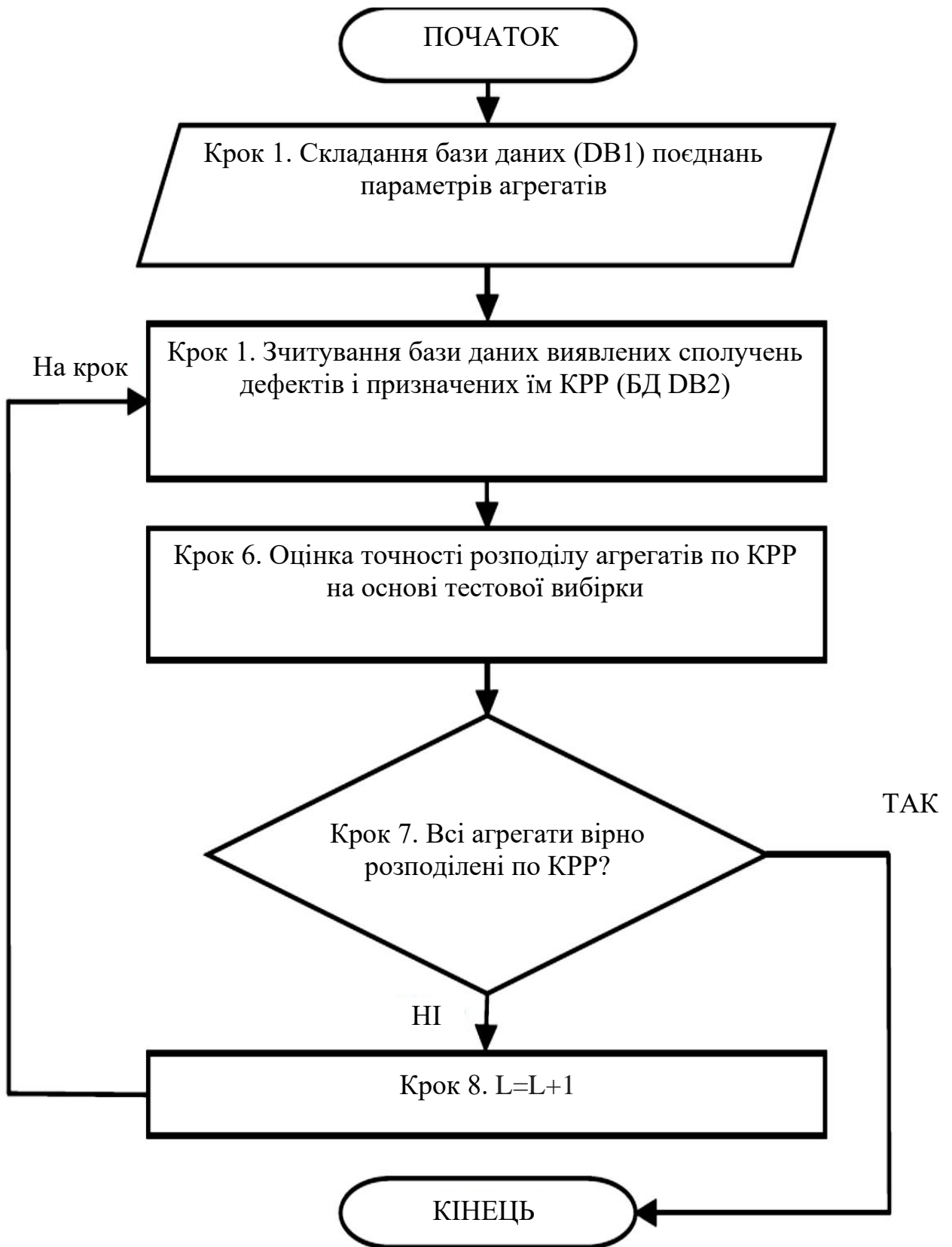


Рисунок А.7 – Блок-схема алгоритму застосування ШНМ для вирішення завдання розподілу агрегатів автомобілів за технологічними маршрутами ремонту

- Крок 8. Відбувається збільшення числа нейронів $L = L + 1$ і перехід до початку кроку 4.

- Крок 9. По завершенню роботи алгоритму на виході ми отримуємо тестові поєднання дефектів агрегатів. Кожному такому поєднанню присвоюється певний комплекс ремонтних робіт. Отримані результати записуються в окрему базу даних (DB2).

А.6.2. Алгоритм класифікації агрегатів по КРР з урахуванням виявлених сполучень дефектів

Для розподілу агрегатів ремонтного фонду по комплексам ремонтних робіт (КРР) при ЦРТС використовується сформована в результаті роботи попереднього алгоритму база даних (DB2), де перераховані всі виявлені поєднання дефектів вузлів агрегатів.

На рис. А.7 у вигляді блок-схеми представлений алгоритм побудови нейромережевого класифікатора для вирішення завдання оптимального розподілу агрегатів автомобілів за технологічними маршрутами ремонту в залежності від розпізнаних дефектів агрегатів. Варто відзначити, що кроки, де виконується нормування вхідних даних, визначення оптимальної кількості нейронів в прихованому шарі і процедура навчання методом зворотного поширення помилки аналогічні відповідним крокам алгоритму на рис. А.6.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА СТО «НЕМИРІВ-АВТО»

1.1. Загальні відомості про СТО «Немирів-Авто»

СТО «Немирів-Авто» веде свій початок з 90-х років ХХ століття і сьогодні є авторитетним і найбільш відвідуваним місцем, де можна вирішити всі проблеми, що виникли у автовласників з їх автомобілями.

Із завданням відновлення автомобіля до рівня, який він мав, зійшовши з конвеєра заводу-виробника, в змозі впоратися далеко не кожна автомайстерня.

Такий рівень технічного бслуговування може запропонувати лише СТО, що володіє висококваліфікованими фахівцями, професійним обладнанням, відповідними запчастинами і, нерідко, навіть власним виробництвом.

Сервісний комплекс підприємства «Немирів-Авто» об'єднує ремонтні майстерні м. Вінниці та м. Немирова, шинний центр, магазин автозапчастин та сучасну автомийку.

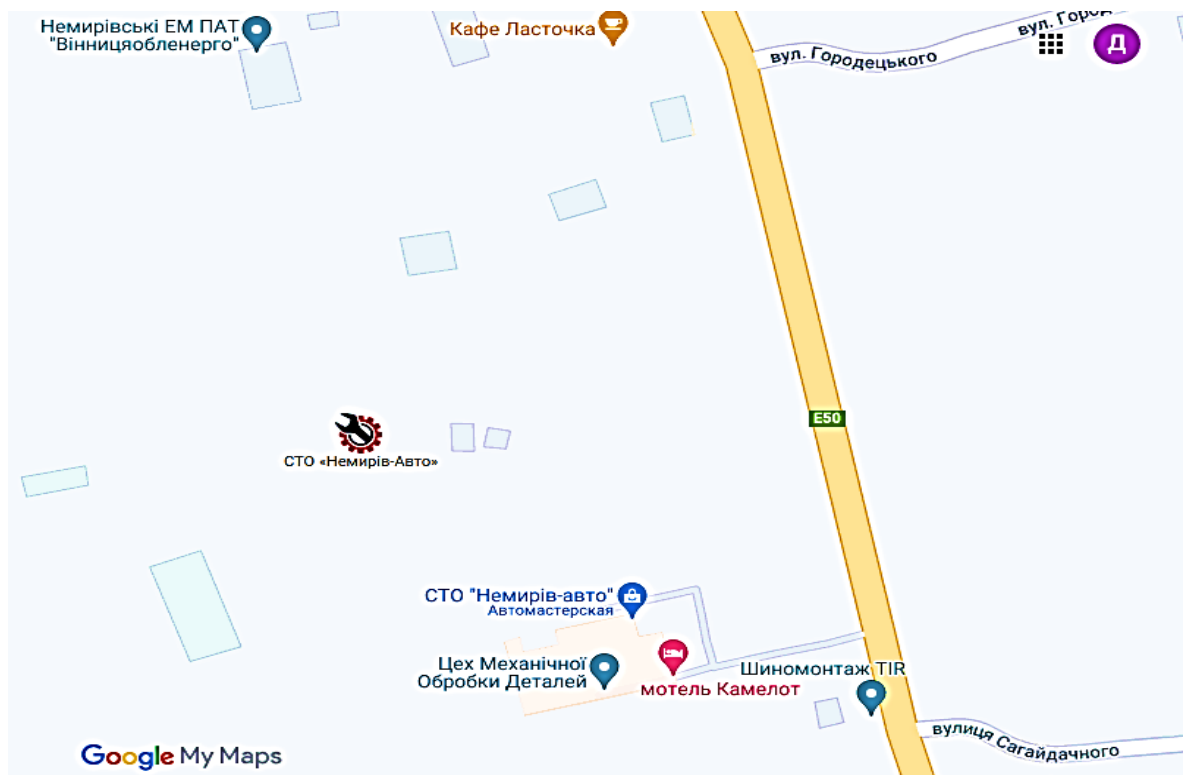


Рисунок 1.1 – Розташування виробничих підрозділів СТО «Немирів-Авто»
в м. Немирів

СТО «Немирів-Авто» розташована у м. Немирів (за 40 км від м. Вінниця) (див. рис. 1.1).

Юридична адреса СТО «Немирів-Авто»: Вінницька обл., м. Немирів, вул. Маяковського, 16.

Фактична адреса СТО «Немирів-Авто»: Вінницька обл., м. Немирів, вул. Горького, 4б.

1.2. Виробнича характеристика СТО «Немирів-Авто»

В автосервісі СТО «Немирів-Авто» використовують все необхідне діагностичне обладнання для роботи з багатьма марками автомобілів американського, європейського, азіатського і російського виробництва. Спеціальні сканери і тестери дозволяють провести діагностику виконавчих механізмів і блоків управління, двигунів, ходової частини і різних систем бензинових і дизельних автомобілів. Крім того, автосервіс в своєму розпорядженні має унікальний прилад для перевірки та регулювання розвалу-сходження – електронний стенд нового покоління «Geoliner 550 prism» від компанії «Hofmann», який використовує просторову 3D-технологію. Прилад є передовою розробкою в області регулювання колісної бази і розпізнає параметри понад 360 світових автомобільних марок. В Україні таких стендів тільки вісім. Датчики приладу, які встановлюються на задні колеса автомобіля, використовують систему «bluetooth» для обміну інформацією між собою і для зв'язку з базою, що дозволяє мобільно проводити вимірювання без переміщення основної стійки. Стенд високоточний, не вимагає додаткового калібрування і дає мінімальну похибку. З цим обладнанням СТО може обслуговувати навіть комерційний автотранспорт вагою до 7,5 т.

Ремонт двигунів в СТО «Немирів-Авто» на особливому рахунку, оскільки СТО починала свою діяльність як майстерня по ремонту двигунів. При ремонті головок блоку циліндрів фахівцям допомагає високоточне обладнання торгової марки «MIRA» (Швейцарія). Ці компактні прилади дозволяють якісно і швидко обробляти головки блоків циліндрів в різних типах автомобілів, що

прискорює сам процес ремонту. Особливий вид сервісу, на якому спеціалізується СТО – установка, діагностика і ремонт турбокомпресорів. Це високотехнологічні агрегати, робота з якими вимагає особливої підготовки персоналу і наявності професійного обладнання. Відповідно, більшість автосервісів ігнорує їх обслуговування. СТО «Немирів-Авто» обслуговує турбодвигуни всіх виробників і є сертифікованим дилером компанії «Turbo car», офіційного дистриб'ютора концерну «BorgWarner Turbo Systems» (США) – одного з найбільших виробників турбін і трансмісій в світі. Співпраця з «Turbo car» дозволяє не тільки пропонувати «хорошу» ціну на турбокомпресори і карданні вали, а й кваліфіковано їх ремонтувати, використовуючи постійно наявні в наявності ремкомплекти від виробника. Завдяки співпраці з «Turbo car» СТО «Немирів-Авто» має дільницю по ремонту і виробництву карданних валів з використанням запчастин, технологій та обладнання німецької компанії «Welte-Wenu GmbH».

Склад компанії «Немирів-Авто» має великий запас запчастин до багатьох марок сучасних автомобілів. Якщо необхідна деталь тимчасово відсутня, її можна замовити за комп'ютерними каталогами виробників, подібно до того як відбувається в дилерському центрі – запчастини підбираються під конкретний автомобіль по VIN-коду. Якщо запчастина відсутня в Україні, то доставка замовлених деталей з Німеччини здійснюється дуже швидко – протягом 5 днів.

За якість шиномонтажних робіт відповідає обладнання італійської фірми «ТЕСО» і висококваліфікований персонал, частина якого пройшла навчання в Німеччині, а також в Києві на семінарах компанії «ТіДіСі» (вантажні шини). Тут ремонтують пошкодження шин всіх типів транспортних засобів, в тому числі сільськогосподарської техніки, кар'єрної техніки і спецтехніки. Для цього виду робіт, який здійснюють далеко не всі шиномонтажні центри, встановлений верстат, що дозволяє працювати з колесами діаметром до 2,5 м. Також в майстерні відбалансують колесо будь-якого типу, зроблять нарізку протектора і рихтування сталевих дисків.

Компанія «Немирів-Авто» виробляє рукава високого тиску для власних потреб і на продаж. За якістю нові шланги не поступаються оригінальним. Роблять немирівські рукава високого тиску з німецького матеріалу за технологією компанії «Cohline» (Німеччина) на німецьких верстатах «Uniflex». Технологія і обладнання дозволяють виготовляти рукави різного діаметру і довжини. Додатково СТО надає послуги з ремонту клієнтських рукавів високого тиску.

Основне завдання карданного цеху – це європейський рівень надання послуг з ремонту і виробництва карданних валів. В даний час вінницький карданний цех СТО «Немирів-авто» може провести ремонт і виготовити новий карданний вал із застосуванням оригінальних запчастин провідних виробників, таких як «GWB», «DANA SPICER», «KLEIN», «ELBE», «GKN».

Вінницький відділ «Немирів-Авто» надає комплекс послуг з виготовлення, ремонту і балансуванню карданних валів. Сфера діяльності станції технічного обслуговування «Немирів-авто» поширюється на легкові, вантажні автомобілі європейського і американського виробництва, будівельну, індустріальну і сільськогосподарську техніку світових лідерів: MERCEDES, VW, AUDI, BMW, MAN, DAF, RENAULT, VOLVO, SCANIA, LIEBHERR, JOHNDEERE, VALMET, KOMATSU, CATERPILLAR. Замовлення на виготовлення і ремонт карданних валів надходять не тільки від підприємств і приватних осіб міста Вінниця та Вінницького регіону, а й з інших областей України.

Крім ремонту карданних валів до переліку послуг «Немирів-Авто» входять ексклюзивні види робіт:

- переробка та посилення конструкції карданного валу;
- ремонт карданних валів автомобілів Toyota RAV4, Acura, Honda Pilot, Renault Duster, Vw Touareg, Vw Tiguan, Porsche Cayenne, Infiniti;
- виготовлення карданних валів на подовжені автомобілі (лімузин, евакуатор і т.д).

На шиномонтажній дільниці СТО «Немирів-Авто» в наявності все необхідне обладнання для якісного надання послуг.

Для зменшення часу затраченого на пошук відповідних гальмівних трубок, на СТО «Немирів-Авто» було прийнято рішення на закупівлю устаткування і витратних матеріалів для їх виготовлення. Тепер на СТО «Немирів-Авто» в наявності повний асортимент комплектуючих, який забезпечує можливість виготовлення трубок на будь-який автомобіль.

Підприємство «Немирів-Авто» виготовляє і проводить заміну гальмівних трубок з використанням тільки якісних щтуцерів і матеріалу трубок для всіх легкових автомобілів, позашляховиків і мікроавтобусів будь-яких марок та моделей. Використання обладнання для вальцювання німецької фірми «CONLINE» і комплектуючих «WP» дає впевненість в тому, що якість виробів «Немирів-Авто» є високою.

Токарні роботи по металу є найважливішим етапом виготовлення різних металевих деталей. Передбачаючи високоточну механічну обробку, вони вимагають наявності спеціальних практичних навичок, спеціального обладнання, інструменту.

Підприємство «Немирів-Авто» має в своєму розпорядженні технічні можливості для оперативного виконання всіх видів токарних робіт на високопрофесійному рівні. Фахівці «Немирів-Авто» виготовлять за кресленнями замовника деталі будь-якої складності з чітким забезпеченням заданих параметрів. Підприємство «Немирів-Авто» пропонує виготовлення виробів шляхом токарної обробки: замки для труб, муфти, шпильки, втулки, пальці, штуцера, перехідники, форсунки, фланці, нестандартні болти, шайби, конуса різьбові, ролики.

Багатофункціональний парк токарних верстатів дозволяє майстрам «Немирів-Авто» якісно виконувати об'ємний перелік технологічних операцій, включаючи торцювання, відрізання заготовок, зняття фасок під різними кутами, прорізання пазів і канавок, обробку жолобників, нарізку різьблення. Всі токарні роботи проводяться на високоточному налагодженому устаткуванні з повним дотриманням вимог креслення. Ви можете замовити механічну обробку вже існуючої заготовки або виготовлення нової деталі.

Цех металообробки «Немирів-Авто» пропонує професійні послуги з металообробки, такі як: шліфування колінчатих валів, полірування колінчастих валів, розточування та хонінгування БЦ (включаючи алюмінієві блоки), гільзовка блоків циліндрів (включаючи вантажні та алюмінієві), відновлення постілі колінчастих і розподільних валів, комплексний ремонт головок блоку циліндрів (включаючи вантажні), ремонт верхньої і нижньої головок шатуна, перепресовка шатунів, відновлення втулок проміжних і балансирних валів, обробка площин блоків циліндрів, обробка площині ГБЦ, опресовування деталей двигуна, миття і очищення деталей двигуна, балансування деталей ДВЗ та трансмісії.

Для того щоб зробити фрезерування металевих виробів потрібно мати спеціальне обладнання і кваліфікований персонал. Операція фрезерування в технологічному процесі виробництва деталей дуже важлива. Завдяки цій операції, можливо зробити більш точні розміри деталі, ніж при литті.

Підприємство «Немирів-Авто» має можливість виконувати такі види фрезерних операцій: торцеве фрезерування (фрезерування великих поверхонь); кінцеве фрезерування (пази, канавки, колодязі, вікна); фасонне фрезерування (фрезерування профілів).

Підприємство «Немирів-авто» займається зварювальними роботами різної складності. СТО виконує відновлення автомобільних агрегатів і вузлів, шляхом аргонодугового зварювання, напівавтоматичного зварювання, газової пайки ацетиленом. Технічне оснащення СТО «Немирів-Авто» поповнилося новим апаратом аргонно-дугового зварювання з сенсорним керуванням «KIND TIG 400DP AC/DC». Цей потужний професійний зварювальний апарат застосовується для аргонового зварювання всіх видів чорних та кольорових металів і їх сплавів, таких як, вуглецева і нержавіюча сталь, чавун, бронза, латунь, мідь, алюміній і його сплави, магній, титан і його сплави, і т.д.

Підприємство «Немирів-Авто» пропонує своїм клієнтам капітальний ремонт і сервісне обслуговування промислових вакуумних насосів пластинчато-роторного типу як вітчизняного так і закордонного виробництва. Фахівці

«Немирів-авто» здійснюють ремонт вакуумних насосів на спеціально обладнаній ділянці цеху механічної обробки деталей.

З 2006 року СТО «Немирів-Авто» здійснює продаж турбокомпресорів для легкових і вантажних автомобілів, будівельної, сільськогосподарської та спеціальної техніки. З 2018 року склад турбокомпресорів СТО «Немирів-Авто» розташовано в м. Вінниця по вул. Зулінського.

СТО «Немирів-Авто» є партнером компанії «TURBO CAR», яка з червня 2002 року є авторизованим дистриб'ютором «Garrett by Honeywell» і «BorgWarner Turbo Systems» на території України.

Сервісний центр «Немирів-Авто» може запропонувати клієнтам, які займаються експлуатацією і обслуговуванням сільгосптехніки, великий спектр послуг з ремонту карданних валів.

Сервісний центр «Немирів-Авто» має власний склад запчастин для карданних валів, де завжди можна придбати необхідну запчастину і провести її заміну.

Фахівці відділу продажів запасних частин СТО «Немирів-Авто» надають консультації по будь-якому питанню підбору і постачання запчастин. На сьогоднішній день в наявності є запчастини для вітчизняних автомобілів та «іномарок». Це дозволяє значно скоротити час доставки запчастин необхідних для ремонту автомобілів, але якщо потрібна заміна деталі, яка відсутня на складі, тоді менеджери можуть організувати поставку потрібної запчастини в максимально стислі терміни навіть з Європи і Америки.

Вінницький відділ «Немирів-Авто» надає комплекс послуг з виготовлення, ремонту і балансуванню карданних валів. Вартовідзначити, що Вінницький відділ «Немирів-Авто» може запропонувати клієнтам, які займаються експлуатацією і обслуговуванням автобусів Neoplan, Setra, Temsa, Vanhol, Scania, великий спектр послуг з ремонту карданних валів. Команда кваліфікованих співробітників, застосовуючи високотехнологічне обладнання, швидко і професійно поверне вал в робочий стан або виготовить новий.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ОРГАНІЗАЦІЇ РЕМОНТУ ТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНІКИ

2.1. Огляд основних систем і стратегій технічного обслуговування і ремонту автомобільного транспорту та їх складових частин

Ефективність використання автомобільного транспорту (АТ) безпосередньо залежить від способів і методів підтримки їх в стані технічної справності на необхідному рівні, чому на практиці сприяють різні форми організації систем технічного обслуговування (ТО) і ремонту.

Існуючі на даний момент форми і методи організації ТО і ремонту транспортної техніки можна звести до трьох основних стратегій:

1. *Hard time maintenance and repair* (планове технічне обслуговування і ремонт). Деталям, вузлам, агрегатам призначається встановлена з напрацювання межа, після закінчення якої виконується або регламентне ТО, або регламентний ремонт.

2. *On condition* (за станом) – суть даної стратегії підтримки техніки в справному стані полягає в періодичному або безперервному вимірі контрольованих параметрів, відхилення яких від номінальних можуть свідчити про несправності агрегатів машин. При цьому немає жорстких обмежень щодо напрацювання, тому що рішення про подальшу експлуатацію приймається за результатами контролю.

3. *Condition monitoring* (за станом з контролем рівня надійності) – в основі лежить комплекс заходів з управління надійністю (аналіз відмов, конструктивні зміни, зміни в технології ремонтних робіт і т.д.). При цьому підході транспортний засіб знімається з експлуатації в випадку відмови.

Прийнята в Україні планово-попереджувальна система технічного обслуговування і ремонту (ППС ТОіР) на АТ має високий рівень управління технічним обслуговуванням (ТО) і ремонтом. Вона відповідає наведеній вище стратегії *Hard time maintenance and repair* і являє собою комплекс організаційно-технічних заходів, що проводяться за планом і спрямована на

забезпечення працездатності та технічної справності автомобільного транспорту протягом всього терміну його служби, при дотриманні зазначених умов і режимів експлуатації.

Згідно з регламентом ППС, для попередження відмов виконуються тільки технологічні операції по ТО, а періодичність впливів по поточному ремонту (ПР) при цьому не планується, так як наступ відмови носить імовірнісний характер [29].

Найбільш значний внесок у розвиток ППС внесли роботи д.т.н., професорів Л.В. Дехтерінського, Н.Я. Говоруценка, Г.В. Крамаренка, Е.С. Кузнєцова, А.М. Шейніна та інших вчених [17, 36].

Однак, як показує практика, дані принципи ППС не завжди працюють досить ефективно, тому що в реальних умовах експлуатації про сувору лінійну залежність між технічним станом автомобілів і агрегатів, і терміном експлуатації або напрацюванням на відмову можна говорити тільки лише при корозійних або ерозійних процесах, або при втомному зношенні.

Як показує досвід, необгрунтоване розбирання сполучень, що здійснюється в процесі ремонту, скорочує реальний міжремонтний період механічних систем виробів в середньому на 15-30%. За даними к.т.н. В.І. Мілованцева, це призводить до скорочення ресурсу виробів від 25,0 до 38,5%.

Згідно з дослідженнями д.т.н., професора І.К. Данилова, заснованими на аналізі статистичних даних про надійність автомобілів і сільськогосподарських машин, певна номенклатура відмов двигунів і заміна деталей повторюється. Крім того, при виборі стратегії очікування відмови в значній мірі збільшуються витрати на підтримку працездатності автомобілів і сільськогосподарських машин [29].

Як зазначає у своїх роботах д.т.н., професор І.Є. Дюмін, у двигунів ЗІЛ-130, що надходять в капітальний ремонт (КР) до 80% деталей мають допустимий для експлуатації знос. Число придатних елементів у автомобілів і тракторів, задіяних у сільському господарстві, в середньому досягає 60 ... 65% [3, 4, 5].

На технічний стан механізму впливає час його експлуатації, проте залишковий ресурс механізму не повинен визначатися лише даними фактором, тому що даний фактор часто є малозначним.

Будь-який механізм складається з великого числа допусків, починаючи від моменту проектування і конструювання (проектно-конструкторські допуски), виробництва (виробничо-технологічні) і закінчуючи допусками при експлуатації (експлуатаційні), а також під час ТО і ремонтів, які виконуються різними по кваліфікації фахівцями. Так як на практиці не може існувати абсолютно однакових процесів експлуатації, то не існує і двох абсолютно однакових механізмів їх реалізації. До найбільш значущих чинників, які впливають на експлуатаційні характеристики автомобілів і технологічних машин, є:

- умови виготовлення;
- умови зберігання;
- умови транспортування;
- умови експлуатації;
- технічне оснащення і кваліфікація обслуговуючих робітників;
- номенклатура і якість вироблених ремонтних впливів і ін.

Саме тому вузли і агрегати, що надходять в ремонт при експлуатації в однаковому часовому проміжку мають нерівні залишкові ресурси і, як наслідок, одночасний їх ремонт недоцільний.

Крім того, ППС є вельми витратною формою ТО і ремонту, так як найчастіше стимулюється відрядною системою оплати праці. Отже, як керівники підприємств по ремонту автомобільного транспорту, так і безпосередні виконавці зацікавлені у великих обсягах ремонтних впливів, що є суттєвою перепоною для впровадження нових підходів до даної системи ТО і ремонту.

Коли на зміну епохи соціалізму прийшла епоха капіталізму і, як наслідок, прихід ринкової економіки з появою власників, ситуація навколо поглядів на ремонт техніки змінюється. Керівники підприємств, після оцінки

позитивних і негативних сторін планово попереджувальної системи, починають шукати способи зниження витрат на ТО і ремонт рухомого складу підприємства, беручи до уваги, що величина даних витрат повинна бути обґрунтованою з технічної та економічної точки зору.

Як наслідок, виникає необхідність в переході на більш досконалий різновид ремонту, який частково вже застосовується на підприємствах ряду галузей промисловості - ремонт по фактичному технічному стану (відповідає «On condition» у наведеній вище класифікації стратегій). Даний вид ремонту є найбільш виправданим варіантом при виборі ремонтної стратегії, тому що базується на перемінному обсязі робіт в залежно від технічного стану вузлів і агрегатів.

Як зазначає у своїх роботах Заслужений діяч науки РФ, д.т.н., д.е.н., професор О.Ю. Барзилович, при впровадженні ремонту техніки за фактичним технічним станом, економічний ефект може досягати 30% від загальної вартості парку техніки [6, 7]. Ремонт по фактичному технічному стану широко застосовується в сферах експлуатації авіаційної техніки, згідно з дослідженнями д.т.н., д.е.н., професора О.Ю. Барзиловича [6, 7, 8], д.т.н., професора М.М. Смирнова, д.т.н., професора А.А. Іцковича і ін. [5, 9, 27], і морського транспорту, згідно з дослідженнями к.т.н. Е.С. Носенка [8].

У своїх роботах д.т.н., професор М.Я. Говорущенко вказує, що ремонт рухомого складу автомобільного транспорту за технічним станом фактично вже в даний час використовується в багатьох автотранспортних підприємствах країни [17, 18, 19].

На початку 60-х років, д.т.н., професором К.Т. Кошкіним була опублікована монографія, в якій вперше розкривалися основні принципи і особливості проектування технологічних процесів ремонту деталей, які лягли в основу ремонту за технічним станом [6].

Ремонт, в основі якого лежать принципи серійного виробництва, що характеризується широким використанням типових технологічних процесів, називається централізованим ремонтом за технічним станом (ЦРТС). Його

суть полягає в наступному: за результатами передремонтного діагностування (ПД), яке проводиться або до зняття агрегату з автомобіля (перед його відправкою в ремонт), або на випробувальному стенді (при прийманні агрегату в ремонт), призначається один з заздалегідь розроблених на підприємстві технологічних маршрутів ремонту (комплексів ремонтних робіт - КРР). Як наслідок, відбувається деяке збільшення обсягів разборочно-складальних робіт, через невідповідність виявленого поєднання дефектів агрегату і номенклатури робіт технологічного маршруту ремонту, за яким направляється даний агрегат. Однак дане збільшення обсягів компенсується скороченням обсягу контрольних-діагностичних операцій (КДО), тому що при цьому не потрібно виявляти всі дефекти агрегата, а лише досить локалізувати або встановити відсутність тільки тих дефектів, які будуть визначати технологічний маршрут ремонту [5].

Невід'ємною ланкою процесу діагностування є людина (оператор-діагност). Ефективність ЦРТС в значній мірі залежить від застосовуваних методів і засобів технічного діагностування, однак, якими б застарілими або сучасними вони не були, найслабшою ланкою в людино-машинній системі є людина. Саме тому, на етапі передремонтного діагностування неминучі значні за величиною помилки 1-го роду («помилковий дефект») і 2-го роду («пропуск дефекту») і, як наслідок, помилка маршрутизації при розподілі по КРР. Фактори, що вплив на постановку вірного діагнозу оператором-діагностом на етапі передремонтного діагностування агрегатів автомобілів при їх ЦРТС представлені на рис. 2.1 [6].

Схема технологічного процесу ЦРТС при одноетапному контролі представлена на рис. 2.2, де кожен агрегат, що надходить в ремонт, характеризується поєднанням наявних у нього дефектів (q -м) з безлічі Q ($q = 1, \dots, Q$), за результатами передремонтного діагностування розподіляється на k -й КРР з безлічі K ($k = 1, \dots, K$), при цьому $K < Q$, тому за одним технологічним маршрутом ремонту можуть бути спрямовані агрегати з подібними поєднаннями виявлених дефектів. Відповідно з призначеними технологічними

маршрутами ремонту, агрегати направляють на спеціалізовані робочі місця (СРМ) (R безліч, $r = 1, \dots, R$), яких достатньо щоб виконати річний обсяг робіт підприємства, крім того на одному СРМ може виконуватися кілька технологічних маршрутів ремонту [5, 6, 8].

При одноетапному контролі через виникнення помилок 1-го і 2-го роду до 28% агрегатів поверталися з робочих місць назад на передремонтне діагностування.

К.т.н. В.Н. Красовський, для підвищення достовірності розпізнавання технічного стану ремонтного агрегату і правильності призначення технологічного ремонтного маршруту, ввів додаткові контрольно-діагностичні операції безпосередньо в процес розбирання агрегату (операційний контроль розбірного процесу), що призвело до зниження процесу повернення агрегатів з робочих місць до 18% і скорочення втрат від виконання зайвих і повторних ремонтних робіт і КДО [3].

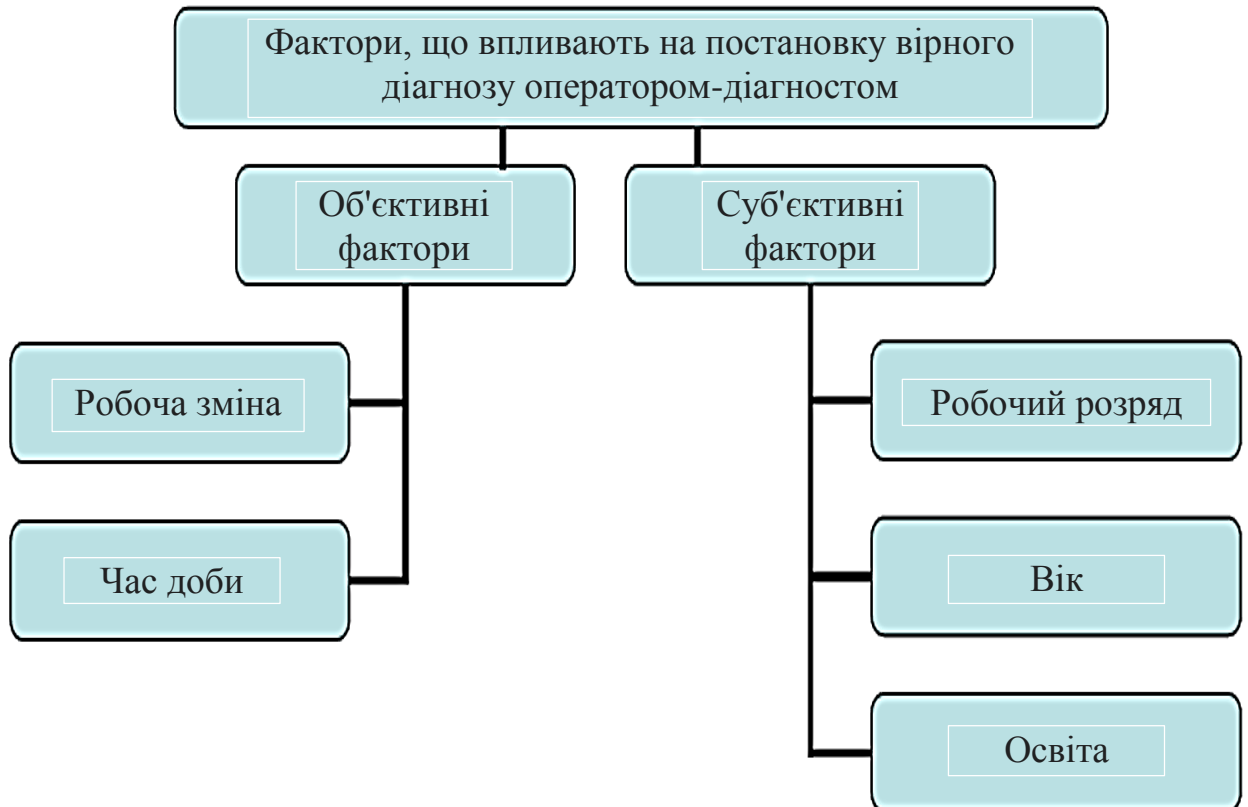


Рисунок 2.1 – Фактори, що впливають на постановку вірного діагнозу оператором-діагностом при ЦРТС агрегатів автомобілів

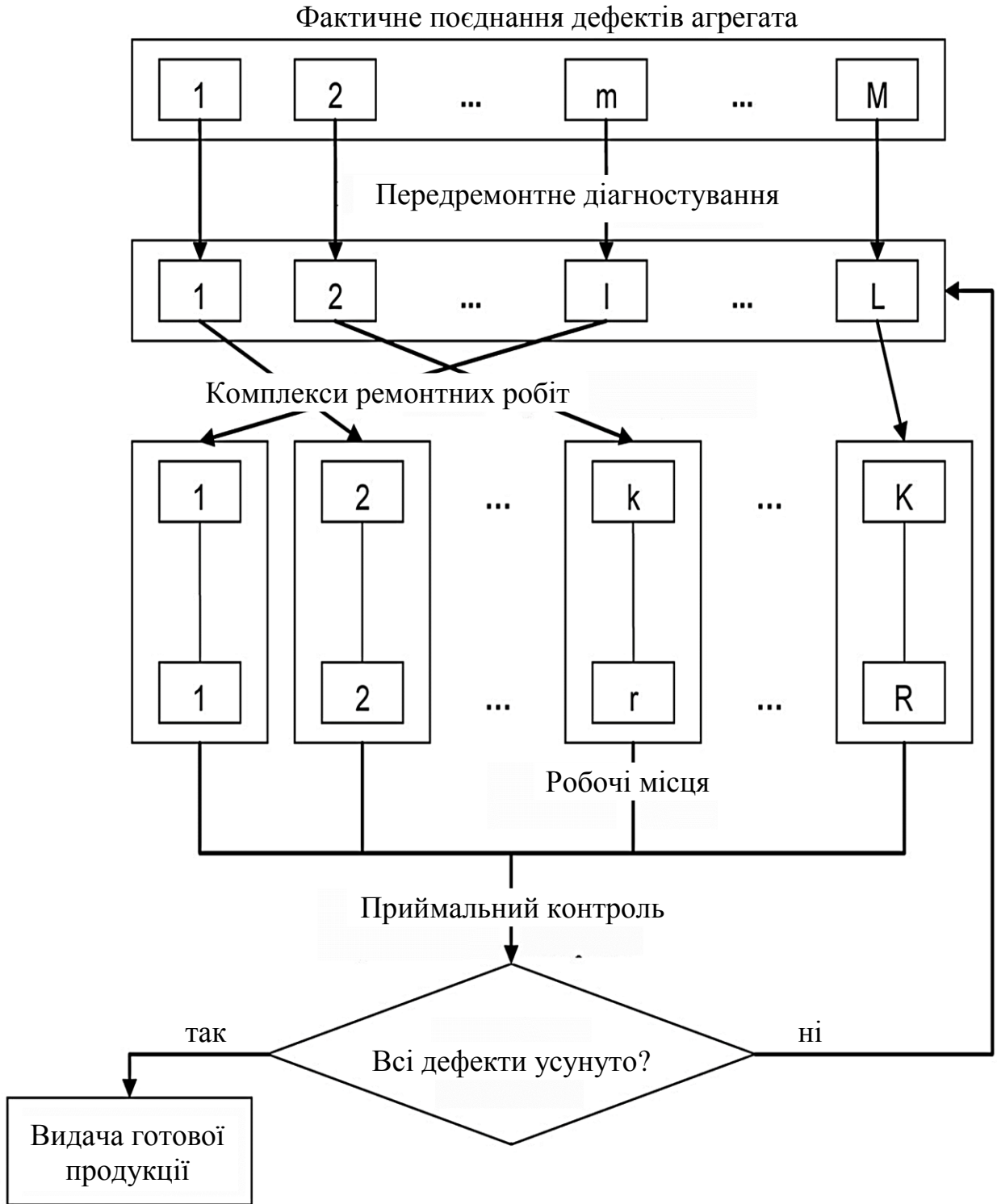


Рисунок 2.2 – Схема технологічного процесу ЦРТС агрегатів автомобілів при одноетапному контролі

Схема ЦРТС агрегатів автомобілів при багатоетапному контролі представлена на рис. 2.3.

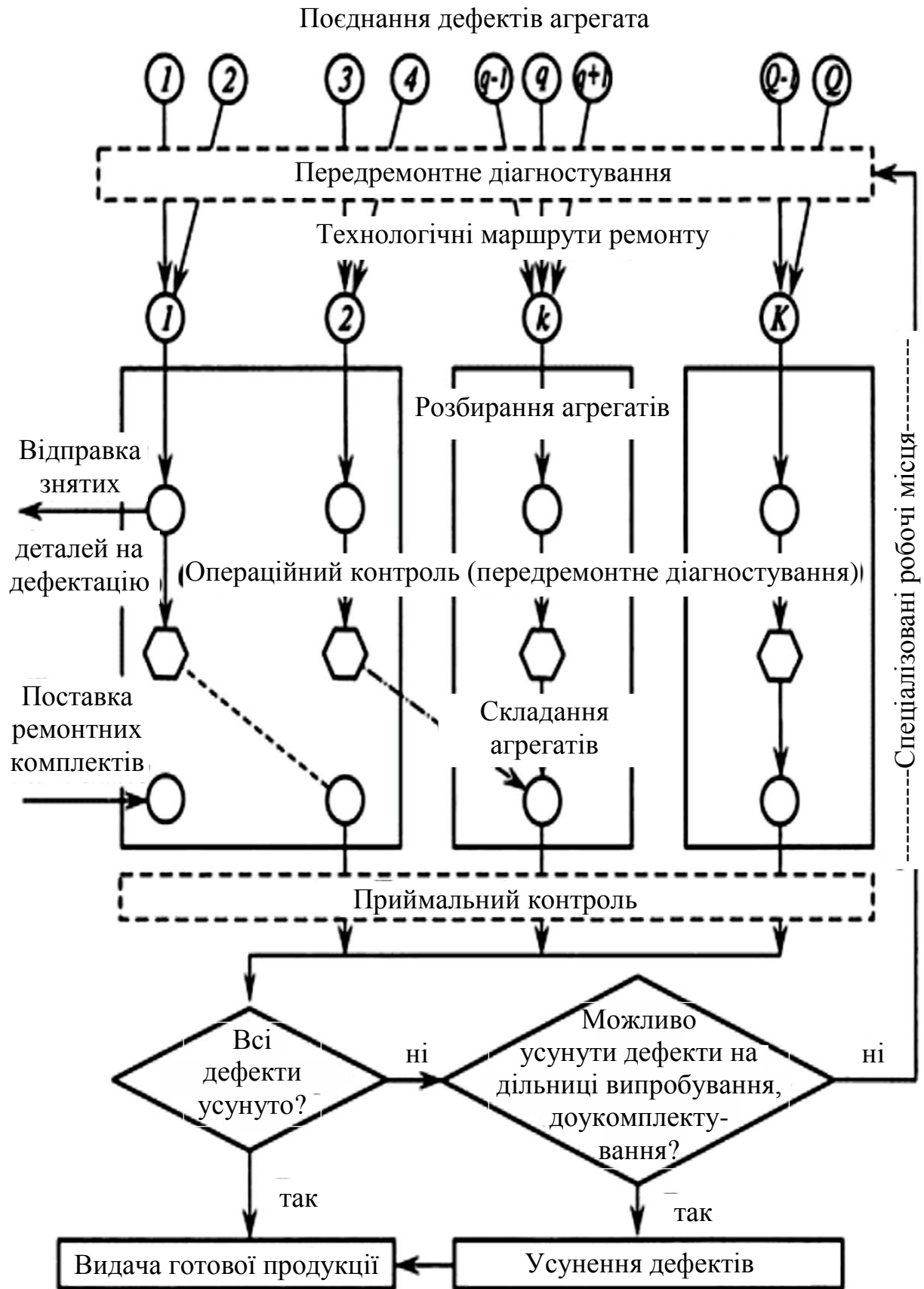


Рисунок 2.3 – Схема технологічного процесу ЦРТС агрегатів автомобілів при багатоетапному контролі

Крім того, на етапі приремонтного діагностування з'являється можливість локалізувати дефекти, які принципово не піддаються виявленню при передремонтному діагностуванні. Часткове розбирання агрегату сприяє більш точному визначенню його технічного стану, тому що дозволяє виключити спотворення впливу структурних параметрів на розглянутий діагностичний параметр [5]. Наприклад, визначені пневмотестером значення витоків стисненого повітря, будуть залежати тільки від зазорів між компресійними кільцями і стінками канавок поршнів, а також юбки поршнів і гільзами циліндрів. Однак, при пневмотестуванні на етапі передремонтного діагностування (коли двигун в зборі), неможливо виключити вплив на даний параметр дефектів прокладки ГБЦ і нещільності клапанів.

Під час розбирання агрегатів виконується приремонтне діагностування, за результатами якого підтверджується правильність призначення КРР. В разі якщо технологічний маршрут ремонту призначений правильно, то виконуються всі розбирально-складальні роботи, передбачені цим маршрутом, після чого агрегат направляють в приймальний контроль, де він проходить обкатку і випробування. В іншому випадку за результатами приремонтного діагностування агрегат перенаправляють на відповідний маршрут, який виконується на цьому ж робочому місці (штрихова лінія) або на іншому (штрихпунктирна лінія). При цьому відповідно до виконуваних маршрутом ремонту, зняті з агрегату деталі направляють на дефектацію, а безпосередньо на робочі місця подають необхідні для ремонту комплекти деталей. Подальше відновлення деталей після дефектації проводиться на спеціалізованих ділянках АРП [5, 13].

У разі виявлення дефектів відремонтованих агрегатів на етапі приймального контролю, вони або усуваються, якщо це технічно можливо або економічно доцільно, на ділянці по випробуванню, доукомплектування та регулювання агрегатів, або агрегат направляють на повторний ремонт. Якщо агрегат відповідає технічним умовам на приймання, то його відправляють на склад готової продукції або на видачу замовнику [20].

Технічна база ЦРТС ґрунтується на взаємозв'язку між контрольованими параметрами, котрі характеризують технічний стан об'єкта ремонту, і дефектами, що мають певні діагностичні ознаки, які змінюються в міру розвитку дефектів. Інакше кажучи, більшість дефектів, що виникають в агрегаті, які розпізнаються, пов'язані з певними діагностичними ознаками і параметрами, які сигналізують про присутність несправностей, що сприяють відмові агрегату. Таким чином, періодичний моніторинг даних параметрів дозволяє вчасно виявити зміну технічного стану агрегату. В такому випадку, ремонт буде проводитися тільки тоді, коли виникає реальна ймовірність виходу діагностичних параметрів автомобіля за гранично допустимі межі.

Камськимавтомобільним заводом встановлено для двигунів три види ремонту, в число яких, крім поточного і капітального, також входить поглиблений поточний ремонт за технічним станом, суть якого зводиться до часткового розбирання двигунів, виявлення фактичного стану деталей і вузлів, необхідних замін, складання й випробування. Крім заводу ВАТ "КАМАЗ" з капітального ремонту двигунів (ЗРД) і агрегатів автомобілів КамАЗ, існують філії виробничих об'єднань по поглибленому поточному ремонту двигунів.

Велика розмаїтість можливих стратегій обслуговування і ремонту за станом умовно можна об'єднати в дві основні групи: з контролем рівня надійності і контролем параметрів об'єктів експлуатації. У першому випадку обслуговування зводиться до управління рівнем надійності певної сукупності однотипних виробів, а в другому - до управління технічним станом кожного конкретного виробу [9].

Поступовій реалізації завдань для переходу від ППС до ремонтів по фактичному стану сприяють системи і їх програмні реалізації класу ЕАМ (від англ. Enterprise Asset Management).

2.2. Концепції управління процесами ТО і ремонту автомобільного транспорту та їх автоматизація

За кордоном більше 20 років тому стали з'явилися системи, які представляли собою цілісний автоматизований комплекс для підвищення ефективності в задачах управління процесами ТО і ремонту на підприємствах автомобільного транспорту.

У авторемонтній галузі Німеччини в 1989 р. був відзначений спад обсягів виконуваних послуг з ТО і ремонту автотранспортних засобів, тому багато підприємств були змушені інтенсивно розширювати перелік послуг пропонувані клієнтам. На той момент там існувало близько 17 тисяч вільних авторемонтних підприємств, які, на відміну від фірмових, виконували ТО і ремонт автомобілів будь-яких марок [7].

Так, наприклад, на замовлення фірми «Bosch», в Німеччині була розроблена система для обробки даних і інформації на вільних авторемонтних підприємствах. Дана система була впроваджена майже на 300 підприємствах-партнерах фірми «Bosch» [7].

При розробці системи виходили з того, що вона повинна бути інструментом зв'язку, так як авторемонтні підприємства потребують в значному обсязі інформації. Пакет програм даної системи передбачав доступ до бази даних і дозволяв оформляти робочі листи, накладні, рахунки і т.д. Крім того, користувачеві надавався оновлюваний каталог про постачання фірми «Bosch» із зазначенням цін. За бажанням в систему можна було вносити дані про інші фірми-виробники, якщо підприємство має намір співпрацювати з ними [5].

В кінці 80-х років, в Болгарії Софійським науково-дослідним технологічним інститутом автомобільного транспорту була розроблена автоматизована система контролю (САК), яка призначалася для збору і обробки інформації з робочих постів про вимірювання контрольованих параметрів деталі, вузла або агрегату. Блок-схема робочого поста приведена на рис. 2.4. До одного комп'ютера можна було підключити до 8 робочих

постів. Кожен робочий пост дозволяв вимірювати до 16 контрольованих параметрів, а відстань між постами могла становити до 300 метрів, що задовольняло вимогам збору і обробки інформації, тому що, наприклад, на авторемонтному підприємстві часто проводять контроль технічного стану деталей на ділянках дефектації та комплектації, на ділянках ремонту і відновлення деталей і при прийманні нових деталей [7].

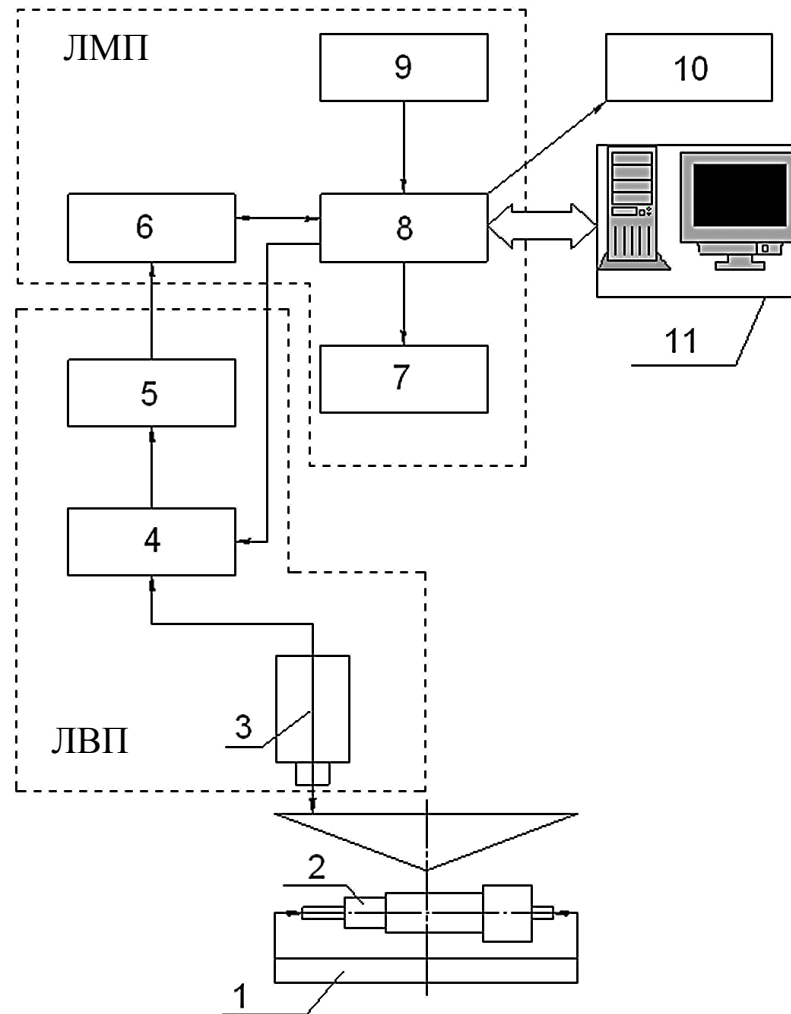


Рисунок 2.4 – Блок-схема робочого поста:

ЛМП - локальний мікропроцесорний пристрій; ЛВП - локальний вимірювальний пристрій; 1 - пристосування для закріплення деталі; 2 - підконтрольна деталь; 3 - первинні перетворювачі; 4 - мультиплексор; 5 - підсилювач-перетворювач; 6 - аналого-цифровий перетворювач (АЦП); 7 - блок індикації; 8 - мікропроцесор; 9 - блок управління; 10 - друкуючий пристрій; 11 - комп'ютер.

Використання САК було особливо ефективно при комплектуванні деталей і призначення маршрутів для відновлення зношених деталей, тому що прийняття рішення про технічний стан деталі, вузла або агрегату здійснювалося комп'ютером, що дозволяло знизити вплив суб'єктивного фактора при розподілі ремонтного фонду за маршрутами.

У 90-х роках функціонал більшості комп'ютеризованих систем управління ТО і ремонтом на авторемонтних підприємствах було розширено за рахунок додавання можливості управління складськими запасами та ремонтним персоналом [7].

Пізніше виникли системи ЕАМ-системи (від англ. Enterprise Asset Management), які в основному застосовувалися для підтримки технологічного обладнання та машин в технічно справному стані. Дані системи дозволяють злагоджено управляти наступними процесами:

- технічне обслуговування і ремонт;
- управління складськими запасами;
- матеріально-технічне постачання;
- управління фінансами, якістю і трудовими ресурсами в рамках єдиної стратегії.

При впровадженні даних систем на підприємстві орієнтуються на скорочення витрат на ТО і ремонт техніки без зниження рівня надійності, або на підвищення певних виробничих параметрів без збільшення витрат.

З ЕАМ-систем для автотранспортної сфери з'явилися системи комплексного управління ТО і ремонтами - MRO-системи (від англ. Maintenance, Repair and Overhaul), основне призначення яких – це автоматизація планування діяльності персоналу, що займаються виконанням ТО і ремонтів автомобільного транспорту, і забезпечення їх необхідними ресурсами. Крім того, дані системи мають на увазі функціонал для інформаційного забезпечення та вирішення ряду завдань:

- управління термінами служби і списання рухомого складу;

- оптимізація структури та чисельності автопарку;
- зберігання інформації про кожну одиницю рухомого складу автопарку, відмовах в процесі експлуатації, а також виконаних ТО і ремонтах.
- підтримка територіальних підрозділів підприємства, займаються ТО і ремонтами рухомого складу, в рамках єдиної стратегії і т.д.

В Україні і за кордоном в ряді галузей промисловості застосовується «Система інформаційної підтримки життєвого циклу виробу» [28]. В основі якої лежить стандартизоване уявлення даних про виріб і передбачається фірмове сервісне гарантійне та післягарантійне обслуговування. Подібні технології, як правило, включають в себе систему управління надійністю: здійснюється збір відомостей про відмови, планових та аварійних ремонтах, а також про технічний стан виявлених за допомогою спеціальних контрольно-діагностичних засобів. Подібні системи активно впроваджуються в науко-містких галузях промисловості Росії (ДП «Червона зірка», ВНДІ автоматики, ФГУП «ЦНПАтомінформ» і ін.), а в сфері автомобільного транспорту впроваджуються окремі елементи даної системи [14].

В даний час в теорії управління процесами ТО і ремонту популярно застосовуються методики обслуговування, орієнтовані на надійність роботи машин і устаткування - відома в світі як RCM (Reliability-centered Maintenance), яка була створена в 60-х роках минулого століття для цивільної авіаційної промисловості. Згідно з цією методикою, підтримка всіх одиниць машин і устаткування в бездоганному стані не є самоціллю, головне - це працездатність виробничої системи в цілому, а не працездатність кожної одиниці [15, 16].

Мета RCM - забезпечення надійності роботи особливо важливих об'єктів (відповідно до їх критичності), вихід з ладу яких спричинить за собою значні наслідки. При оцінці наслідків враховуються різні ризики - зрив виробничих планів, недотримання норм якості продукції, екологічні катастрофи тощо.

Основні етапи RCM аналізу [1, 15]:

- А - визначення меж системи і / або підсистеми;

- В - визначення всіх функцій системи і / або підсистеми;
- С - виявлення функціонально значущих елементів (FSI);
- D - визначення причин відмов функціональних елементів, прогнозування відмов і ймовірностей їх виникнення;
- E - застосування дерева рішення проблем для класифікації результатів відмов функціонально значущих елементів;
- F - вибір операцій для початкової програми ТО або ремонту;
- G - в разі, якщо якісь операції при ТО і Р не можуть бути встановлені, то набір операцій переглядається;
- H - створення динамічної програми ТО і Р в результаті планового і систематичного оновлення шляхом моніторингу (систематичного контролю), збору і аналізу оперативних даних.

Першим кроком при використанні методики RCM є визначення обмежень або меж підсистеми. Це означає, що систему поділяють на підсистеми більш простого рівня складності.

Другим кроком є визначення функціонально значущих елементів.

На наступному кроці відбувається виявлення причин відмов функціонально значущих елементів і прогнозування ймовірності їх появи. Якісні методи (засновані на колективній професійній думці і практичному застосуванні) і кількісні методи (наприклад, метод аналізу характеру і наслідків відмов (FMEA-Failure Mode and Effect Analysis) або метод аналізу ризиків), можуть використовуватися для виявлення причин і результатів відмови елементів. Середнє напрацювання на відмову ґрунтується на компетентному аналізі за схемою «причина-відмова-наслідок» [1, 15, 16].

Логічне дерево прийняття рішення показано на рис. 2.5, використовується для класифікації результатів відмов.

Аналіз характеру та наслідків відмов (FMEA), і так само логічне дерево прийняття рішення (FTA-Fault Tree Analysis) при відмовах, можуть бути успішними підходами при вирішенні завдань, пов'язаних з розстановкою пріоритетів усунення несправностей в першу чергу [19, 25, 26].

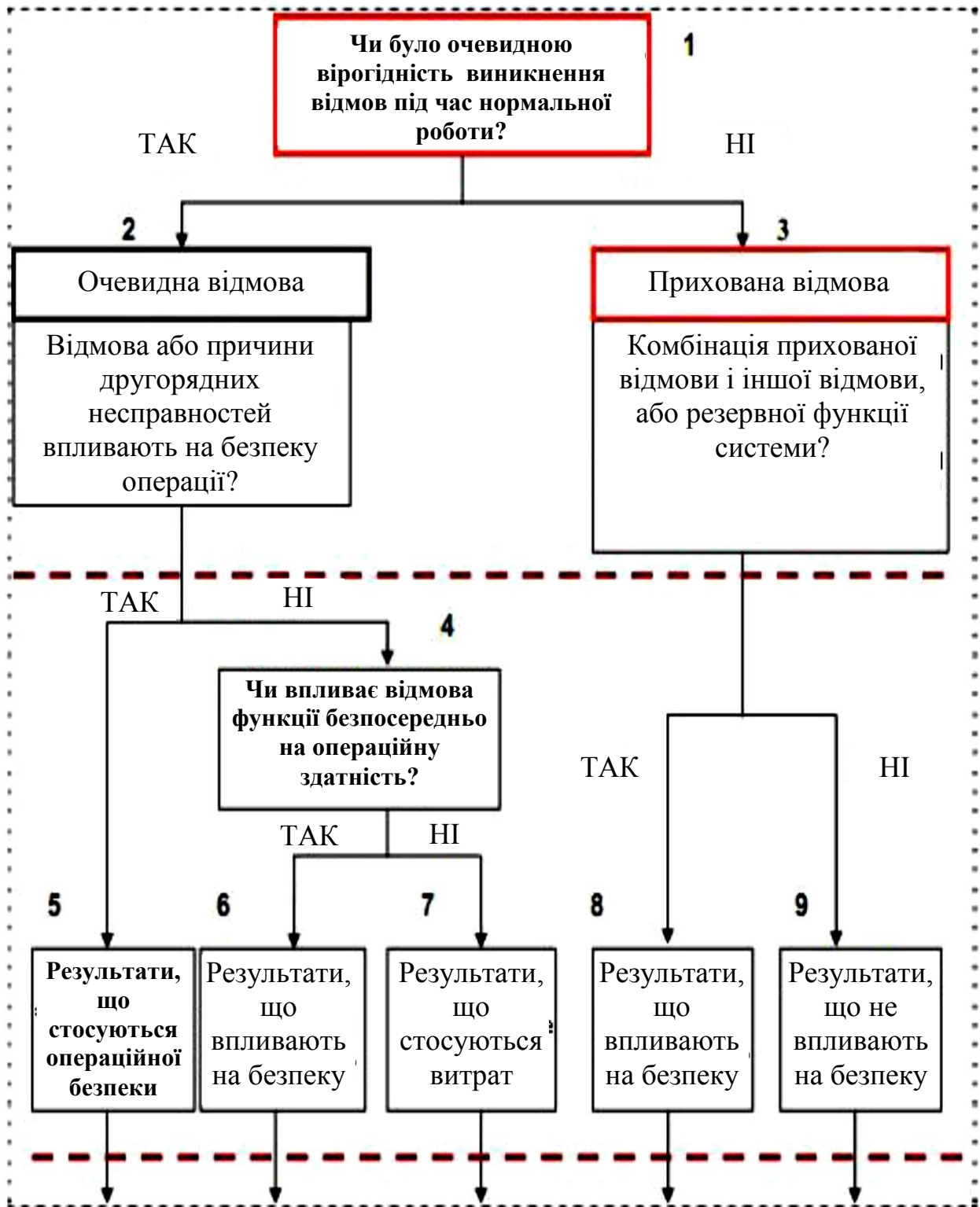


Рисунок 2.5 – Схема прийняття рішення для ТО і ремонту в системі RCM

Якщо ймовірність відмови була передбачувана ще під час нормальної експлуатації системи, то ця відмова є явною, в іншому випадку, вона класифікується як прихована.

2.3. Ефективність ЦРТС агрегатів автомобільного транспорту

Централізований ремонт за технічним станом заснований на принципах маршрутної технології, основні принципи якої викладені в працях К.Т. Кошкіна [6] і інформаційних технологіях, які є ключовим фактором в питанні про його ефективності.

На рис. 2.6 представлені складові технологічного та інформаційного забезпечення ЦРТС, які визначають його ефективність [8].



Рисунок 2.6 – Складові технологічного і інформаційного забезпечення ЦРТС

Однак, крім технологічного і інформаційного забезпечення, на ефективність ЦРТС також значно впливає людський фактор, який і є джерелом появи помилок 1-го («помилковий дефект») роду і 2-го («пропуск дефекту») роду на етапі передремонтного діагностування.

На рис. 2.7 і 2.8 [3, 8] представлені залежності розпізнавання помилок 1-го роду від часу доби (в залежності від зміни) з урахуванням розряду і віку оператора-діагноста:

де α - помилка розпізнавання 1-го роду («помилковий дефект») при визначенні оператором-діагностом комплексу ремонтних робіт;

P - робочий розряд оператора-діагноста;

W - вік оператора-діагноста, років;

L - змінне робоче час передремонтного діагностування, годину.

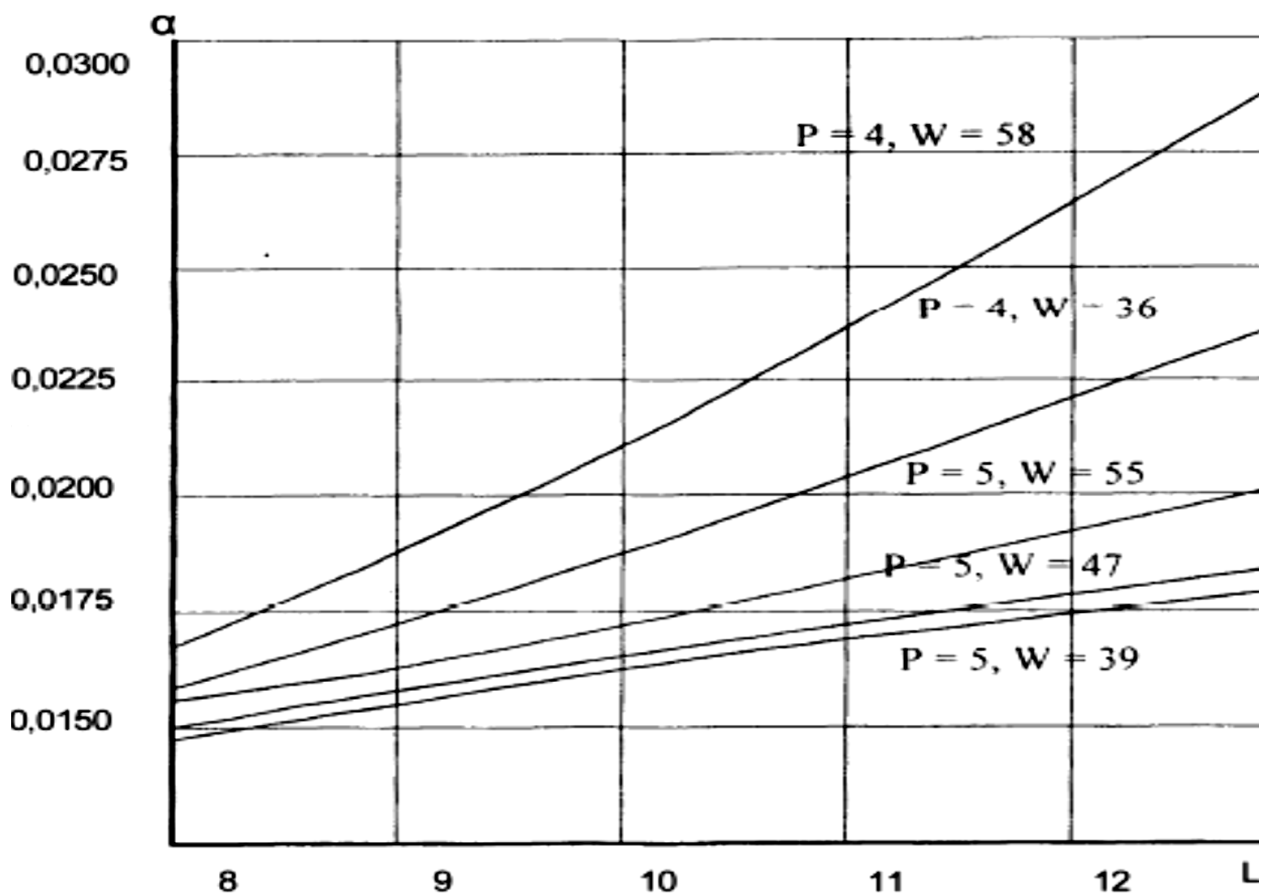


Рисунок 2.7 – Залежність ймовірностей помилок 1-го роду в першу зміну від часу з урахуванням розряду і віку оператора-діагноста

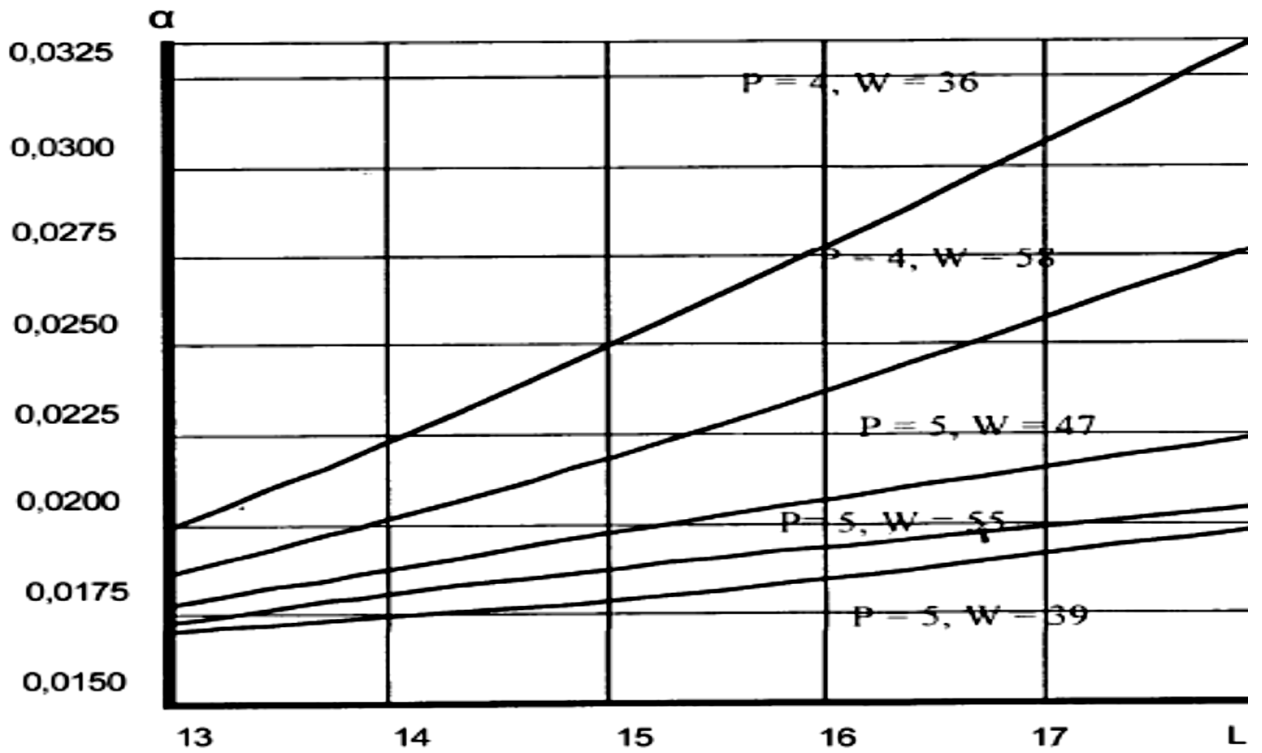


Рисунок 2.8 – Залежність ймовірностей помилок 1-го роду в другу зміну від часу з урахуванням розряду і віку оператора-діагнста

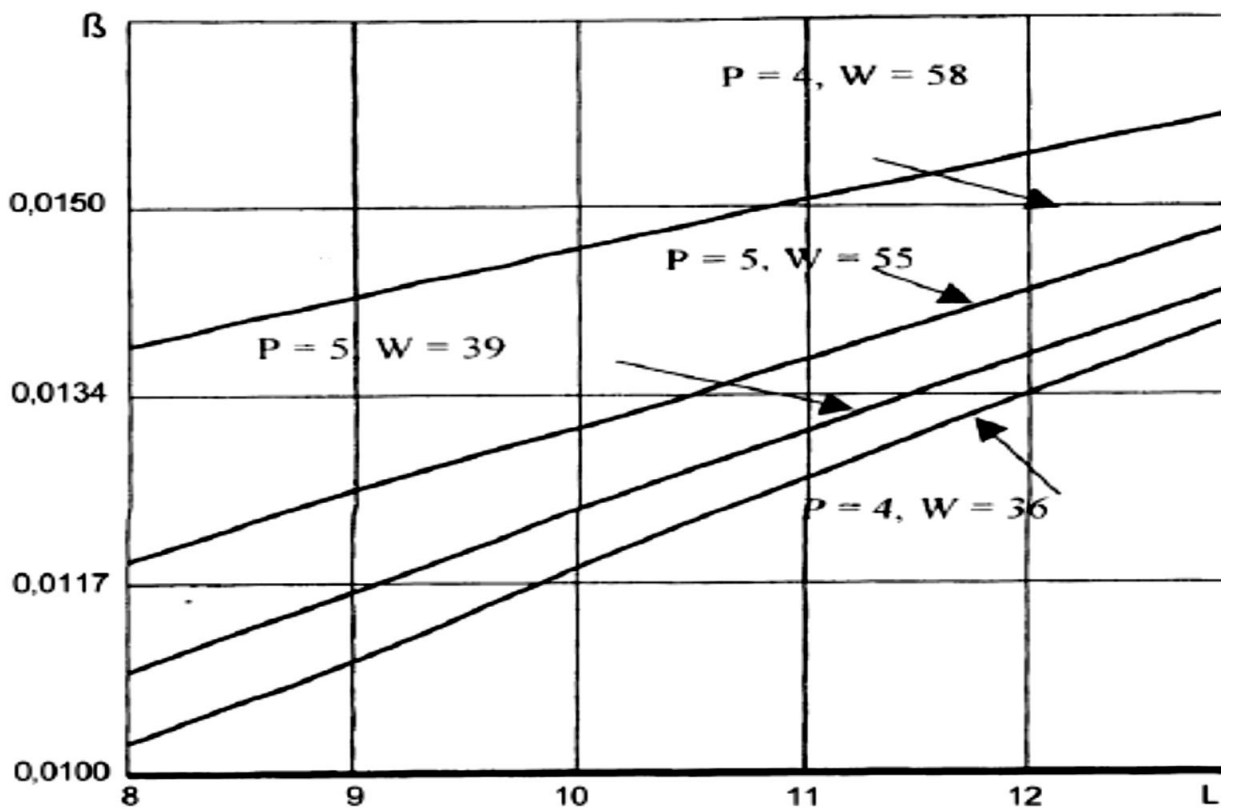


Рисунок 2.9 – Залежність ймовірностей помилок 2-го роду від часу доби з урахуванням розряду і віку оператора-діагнста

На рис. 2.9 і 2.10 [6, 8] представлені графіки залежностей розпізнавання помилок 2-го роду від різних факторів:

де β – помилка розпізнавання 2-го роду («пропуск дефекту») при визначенні оператором-діагностом комплексу ремонтних робіт;

P - робочий розряд оператора-діагноста;

W - вік оператора-діагноста, років;

L - змінний робочий час передремонтного діагностування, годин;

N - напрацювання агрегату (пробіг), тис. км.

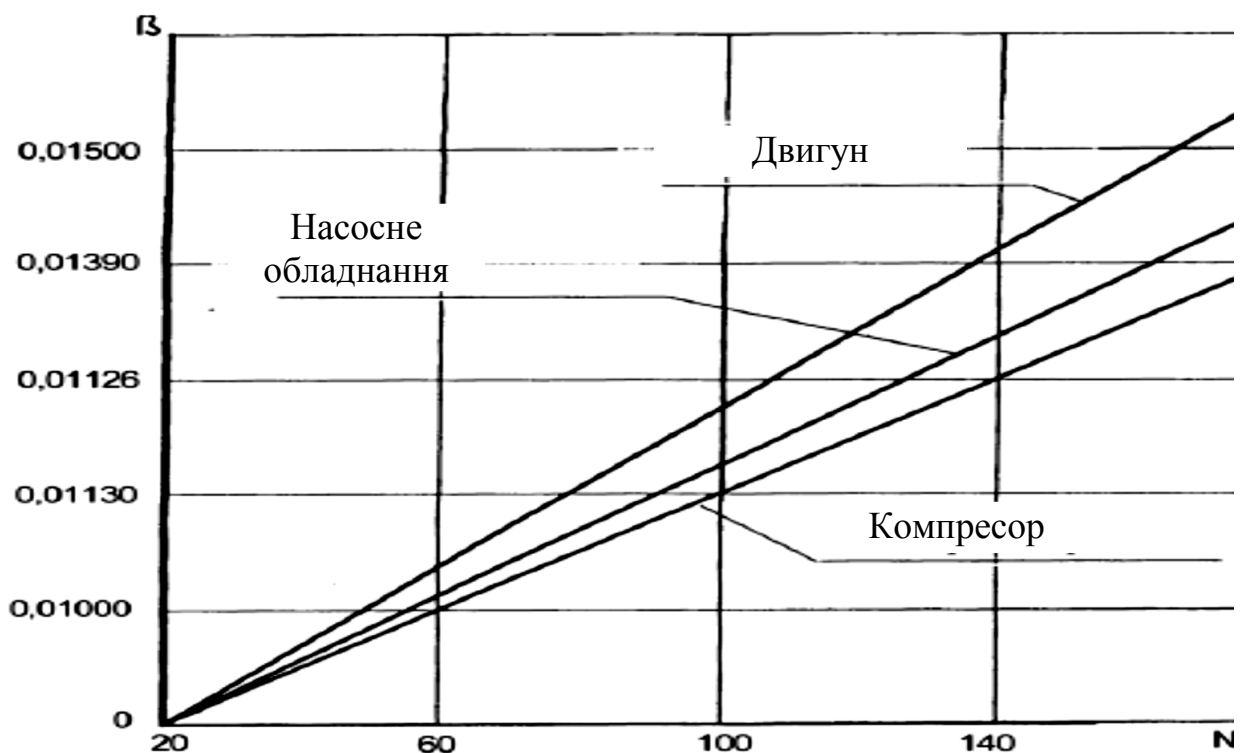


Рисунок 2.10 – Залежність ймовірностей помилок 2-го роду від напрацювання агрегату

2.4. Застосування штучних когнітивних систем в процесах діагностування складних технічних пристроїв

В основі ремонту за технічним станом лежить технічне діагностування (ТД), за допомогою якого проводять безперервний або періодичний контроль параметрів, що характеризують поточний фактичний стану об'єкта діагностування.

Прогнозування виконують при безперервному контролі для визначення часу, протягом якого збережеться працездатний стан, а при періодичному контролі - для визначення моменту часу наступного контролю.

Процес діагностування несправностей складається з виявлення та локалізації дефектів в системі. В міру ускладнення технічних систем і росту вимог до безпеки, надійності і екологічності, діагностування несправностей стає все більш значущою процедурою. Одним із прикладів є діагностика автомобілів, де потрібна висока надійність і працездатність, крім того, діагностика сприяє підвищенню ефективності ТО і ремонту автомобіля [26].

Наслідками несправностей двигунів можуть бути:

- підвищення викидів, що забруднюють екосистеми;
- зниження рівня безпеки;
- збільшення витрати палива;
- погіршення керованості автомобілем або його прохідність і ін.

При своєчасному виявленні несправностей, цим наслідкам можна запобігти або хоча б зменшити. Загальна структура технічного діагностування представлена на рис. 2.11, де в системі діагностики зводяться всі наявні знання про процес (сюди входять вимірювані параметри та інша інформація, на підставі якої робиться висновок про фактичний технічний стан об'єкта діагностування).

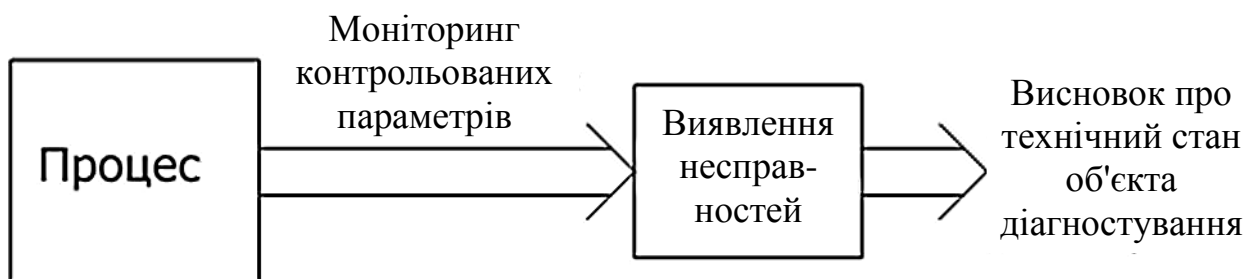


Рисунок 2.11 – Загальна структура технічного діагностування

У публікаціях, що стосуються сучасних апаратно-програмних засобів для різного роду обчислень, все частіше зустрічаються словосполучення «штучні когнітивні системи» (від англ. Artificial cognitive systems).

В основі штучних когнітивних систем лежить процес "імітації" розумової діяльності людини, вони засновані, як правило, на моделях штучних нейронних мереж (від англ. Artificial neural networks) (ШНМ), які представляють собою математичні моделі, збудовані на основі принципів організації біологічних нейронних мереж.

Серед безлічі різних способів і методів виявлення несправностей при діагностиці технічних систем, в США, Польщі, Швейцарії та Китаї і ряді інших країн, в останнє десятиліття одним з прогресивних методів діагностування є використанням штучних когнітивних систем на основі математичного апарату ШНМ [17, 18, 22, 24, 26].

Після розробки алгоритмів навчання ШНМ, одержувані моделі використовують в практичних цілях: в задачах прогнозування, для розпізнавання образів, в задачах управління та ін.

Штучні нейронні мережі, в даний час, проектуються в автономному програмному забезпеченні, яке здатне обробляти багатовимірні вхідні дані в режимі реального часу. Мережа навчається прогнозувати одну з змінних, використовуючи інші. Різниця між прогнозуванням і вимірюванням використовується, щоб відрізнити нормально працюючий двигун від несправного. Наприклад, використовуючи ШНМ, ми можемо з високим ступенем точності виявити помилки датчика абсолютного тиску впускного колектора (V_s) і клапана системи рециркуляції відпрацьованих газів (V_a). У впускному колекторі автомобільного двигуна, схематично зображеному на рис. 2.12, швидкість масової витрати повітря (V_i), рециркуляція відпрацьованих газів (V_a), обороти двигуна (V_o) і абсолютний тиск (V_s) пов'язаний рівнянням динаміки першого порядку [17]:

$$dV_s / dt = F (V_i, V_o, V_a, V_s) \quad (2.1)$$

У багатьох автомобілях датчики вимірюють дані змінні. Завдяки взаємозв'язку цих змінних і фіксації їх змін в часі, ми можемо виявляти

несправності датчиків. Таким чином, наприклад, контролюючи змінну V_s , ми здатні з високою точністю виявляти помилки в змінній V_a . Розглянемо модель нейронної мережі, яка здатна фіксувати динаміку шестициліндрового двигуна в умовах АРП і на виробництві. Незважаючи на те, що представлена модель ШНМ лише для певної діагностичної проблеми, даний підхід є загальним і може легко бути адаптований під рішення більш широкого кола завдань діагностики [17].

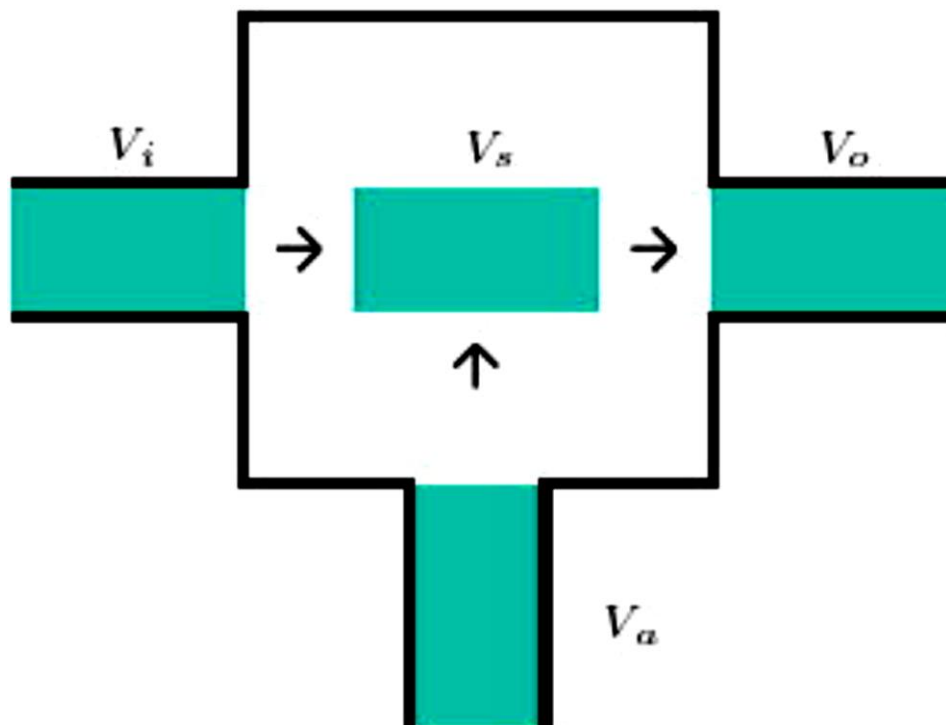


Рисунок 2.12 – Схема циркуляції потоків в двигуні

Використовуючи тришарову нейронну мережу зі зворотним зв'язком, архітектура якої показана на рис. 2.13, можна спрогнозувати зміну V_s , використовуючи інші три змінні. Спрогнозована змінна V_s повертається на вхід (принцип дії мереж зі зворотним зв'язком) в якості четвертого входного нейрона.

Мережа зі зворотним зв'язком навчається на навчальному наборі даних, який був сформований шляхом імітування несправностей V_s і V_a . Дані для навчання подаються наступним чином [17]:

1. Знаходиться випадкова початкова точка в довгій часовій послідовності даних і встановлюється початкове значення входу зворотного зв'язку змінної V_s .

2. Виконується вхід, щоб отримати V_s на виході і обчислити помилку (квадрат різниці прогнозованого значення V_s і отриманого).

3. Встановлюється пряма подача на вхід до наступної точки даних і вхід зворотного зв'язку до спрогнозованого значення V_s .

4. Повторюються кроки 2 і 3 в циклі ($n = 100$) для збору сигналів про помилки.

5. Повторюються кроки 1, 2, 3 і 4 в циклі ($n = 4$) для подальшого збору сигналів про помилки.

6. Оновлюється з'єднання згідно з правилом зворотного поширення помилки (від англ. Back Error Propagation).

7. Повторюються кроки з 1 по 6 до тих пір, поки помилка не перестане зменшуватися або поки не буде досягнута межа обчислень.

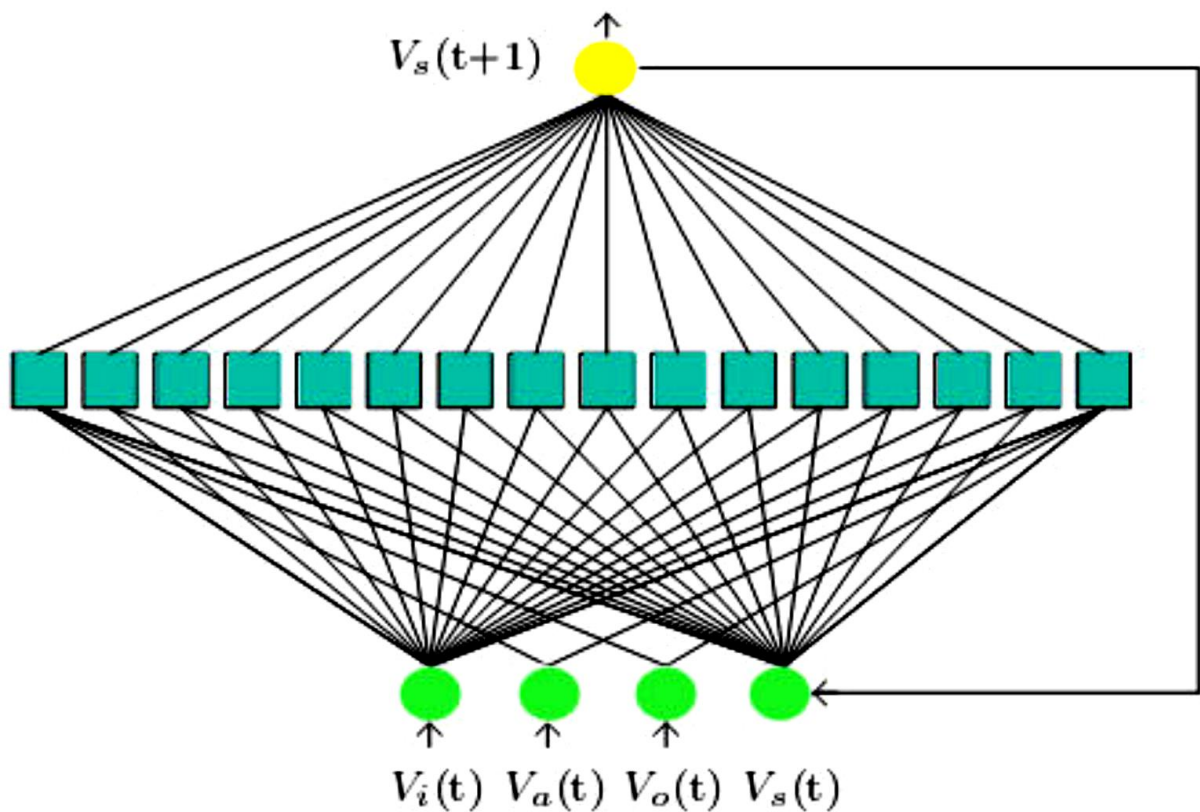


Рисунок 2.13 – Архітектура тришарової ШНМ зі зворотним зв'язком

Робочі характеристики мережі зазвичай перевіряються на окремому тестовому наборі даних.

У своїх роботах д.т.н., професор Л.М. Ясницький описує виявлення несправностей з використанням штучної нейронної мережі на прикладі авіаційних двигунів, на які встановлюються датчики для вимірювання параметрів роботи під час польотів. Шляхом польотного моніторингу формується файл даних, який містить певні контрольно-діагностичні параметри двигуна. Після виконання певного числа польотів, двигун знімається і піддається стендовому розбиранню, під час якого виявляють і усувають його дефекти. Завдання інженера-діагноста зводиться до того, щоб, використовуючи отримані дані моніторингу, виявити дефекти двигуна без його розбирання. Традиційний спосіб вирішення даного завдання - це використання методик, заснованих на фізичних закономірностях: виникнення певного дефекту викликає певні відхилення тих чи інших контрольованих параметрів, тому, проводячи аналіз характеру цих змін, робиться припущення про можливу наявність дефектів, що викликають ці зміни [13].

Дане завдання з використанням математичного апарату ШНМ вирішується наступним чином: у вхідному векторі персептрона X передбачають місця для всіх параметрів польотного моніторингу, на значення яких надають вплив дефектів. Можливі дефекти авіадвигуна кодуються в вихідному векторі D за допомогою двійкової системи числення. вектори бажаних виходів D_q складаються за результатами стендових розборок двигунів. Крім того, передбачається, що при початку експлуатації нового або тільки що відремонтованого літака його двигун повністю справний і дефектів в ньому немає, тоді як перед самим завершенням польотного моніторингу двигун вже мав ті самі дефекти, які і виявилися при його розбиранні. Тому з усієї безлічі параметрів польотного моніторингу цінність для навчання нейронної мережі мають параметри саме першого і останнього польотів літака. Тоді для кожного двигуна, який побував в розбиранні, потрібно сформувавати пару навчальних векторів X_q і D_q . Якщо кількість навчальних прикладів буде

достатньою, то правильно спроектований багат шаровий перцептрон навчиться надійно ставити діагноз несправності авіаційних двигунів, в тому числі і тих, які в навчальній множині не були присутні [13].

2.5. Висновки

1. Централізований ремонт по фактичному технічному стану дозволяє істотно знизити втрати від недовикористання ресурсу деталей, вузлів і агрегатів автомобілів, що сприяє підвищенню ефективності використання автотранспортних засобів.

2. Серед факторів, що впливають на постановку вірного діагнозу оператором-діагностом при ЦРТС агрегатів автомобілів, виділяються як об'єктивні (робоча зміна, час доби), так і суб'єктивні (робочий розряд, вік і ін.).

3. Наявність помилок розпізнавання не тільки при визначенні технічного стану агрегатів автомобіля, що направляються ремонт, але і в процесі розподілу дефектних агрегатів по конкретним технологічним маршрутами призводить до появи виробничих втрат на виконання зайвих ремонтних робіт і витрат на усунення пропущених дефектів, що не дозволяє в повній мірі реалізувати переваги ЦРТС агрегатів автомобілів, а в деяких випадках призводить до повної відмови від нього на користь капітального ремонту.

4. Існуючі на даний момент форми і методи організації ЦРТС не дозволяють повноцінно використовувати переваги даного виду ремонту, тому що для достовірного розподілу агрегатів по КРР необхідна акумуляція великих обсягів статистичних даних.

5. Суттєвого зниження впливу людського фактора на результат постановки діагнозу про наявність (або відсутність) дефектів і розподілу агрегатів за технологічними маршрутами ремонту сприяє використання штучних когнітивних систем в задачах ЦРТС.

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ АРМ ОПЕРАТОРА-ДІАГНОСТА

3.1. Загальні положення

Процес переходу від планово-попереджувальної системи до ЦРТС відбувається на тлі загальної тенденції до укрупнення раніше роздроблених автотранспортних і авторемонтних підприємств. Даний процес, спираючись на принципи концентрації, спеціалізації і кооперації виробництва, що є ефективним стимулятором росту промисловості будь-якої розвиненої суспільно-політичної системи.

Технологія діагностування технічного стану виробу складається з виявлення та локалізації дефектів і їх поєднань. В міру ускладнення технічних систем і зростання вимог до безпеки і надійності, діагностування несправностей стає все більш відповідальною процедурою.

Всі можливі комбінації помилок на етапі передремонтного діагностування і при розподілі агрегатів за технологічними маршрутами ремонту (комплексам ремонтних робіт) наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Можливі комбінації виникнення помилок 1-го і 2-го роду, а також помилки маршрутизації

№	Помилковий дефект (1-го роду)	Пропуск дефекту (2-го роду)	Помилки призначення КРР
1	–	–	–
2	+	–	–
3	–	+	–
4	+	+	–
5	+	–	+
6	–	+	+
7	–	–	+
8	+	+	+

Поява помилок 1-го роду характеризується виконанням зайвих ремонтних робіт, що веде до збільшення собівартості ремонту двигуна, а помилок 2-

го роду - недовиконання потрібних ремонтних робіт, що може позначитися на надійності агрегату після ремонтних впливів.

Помилки 1-го і 2-го роду, як в сукупності, так і окремо частіше призводять до невірному призначення технологічного маршруту ремонту, що характеризується зайвими розбирально-складальними роботами, а також втратами при перенаправленні на інший комплекс ремонтних робіт.

3.2. Структурна схема АРМ оператора-діагноста

Розроблена структурна схема АРМ оператора-діагноста в укрупненому вигляді складається з трьох частин:

- інструментально-метрологічне і технічне забезпечення (ІМТЗ);
- програмне забезпечення;
- інформаційно-методичне забезпечення.

Базою даного АРМ є розроблене програмне забезпечення (ПЗ), яке ґрунтується на результатах дослідження, що дозволяє оператору-діагноста на етапі передремонтного діагностування агрегатів, що надходять в ЦРТС з високим ступенем достовірності віднести конкретний агрегат до конкретного комплексу ремонтних робіт з числа заздалегідь сформованих на даному підприємстві.

Розробка програмного забезпечення здійснювалася згідно з алгоритмами (див. додатки) на мові програмування Delphi в однойменному середовищі розробки версії 7.0.

Дане ПЗ (рис. 3.1) є програмною складовою автоматизованого робочого місця, при роботі з яким оператор-діагност стає кваліфікованим користувачем.

В збільшеному вигляді програма виконана у вигляді трьох взаємопов'язаних модулів:

1. "Модуль роботи з базами даних" - модуль перегляду баз даних, які формуються для вирішення поставлених завдань.

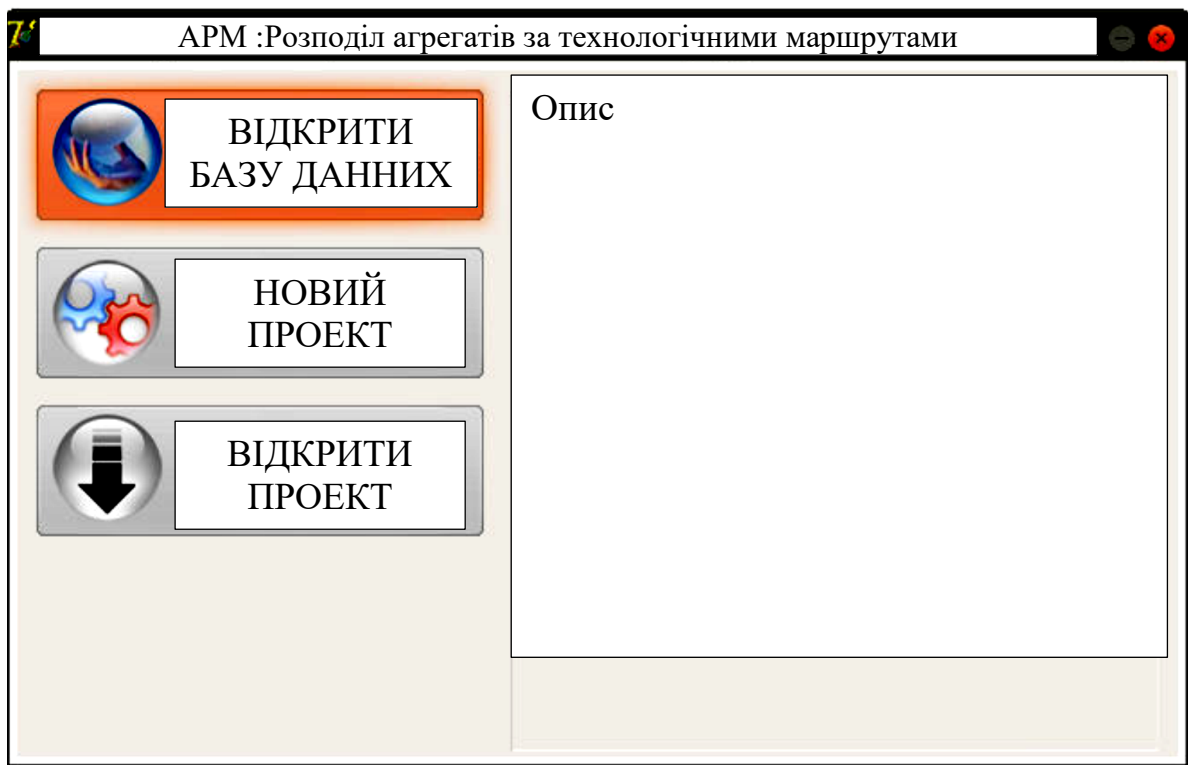


Рисунок 3.1 – Головне вікно розробленого ПЗ АРМ оператора-діагноста

База даних DB1, згідно рис. А.6, містить параметри агрегатів, які використовуються в якості вхідних векторів при використанні математичного апарату ШНМ для розпізнавання дефектів різних вузлів агрегатів.

База даних DB2, формується за результатами роботи алгоритму, блок-схема якого представлена на рис. А.6, у вигляді прямокутної матриці з розмірністю $m \times n$, де m - число рядків, яке дорівнює кількості контрольованих агрегатів; n - число стовпців, рівне сумарній кількості дефектів, що розпізнаються по всіх вузлах розглянутого агрегату.

База даних DB3 є результатом роботи алгоритму на рис. А.7 і містить в собі вихідну інформацію про отримані параметри і помилки при навчанні ШНМ.

2. "Модуль нового проекту" - модуль, який відповідає за покрокову побудову ШНМ під поточні завдання дослідження, ділиться на два підмодуля:

- рішення задачі розпізнавання сполучень дефектів агрегатів;
- рішення задачі розподілу агрегатів за технологічними маршрутами ремонту.

На рис. 3.2. і 3.3 представлені вікна модуля нового проекту зі створення моделі штучної нейронної мережі для навчання рішенням задач розпізнавання дефектів ЦПГ і подальшого розподілу по КРР відповідно.

Рисунок 3.2 – Вікно створення нового проекту

У програмі використовуються наступні типи полів:

- поля з вхідним значенням - дані поля будуть використовуватися в якості вхідного шару штучної нейронної мережі;
- поля з вихідним значенням - дані поля будуть використовуватися в якості вихідного шару штучної нейронної мережі;
- не використані поля - дані поля не будуть використані при навчанні і тестуванні ШНМ.

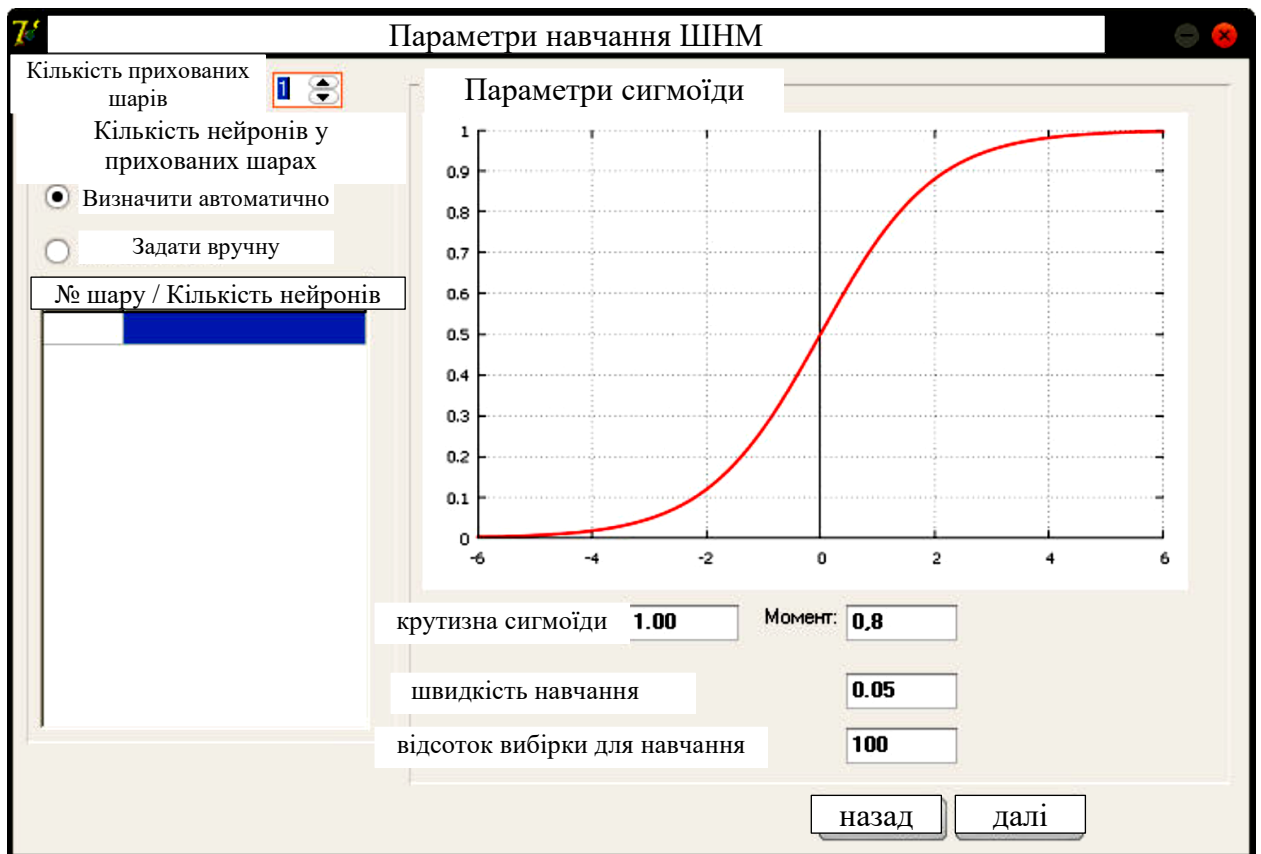


Рисунок 3.3 – Вікно параметрів навчання ШНМ

Число нейронів в прихованих шарах знаходиться або автоматично, згідно блок-схем алгоритмів на рис. А.9 і А.10, і результатами обробки експериментальних даних в розділі 3, або задається вручну.

3. "Модуль відновлення проекту" - відновлення сеансу раніше створеного проекту для продовження роботи з ним.

На рис. 3.4 схематично представлена внутрішня структура організації і взаємодії між модулями розробленого програмного забезпечення та їх взаємодія з іншими елементами АРМ.

3.3. Висновки

Розроблене ПЗ є базою для створення АРМ, яке дозволить оператору-діагност застосовувати отримані результати даних досліджень для однозначного і достовірного віднесення конкретного агрегату до конкретного технологічного маршруту ремонту (КРР).

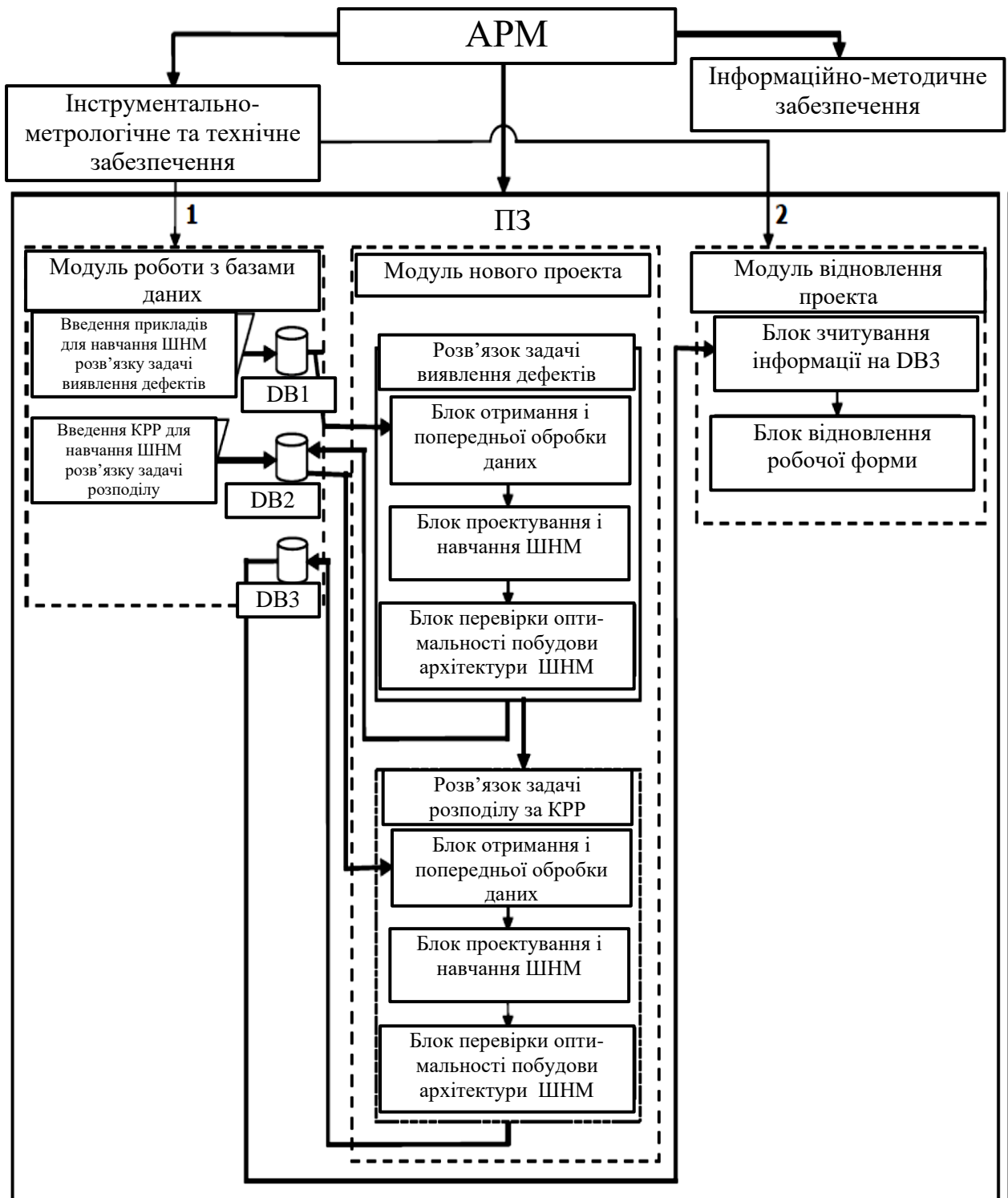


Рисунок 3.4 – Розроблена структура організації та взаємодії між елементами автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора-діагноста:

- 1 - елемент АРМ ІМТЗ взаємодіє з модулем роботи і базами даних ПЗ при вступі до ремонтного фонду нової моделі агрегату;
- 2 - елемент АРМ ІМТЗ взаємодіє з модулем відновлення проєкту при роботі з моделями агрегатів, відомості про які вже є в базах даних ПЗ

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1. Розрахунок порівняльного економічного ефекту результатів дослідження

Оцінити економічний ефект запропонованих методичних розробок можна порівнянням результатів отриманих у межах даного дослідження з результатами, опублікованими у роботах аналогічної тематики [1-9, 48-50].

Порівняння отриманих результатів з технологіями КР недоцільне, тому що при цьому передремонтне діагностування (ПД) ремонтного фонду, що надходить, позбавлене сенсу за визначенням. Поточний ремонт є, як правило, «заявним» і не має індустріальної основи організації виробництва (відсутність предметної спеціалізації, невеликі обсяги робіт, відсутність типових технологій ремонту тощо).

Тому розрахувати очікуваний економічний ефект від впровадження розроблених методик удосконалення процесу визначення технічного стану агрегатів автомобілів, що ремонтуються, на етапі ПД можна шляхом порівняння виробничих втрат від помилок розпізнавання дефектів ремонтного фонду при типовій організації робіт і при організації АРМ, в основі організації якого лежать результати дослідження із застосування математичного апарату ШНС у підсистемі ПД.

Загалом для розрахунку очікуваного економічного ефекту після впровадження АРМ на підприємстві слід прийняти типовий вираз (4.1) адитивної функції річних наведених витрат на існуючий та пропонуваній спосіб організації ПД ремонтного фонду:

$$E = \{(C_{\Sigma}^{BH(1)} + E_n \cdot K_{(1)} / N_{(1)}) - (C_{\Sigma}^{BH(2)} + E_n \cdot K_{(2)} / N_{(2)})\} N_{(2)}, \quad (4.1)$$

де $C_{\Sigma}^{BH(1)}$ і $C_{\Sigma}^{BH(2)}$ – узагальнені внутрішньовиробничі втрати від помилок на етапі передремонтного діагностування двигуна ЯМЗ-238, відповідно, за першим і другим варіантами, грн.;

$K_{(1)}$ і $K_{(2)}$ – капіталовкладення у створення виробничої бази ПД, відповідно, за першим і другим варіантами, грн.;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, що у галузі загалом дорівнює $E_n = 0,15$;

$N_{(1)}$ і $N_{(2)}$ – програми ПД двигунів, відповідно, за першим і другим варіантами в умовах СТО.

Враховуючи, що одноразові витрати $K_{(1)}$ і $K_{(2)}$ за порівнюваними варіантами організації ПД відрізняються лише витратами на придбання у другому варіанті оригінального програмного забезпечення та формування АРМ, розмір яких у порівнянні з капіталовкладеннями в правила техніки безпеки підсистеми ПД порівняно малий, то з розрахунків їх можна виключити. Виробничі програми $N_{(1)}$ і $N_{(2)}$ також можна прийняти однаковими і виключити з розрахунків.

З поточних витрат слід виключити витрати на сировину, матеріали, напівфабрикати, паливо та енергію, які використовуються при передремонтному діагностуванні агрегатів.

Таким чином, враховуючи розроблену раніше модель формування технологічних процесів ЦРТЗ агрегатів автомобілів (А.4), розрахунковий вираз для визначення очікуваного економічного ефекту після впровадження запропонованого варіанта організації передремонтного діагностування в умовах СТО виглядатиме таким чином:

$$E = \{(C_{\Sigma}^{BH(1)} - C_{\Sigma}^{BH(2)})\} = \\ = \{(C_{\Sigma_{зайв(1)}} + C_{\Sigma_{нрон(1)}} + C_{\Sigma_{розн(1)}}) - (C_{\Sigma_{зайв(2)}} + C_{\Sigma_{нрон(2)}} + C_{\Sigma_{розн(2)}})\}. \quad (4.2)$$

Підставляючи відповідні значення з табл. 4.1 та 4.2 у вираз (4.2), отримуємо ефект, виражений в економії витрат на один двигун, на етапі передремонтного діагностування якого були допущені помилки 1-го та 2-го роду:

$$E = \{(4194,42 + 4407,00 + 6921,81)_{(1)} - (1224,03 + 1312,18 + 2046,42)_{(2)}\} =$$

$$= \{(15523,25)_{(1)} - (4582,63)_{(2)}\} = 10940,62 \text{ грн./двигун}$$

Таблиця 4.1 – Річні втрати через помилки 1-го роду ($C_{ном\ 1р}$),
2-го роду ($C_{ном\ 2р}$) та помилки маршрутизації ($C_{ном\ м}$) в СТО до впровадження
запропонованої методики

№ п/п	$C_{ном\ 1р}$, грн	$C_{ном\ 2р}$, грн	$C_{ном\ м}$, грн	Сума, грн
1	2	3	4	5
1	0	5400	3220	8620
2	9020	2035	7040	18095
3	4280	3400	4280	11960
4	6520	8400	7540	22460
5	4720	0	0	4720
6	5400	0	12540	17940
7	0	7340	11450	18790
8	1625	6320	8325	16270
9	0	4350	0	4350
10	4280	5450	6750	16480
11	4995	7850	12400	25245
12	2450	0	0	2450
13	5060	4510	7800	17370
14	4070	2970	9120	16160
15	3670	5580	5540	14790
16	0	8590	6520	15110
17	3100	7190	8710	19000
18	5640	5645	10240	21525
19	5140	6155	4220	15515
20	4750	0	9200	13950
21	8320	5260	7760	21340
22	490	3860	0	4350
23	0	3500	0	3500
24	2980	6015	11580	20575
25	7160	2270	6625	16055
26	4020	0	8810	12830
27	4150	2690	10230	17070
28	2280	4530	6400	13210
29	570	3750	8240	12560
30	4930	0	7020	11950
31	3200	1715	0	4915
32	7540	3800	5550	16890
33	6535	1015	10810	18360
34	420	5100	12680	18200

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5
35	5600	8430	7410	21440
36	3225	5650	7360	16235
37	6060	7655	14980	28695
38	5130	3240	8300	16670
39	4515	7015	5760	17290
40	565	4505	12280	17350
41	8420	3340	3920	15680
42	0	5540	7370	12910
43	1425	7240	15715	24380
44	5870	3240	0	9110
45	6730	4010	8050	18790
46	5530	3350	7325	16205
47	7820	6625	10350	24795
48	8850	4240	3900	16990
49	3220	9700	5760	18680
50	4100	0	6500	10600
51	0	4410	7710	12120
52	3540	1800	7120	12460
53	9300	6215	5540	21055
54	4100	3050	8030	15180
55	9230	7160	11020	27410
56	935	1060	7880	9875
57	1280	6710	0	7990
58	3430	5400	4540	13370
59	6655	6255	0	12910
60	8820	3890	7890	20600
Ср.	4194,42	4407,00	6921,83	15523,25

Таблиця 4.2 – Річні втрати через помилки 1-го роду ($C_{ном 1р}$),
2-го роду ($C_{ном 2р}$) та помилки маршрутизації ($C_{ном м}$) в СТО після
впровадження запропонованої методики

№ п/п	$C_{ном 1р}$, грн	$C_{ном 2р}$, грн	$C_{ном м}$, грн	Сума, грн
1	2	3	4	5
1	0	1608	952	2560
2	2635	605	2080	5320
3	1250	1012	1265	3527
4	1905	2500	2230	6635
5	1378	0	0	1378

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5
5	1378	0	0	1378
6	1577	0	3707	5284
7	0	2185	3385	5570
8	475	1882	2461	4818
9	0	1295	0	1295
10	1250	1625	1995	4870
11	1458	2338	3665	7461
12	715	0	0	715
13	1477	1343	2306	5126
14	1190	885	2698	4773
15	1070	1660	1638	4368
16	0	2558	1930	4488
17	905	2140	2575	5620
18	1647	1680	3027	6354
19	1500	1835	1248	4583
20	1388	0	2720	4108
21	2430	1565	2295	6290
22	143	1150	0	1293
23	0	1044	0	1044
24	870	1790	3423	6083
25	2090	676	1959	4725
26	1175	0	2605	3780
27	1210	802	3024	5036
28	665	1350	1892	3907
29	168	1116	2436	3720
30	1440	0	2075	3515
31	935	510	0	1445
32	2201	1134	1640	4975
33	1910	302	3195	5407
34	123	1518	3750	5391
35	1635	2510	2190	6335
36	942	1682	2176	4800
37	1770	2280	4429	8479
38	1450	965	2454	4869
39	1318	2088	1703	5109
40	165	1341	3630	5136
41	2460	995	1160	4615
42	0	1650	2179	3829
43	416	2155	4646	7217
44	1714	965	0	2679
45	1965	1195	2380	5540

1	2	3	4	5
46	1615	998	2165	4778
47	2283	1972	3060	7315
48	2584	1262	1153	4999
49	940	2888	1703	5531
50	1197	0	1922	3119
51	0	1313	2279	3592
52	1034	536	2105	3675
53	2715	1850	1638	6203
54	1198	908	2374	4480
55	2695	2132	3258	8085
56	273	316	2330	2919
57	374	1998	0	2372
58	1001	1604	1342	3947
59	1943	1862	0	3805
60	2575	1158	2333	6066
Ср.	1224,03	1312,18	2046,42	4582,63

4.2. Висновки

1. З розрахунків економічного ефекту результатів досліджень було виключено одноразові витрати на організацію підсистеми передремонтного діагностування як константні для першого і другого варіантів.

2. При розрахунку очікуваного економічного ефекту (економії витрат на один двигун на етапі передремонтного діагностування) мінімізувалася адитивна функція внутрішньовиробничих втрат від помилок першого роду, помилок другого роду та помилок маршрутизації.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Аналіз умов роботи на дільниці

На дільниці ремонту двигунів, після виконання операцій передремонтного діагностування, виконується ремонт двигунів, знятих з автомобіля. Відновлення деталей двигуна виконується різними методами. Такі роботи можуть проводитись як на дільниці ремонту двигунів, так і на інших дільницях. Частина робіт виконується на слюсарно-механічній дільниці. Це роботи, пов'язані з використанням складного металорізального обладнання.

Зокрема ремонтуються коробки передач, роздавальні коробки, муфти зчеплення, ведучі та ведені мости, агрегати гальмівної системи та рульового керування тощо.

При роботі на дільниці ремонту двигунів можуть виникати наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори: зміна мікроклімату; підвищене забруднення повітря робочої зони; підвищення рівнів вібрації; підвищення рівнів шуму; рухомі незахищені елементи механізмів, машин і виробничого обладнання; підвищена чи знижена температура поверхонь техніки, обладнання й матеріалів; підвищена напруга в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини та підвищений рівень статичної електрики; викиди парів бензину, розливу олів, а також гасу, синтетичних миючих засобів тощо; падіння деталей, вузлів, агрегатів, інструменту; недостатнє освітлення.

Організація та проведення робіт у зоні, розташування та експлуатація устаткування повинні відповідати Правилам з техніки безпеки і виробничої санітарії, а також ДНАОП 0.00-1.28-97 [42].

5.2. Виробнича санітарія

Виробнича санітарія – це система організаційних заходів і технічних засобів, що запобігають або зменшують вплив на працюючих шкідливих

виробничих факторів, які в певних умовах можуть привести до травм або професійних захворювань. Основною метою є зменшення або повне усунення впливу несприятливих і шкідливих виробничих факторів на організм людини.

Згідно санітарних норм об'єм приміщення на одного працюючого не повинен бути менше 15 м³, а площа на одну працюючого не менше 4,5 м². Для переодягання у зоні ПР передбачені гардеробні, які обладнані у вигляді шафи для змінної одежі. Є умивальник з гарячою і холодною водою, обладнані полки для мила і рушників. Є аптечка для надання першої медичної допомоги.

Згідно норм елементи приміщення і обладнання пофарбовані в раціональні відтінки: стеля і стіни – в білий колір; обладнання – в світло-зелений; пожежні засоби – в червоний; обертові частини обладнання пофарбовані в сигнальні кольори, попереджуючі про небезпеку.

Обладнання розташоване в два ряди ширина проходу – 1,8 м.

5.2.1. Мікроклімат

Мікроклімат – це клімат внутрішнього середовища приміщення, який визначається температурою, вологістю, швидкістю руху повітря, а також температурою внутрішніх поверхонь приміщення (стін, стелі, підлоги, технічного обладнання) та впливає на теплообмін людини з навколишнім середовищем, її тепловий стан, самопочуття, працездатність і здоров'я.

Встановлені оптимальні та допустимі параметри мікроклімату згідно ДСН 3.3.6.042-99 [43].

Оптимальні параметри мікроклімату – найбільш сприятливі (комфортні) забезпечують роботу системи терморегуляції без напруги.

Допустимі параметри мікроклімату – допускають напругу реакції терморегуляції організму у межах її пристосування без шкоди для здоров'я.

Параметри мікроклімату нормуються залежно від наступних факторів: періоду року; категорії важкості робіт по фізичному навантаженню; виду робочого місця.

Показниками, які характеризують мікроклімат, являються: температура повітря; відносна вологість повітря; швидкість руху повітря; інтенсивність теплового опромінювання.

Температура повітря, відносна вологість повітря, швидкість руху повітря може бути підвищеною і пониженою. Причиною цього можуть бути несприятливі погодні умови, недостатнє опалення в холодний період року, протяги.

Робота відноситься до робіт категорії II б. До цієї категорії відносяться роботи, пов'язані з ходінням, переміщенням і пересуванням вантажів до 10кг, які супроводжуються помірною фізичною напругою.

Для роботи характерні непостійні робочі місця, тому що робітники на них знаходяться не більше 50% всього робочого часу, або не більше 2-х годин безперервно.

Допустимі параметри повітря робочої зони приведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Допустимі параметри повітря робочої зони

Період року	Категорія робіт	Температура, °С				Відносна вологість, %		Швидкість руху, м/с		
		Допустима				Оптимальна	Допустима на робочих місцях постійних і непостійних, не більше	Оптимальна, не більше	Допустима на робочих місцях постійних і непостійних	
		Верхня межа		Нижня межа						
		На робочих місцях								
Постійних	Непостійних	Постійних	Непостійних	Оптимальна	Допустима на робочих місцях постійних і непостійних, не більше	Оптимальна, не більше	Допустима на робочих місцях постійних і непостійних			
Холодний	Середньої важкості IIб	17-19	21	23	15	13	40-60	75	0,2	Не більше 0,4
Теплий	Середньої важкості IIб	20-22	21	29	16	15	40-60	55 (при 28°С) 60 (при 27°С) 65 (при 26°С) 70 (при 25°С) 75 (при 24°С і нижче)	0,3	0,2-0,5

У приміщенні необхідно підтримувати допустимі величини показників мікроклімату, так як вони встановлюються у випадках, коли по технологічним вимогам технічним і економічним причинам не забезпечуються оптимальні норми.

5.2.2. Освітлення

Освітленість — освітлення поверхні, що створюється світловим потоком, який падає на поверхню.

До освітлення ставляться певні гігієнічні вимоги згідно ДБН В.2.5-28:2018 [44]. Освітлення повинно бути рівномірним і достатнім для швидкого й легкого розрізнення об'єктів, забезпечувати деяку контрастність між об'єктом і фоном. Джерело світла не повинно засліплювати людину і створювати бліків на об'єкті, що розглядається.

Раціональне освітлення робочих місць і приміщень створює у працівників певний психологічний тонус, попереджує зорову і загальну втому, сприяє високопродуктивній праці. Недостатня освітленість робочих місць може бути непрямою причиною нещасних випадків на виробництві.

Виробничі будівлі і робочі площадки підприємств освітлюються природним світлом небосхилу (прямим або відбитим), штучним світлом, а також комбінованим.

Коефіцієнт освітленості нормується з врахуванням найменшого розміру об'єкта розрізнення, характеристики зорової роботи, системи освітлення фону і контрасту об'єкта з фоном.

У діючих нормах проектування виробничого освітлення задаються кількісні (розмір мінімальної освітленості) і якісні характеристики (показник осліпленості і дискомфорту, глибина пульсації освітленості) штучного освітлення.

По задачам зорової роботи, приміщення відноситься до I групи. Це приміщення, в яких виконується розпізнавання об'єктів зорової роботи при фіксованому направленні лінії зору працюючих на робочу поверхню. Тому

характеристика зорової роботи високої точності. Розряд зорової роботи – III; підрозряд – б. Характеристика фону – світлий, контраст об'єкта розпізнавання з фоном – сірий. Найменший розмір об'єкта розпізнавання: 0,15...0,3 мм.

Нормоване значення освітлення при комбінованому становить 750 лк. Освітлення при загальному освітленні в системі комбінованого – 150 лк.

Природне освітлення забезпечується подвійним вікном розміром 9×2 м.

Коефіцієнт природного освітлення:

$$e_n^{IV} = e_H^{III} \cdot m \cdot c, \quad (5.1)$$

де $e_H^{III} = 1,5$ – нормоване значення коефіцієнта природного освітлення для будівель у III поясі світлового клімату;

$m = 0,9$ – коефіцієнт світлового клімату;

$c = 0,75$ – коефіцієнт сонячності клімату.

Тоді

$$e_n^{IV} = 1,5 \cdot 0,9 \cdot 0,75 = 1,0125\%.$$

Для загального освітлення в системі комбінованого необхідно встановити газорозрядні лампи, освітленість яких складає близько 300 лк.

Параметри штучного та природного освітлення заносимо в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Параметри штучного та природного освітлення

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір розпізнавання об'єкта, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розпізнавання з фоном	Характеристика фону	Штучне освітлення		Природне освітлення		Суміщене освітлення	
						Освітленість, лк		КПОн, %		КПОн, %	
						При комбінованому освітленні	При верхньому освітленні	При верхньому	При боковому	При верхньому	При боковому
Високої точності	0,3...0,5	III	б	середній	темний	1000	300	5	2	2,3	0,7...1,2

5.2.3. Шум

Шум – це сукупність звуків різноманітної частоти та інтенсивності, що виникають у результаті коливального руху частинок у пружних середовищах (твердих, рідких, газоподібних). Шумом також вважають будь-який небажаний для людини звук.

В дільниці ремонту двигунів основними джерелами шуму та вібрації являються металообробні верстати, стенди та інструмент.

Для боротьби з шумом використовують різні засоби звукоізоляції, наприклад, звукоізолюючі кожухи, які закривають електродвигуни виробничого обладнання та ін.

Рівні звукового тиску та їх фактичні і допустимі значення відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 [45] представлені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Допустимі рівні звукового тиску і еквівалентні рівні звуку в дБА на робочих місцях

Робоче місце	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах з середньо геометричними частотами, Гц									Рівні звуку, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Допустимі
Дільниця ремонту ДВЗ	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Для зниження рівня шуму і підтримуванні його в допустимих межах можна застосовувати наступні заходи:

- зменшення шуму в джерелі його виникнення;
- застосування системи ізоляції;
- захисні кожухи в відповідності з вимогами.

Відповідно до табл. 5.3, умови роботи на дільниці відповідають вимогам.

5.2.4. Вібрація

Вібрація – це механічні коливання, що виникають у пружних тілах та передаються на тіло людини.

Людина може відчувати вібрацію у діапазоні частот від частки герца до 8000 Гц. Вібрація зі ще вищою частотою сприймається як теплове відчуття. При підвищенні частоти коливань до 16 Гц вібрація супроводжується появою шуму.

Основними характеристиками гігієнічної оцінки вібрації є середньо-геометричні частоти (Гц), у третинооктавних та октавних смугах і відповідні їм середньоквадратичні значення віброприскорення (m/s^2), або віброшвидкості (m/s) згідно ДСН 3.3.6.037-99 [45].

Причиною виникнення вібрацій являється робота машин і агрегатів, нерівноважених силових впливів.

Вибираємо категорію вібрації і її характеристику (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Категорія вібрації і її характеристика

Категорія вібрації	Характеристика умов праці	Приклад джерела вібрації
3 тип «а» межа пониження продуктивності праці	Технологічна вібрація, яка діє на операторів стаціонарних машин	Електрообладнання, насосні агрегати, вентилятори

Норми вібраційного навантаження при тривалості дії 8 годин представлено в табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Норми вібраційного навантаження при тривалості дії 8 годин

Тип вібрації	Категорія вібрації по санітарним нормам	Напрямок дії	Нормативні коректовані по частоті і еквівалентні коректовані значення			
			віброприскорення		віброшвидкості	
			m/s^2	дБ	m/s	дБ
локальна	–	x_L, y_L, z_L	2	126	2	112
загальна	3 тип «а»	x_0, y_0, z_0	0,1	100	0,2	92

В якості захисту від вібрації на дільниці застосовують:

- виробниче обладнання встановлено на віброізолювані фундаменти;
- застосовують засоби віброізоляції (віброізоляційні опори, пружні прокладки);

- застосовують засоби демпфування (пісок, гума, спеціальні пластини).

Відповідно до табл. 5.5, умови роботи на дільниці відповідають вимогам.

5.3. Техніка безпеки

Техніка безпеки – це система організаційних і технічних засобів, які запобігають дії на працівників небезпечних виробничих чинників.

До роботи повинний допускатися обслуговуючий персонал, що добре знає технологічний процес, пройшов підготовку за правилами експлуатації обладнання, правилами техніки безпеки і гігієни.

Джерела освітлення, проводка та силові двигуни повинні бути надійно ізольовані.

Забороняється експлуатація несправного обладнання, технічного інструменту, тощо. При несправному обладнанні вивіщується табличка «Працювати заборонено» або «Не працює».

Робітники повинні забезпечуватись справними інструментами та інвентарем.

Забороняється застосування саморобних нагрівальних пристроїв.

Відпрацьовані матеріали повинні прибиратися після кожної зміни.

Для захисту рук від агресивних середовищ застосовують рукавиці і халати.

Для миття та знежирення повинні застосовуватись негорючі суміші і розчинники. Мийні ванни з часом після закінчення роботи повинні закриватись. Підлога має бути горизонтальною, рівною без вибоїн. Біля верстатів і стендів повинні бути дерев'яні трапи на всю ширину робочої зони.

Особливу увагу необхідно приділяти при роботі з кран-балкою.

Необхідно дотримуватись інструкцій по роботі з обладнанням.

Нормативні умови на дільниці забезпечуються такими засобами: механізацією; встановлення ефективної вентиляції; встановлення опалення; застосуванням засобів особистої гігієни.

5.4. Електробезпека

Електробезпека — це система організаційних і технічних заходів та засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого й небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електрики.

За ступенем електробезпеки приміщення дільниці по ремонту ДВЗ відноситься до категорії особливо небезпечних умов по ураженню людей електричним струмом, так як в цьому відділенні присутні такі небезпечні фактори: струмопровідна підлога (залізобетон); струмопровідний пи́л; можливість одночасного дотику до корпусів обладнання та заземлених частин.

Для захисту від ураження електрострумом обираємо такі засоби: занулення, подвійна ізоляція.

Занулення – навмисне електричне з'єднання з нульовим проводом металевих неструмонесучих частин, які можуть опинитись під напругою.

При зануленні провідники мають бути вибрані таким чином, що при замиканні на корпус виникає струм короткого замикання, що забезпечує вимикання автомата чи плавлення плавкої вставки – запобіжника.

Подвійна ізоляція – електроізоляція, що складається з двох частин: робочої і додаткової ізоляції. Категорія виробництва за безпекою ураження електрострумом визначається за нормами, відповідний захист.

Корпус будь-якої електроустановки необхідно заземлювати.

На випадок обриву нульовий провід повторно заземлюється через кожних 2 м та перед вводом в будівлю.

5.5. Пожежна безпека

5.5.1. Пожежна безпека на дільниці

Пожежна безпека – стан об'єкта, за якого з регламентованою ймовірністю унеможливаються виникнення і розвиток пожежі та вплив на людей її небезпечних чинників, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

Протипожежна безпека на підприємстві в Україні – невіддільна частина організації робочого простору і процесів згідно з нормами чинного законодавства.

Зокрема, цю сферу регламентують Правила пожежної безпеки в Україні, затверджені наказом Міністерства внутрішніх справ України, зі змінами, які періодично вносяться відповідними наказами.

Основними напрямками забезпечення пожежної безпеки є усунення умов виникнення пожежі та мінімізація її наслідків. Пожежа виникає за одночасної наявності горючої речовини, джерела займання та окисника (кисню, повітря), що разом утворюють горюче середовище. Якщо вилучити або заблокувати будь-який із цих чинників, то пожежі не буде. На цьому ґрунтуються основні напрями попередження пожеж та способи пожежо-гасіння.

Згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [46] виробництво на даній ділянці відноситься до категорії «Д», яка характеризується наявністю тільки негорючих матеріалів і речовин в холодному стані. а будівля, де вона розміщується, має 1-й ступінь вогнестійкості – незгораємі стіни, перегородки і покриття з межею вогнестійкості не менш 1 години. Характеристики основних елементів конструкції даної будівлі згідно згідно ДБН В.1.1.7-2002 [47] наведено в табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – Межі вогнестійкості будівельних конструкцій

Ступінь вогнестійкості	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій, год							
	Стіни				Колони	Плити, настили, перекриття	Елементи покриття	
	Несучі клітки, сходи	Самонесучі	Зовнішні несучі	Внутрішні несучі			Плити, настили	Балки, ферми
1	2,5	2,0	2,5	2,5	1,5	2,0	2,0	2,0

Відповідно до табл. 5.6 всі стіни, перегородки і покриття відповідають вимогам пожежної безпеки.

5.5.2. Пожежна безпека при експлуатації автотранспортних засобів

Пожежна безпека – стан об'єкта, за якого з регламентованою ймовірністю унеможливаються виникнення і розвиток пожежі та вплив на людей її небезпечних чинників, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

Основними напрямками забезпечення пожежної безпеки є усунення умов виникнення пожежі та мінімізація її наслідків. Пожежа виникає за одночасної наявності горючої речовини, джерела займання та окисника (кисню, повітря), що разом утворюють горюче середовище. Якщо вилучити або заблокувати будь-який із цих чинників, то пожежі не буде. На цьому ґрунтуються основні напрями попередження пожеж та способи пожежогашіння.

Основними причинами пожеж на автотранспорті є:

- порушення герметизації комунікацій і загоряння пального та електромережі при контактуванні з поверхнями, що мають високі робочі температури (вихлопні колектори, глушники, опалювачі);
- займання палива в результаті потрапляння іскри, що виникла при ударі сталених деталей, при пошкодженні кузова автомобіля в момент аварії;
- займання палива від потрапляння іскри розряду статичної електрики;
- займання горючих конструктивних матеріалів і палива через несправності електрообладнання (коротке замикання, порушені контакти тощо);
- займання горючих конструктивних матеріалів і палива від дії відкритого вогню (зварювальні роботи, розігрів вузлів автомобіля в зимовий період, куріння тощо);
- причиною виникнення пожежі можуть бути несправності в системах автомобілів, особливо в таких як система живлення і запалювання.

Водії повинні уважно стежити, щоб паливні баки не підтікали, а в автомобілях, що стоять в гаражах, вони були повністю заправлені. Слід пам'ятати, що заповнений паливний бак менш вибухонебезпечний, ніж той, в

якому частина ємності заповнена сумішшю парів бензину й повітря. Горловини баків необхідно щільно закривати.

Електрообладнання автомобілів потрібно утримувати в технічно справному стані. Іскріння контактів, яке може призвести до загоряння, треба негайно усувати. Особливу увагу слід приділяти стану ізоляції електропроводів, справності приладів запалювання, освітлення й сигналізації.

Заходи пожежної безпеки:

1. Під час огляду й усунення несправностей у двигунах, коробках передач та інших агрегатах, замірюванні рівня масла і палива в баках не можна користуватися сірниками або іншими джерелами відкритого вогню. Для цього є переносні електричні лампи, захищені металевою сіткою. Акумуляторні батареї треба знімати з автомобілів дуже обережно, щоб у момент від'єднання проводів не виникло іскріння. Всі струмопровідні з'єднання слід захищати від випадкового потрапляння на них металевих предметів та інших струмопровідних матеріалів.

2. Біля місць встановлення автомобілів водії та інші працівники гаража не повинні мити руки в бензині або гасі, прати в них одяг, протирати ними кузови або чистити деталі, механізми та агрегати. Розлиті масло, бензин, гас та інші легко-займисті пожежонебезпечні рідини необхідно засипати піском, збирати й виносити в безпечне місце за межі гаража.

3. Забороняється залишати в приміщеннях, на двигунах, у кабінах та інших місцях промаслені ганчірки. Адже вони можуть легко спалахнути й спричинити пожежу. Їх необхідно складати в металеві ящики з кришками, які щільно закриваються, і після закінчення роботи виносити в безпечне місце.

4. На закритих і відкритих стоянках автомобілів забороняється зберігати легкозаймисті й горючі рідини, зливати й переливати пальне, тримати в кузовах автомобілів або в приміщеннях вогненебезпечні вантажі, речовини й матеріали, захищувати проїзд, ворота й проходи.

5. У гаражах та у господарствах повинні бути заздалегідь розроблені плани безпечної й швидкої евакуації автомобілів на випадок виникнення

пожежі або аварії. Ці плани кожні 6 місяців потрібно вивчати з бригадами робітників і водіями. Поряд з цим у кожному гаражі повинні бути відповідальні чергові, які забезпечують охорону, а в разі необхідності й евакуацію автомобілів.

Дії водія на випадок пожежі:

1. При загорянні автомобіля в дорозі водій повинен негайно вимкнути запалювання, з'їхати на узбіччя та зупинити автомобіль. Після зупинки транспорт-ного засобу забезпечити швидку евакуацію пасажирів. Для повільнішого розвитку пожежі й ефективного гасіння її ліквідація може бути почата одночасно з евакуацією пасажирів при відкриванні всіх дверей.

2. Гасіння пожежі необхідно починати з палаючого пролитого під автомобілем пального. Перед початком гасіння в підкапотному просторі водій повинен не забути відкрити замки капота. Гасіння тут необхідно починати одночасно з відкриттям капота, оскільки інтенсивність горіння при його відкриванні посилюється.

3. Успіх гасіння палаючого автомобіля залежить від оперативних дій водія. Він повинен знати час безперервної роботи вогнегасника, який вказано в паспорті.

4. Найбільший ефект досягається при гасінні одночасним використанням декількох вогнегасників (групою водіїв), а також якщо одночасно залучаються підсобні засоби: сніг, пісок, кошма тощо. Гасити вогонь необхідно з навітряної сторони, направляючи струмінь із вогнегасника на поверхню, що горить, а не на полум'я. При гасінні палива, що витікає, необхідно подавати заряд знизу вгору. Для водія небезпечно гасити вогонь в забрудненому одязі (промаслений, просочений парами пального) і якщо його руки змочені пальним.

5. В разі загоряння автомобіля важливо підібрати відповідний вогнегасник. Насамперед потрібно відмовитися від таких, які призначені для гасіння водою, оскільки ні бензин, ні масло, котрі є основними горючими матеріалами в автомобілі, вони не погасять. Не підійде й пінний вогнегасник,

тому що піна може призвести до короткого замикання в електронних приладах сучасного автомобіля. Найчастіше застосовують порошкові, які гасять полум'я за допомогою порошку, що викидається під тиском. Щоб погасити вогонь, порошок скеровують в його нижню частину, внаслідок чого перекривається доступ кисню.

6. Порошкові вогнегасники поділяють на два види: перший — вогнегасники, наповнені газом для викидання порошку, та другий — вогнегасники з окремим балоном, наповненим газом — витискувачем.

7. Крім порошкових застосовують також вуглекислотні вогнегасники. Дія їх полягає в тому, що з них подають під високим тиском вуглекислоту, яка заміщує повітря навколо вогню. Застосовувати ці вогнегасники слід з винятковою обережністю. По-перше, струмінь вуглекислоти має дуже низьку температуру й у разі потрапляння на нічим не захищені ділянки тіла може спричинити обмороження. По-друге, за концентрації 10 % вуглекислоти в повітрі паралізуються органи дихання, а перевищення цієї кількості призводить до трагічних наслідків.

8. Купувати вогнегасник треба в спеціалізованому магазині або підприємстві, не забуваючи отримати належні документи на нього, зокрема сертифікат відпо-відності та якості продукції.

9. Тип і кількість вогнегасників мають відповідати встановленим нормам. Вогнегасники, якими забезпечують транспортні засоби, повинні бути сертифікованими в Україні відповідно до вимог законодавства.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. За результатами виконаного аналізу впливу різних чинників на систему ЦРТС в цілому встановлено, що найбільш значущий вплив на ефективність ремонту мають помилки оператора-діагноста на етапі передремонтного діагностування, обумовлені причинами як об'єктивного, так і суб'єктивного (т.зв. «людський фактор») характеру.

2. Розроблено методику виявлення дефектів агрегатів автомобілів з використанням математичного апарату штучних нейронних мереж для їх розподілу за технологічними маршрутами ремонту (комплексам ремонтних робіт - КРР), яка на відміну від відомих значно знижує вплив людського фактора на постановку вірного діагнозу і подальший розподіл по КРР.

3. Розроблене методичне та метрологічне забезпечення дозволило упорядкувати процес експериментального дослідження над об'єктом дослідження на етапі передремонтного діагностування при ЦРТС. Для побудови моделей математичного апарату ШНМ з необхідним рівнем достовірності розпізнавання сполучень дефектів агрегатів автомобілів і їх розподілу по КРР була розроблена методика математичної обробки емпіричних даних.

4. Була експериментально підтверджена доцільність застосування розробленої методики при централізованому ремонті за технічним станом (ЦРТС) при виявленні дефектів агрегатів автомобілів на етапі передремонтного діагностування і розподілі їх по КРР. Встановлено, що впровадження даної методики в виробничий процес сприяє зниженню помилок 1-го («помилковий дефект») роду, 2-го («пропуск дефекту») для всіх ресурсних груп двигуна як об'єкта дослідження і помилок маршрутизації, викликаних людським фактором в середньому на 70%.

5. Розроблено структурну схему АРМ оператора-діагноста, ядром якого є створене ПЗ на мові програмування Delphi в однойменній середовищі розробки, що дозволяє йому ефективно управляти процесами розпізнавання дефектів агрегатів автомобілів, що надходять в ремонт і розподілу їх по КРР при ЦРТС.

6. Порівняльний економічний ефект при організації підсистеми передремонтного діагностування за класичним і запропонованим варіантами дозволяє досягти економії при впровадженні результатів дослідження в СТО до 11 тис. грн. на ремонт одного двигуна в рік.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Барановський В. М., Спірін А. В., Полевода Ю. А., Твердохліб І. В. Роль і місце технічного діагностування в системі технічної експлуатації автомобілів в сільському господарстві. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. Вінниця, 2018. Випуск 1 (100). С. 24-28.
2. Гунько І. В. Гуцаленко О. В. Транспорт – актуальні проблеми та сьогодення. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. Вінниця, 2015. Випуск 2 (90). С. 98-103.
3. Borysiuk D., Spirin A., Trukhanska O., Shvets L., Zelinsky V. Mathematical model of a wheeled tractor steering axle as an object of diagnostics. *TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture*. Lublin–Rzeszow, 2017. Vol.17, No1, P. 41-48.
4. Spirin A., Baranovsky V. Matematical model of diagnostication of fuel apparatus of automotive diesels. *Scientific journal innovative solutions in modern science*. 2018. №2 (21). P. 33-46.
5. Спірін А. В., Барановський В. М., Зелінський В. І., Натяжний В. С. Математична модель діагностування системи впрыскування палива «Mono-jetronic». *Вісник машинобудування та транспорту*. Вінниця, 2018. №1 (7). С. 10-17.
6. Борисюк Д. В., Яцковський В. І. Методи та засоби діагностування тракторів. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки*. 2015. № 1 (89). т. 2. С. 16-20.
7. Борисюк Д. В. Вимушені коливання силового агрегата трактора. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2015. № 3 (92). С. 40-41.
8. Анісімов В. Ф., Борисюк Д. В., Черкевич О. В. Системи діагностування сільськогосподарських тракторів. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2016. № 2 (94). С. 34-36.
9. Біліченко В. В., Романюк О. Н., Яцковський В. І., Борисюк Д. В. Монтаж акселерометрів при віброакустичному діагностуванні машин і механізмів. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2017. № 2 (97). С. 52-55.

10. Гунько І. В., Спірін А. В., Холодюк О.В. Надійність систем та обґрунтування інженерних рішень. Вінниця : ВНАУ. 2006. 76 с.
11. Кукурудзяк Ю. Ю. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни "Діагностика мехатронних систем автомобілів". Вінниця : ВНТУ, 2017. 26 с.
12. Кукурудзяк Ю. Ю. Методичні вказівки до самостійного вивчення та виконання контрольних робіт з дисципліни "Діагностика мехатронних систем автомобілів". Вінниця : ВНТУ, 2017. 29 с
13. Борисюк Д. В. Фірмове обслуговування автомобілів. Практикум (для студентів спеціальності 274 – «Автомобільний транспорт»). Частина 1. Вінниця : ІРВЦ ВНТУ, 2022. 207 с.
14. Кукурудзяк Ю. Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Технологія ТО і ПР. Вінниця : ВНТУ, 2022. 225 с.
15. Біліченко В. В., Борисюк Д. В. Значення технічного діагностування тракторів і автомобілів в сільському господарстві. *XLVI-а наук.-техн. конф. фак.-ту машинобудування та транспорту ВНТУ, м. Вінниця, 27-28 березня 2017 р.* : тези доповіді. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt2017/paper/view/1764/2362> (дата звернення: 12.04.2018).
16. Борисюк Д. В. Фірмове обслуговування автомобілів. Практикум (для студентів спеціальності 274 – «Автомобільний транспорт»). Частина 2. Вінниця : ІРВЦ ВНТУ, 2022. 221 с.
17. Борисюк Д. В. Перспективи розвитку методів і засобів діагностування сільськогосподарських тракторів. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту* : X-а Міжн. наук.-практ. конф., м. Вінниця, 23-25 жовтня 2017 р.: тези доповіді. Вінниця, 2017. С. 138-142.
18. Борисюк Д. В., Зелінський В. Й. Фірмове обслуговування автомобілів. Методичні вказівки для виконання самостійної роботи (студентам спеціальності 274 – «Автомобільний транспорт»). Частина 1. Вінниця : ІРВЦ ВНТУ, 2022. 50 с.

19. Біліченко В. В., Борисюк Д. В. Методи віброакустичного діагностування технічного стану вузлів і агрегатів машин. *Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій* : VI-а Міжн. конф., м. Вінниця, 13-15 вересня 2018 р.: тези доповіді. Вінниця: ВНТУ, 2018. С. 34-36.
20. Борисюк Д. В., Яцковський В. І. Системи вимірювання та аналізу вібрації, удару і шуму. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2013. № 4 (72). С. 5-12.
21. Борисюк Д. В. Віброакустическая диагностика дефектов и неисправностей подшипников качения. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2014. № 4 (76). С. 50-53.
22. Борисюк Д. В., Зелінський В. Й. Фірмове обслуговування автомобілів. Методичні вказівки для виконання самостійної роботи (студентам спеціальності 274 – «Автомобільний транспорт»). Частина 2. Вінниця : ІРВЦ ВНТУ, 2022. 51 с.
23. Борисюк Д. В. Формування словника діагностичних ознак при віброакустичному діагностуванні тракторів і автомобілів. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту* : VI-а Міжн. наук.-практ. інтернет-конф., м. Вінниця, 12-13 квітня 2018 р.: тези доповіді. Вінниця, 2018. С. 28-30.
24. ДСТУ 9118:2021. Технічна діагностика. Діагностування технічного стану матеріалів конструкцій. Загальні вимоги. [Чинний від 2022-01-07]. Вид. офіц. Київ, 2021.
25. ДСТУ 2389-94. Технічне діагностування і контроль технічного стану. Терміни і визначення. [Чинний від 1995-07-01]. Вид. офіц. Київ, 1995. 24 с.
26. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. Вид. офіц. Київ : Мінтранс України, 1998. 16 с.
27. Законодавство України про автомобільний транспорт : збірник законодавчих актів [Чинний від 2005-05-01]. Вид. офіц. Київ : Парламентське видавництво, 2005. 140 с.

28. ДСТУ 4973:2008. Трактори. Технічне діагностування. Параметри та якісні ознаки технічного стану. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2009. 10 с. (Інформація та документація).

29. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. [Чинний від 2011-07-01]. Вид. офіц. Київ, 2011. 56 с. (Інформація та документація).

30. Волков В. П., Грицук І. В., Волков Ю. В. та ін. Інформаційні системи моніторингу технічного стану автомобілів. Харків, 2018.

31. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. В 3 кн. Кн. 1. Теоретичні основи. Технологія / В.Є. Канарчук, О.А. Лудченко, А.Д. Чигринець. Київ : Вища школа, 1994. 384 с.

32. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. В 3 кн. Кн. 2. Організація, планування і управління / В.Є. Канарчук, О.А. Лудченко, А.Д. Чигринець. Київ : Вища школа, 1994. 383 с.

33. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. В 3 кн. Кн. 3. Ремонт автотранспортних засобів / В.Є. Канарчук, О.А. Лудченко, А.Д. Чигринець. Київ : Вища школа, 1994. 495 с.

34. Коваленко В. М., Щуріхін В. К. Діагностика і технологія ремонту автомобілів. Київ : Літера ЛТД, 2017. 224 с.

35. Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів. Основи будови та експлуатації автопоїздів / О. П. Строков, М. Г. Макаренко, В. Ф. Орлов, В. О. Павленко. Київ : Грамота, 2005. 352 с.

36. Канарчук В. Є., Курніков І. П. Виробничі системи на транспорті. Київ : Вища школа, 1997. 359 с.

37. Борисюк Д. В., Зелінський В. Й., Лисенко В. О. Основні причини виникнення несправностей двигунів внутрішнього згорання автомобілів. *Науково-технічна конференція підрозділів ВНТУ «LI Науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту (2022)»*. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2022/paper/view/15691/13168>

38. Башкатова В. И., Здерева Т. А., Стельмаховский Ю. С. Планування роботи автотранспортного підприємства. Програмоване навчання. Київ : Вища школа, 2012. 288 с
39. Кукурудзяк Ю.Ю., Біліченко В.В. Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів ТО і ПР. Вінниця : ВНТУ, 2010. 198 с.
40. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: технологія: підручник. Київ : Вища школа, 2007. 527 с.
41. Ремонт автомобілів / упор. В.Я. Чабанний. Кіровоград : Кіровоградська районна друкарня, 2007. 720 с.
42. ДНАОП 0.00-1.28-97. Правила охорони праці на автомобільному транспорті (33085). URL: https://dnaop.com/html/33085/doc-%D0%94%D0%9D%D0%90%D0%9E%D0%9F_0.00-1.28-97 (дата звернення: 16.03.2022).
43. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972> (дата звернення: 16.03.2022).
44. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885 (дата звернення: 16.03.2022).
45. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html> (дата звернення: 16.03.2022).
46. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65419 (дата звернення: 16.03.2022).
47. ДБН В.1.1.7-2002. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва. (3608). URL: https://dnaop.com/html/3608/doc-%D0%94%D0%91%D0%9D_%D0%92.1.1.7-2002 (дата звернення: 16.03.2022).

48. Борисюк Д. В. Оцінка економічної ефективності впровадження технічного діагностування транспортних засобів. *Актуальні проблеми функціонування господарської системи України* : Міжн. наук.-практ. конф., м. Львів, 3-4 лютого 2017 р.: тези доповіді. Херсон : Вид. дім «Гельветика», 2017. С. 112-114.

49. Борисюк Д. В. Оцінка економічної ефективності засобів технічного діагностування сільськогосподарських тракторів. *Інформаційне суспільство (технологічні, економічні та технічні аспекти становлення)* : Міжн. наук.-практ. конф., м. Тернопіль, 2 березня 2017 р.: тези доповіді. Тернопіль, 2017. С. 40-41.

50. Борисюк Д. В., Зелінський В. Й. Методика розрахунку економічної ефективності впровадження технічного діагностування тракторів. *Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2017. № 5 (21). С. 135-142.

51. Борисюк Д. В., Зелінський В. Й., Березняк М. С. Причинно-наслідкові зв'язки параметрів основних ресурсних груп двигуна ЯМЗ-238. *Матеріали XV міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 24-26 жовтня 2022 року: збірник наукових праць*, 2022. С. 30-35.

Додаток А (обов'язковий).

**МЕТОДИКА РОЗПОДІЛУ АГРЕГАТИВ РЕМОНТНОГО ФОНДУ ПО
ТЕХНОЛОГІЧНИМ МАРШРУТАМ РЕМОНТУ З УРАХУВАННЯМ ЇХ
РОЗПІЗНАНИХ КОМБІНАЦІЙ ДЕФЕКТІВ**

ДОДАТОК А. МЕТОДИКА РОЗПОДІЛУ АГРЕГАТИВ РЕМОНТНОГО ФОНДУ ПО ТЕХНОЛОГІЧНИМ МАРШРУТАМ РЕМОНТУ З УРАХУВАННЯМ ЇХ РОЗПІЗНАНИХ КОМБІНАЦІЙ ДЕФЕКТІВ

А.1. Моделювання технології виконання робіт при ЦРТС агрегатів автомобілів

Проектування технологічних процесів ЦРТС агрегатів автомобілів пов'язане з формуванням найбільш ефективної виробничо-технічної бази, що забезпечує істотне зниження внутрішньовиробничих втрат ремонтного підприємства. При цьому зовнішні по відношенню до конкретного підприємства фактори, відповідно до мети і завдань цього дослідження, можна вважати форс-мажорними та виключити їх з подальшого аналізу.

Беручи за основу класичну форму організації ЦРТС, де технологічний процес розбирання (і збірки) агрегатів автомобілів представляє сукупність $K = \{k: k = \overline{1, K}\}$ встановлених заздалегідь типових поєднань ремонтних робіт (далі - комплексів ремонтних робіт - КРР), цільову функцію дослідження можна представити в наступним аддитивним виразом, що характеризує поточні виробничі втрати:

$$C_{\Sigma_{вн}} = \Sigma C_{\Sigma_{ном}} = (C_{\Sigma_{зайв}} + C_{\Sigma_{проп}} + C_{\Sigma_{розп}}) N_p \rightarrow \min, \quad (A.1)$$

де $C_{\Sigma_{вн}}$ - узагальнені внутрішньовиробничі втрати ремонтного підприємства, грн.;

$C_{\Sigma_{ном}}$ - втрати виробництва, що формуються помилками розподілу ремонтів агрегатів по КРР, грн.;

$C_{\Sigma_{зайв}}$ - витрати на виконання зайвих робіт при усуненні помилково виявлених дефектів, грн.;

$C_{\Sigma_{проп}}$ - витрати на виконання умовно повторних робіт при пропуску помилково не виявлених дефектів, грн.;

$C_{\Sigma\text{розп}}$ - втрати, що формуються помилками при розподілі агрегатів по технологічним маршрутам ремонту, грн.;

N_p - виробнича програма підприємства, од. / рік.

При цьому кожен з КРР є деяка підмножина $\{i\}_k$ ремонтних (розбірно-складальних) операцій, вся безліч $R = \{r: r = \overline{1, R}\}$ яких є необхідним і достатнім, для усунення дефектів будь-якого агрегату з числа ремонттованих на даному підприємстві.

Складова $C_{\Sigma\text{ном}}$ цільової функції (А.1) може бути виражена функціоналом $C_{\Sigma\text{ном}} = f(C_{ij} P_{ij})$, де C_{ij} - узагальнені витрати на виконання робіт з виявлення та усунення і-го дефекту j-го ремонтуємого агрегату, грн.; P_{ij} - ймовірність події, яка полягає у виникненні помилки розпізнавання і-го дефекту j-го ремонтується агрегату.

При цьому ймовірність P_{ij} , враховуючи положення теорії ймовірностей, можна визначити наступним вираженням:

$$P_{ij} = a_{ij} + b_{ij}, \quad (\text{A.2})$$

де a_{ij} - помилка розпізнавання 1-го роду (помилкова несправність) і-го дефекту j-го ремонтуємого агрегату на етапі передремонтного діагностування;

b_{ij} - помилка розпізнавання 2-го роду (пропуск несправності) і-го дефекту j-го ремонтуємого агрегату на етапі передремонтного діагностування.

Вводячи цілочисельні змінні, що приймають значення

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо і-й відсутній дефект j-го ремонтуємого агрегату визначається як присутній;} \\ 0 & \text{в іншому випадку (помилкова несправність)} \end{cases}$$

$$\eta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо і-й присутній дефект j-го ремонтуємого агрегату визначається як відсутній;} \\ 0 & \text{в іншому випадку (пропуск несправності),} \end{cases}$$

ймовірність P_{ij} можна записати в розгорнутому вигляді:

$$P_{ij} = \{1 - [\delta_{ij}(1 - \alpha_{ij}) + \eta_{ij}(1 - \beta_{ij})]\}. \quad (\text{A.3})$$

У загальному випадку через помилкове визначення i -го дефекту j -го двигуна, коли в дійсності такого дефекту немає (помилкова несправність - α_{ij}) виникають втрати $C_{\Sigma ij}^{зайв}$. витрати $C_{\Sigma ij}^{прон}$ на умовно повторне виконання робіт формуються помилками β_{ij} , що виникають у разі пропуску i -го дефекту при ПД j -го ремонтуємого агрегату автомобіля (пропуск несправності).

Аналіз можливих виробничих ситуацій дозволяє уявити функціонал (A.1) в наступному вигляді:

$$C_{\Sigma вн} = \Sigma C_{\Sigma ном} = (C_{\Sigma зайв} + C_{\Sigma прон} + C_{\Sigma розп}) N_2. \quad (\text{A.4})$$

Таким чином, досягнення поставленої мети – зниження внутрішньо-виробничих втрат при функціонуванні системи ЦРТС агрегатів автомобілів - можливо лише при вирішенні задач зниження абсолютних значень помилок на всіх етапах виробничого процесу ремонту.

А.2. Обґрунтування вибору застосовуваного математичного апарату

Сукупність методів для інтелектуального аналізу даних об'єкта досліджень отримали назву Data Mining. Знання, що здобуваються цими методами, зазвичай представляють у вигляді моделей.

Одним з таких класів моделей є штучні нейронні мережі (ШНМ) – це математичні моделі, що представляють собою упорядкований набір штучних нейронів, які пов'язані один з одним певним чином.

Вибір штучної нейронної мережі в якості математичного апарату для вирішення задачі розпізнавання дефектів агрегатів ремонтного фонду та розподілу їх по комплексам ремонтних робіт при ЦРТС зумовлений низкою причин:

1. Завдяки здатності до навчання і запам'ятовуванн., а також шляхом зміни адаптивних параметрів штучних нейронів з яких складається мережа, можна домогтися високого ступеня точності при вирішенні даного завдання.

2. Застосування штучної нейронної мережі дозволяє уникнути процесу накопичення статистичної інформації для розрахунку ймовірностей появ дефектів (як це робить при методі організації та оптимізації технологічних процесів ЦРТС за типовими сполученням ремонтних робіт) для оптимального розподілу агрегатів по комплексам ремонтних робіт.

3. Перевірка адекватності побудованих на основі штучної нейронної мережі моделей проводиться з використанням тестових вибірок, які формуються під час проведення експерименту над об'єктом досліджень, що гарантує високу ступінь надійності моделей та ін.

При застосуванні ШНМ перш за все постає питання вибору архітектури мережі (числа "прихованих шарів" і кількості "штучних нейронів" в кожному з них) під конкретну задачу.

Штучний нейрон являє собою вузол ШНМ, змодельований за спрощеним принципом функціонування біологічного нейрона. Першою роботою, яка заклала теоретичні основи створення інтелектуальних пристроїв, вважається стаття У. Мак-Каллока і В. Питтса, яка була опублікована в 1943 році, а перший переклад на російську вийшов в 1956 році.

З математичної точки зору, штучний нейрон являє собою функцію від єдиного аргументу - лінійної комбінації всіх сигналів на вході (дана функція отримала назву "активаційна функція"), за допомогою якої виробляється вихідний сигнал нейрона.

У загальному вигляді, математична модель штучного нейрона є зваженим суматором і має вигляд [17, 23]:

$$S = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i + x_0 \cdot w_0 = \sum_{i=0}^n x_i \cdot w_i, \quad (\text{A.5})$$

де S - зважена сума вхідних сигналів нейрона;

x_i - значення на i -му вході нейрона;

w_i - вага i -го синапсу;

n - кількість входів;

x_0 і w_0 - відповідно значення додаткового вхідного сигналу ($X_0 = 1$) і його ваги.

Вихідне значення нейрона є функцією його стану:

$$Y = f(S), \quad (\text{A.6})$$

де $f(S)$ - функція активації.

Всі шари нейронної мережі можна умовно розділити на три групи:

- перший шар нейронів багат шарової нейронної мережі називається вхідним. У ньому зазвичай не виконуються ніякі обчислювальні операції, тому що він складається з нейронів, які служать для отримання даних (сигналів) і подальшої передачі на входи прихованого шару ШНМ;

- приховані (проміжні) шари є основними, тому що найчастіше складають більшу частину структури ШНМ. Обчислення в них виробляються по формулам (A.6) і (A.7);

- вихідний шар - результат роботи мережі.

Вибір сигмоїди як активаційної функції визначено тим, що вона диференційована на всій осі абсцис і має дуже просту похідну. При використанні алгоритму зворотного поширення помилки, це сприяє прискоренню процесу навчання мережі.

Вихідне значення нейрона, при сигмоїдальній активаційній функції, набуває такого вигляду:

$$Y = f(S) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha S}} \quad (\text{A.7})$$

На рис. А.1 схематично представлена модель штучного нейрона, де кількість вхідних сигналів позначається X . Тут множинні сигнали $x_1, x_2, x_3, \dots, x_j$ на відповідних входах (в сукупності позначаються вектором X) мають свої переваги (які відображають силу синаптичного зв'язку та їх безліч позначається вектором W). Добуток сигналів і відповідних переваг подається на сумуючий блок, який алгебраїчно складає входи.

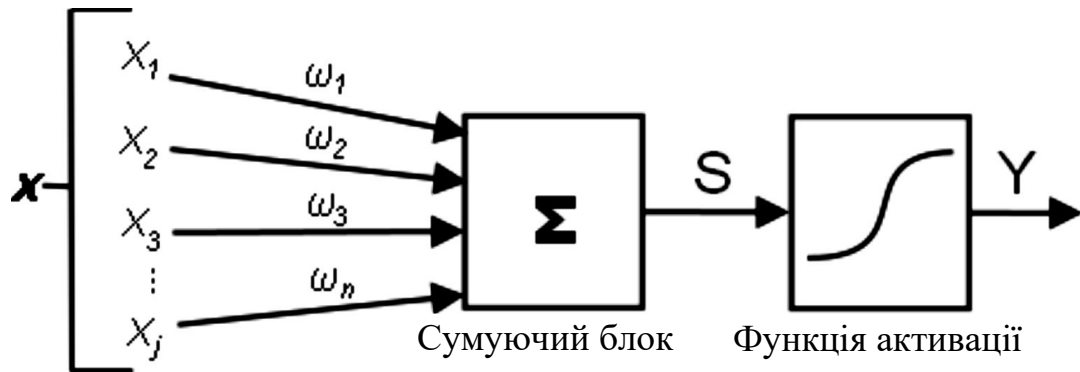


Рисунок А.1 – Модель штучного нейрона

В результаті підсумовування, отримане значення є аргументом активаційної функції, яка і створює вихідне значення Y .

Виходячи з теоретичних напрацювань Хехт-Нільсеном питання про оптимальну кількість прихованих шарів, а також з аналізу практичної застосовності ШНМ для різних завдань класифікації, можна зробити висновок, що використання більше двох прихованих шарів при проектуванні мережі частіше недоцільно.

За формулами (А.8) і (А.9), що є наслідком з теорем «Арнольда - Колмогорова - Хехт-Нільсена», можна розрахувати необхідну кількість нейронів для прихованого шару.

Спочатку відбувається оцінка необхідного числа ваг синаптичного зв'язку [17, 33]:

$$\frac{N_y \cdot Q}{1 + \log_2 Q} \leq N_w \leq N_y \cdot \left(\frac{Q}{N_x} + 1 \right) \cdot (N_x + N_y + 1) + N_y, \quad (\text{А.8})$$

де N_y - число нейронів вихідного шару;

Q - кількість значень навчальної вибірки;

N_w - необхідна кількість синаптичних ваг;

N_x - число нейронів вхідного шару

Після цього, число нейронів в прихованому шарі буде визначатися за формулою [27, 33]:

$$L = \frac{N_w}{N_x + N_y} \quad (\text{A.9})$$

Однак, як показує практика побудови ШНМ, при такому підході не можна стверджувати, що число нейронів в прихованому шарі було оптимально підібрано під поставлену задачу, крім того, зазвичай в результаті виходить великий розмах інтервалу, в якому лежить значення L .

Тому, наслідок з теорем Арнольда - Колмогорова - Хехт-Нільсена буде використано лише для визначення верхньої межі значення нейронів (R) в прихованому шарі. Відкинувши нижню межу інтервалу у формулі (A.8), прирівнявши N_w до залишиної верхньої межі і підставивши формулу (A.9) в (A.8), отримуємо:

$$R = \frac{N_y \left(\frac{Q}{N_x} + 1 \right) (N_x + N_y + 1) + N_y}{N_x + N_y} \quad (\text{A.10})$$

Надалі, R використовується як верхня межа, до якої число нейронів буде нарощуватися, поки не досягне оптимального значення. Як показує досвід побудови моделей на основі ШНМ, нарощування нейронів в прихованому шарі понад отриманої межі R в більшості випадків є недоцільним.

А.3. Постановка завдання класифікації агрегатів ремонтного фонду в залежності від розпізнаних поєднань дефектів

Технічний стан кожного з безлічі $O = \{O_i: i = 1, 2, 3, \dots, M\}$ агрегатів автомобілів, що надходять в ремонтний фонд характеризується набором контрольованих параметрів, значення яких визначаються на етапі перед-ремонтного діагностування при ЦРТС. Певні поєднання даних параметрів і їх значень означають наявність або відсутність дефектів агрегатів.

Введемо поняття «здатність до узагальнення» (від англ. Generalization ability) - це придбана в процесі навчання властивість нейронної мережі видавати вірні результати для будь-яких нових вхідних сполучень, які не брали участі в процесі навчання.

Якщо ШНМ видає високий відсоток вірних результатів не тільки для навчальної вибірки, а й для нових, раніше невідомих прикладів, то вважається, що вона придбала здатність до узагальнення.

У разі, коли високий відсоток вірних результатів забезпечується тільки для навчальної вибірки, а на тестових прикладах часто помиляється, то можна зробити висновок що у нейронної мережі не з'явилася здатність до узагальнення.

Нехай кількість комплексів ремонтних робіт (КРР) при ЦРТС є заздалегідь відомим значенням Z , а X - поєднання параметрів агрегатів, що контролюються, що надходять в ремонтний фонд. Відхилення в значеннях параметрів від номінальних свідчать про наявність дефектів агрегатів Y . У такому випадку, задача нейромережної класифікації зводиться до побудови алгоритму Θ , де на початковому етапі відбувається класифікація $\Theta: X \rightarrow Y$, ґрунтуючись на придбаній, в процесі навчання, здатності нейронної мережі до узагальнення, а далі відбувається розподіл сукупності агрегатів по КРР в залежності від виявлених сполучень дефектів $\Theta: Y \rightarrow Z$, де $y \in Y$ і $z \in Z$.

При побудові нейромережевого класифікатора, перш за все, необхідно визначити складність поділу об'єктів на класи. Для спрощення завдання класифікації, слід домогтися лінійного поділу об'єктів дослідження.

Так як поставлена задача має на увазі більше двох класів для розподілу агрегатів між ними, то найбільш раціональним способом формування вихідних сигналів буде сукупність компонентів вектора. Іншими словами, кожен можливий дефект буде мати свій вихідний сигнал, а про наявність дефекту або його відсутність буде говорити «0» або «1» на відповідному виході. При цьому дуже важливо домогтися якомога більше близьких до «0» або «1» значень, для цього необхідно провести попередню обробку вхідних даних.

А.4. Алгоритм нормування вихідних даних при навчанні математичного апарату ШНМ

Для підвищення достовірності розпізнавання і зменшення часу навчання математичного апарату штучної нейронної мережі, дані, що надходять на вхідний шар мережі, повинні бути типізовані і лежати в певному діапазоні, тому необхідно виконати масштабування навчального набору даних.

Зазвичай навчальний набір даних подається на вхідний шар у вигляді бінарних значень, цілих чисел, чисел з плаваючою комою і т.д. Їх розкид повинен бути в певному діапазоні, який залежить від виду застосовуваної функції активації. Однак, найчастіше, сигнали, що надходять мають великий розкид значень на кожному нейроні вхідного шару, що значно знижує здатності ШНМ до навчання та аналізу.

Область значень сигмоїдальної функції знаходиться в діапазоні $[0; 1]$, тому вона є стискаючою (рис. А.2).

На рис. А.3 представлена блок-схема алгоритму нормування вихідних даних при навчанні ШНМ з сигмоїдою як активаційною функцією.

В процесі роботи представленого алгоритму масштабування вихідних даних, передача на функцію активації здійснюється в оптимальному вигляді. Даний алгоритм є універсальним, тому при його застосуванні для функції активації відмінною від сигмоїдальної, на кроці 3 змінюється інтервал масштабування і, можливо, тип нормування.

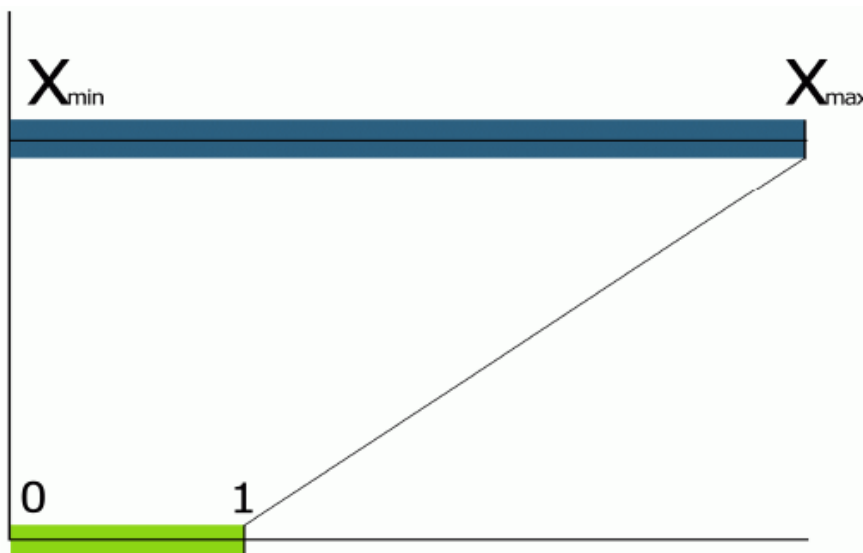


Рисунок А.2 – Масштабування вихідних даних в область значень сигмоїдальної функції активації

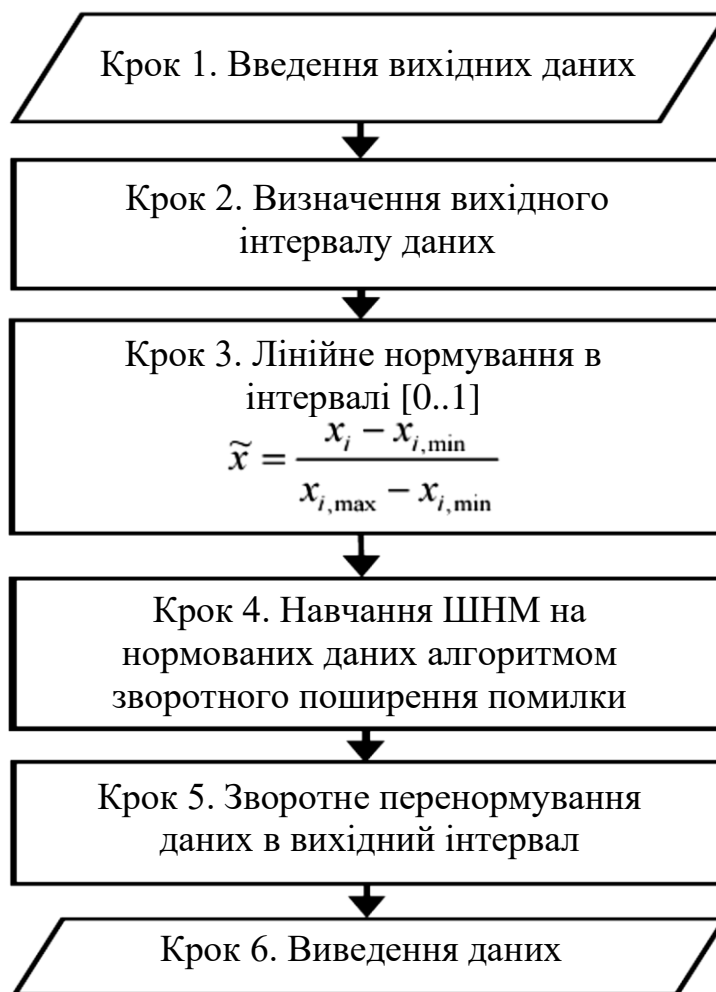


Рисунок А.3 – Блок-схема алгоритму ШНМ в робочому інтервалі сигмоїдальної активаційної функції при лінійному нормуванні

Лінійна нормалізація використовується при щільному заповненні інтервалу змінної x_i значеннями, тому що орієнтована на граничні значення (x_{\min} , x_{\max}).

Попередня обробка даних є важливим етапом при побудові моделей штучних нейронних мереж, тому що, наприклад, невірно вибраний діапазон масштабування вихідних даних в область значень функції активації в значній мірі вплине на здатність ШНМ до узагальнення після навчання (наприклад, здатність ШНМ виявляти поєднання дефектів, яких не було в навчальній вибірці).

A.5. Алгоритм навчання ШНМ методом зворотного поширення помилки

При побудові ШНМ хоча б з одним прихованим шаром, застосування методу d-правила Розенблатта для навчання мережі, обмежено, тому що необхідно знати правильні значення на входах і виходах прихованих шарів, що є неможливим.

Одним з найбільш популярних методів навчання перцептрона, при наявності прихованих шарів, є метод градієнтного спуску (від англ. Gradient descent), який полягає в тому, що при кожному новому наближенні (ітерації) відбувається коригування кожного вагового коефіцієнта Δw_{LL-1} в напрямку, протилежному градієнту (антиградієнта) функції помилки (від англ. Error function) ε .

При цьому методі на кожній ітерації відбувається коригування ваг. Наприклад, при передачі сигналів з останнього прихованого шару на вихідний шар, коригування проводиться за такою формулою:

$$\Delta w_{LL-1} = -\eta \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial w_{LL-1}} \quad (\text{A.11})$$

де η - швидкість навчання алгоритму.

Для оцінки точності нейромережевої класифікації після навчання, використовується функція оцінювання помилки ε . Вона залежить від вагових коефіцієнтів і є функцією від них.

Найбільш поширеною функцією оцінювання помилки є квадратична функція помилок (від англ. Quadratic error function) [27, 38]:

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N_y} (y_L^{\text{ж.}} - y_L^{\text{ф.}})^2, \quad (\text{A.12})$$

де N_y - число нейронів вихідного шару;

$y_L^{\text{ж.}}$ - бажаний вихідний вектор нейронної мережі;

$y_L^{\text{ф.}}$ - одержуваний (фактичний) вихідний вектор нейронної мережі.

Для зменшення простору пошуку залежності (А.6), при обмеженому наборі вхідних даних, і оцінки якості навчання ШНМ, ставиться завдання мінімізації функції помилки (похибки). Тоді цільова функція має вигляд:

$$\varepsilon \rightarrow \min. \quad (\text{A.13})$$

Метод зворотного поширення помилки є ітеративним градієнтним алгоритмом, він являє собою модифікацію класичного методу градієнтного спуску, який використовується для мінімізації цільової функції (А.13).

При цьому методі, в процесі навчання, ваги нейронів нейронної мережі коригуються з урахуванням сигналів, що надійшли з попереднього шару, а також з урахуванням похибок при обробці шарів в зворотному напрямку починаючи з останнього шару (принцип зворотного поширення). Крім того, значення помилки можна мінімізувати за рахунок збільшення числа епох (ітерацій) навчання мережі. Головна вимога для застосування даного алгоритму - обрана активаційна функція повинна бути диференційована.

На рис. А.4 видно, що у вхідному шарі $l = 0$ міститься X_i кількість нейронів. В даному шарі відбувається лише передача сигналів, без будь-яких математичних операцій, від входу на наступний шар, тому його позначення відрізняється від інших шарів. Перший прихований шар $l = 1$, кожен наступний позначається $l = 2 \dots L-1$. У прихованих шарах кількість нейронів дорівнює P_1, \dots, P_{L-1} . Останній шар L є вихідним, кількість нейронів в ньому дорівнює P_L .

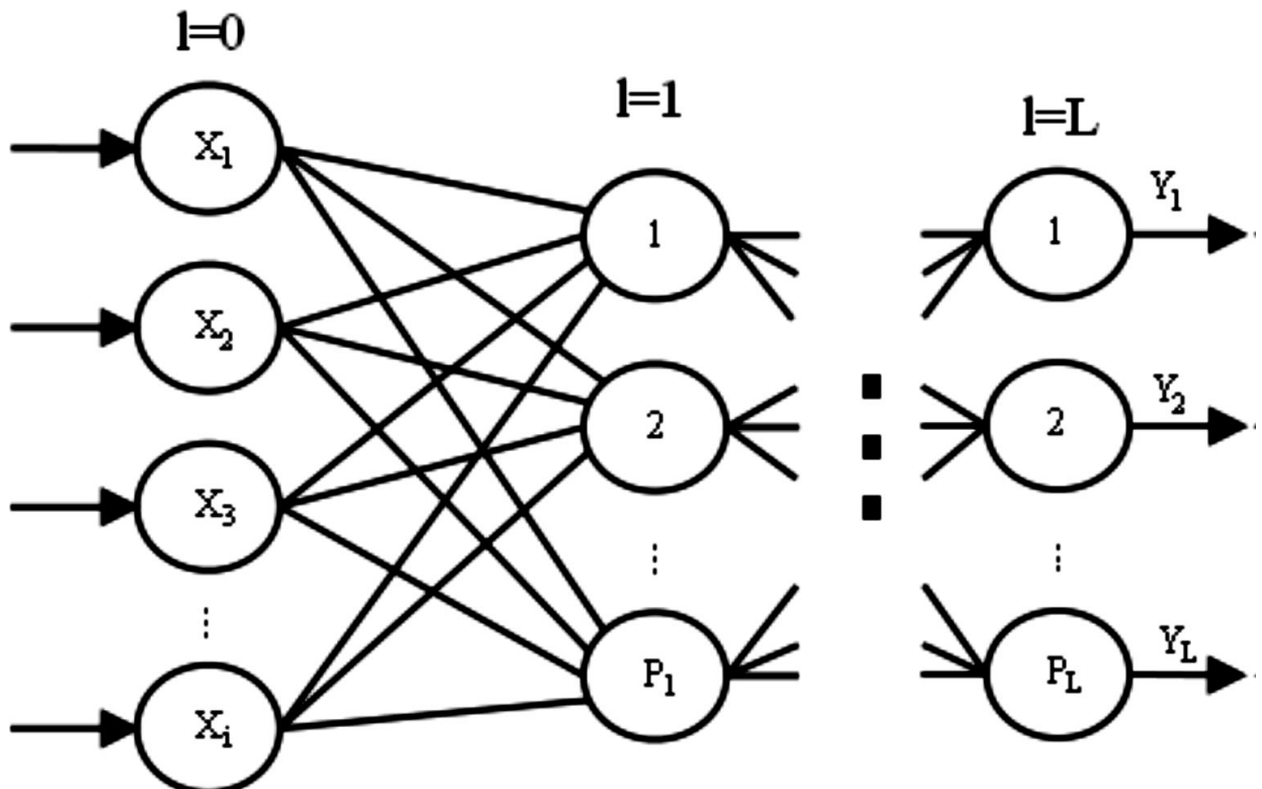


Рисунок А.4 – Схема багатошарового перцептрона

Для переходу в циклі між шарами ($l = 0, 1, 2, \dots, L-1, L$) і нейронами в шарах введемо додаткові позначення:

- q - порядковий номер нейрона $l-1$ шару;
- q' - порядковий номер нейрона l шару;
- q'' - порядковий номер нейрона $l+1$ шару;
- Q - останній нейрон $l-1$ шару;
- Q' - останній нейрон l шару;
- Q'' - останній нейрон $l+1$ шару.

Алгоритм навчання ШНМ методом зворотного поширення помилки представлений на рис. А.5 і складається з наступних кроків:

- Крок 1. Вхідні сигнали надходять в нормованому вигляді (див. рис. А.3), а відповідні їм ваги спочатку задаються генератором випадкових чисел з вузького діапазону, наприклад $[-1; 1]$.

- Крок 2. Подання вхідного і вихідного образу з навчальної вибірки. Нехай h - номер прикладу в навчальній вибірці, $h = 1, 2, 3, \dots, H$. Тоді, поточний вхідний образ - $X_h = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_i\}_h$, а поточний вихідний - $M_h = \{m_1, m_2, m_3, \dots, m_u\}_h$.

- Крок 3. Прохід в прямому напрямку від шару $l = 1$ до $l = L$. При цьому значення виходів нейронів кожного шару розраховується як:

$$y_{q'}^{(l)} = f_{\sigma} \left(\sum_{q=0}^Q w_{q'q}^{(l)} y_q^{(l-1)} \right), \quad (\text{A.14})$$

де σ - сигмоїдальна активаційна функція.

- Крок 4. Прохід в зворотному напрямку від шару $l = L$ до $l = 1$. При цьому відбувається коригування ваг за формулами узагальненого дельта-правила (від англ. Generalized delta rule). Крім того, введення додаткового моменту μ дозволило підвищити ефективність навчання алгоритму:

$$w_{q'q}^{(l)}(t+1) = w_{q'q}^{(l)}(t) + \Delta w_{q'q}^{(l)}, \quad (\text{A.15})$$

де

$$\Delta w_{q'q}^{(l)} = \eta \delta_{q'}^{(l)} y_q^{(l-1)} + \mu \Delta w_{q'q}^{(l-1)}, \quad (\text{A.16})$$

де, для прихованих шарів:

$$\delta_{q'}^{(l)} = y_{q'}^{(l)} (1 - y_{q'}^{(l)}) \sum_{q''=1}^{Q''} \delta_{q''}^{(l+1)} w_{q''q'}^{(l+1)} \quad (\text{A.17})$$

для вихідного шару:

$$\delta_{q'}^{(L)} = y_{q'}^{(L)} (1 - y_{q'}^{(L)}) (d_{q'} - y_{q'}^{(L)}). \quad (\text{A.18})$$

- Крок 5. Цикл h закривається. Обчислення помилки по формулі (А.12).

- Крок 6. Якщо величина помилки ε зменшується при кожній новій ітерації нарощування числа нейронів або кількість епох навчання ще не підійшла до кінця, то виконуємо кроки 2-5 необхідну кількість разів для коригування ваг обернено пропорційно величині помилки.

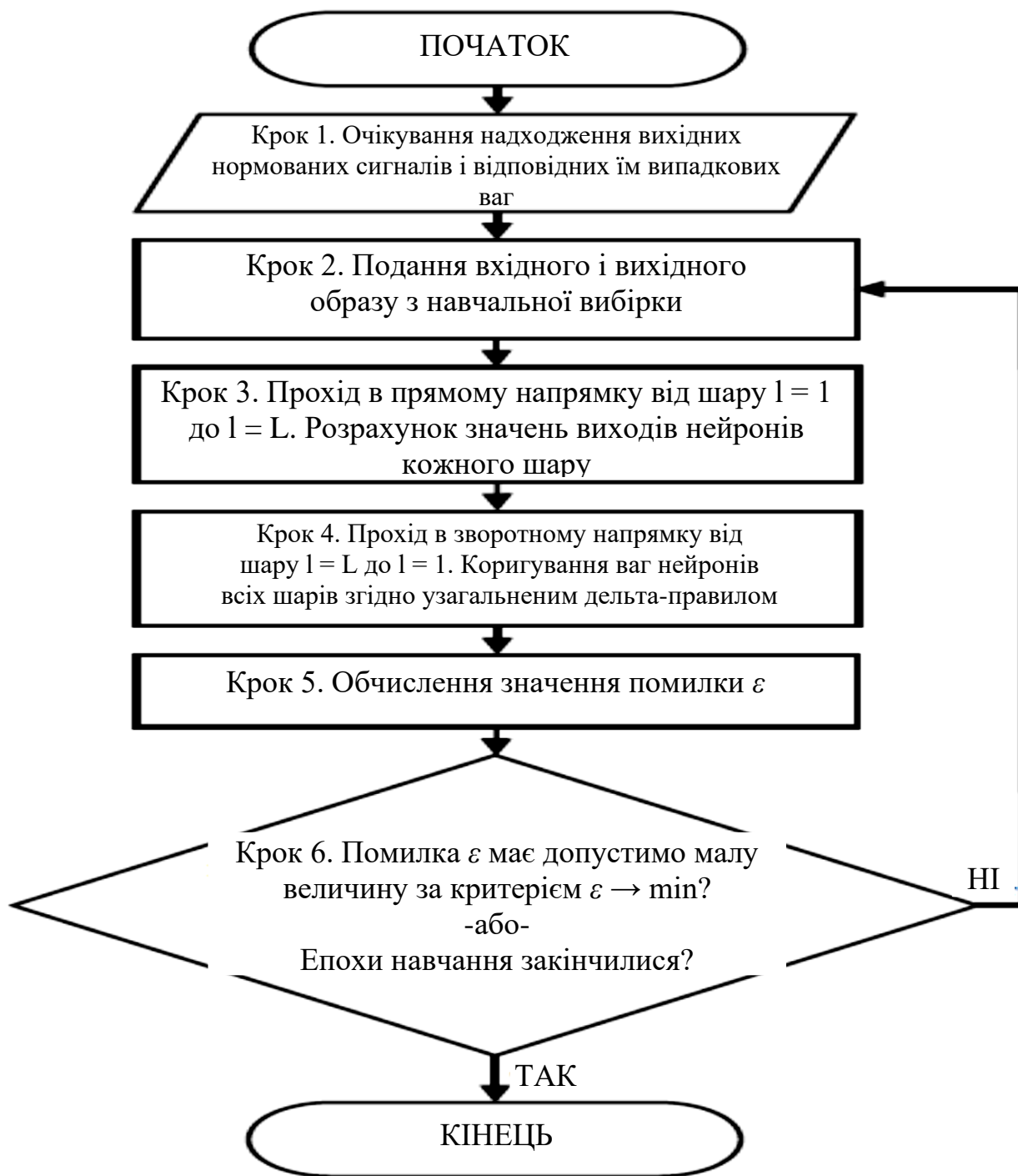


Рисунок А.5 – Блок-схема алгоритму навчання ШНМ методом зворотного поширення помилки

Припинення роботи алгоритму відбувається в разі, якщо величина помилки буде відхилитися від бажаного на допустимо малу величину, або якщо кількість епох навчання підійде кінця.

А.6. Розробка методики розподілу агрегатів автомобілів по КРР з урахуванням поєднань дефектів

Методика нейромережевої класифікації агрегатів при централізованому ремонті за технічним станом (ЦРТС) була розділена на два етапи:

- На першому етапі відбувається розпізнавання дефектів агрегатів в залежності від поєднань контрольованих параметрів, відхилення яких від допустимих значень вказують на наявність того чи іншого дефекту.

- На другому етапі агрегати, за результатами виявлених сполучень дефектів, розподіляються по комплексам ремонтних робіт.

Методика розподілу агрегатів по комплексам ремонтних робіт в залежності від виявлених дефектів при ЦРТС приведена у вигляді блок-схем (рис. А.6 і А.7).

А.6.1. Алгоритм застосування ШНМ для розпізнавання сполучень дефектів агрегатів ремонтного фонду

Для розпізнавання сполучень дефектів агрегатів ремонтного фонду з використанням штучної нейронної мережі при ЦРТС, був сформований алгоритм, блок-схема якого представлена на рис. А.6:

- Крок 1. База даних (БД) поєднань контрольованих параметрів (DB1) складається на основі отриманих експериментальних даних. При цьому БД слід розбити на дві частини, виходячи з обраного процентного співвідношення: на навчальну вибірку (на її основі відбувається навчання мережі, тому даний набір має найбільшу кількість прикладів з БД) і тестову вибірку (на її основі відбувається оцінка точності розпізнавання дефектів агрегатів).

- Крок 2. Нормування відбувається згідно з графіком на рис. А.2, а також на основі алгоритму, представленого на рис. А.3.

- Крок 3. Спочатку кількість нейронів в прихованому шарі $= 2$, для визначення оптимальної кількості будемо використовувати метод поступового нарощування їх числа, поки не буде досягнуто оптимального значення, при якому тестовий набір даних буде успішно розпізнано. Для визначення верхнього граничного значення кількості нейронів в прихованому шарі використовуємо формулу (A.10).

- Крок 4. Якщо число нейронів в прихованому шарі не досягло свого встановленого граничного значення R , то відбувається перехід на наступний крок. В іншому випадку, малоймовірно, що подальше збільшення числа нейронів підвищить якість навчання ШНМ, тому необхідно повернутися на крок 1 і переформувати початкову базу даних поєднань параметрів (DB1).

- Крок 5. Навчання ШНМ відбувається методом зворотного поширення помилки згідно блок-схемі алгоритму на рис. A.5. Кількість нейронів вхідного шару береться рівною кількості параметрів, що вказують на наявність дефектів в певних вузлах агрегатів. Число нейронів вихідного шару дорівнює кількості можливих дефектів розглянутого вузла агрегату.

Всі вихідні сигнали останнього шару мережі мають значення переводити в логічний тип даних, який приймає значення: 0 - відсутність дефекту, 1 - наявність дефекту. Поєднання вихідних сигналів $Y_1 \dots Y_L$ буде підставою для твердження про наявність того чи іншого дефекту.

- Крок 6. Оцінюється придбана, в процесі навчання, властивість нейронної мережі виявляти раніше невідомі їй дефекти (з тестової вибірки, які не брали участі в процесі навчання), що формуються в результаті різних сполучень параметрів згідно структурно-слідчої моделі взаємозв'язку параметрів агрегату.

- Крок 7. Якщо тестова вибірка розпізнає повністю, то можна зробити висновок, що ШНМ придбала здатність до узагальнення. В такому випадку відбувається перехід на крок 9. В іншому випадку, ШНМ або не придбала здатність до узагальнення, або величина помилки поки що ще висока, в такому випадку відбувається перехід на крок 8.

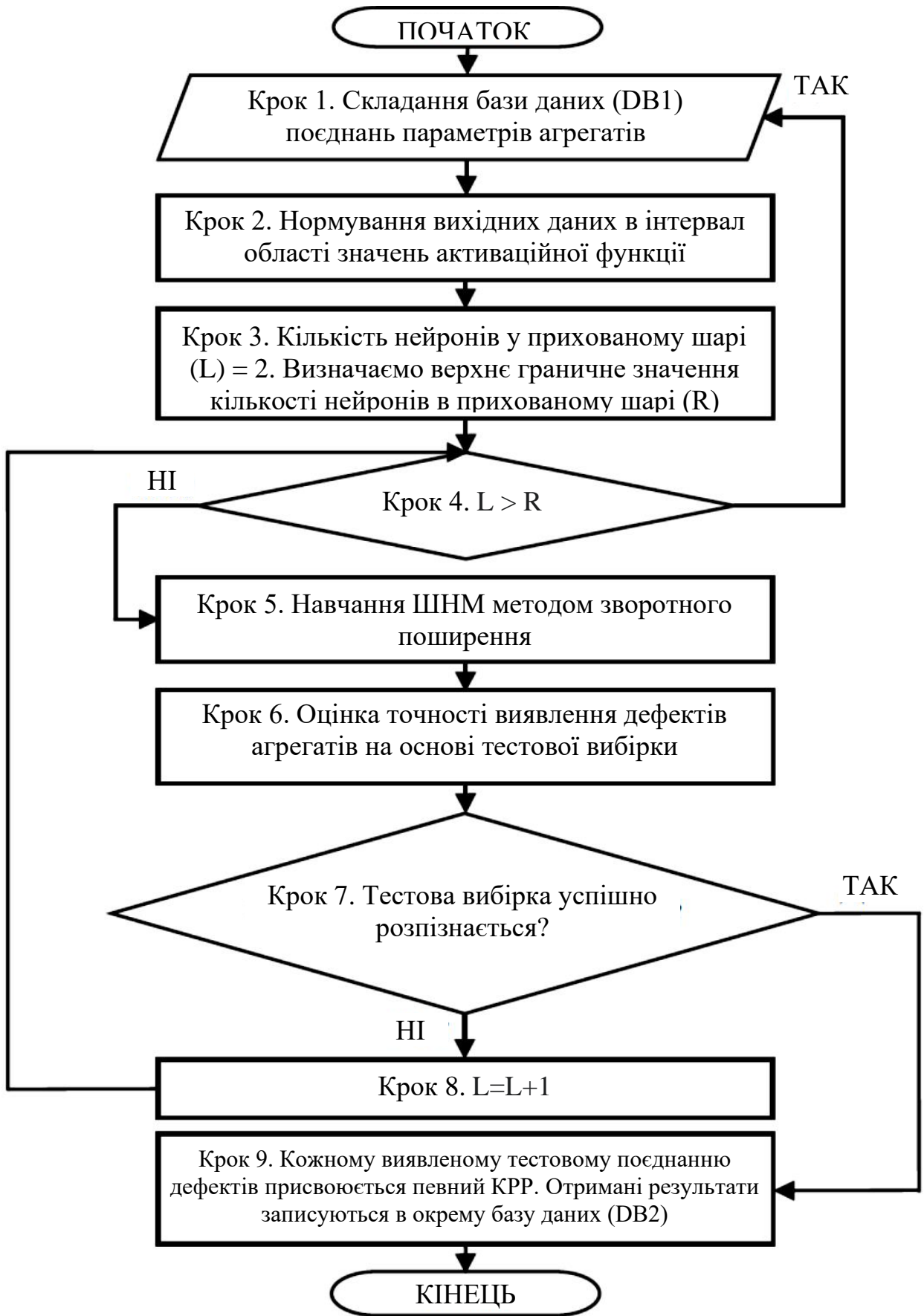


Рисунок А.6 – Блок-схема алгоритму застосування ШНМ для вирішення завдання розпізнавання дефектів агрегатів автомобілів

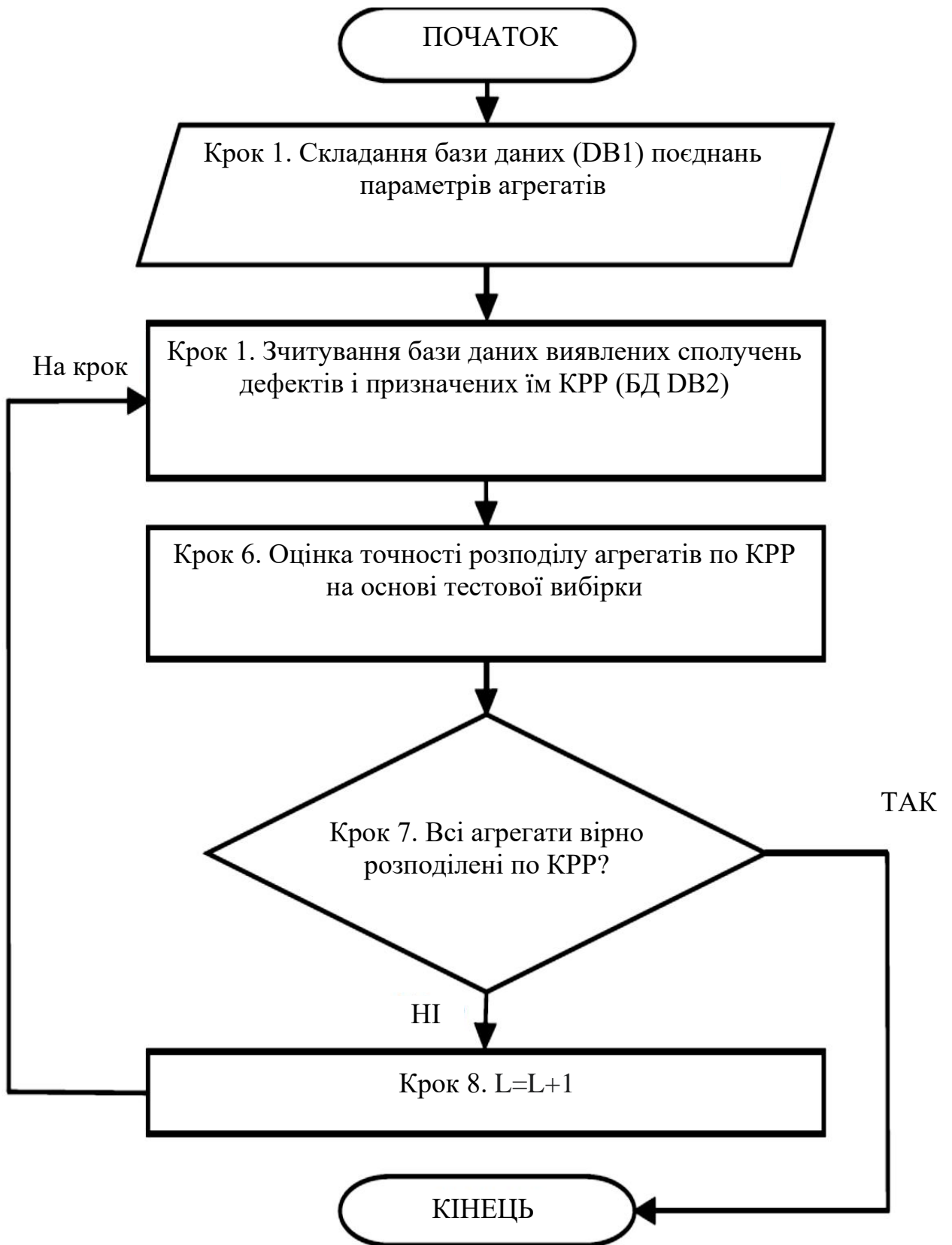


Рисунок А.7 – Блок-схема алгоритму застосування ШНМ для вирішення завдання розподілу агрегатів автомобілів за технологічними маршрутами ремонту

- Крок 8. Відбувається збільшення числа нейронів $L = L + 1$ і перехід до початку кроку 4.

- Крок 9. По завершенню роботи алгоритму на виході ми отримуємо тестові поєднання дефектів агрегатів. Кожному такому поєднанню присвоюється певний комплекс ремонтних робіт. Отримані результати записуються в окрему базу даних (DB2).

А.6.2. Алгоритм класифікації агрегатів по КРР з урахуванням виявлених сполучень дефектів

Для розподілу агрегатів ремонтного фонду по комплексам ремонтних робіт (КРР) при ЦРТС використовується сформована в результаті роботи попереднього алгоритму база даних (DB2), де перераховані всі виявлені поєднання дефектів вузлів агрегатів.

На рис. А.7 у вигляді блок-схеми представлений алгоритм побудови нейромережевого класифікатора для вирішення завдання оптимального розподілу агрегатів автомобілів за технологічними маршрутами ремонту в залежності від розпізнаних дефектів агрегатів. Варто відзначити, що кроки, де виконується нормування вхідних даних, визначення оптимальної кількості нейронів в прихованому шарі і процедура навчання методом зворотного поширення помилки аналогічні відповідним крокам алгоритму на рис. А.6.

Додаток Б (обов'язковий).

**РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ
МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ШНМ В ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ**

ДОДАТОК Б. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ШНМ В ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ

Б.1. Завдання і структура процесу оптимізації числа і складу контрольньо-діагностичних параметрів

Склад параметрів, що складають модель підсистеми передремонтного діагностування при ЦРТС агрегатів автомобілів (А.1), має різну природу. І, якщо визначення значень параметрів економічної складової (витрат) не викликає особливих труднощів, то для оцінки параметрів, що характеризують достовірність і однозначність розпізнавання дефектів ремонтованих агрегатів, необхідно проведення експериментальних досліджень. При цьому необхідно врахувати, що всі параметри моделі (А.1) будуть в подальшому використані для навчання математичної моделі штучної нейронної мережі, що накладає певні вимоги до інформативності заміряючих діагностичних параметрів агрегатів.

В даній роботі для формування раціональної сукупності контрольньо-діагностичних операцій (КДО) використані результати комплексних теоретико-експериментальних досліджень, виконаних з метою впровадження принципів організації і технології ЦРТС агрегатів автомобілів.

В якості прикладу об'єкта дослідження були обрані двигуни ЯМЗ-238, які надходять в ЦРТС, є штатним не тільки для багатьох вантажних автомобілів, але і для будівельної, дорожньої, сільськогосподарської техніки.

Конструктивна складність об'єкта дослідження обумовлює велике число контрольованих параметрів в процесі ремонту, а їх відмінності вказують на необхідність знаходження між ними взаємозв'язків.

Проведення експерименту в реальних виробничих умовах дозволяє оцінити можливість застосування існуючих методів і засобів діагностування об'єкта досліджень. Але для отримання статистично однорідних і достовірних даних потрібно провести розробку метрологічного та методичного забезпечення експериментальних досліджень.

Таким чином, для формування раціональної підсистеми передремонтного діагностування двигунів ЯМЗ-238, необхідне вирішення ряду завдань:

1. Виконати структурно-слідче моделювання взаємозв'язків для основних ресурсних груп двигунів ЯМЗ-238 (ЦПГ, КШМ, ГРМ).
2. Вибрати технологічну послідовність операцій розбирання об'єкта контролю та погодити її з розробленими структурно-слідчими моделями (ССМ).
3. Розробити методичне та метрологічне забезпечення експерименту.
4. Провести в реальних виробничих умовах експериментальні дослідження над об'єктом на етапі передремонтної діагностування по визначенню техніко-економічних показників КДО і збору даних для побудови моделей штучних нейронних мереж (ШНМ).
5. Провести обробку отриманих експериментальним шляхом даних з використанням методів математичної статистики.
6. Виконати аналіз отриманих результатів, сформувані апріорну сукупність контрольованих параметрів на етапі передремонтного діагностування і побудувати моделі ШНМ для реалізації основної мети і задач дослідження.

Б.2. Моделювання причинно-наслідкових зв'язків параметрів для основних ресурсних груп двигуна ЯМЗ-238

Для розробки методичного забезпечення експериментальних досліджень проводився аналіз нормативно-технічної та наукової літератури, а також конструкторської документації, в результаті чого був узагальнений досвід застосування методів і контрольо-діагностичних засобів складних технічних систем [24, 25, 26, 35, 38].

Для виявлення причинно-наслідкових зв'язків між конструктивними елементами двигуна ЯМЗ-238, які характеризують його фактичний технічний стан, використовувалися ССМ взаємозв'язків контрольованих параметрів. Застосовуючи метод декомпозиції до структури об'єкта дослідження,

виділяють причинно-наслідкові зв'язки між основними ресурсними групами об'єкта, їх дефектами і контрольованими параметрами (діагностичні, структурні і розмірні), що характеризують фактичний технічний стан об'єкта дослідження.

При розробці ССМ для основних ресурсних груп (ЦПГ, КШМ, ГРМ) двигунів ЯМЗ-238 використовувалася інформація про його конструкції і функціонування його окремих механізмів і підсистем. Для визначення номенклатури структурних і діагностичних параметрів використовувалися рекомендації ДСТУ 3649:2010 та ДСТУ 2389-94.

Отримані структурно-слідчі моделі основних ресурсних груп механізмів двигунів ЯМЗ-238 (ЦПГ, КШМ, ГРМ) представляють собою багаторівневі спрямовані графи (див. додатки). На першому рівні знаходяться основні дефекти відповідних вузлів, що викликають відхилення від номінальних значень конструктивних параметрів двигуна. Другий, третій і четвертий рівні займають відповідно розмірні, структурні і діагностичні параметри об'єкта контролю, які і є визначальними для його фактичного технічного стану.

Розроблені структурно-слідчі моделі для основних ресурсних груп двигунів ЯМЗ-238 дозволяють оцінити його технічний стан на етапах передремонтного діагностування та операційного контролю. Велика кількість включених в структурно-слідчі моделі параметрів дозволяє сформулювати сукупність контрольних-діагностичних параметрів, використовуваних при ЦРТС об'єкта контролю на етапі передремонтного діагностування.

Б.3. Розробка технологічної послідовності процесу розбирання двигуна ЯМЗ-238

Розробка технологічної послідовності робіт з розбирання та збирання проводилася, гуртуючись на аналізі існуючих схем разбирально-складальних операцій двигунів ЯМЗ-238, що застосовуються на різних авторемонтних підприємствах (АРП), при цьому з огляду на виявлені раніше особливості організації аналогічних технологічних процесів при ЦРТС.

При виборі номенклатури розбірних операцій бралися до уваги не тільки поставлені цілі і завдання експериментального дослідження, а й умова повного усунення можливих поєднань дефектів, які виникають в процесі експлуатації двигуна. При цьому, через відсутність необхідності в деталізації, розбірні операції можна сформулювати укрупнено.

При формуванні послідовності розбирання двигунів ЯМЗ-238 також враховували не формалізований характер даного процесу, оскільки при цьому не переслідуються мета оптимізації процесу розбирання з якогось-небудь критерією.

При цьому були враховані обмеження через об'єктивно існуючих відносин між окремо взятими операціями, а також потреби в певній ремонтній операції для забезпечення розробляючої схеми відповідності реальним виробничим умовам. Наприклад, операції i_1, \dots, i_6 належать множині всіх операцій по ремонту $R = \{i: 1 = 1, R\}$, мають загальну ознаку, яка виражається співвідношенням:

$$k_1 = \dots = k_i = \dots = k_6 = 1, \quad (\text{Б.1})$$

де k_i - коефіцієнт ремонту за i -ю ремонтною операцією.

Таким чином, окремі операції можна об'єднати в підмножину $R = \{i: 1 = 1, 6\}$, які виконуються в початковій стадії технологічного процесу розбирання двигуна.

Розроблена структурно-технологічна схема розбирання двигунів ЯМЗ-238, приведена в додатку і сприяла упорядкуванню процесу проведення експерименту, а також забезпечення повноти і статистичної однорідності отриманих експериментальних даних.

Б.4. Вибір засобів контролю та визначення технічного стану об'єкта дослідження

В даний час існує величезна безліч обладнання для встановлення технічного стану карбюраторних і дизельних двигунів вітчизняного і зарубіжного виробництва, основна маса яких призначена для планових або заявочних процесів діагностування (Д-1, Д-2, Д_{тр} і ін.), Які виконуються в умовах АТП без зняття двигуна з автомобіля.

Підсистема передремонтного діагностування є найбільш важливою частиною ЦРТС, тому застосування сучасного контрольно-діагностичного обладнання (комплекти контрольно-діагностичних засобів, переносні прилади та ін.), а також використання контрольно-випробувальних і обкатних стендів для ремонтваних агрегатів повинно бути пріоритетним напрямом при організації передремонтного діагностування агрегатів автомобілів при їх ЦРТС. Схема проведення робіт при передремонтному діагностуванні двигунів ЯМЗ-238 представлена в додатку.

Наприклад, для оцінки і швидкої реєстрації компресії дизельного двигуна ЯМЗ-238 використовується компресограф Zeca 363 (рис. Б.1). Крім виміру компресії, він призначений для оцінки ступеня зносу циліндрів, а також стану поршневих кілець і клапанів.



Рисунок Б.1 – Зовнішній вигляд компресографа Zeca 363

При передремонтному діагностуванні, за допомогою вакуум-аналізатора КИ-28165 (рис. Б.2) можна визначити технічний стан деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ) (наприклад, виявлення нещільності в з'єднаннях "кільце-циліндр", "клапан-сідло") без установки двигуна на стенд. КИ-28165 наконечником вставляється в отвір форсунки і, прокручуючи колінчастий вал, визначають максимальне розрідження в надпоршневому просторі циліндра.



Рисунок Б.2 – Вакуум-аналізатор КИ-28165

Для вимірювання сумарного зазору у верхній голівці шатуна і шатуному підшипнику використовувалося пристосування КИ-11140.

Для цього в кривошипно-шатунний механізм (КШМ) при положенні поршня у верхній мертвій точці (ВМТ) і при застопореному колінчастому валу, встановлюють пристрій в отвір форсунки перевіряемого циліндра і закріплюють. Після цього, до КИ-11140 приєднують компресорно-вакуумну установку (наприклад, КИ-13907), створюють тиск в надпоршневому просторі, до зіткнення з днищем поршня вводять шток і встановлюють індикатор на нульову позначку [4]. Далі повільно створюють розрідження в надпоршневому просторі і вимірюють величини зазорів по індикатору КИ-11140 при двох зупинках руху поршня.

За величиною виміряних зазорів судять про стан кожної кривошипно-шатунної групи і всього двигуна. При перевищенні допустимих значень зазорів хоча б в одному циліндрі необхідний ремонт двигуна [20].

Застосування пристрою КИ-9918 ГОСНИТИ дозволяє визначити величину зазору між коромислом і клапаном газорозподільного механізму (ГРМ) без необхідності установки поршня циліндра в ВМТ. Його принцип дії полягає у визначенні різниці траєкторій рухів бойка коромисла і стрижня клапана при прокручуванні колінчастого вала.

Використання приладу К-272 дозволяє діагностувати технічний стан ЦПП двигуна методом вимірювання витоку повітря, що вводиться через отвір форсунки в циліндр, при демонтованій голівці блоку циліндрів, що дозволяє виключити вплив на контрольовані параметри дефектів клапанів і головки блоку циліндрів.

Пристосування для безпосереднього вимірювання структурних параметрів двигуна становлять найбільший інтерес для використання в процесі діагностування, з позиції підвищення однозначності і достовірності при оцінці технічного стану окремо взятих сполучень двигуна, до числа яких можна віднести індикаторний пристрій для виміру осьового зміщення колінчастого вала. Використання в конструкції даних пристосувань-індикаторів годинникового типу моделей ИЧ-5, ИЧ-10, МИГ-1, МИГ-2 і ін., дозволяє досягти високої точності при вимірах.

Крім того, варто відзначити, що під час виконання робіт з розбирання двигуна, можна виконати безпосередньо виміри розмірних параметрів, які характеризують фактичний технічний стан окремо взятих деталей двигуна. Наприклад, знята головка блоку циліндрів дозволяє визначити стан гільз циліндрів двигуна у верхній мертвій точці при допомозі індикаторного нутроміра, що дозволяє вже на початку виконання розбірних робіт визначити потребу в заміні гільз циліндрів двигуна.

За результатами проведеного аналізу було складено перелік контрольно-діагностичних пристроїв, який представлений в додатку, для визначення

технічного стану об'єкта дослідження на етапах передремонтного діагностування (діагностичні параметри) і приремонтного діагностування (структурні і розмірні параметри).

Б.5. Методика вибору контрольно-вимірювальних засобів

Стандартні засоби вимірювання лінійних розмірів застосовуються при визначенні більшості розмірних параметрів на етапі приремонтного діагностування, а також для мікрометрування деталей розібраного двигуна.

Вибір найбільш підходящих контрольно-вимірювальних засобів (КВЗ) для забезпечення експериментального дослідження обумовлений їх різними метрологічними характеристиками і великим діапазоном.

Вибір КВЗ повинен здійснюватися з урахуванням конструкторської, технологічної та метрологічної документації по об'єкту дослідження.

Наприклад, необхідно підібрати КВП для вимірювання зовнішнього діаметра поршневого пальця, який становить $d = 50_{-0,008}$ мм, а допуск на розмір дорівнює $T_d = 8$ мкм, виходячи з технічних умов [15, 33].

Допустима похибка вимірювань визначається випадковою складовою за формулою Б.2, або по найближчому, для відповідного розміру, найменшим значенням допуску. При цьому випадкова похибка вимірювань не повинна перевищувати 0,6 від допустимої похибки вимірювань:

$$\Delta = 0,6\delta, \quad (\text{Б.2})$$

де δ - значення допустимої похибки вимірювань.

За таблицями, відповідно за номінальним розміром і допуском на розмір, визначається значення δ . У розглянутому прикладі квалітет слід вибирати по допуску на розмір рівному 8 мкм, в стовпчику відповідний розмірам від 30 до 80 мм. Для даного прикладу найбільше підійде 5-й квалітет з допуском на розмір рівним 7 мкм, яким відповідає $\delta = 3,0$ мкм і $\Delta = 0,6 \times 3,0 = 1,8$ мкм [24, 25].

У відповідній таблиці, виходячи з номінального розміру і отриманого значення Δ , вибирається тип приладу і засоби для його настройки. При виборі приладу, необхідно враховувати такі фактори:

- вимірювальні стрижні приладу повинні відповідати висоті і діаметру вимірюваного виробу;

- гранична похибка вимірювання приладу повинна бути менше або дорівнювати розрахованій допустимій похибці вимірювань Δ .

З урахуванням даних факторів, в розглянутому прикладі, підходять два прилади:

а) індикаторна стійка С-III з ціною поділки 0,001-0,01 мм, межами виміру по висоті 0 ... 100 мм, діаметром отвору під вимірювальну головку 8h8 мм і значенням граничної похибки вимірювання 1,5 мкм (використовуючи кінцеві міри 2-го класу);

б) важільний мікрометр типу МР, або МРІ, що має ціну поділки 0,001 і 0,002 мм, призначений для вимірювання лінійних зовнішніх розмірів, межами виміру 200 мм і значенням граничної похибки рівним 3 мкм (використовуючи кінцеві міри 1-го класу) [25].

Так як на підприємстві, що здійснює ремонт автомобільного транспорту, може бути відсутня індикаторна стійка підвищеної точності, то вибирається важільний мікрометр.

Відбувається підбір блоку кінцевих мір під інсталяційний розмір L_y і визначається $\Delta_{lim}^{бл}$ за формулою [22, 33]:

$$\Delta_{lim}^{бл} = \sqrt{\Delta_{lim}^1 + \dots + \Delta_{lim}^n}, \quad (Б.3)$$

де n - число плиток в блоці.

У розглянутому прикладі $L_y = 27,5$ мм, тому, за відповідною таблицею визначаємо, що блок кінцевих мір можна скласти з двох плиток: кінцевої міри 20 мм з похибкою для 2-го класу рівній $\pm 0,55$ мкм і кінцевої міри 7,5 мм з похибкою для 2-го класу рівній $\pm 0,35$ мкм [15, 16].

Таким чином, виходить:

$$\Delta_{\text{lim}}^{\text{бл}} = \pm\sqrt{0,55^2 + 0,35^2} = \pm 0,65 \text{ мкм.}$$

Визначається значення допустимого виходу за межі поля допуску C . Для 5-го квалітету:

$$C = 0,07 \times T_d = 0,07 \times 10 = 0,7 \text{ мкм.}$$

5. Проводиться перевірка співвідношення

$$C \geq \Delta_{\text{lim}}^{\text{бл}}.$$

В даному прикладі отримуємо $0,7\text{мкм} > 0,65\text{мкм}$, тому необхідність в підвищенні класу точності кінцевих мір відсутня.

Б.6. Визначення мінімальної кількості вимірювань

На етапі планування експериментальних досліджень виникає необхідність в апріорному визначенні мінімального обсягу вибірки для всіх вимірюваних параметрів, щоб отримати достовірні результати і уникнувши великих витрат часу і праці [15]. При цьому апріорно приймалася гіпотеза про нормальний закон розподілу величин вимірюваних параметрів.

Кількість вимірювань визначалося за формулою (Б.4)

$$\delta = \frac{t_{\alpha}\sigma}{\sqrt{nM}}, \quad (\text{Б.4})$$

де t_{α} - критерій Стьюдента, відповідний заданій довірчій ймовірності α ;

σ - середньоквадратичне відхилення вимірюваної випадкової величини;

n - обсяг вибірки;

M - математичне очікування вимірюваної випадкової величини.

Величина граничної відносної похибки визначалася по формулі (Б.5)

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon^{\text{абс.}}}{|a|}. \quad (\text{Б.5})$$

де ε^{abc} - гранична абсолютна похибка вимірювання;

a - точне значення випадкової величини по модулю.

Довірча ймовірність α приймалася рівною $\alpha = 0,9$, згідно рекомендаціям для досліджень подібного роду [16, 21].

Результати визначення мінімальної кількості вимірів кожного параметра, який бере участь в експерименті, наведені в додатку.

Б.7. Формування сукупності контрольних-діагностичних параметрів, що характеризують технічний стан двигунів ремонтного фонду

Формування вихідної сукупності параметрів, які характеризують фактичний технічний стан двигунів, що надійшли в ремонт на етапі передремонтного діагностування, є основною метою експерименту. Тому в процесі експериментальних досліджень виконано наступне: були зібрані вихідні дані, щоб визначити стохастичні зв'язки між контрольними-діагностичними параметрами, які характеризують технічний стан двигунів, що знаходяться в ремонті; були зібрані вихідні дані, щоб виконати розрахунки ймовірностей появи помилок 1-го («помилковий дефект») і 2-го («пропуск дефекту») роду в процесі визначення фактичного стану основних ресурсних груп (ЦПГ, КШМ, ГРМ) двигуна при його розбиранні.

Отримані експериментальним шляхом значення контрольних-діагностичних параметрів, які характеризують технічний стан вузлів двигунів ЯМЗ-238, піддавалися математико-статистичному аналізу, а далі використовувалися відповідно до мети і поставлених завдань дослідження.

Двигуни ЯМЗ-238, що беруть участь в експерименті, після повного діагностування та мийки, прямували в разбирально-складальний цех, де встановлювалися на стенди типу ЦКБ 2473 і піддавалися розбиранню щоб забезпечити подальше мікрометрування деталей відповідно до вимог ГОСТ 8.061-80 і з урахуванням завдань дослідження.

Згідно з розробленою структурно-технологічною схемою розбирання (див. додаток) двигуна ЯМЗ-238, при виконанні окремо взятих операцій з

розбирання, проводилося оцінювання технічного стану елементів. Значення параметрів, що контролюються заносилися в діагностичні карти, які і служили базою для визначення фактичного технічного стану двигуна.

При відсутності можливості вимірювання певних структурних параметрів, їх значення визначалися або розрахунковим шляхом (грунтуючись на розмірах деталей даного сполучення), або побічно (грунтуючись на пов'язаних з ними інших структурних параметрів).

Для підвищення статистичної однорідності отриманих експериментальним шляхом даних і максимального виключення суб'єктивного фактора при оцінці результатів вимірювань, структурні і розмірні параметри (як і на етапі передремонтного діагностування) оцінювалися кожен по три рази різними операторами-діагностами. При цьому контрольно-діагностичне обладнання, що бере участь в експерименті, в обов'язковому порядку піддавалося повірці і проходило метрологічну експертизу в лабораторії метрології та стандартизації. Дані заходи практично повністю дозволили виключити систематичні похибки вимірювань параметрів.

Б.8. Методика математичної обробки емпіричних даних для побудови моделей ШНМ

Розробка методики математичної обробки отриманих експериментальним шляхом даних обґрунтована необхідністю виключення порушень однорідності вибірки, відбору найбільш інформативних контрольованих параметрів об'єкта дослідження та ін., тому що отримані емпіричні дані в подальшому використовувалися для навчання моделей математичного апарату ШНМ і оцінці їх точності при вирішенні задач розпізнавання дефектів агрегатів автомобілів на етапі передремонтного діагностування та їх розподіл за технологічними маршрутами ремонту.

Схема даної методики представлена на рис. Б.3.



Рисунок Б.3 – Схема методики математичної обробки емпіричних даних для побудови моделей ШНМ

Б.9. Попередня обробка отриманих результатів вимірювань

Всього в експерименті брало участь 42 двигуна ЯМЗ-238 з яких, на етапі передремонтної діагностики, знімалися показники, що характеризують їх технічний стан. Так як отримані результати використовувалися в якості тестового набору даних для перевірки адекватності побудованої моделі ШНМ і точності навчання, то до них висувалися підвищені вимоги в плані достовірності отриманих результатів вимірювань.

Щоб забезпечити необхідний рівень достовірності, необхідно виключити грубі помилки (засмічення даних), при яких відбувається порушення однорідності вибірки, отриманих в результаті вимірювань об'єктів досліджень.

Для цієї мети обраний критерій Тітьєна-Мура (E_k - критерій), який є узагальненим наслідком з критерію Граббса, щоб виключити наявність двох і більш рідкісних прилеглих викидів даних.

Для максимальних значень вибірки критерій має наступний вигляд:

$$E_k^{\max} = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} \left(x_i - \overline{x_k^{\max}} \right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (\text{Б.6})$$

де середнє арифметичне з спостережень $n-k$, після відсіювання k -максимальних значень:

$$\overline{x_k^{\max}} = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} x_i}{n-k}$$

\bar{x} - середнє арифметичне значення всієї вибірки.

Для видалення викидів з мінімальних значень, вибір критерію приймає наступний вигляд:

$$E_k^{\min} = \frac{\sum_{i=k+1}^n (x_i - \overline{x_k^{\min}})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (\text{Б.7})$$

де середнє арифметичне з спостережень $n-k$, після відсіювання k -мінімальних значень:

$$\overline{x_k^{\min}} = \frac{\sum_{i=k+1}^n x_i}{n-k}$$

\bar{x} - середнє арифметичне значення всієї вибірки.

Обчислені значення E_k^{\max} і E_k^{\min} , при обраному рівні значущості (для забезпечення високої точності тестуючої вибірки, рівень значущості приймався рівним 0,01) порівнюються з таблицею критичних значень Граббса. За результатами порівнянь, приймалося рішення про виключення спостережень з вибірки.

Б.10. Апроксимація розподілу емпіричних даних

Отримані емпіричні дані, як правило, піддаються апроксимації для попереднього підбору теоретичного розподілу (нормальний, логнормальний, експоненціальний, Вейбулла і ін.). На даному етапі висувалася гіпотеза про теоретичний розподіл даних по нормальному закону.

Для апроксимації емпіричних даних з використанням програми STATISTICA 6 на ЕОМ ІВМ РС їх діапазон розбивався на оптимальне число інтервалів за правилом Стерджесса:

$$d \cong 1 + 3,322 \ln N, \quad (\text{Б.8})$$

де d - отримуване число інтервалів;

N - загальний обсяг вибірки.

Наступним кроком була перевірка гіпотези про належність емпіричних даних нормальному закону розподілу, використовуючи критерій згоди Пірсона (критерій χ^2). Число ступенів свободи для нормального закону розподілу при цьому визначається як:

$$k = d - 3. \quad (\text{Б.9})$$

Виходячи з отриманих розрахунковим шляхом значень χ^2 і порівняння їх з табличними значеннями при 5%-му рівні значущості, зроблено висновок про нормальний закон розподілу для всіх оцінюваних параметрів.

Б.11. Побудова регресійних моделей контрольованих параметрів

Отриманий простір, при побудові структурно-слідчих моделей основних ресурсних груп об'єкта дослідження, виявлених контрольованих параметрів має значну неоднорідність з точки зору вимог, що пред'являються до достовірності і однозначності визначення з їх допомогою технічного стану об'єкта контролю. Таким чином, для формування раціональної сукупності контрольовано-діагностичних параметрів, була вирішена задача скорочення отриманого простору, елімінувати неістотні контрольовані параметри шляхом оцінювання ступеня кореляційних зв'язків між ними за отриманими емпіричним даним, використовуючи апарат регресійної-кореляційного аналізу [10, 14].

Побудова регресійних залежностей і оцінювання тісноти зв'язків між контрольованими параметрами двигунів ЯМЗ-238 була найбільш важливим етапом математико-статистичної обробки.

Проведений аналіз причинно-наслідкових зв'язків між контрольованими параметрами, враховуючи фізичну природу їх взаємодії, дозволив запропонувати між ними залежності лінійного виду:

$$Z(k) = a_0(k) + \sum_{i=1}^n a_i(k) \cdot Y_i(k) \quad (\text{Б.10})$$

де k - лінійна множинна регресія контрольованого на етапі передремонтного діагностування параметра Z (діагностичний параметр) від n -го числа структурних параметрів Y , де $k = \overline{1, K}$;

a_i - регресійний коефіцієнт;

a_0 - вільний член регресійного рівняння.

Перевірка адекватності отриманих множинних регресійних моделей (Б.10) здійснювалася шляхом порівняння обчислених значень F-критерію Фішера з табличними при рівні значущості $\alpha = 1\%$.

Значимість регресійного коефіцієнта a_i перевірялася по t-критерію Стьюдента шляхом порівняння отриманих емпіричних значень з табличними при рівні значущості $\alpha = 1\%$.

Надалі з отриманих регресійних залежностей здійснювалося виключення незначущих факторів, у яких t-критерій Стьюдента регресійного коефіцієнта становив менше табличного при обраному рівні значущості. Потім проводився перерахунок даних регресійних залежностей з урахуванням виключених факторів.

В результаті, після множинних прорахованих на ПК емпіричних залежностей контрольованих параметрів і подальшого елімінування незначущих факторів, було виявлено 19 регресійних залежностей діагностичних параметрів від структурних, значимість яких підтверджується відповідними високими значеннями коефіцієнтів детермінації $\overline{R^2}$ і результатами оцінок за F-критерієм Фішера з 1%-м рівнем значущості. Отримані регресійні моделі представлені в додатку.

Б.12. Критерій розподілу агрегатів по КРР при ЦРТС

В даний час розподіл за комплексом технологічних процесів відбувається за наступним принципом: кожен агрегат, після передремонтного діагностування, супроводжується діагностичною картою, де оператор-діагност відзначає виявлені дефекти. Далі діагностична карта порівнюється з технологі-

чною картою кожного комплексу ремонтних робіт для вибору підходящого ремонтного маршруту.

При цьому підході людський фактор є головною причиною появи помилок 1-го (помилковий дефект) і 2-го роду (пропуск дефекту).

Головна умова вирішення поставленого завдання - кількість комплексів ремонтних робіт повинна охоплювати всі можливі дефекти основних вузлів двигуна.

При підході з точки зору нейромережевої класифікації, де на точність розпізнавання дефектів агрегатів і розподіл їх по КРР меншою мірою впливає людський фактор, а в основному впливають обрана структура і алгоритми побудови і навчання ШНМ, можна домогтися зниження внутрішньо-виробничих втрат через що виникають на етапі передремонтного діагностування помилок і при подальшому розподілі агрегатів за технологічними маршрутами ремонту. В якості вихідної сукупності технологічних маршрутів для навчання ШНМ приймаємо число і склад КРР, розроблених к.т.н. В.В. Попцовим і к.т.н. В.Н. Красовським [5, 8].

Однак не виключені ситуації, коли ШНМ на виході будуть видавати приналежність агрегату до кількох КРР. В такому випадку, треба провести додатковий аналіз результатів, який полягатиме в поданні вихідних даних у вигляді значень з плаваючою комою, замість бінарного типу, і порівняти з розробленим критерієм (Б.11)

$$(Y' - Y'') \times 100\% \geq 40\%, \quad (\text{Б.11})$$

де Y' - найбільше значення виходу ШНМ, до відповідного КРР якого був віднесений агрегат;

Y'' - наступне за Y' в сторону зменшення значення виходу ШНМ, до відповідного КРР якого був віднесений агрегат.

Якщо ж кількість технологічних маршрутів, до яких було визначено агрегат, більше 2-х, то виконується покрокова перевірка кожної пари значень за критерієм (Б.11) від більшого до меншого.

У разі невідповідності критерію певної пари, необхідно перевірити якість представлених даних для навчання за даною парою, переформувати бази даних і перенавчити ШНМ.

Б.13. Побудова моделей математичного апарату ШНМ на основі емпіричних даних

Важливим етапом експериментальних досліджень при використанні математичного апарату штучної нейронної мережі, є визначення обсягу навчальної вибірки для якісного навчання ШНМ. Недостатня кількість або протиріччя даних в навчальному наборі відіб'ється в великій кількості помилок при класифікації дефектів і розподілу агрегатів по КРР на етапі тестування.

На даний момент не існує узагальненого способу визначення необхідного числа прикладів для якісного навчання ШНМ, тому дана задача досі не має однозначного вирішення.

Виходячи з гіпотези, що для навчання адекватної моделі математичного апарату ШНМ достатня кількість навчальних прикладів P рівна добутку числа нейронів вхідного і вихідного шарів:

$$P = N_x \times N_y, \quad (\text{Б.12})$$

де N_x - число нейронів вхідного шару;

N_y - число нейронів вихідного шару.

На етапі експериментальних досліджень, побудова моделей штучних нейронних мереж здійснювалася в програмному забезпеченні Deductor Studio Academic 5.2. Вибір даного програмного продукту обумовлений тим, що він є одним з лідерів на вітчизняному ринку аналітичних платформ, який реалізує більшість сучасних підходів до аналізу та обробки даних.

Для побудови нейронної мережі використовувалися теоретичні розробки, представлені в 2-му розділі даної роботи.

Б.13.1. Рішення завдання розпізнавання сполучень дефектів агрегатів ремонтного фонду з використанням ШНМ

Рішення даного завдання буде виконуватися відповідно до розробленого алгоритму, блок-схема якого приведена на рис. 2.6, в рамках загальної методики дослідження.

Кожен контрольований параметр буде окремим нейроном у вхідному шарі ШНМ, а кожен можливий дефект певного вузла двигуна буде окремим нейроном у вихідному шарі ШНМ. Сукупність сигналів нейронів вихідного шару буде утворювати певне поєднання дефектів.

У додатках показано взаємозв'язки контрольованих параметрів основних вузлів двигунів ЯМЗ-238, які брали участь в експериментальних дослідженнях, і дефекти, що виявляються за їх допомогою. Для підвищення якості навчання і точності розпізнавання, дефекти, які розпізнаються були згруповані по загальним діагностичним ознаками (параметрам). Результати наведені в табл. Б.1. Розподіл прикладів між наборами даних для навчання і тестування ШНМ для основних ресурсних груп двигуна представлено на рис. Б.4.

Навчальні набори даних ($R_{ЦПГ}$, $R_{КШМ}$, $R_{ГРМ}$) формувалися шляхом випадкових комбінацій базових наборів навчальних прикладів (див. додаток), які були складені на основі ССМ взаємозв'язку контрольованих параметрів.

Тестові набори були сформовані на основі отриманих експериментальним шляхом (в реальних виробничих умовах на етапі передремонтного діагностування двигунів ЯМЗ-238) значень даних параметрів. Для розглянутих вузлів двигуна процентне значення тестового набору склало більше 50% від загального числа прикладів, що є більш ніж достатнім (розмір тестової вибірки зазвичай приймається рівним 10 ... 25% від загального числа прикладів) для перевірки адекватності побудованої моделі та якості навчання.

Таблиця Б.1 – Результати групування виявлених дефектів

Позначення	Найменування
1. Дефекти циліндро-поршневої групи (ЦПГ)	
S ₁	Дефект канавки поршня під компресійне кільце
S ₂	Дефект компресійного кільця
S ₃	Дефект юбки поршня
S ₄	Дефект гільзи циліндра
2. Дефекти кривошипно-шатунного механізму (КШМ)	
S ₅	Дефект шатунних шийок колінчастого вала
S ₆	Дефект корінних шийок колінчастого вала
S ₇	Дефект задньої корінної шийки
S ₈	Дефект верхньої головки шатуна
3. Дефекти газорозподільного механізму (ГРМ)	
S ₉	Дефект стержня клапана
S ₁₀	Дефект кулачків розподільного вала
S ₁₁	Дефект розподільних шестерень
S ₁₂	Дефект сидла клапана
S ₁₃	Дефект направляючих втулок стержня клапана
S ₁₄	Дефект опор розподільного вала

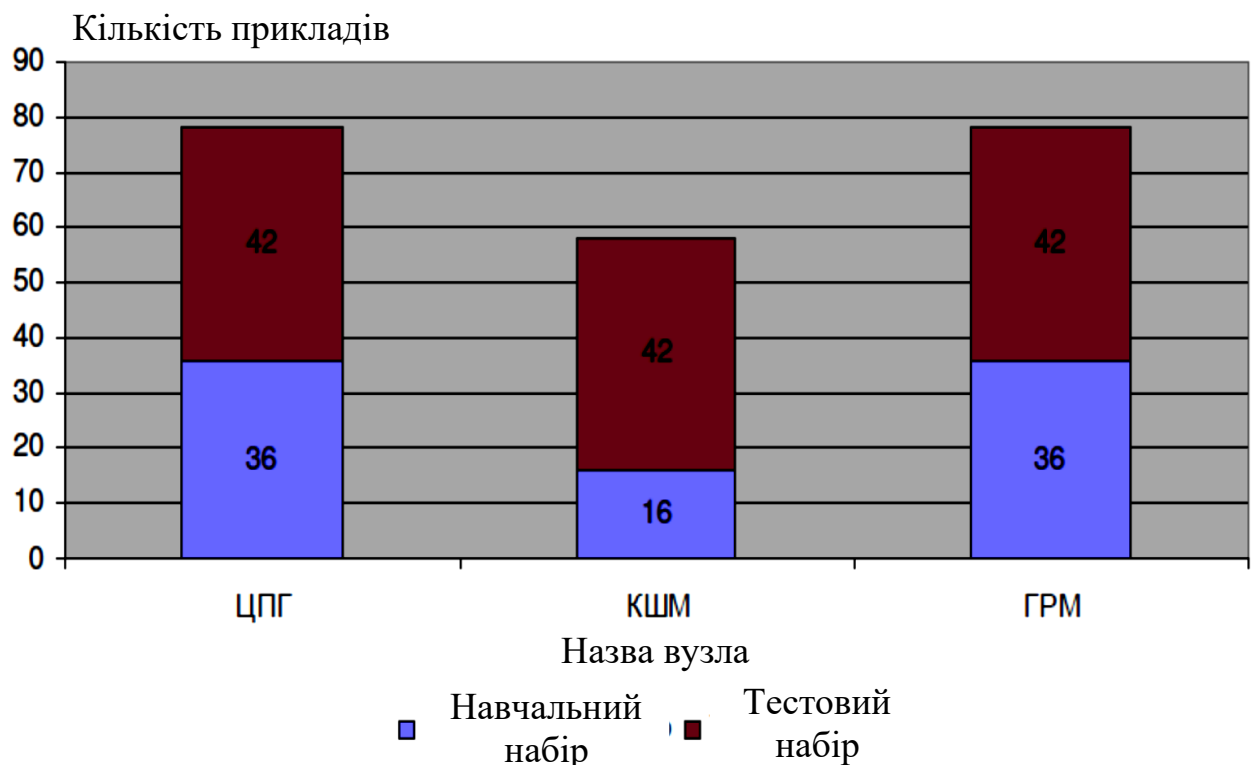


Рисунок Б.4 – Розподіл прикладів між навчальним і тестовим наборами

Отримані результати роботи алгоритму розпізнавання сполучень дефектів для кожного вузла двигуна ЯМЗ-238 методом ітераційного нарощування числа нейронів в прихованому шарі наведені в табл. Б.2, Б.3 і Б.4, де L - число нейронів в прихованому шарі, а також представлені у вигляді графіків на рис. Б.5, Б.6, Б.7, Б.8, Б.9 і Б.10.

Таблиця Б.2 – Значення помилок при розпізнаванні поєднань дефектів ЦПГ в залежності від кількості нейронів в прихованому шарі

L	Розпізнаних навчальних прикладів, %	Значення максимальної помилки при навчанні	Розпізнаних тестових прикладів, %	Значення максимальної помилки при тестуванні
2	82	0,016	0	0,178
3	95	0,006	24	0,069
4	100	0,000	50	0,054
5	100	0,000	82	0,033
6	100	0,000	100	0,022
7	100	0,000	100	0,006
8	100	0,000	100	0,015
9	100	0,000	100	0,018
10	100	0,000	100	0,020

Таблиця Б.3 – Значення помилок при розпізнаванні поєднань дефектів КШМ в залежності від кількості нейронів в прихованому шарі

L	Розпізнаних навчальних прикладів, %	Значення максимальної помилки при навчанні	Розпізнаних тестових прикладів, %	Значення максимальної помилки при тестуванні
2	86	0,012	32	0,048
3	100	0,000	75	0,029
4	100	0,000	100	0,016
5	100	0,000	100	0,004
6	100	0,000	100	0,006
7	100	0,000	100	0,010
8	100	0,000	100	0,014

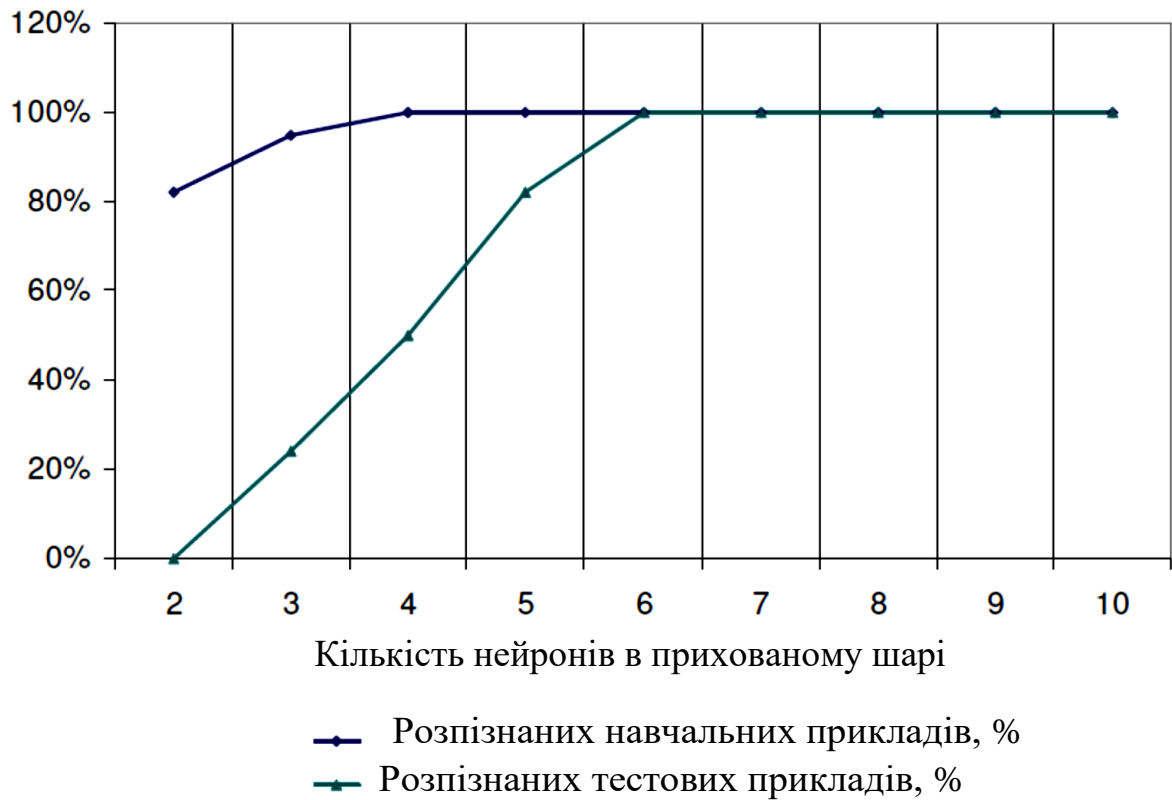


Рисунок Б.5 – Графік збіжності розпізнаних дефектів ЦПГ при навчанні і тестуванні ШНМ

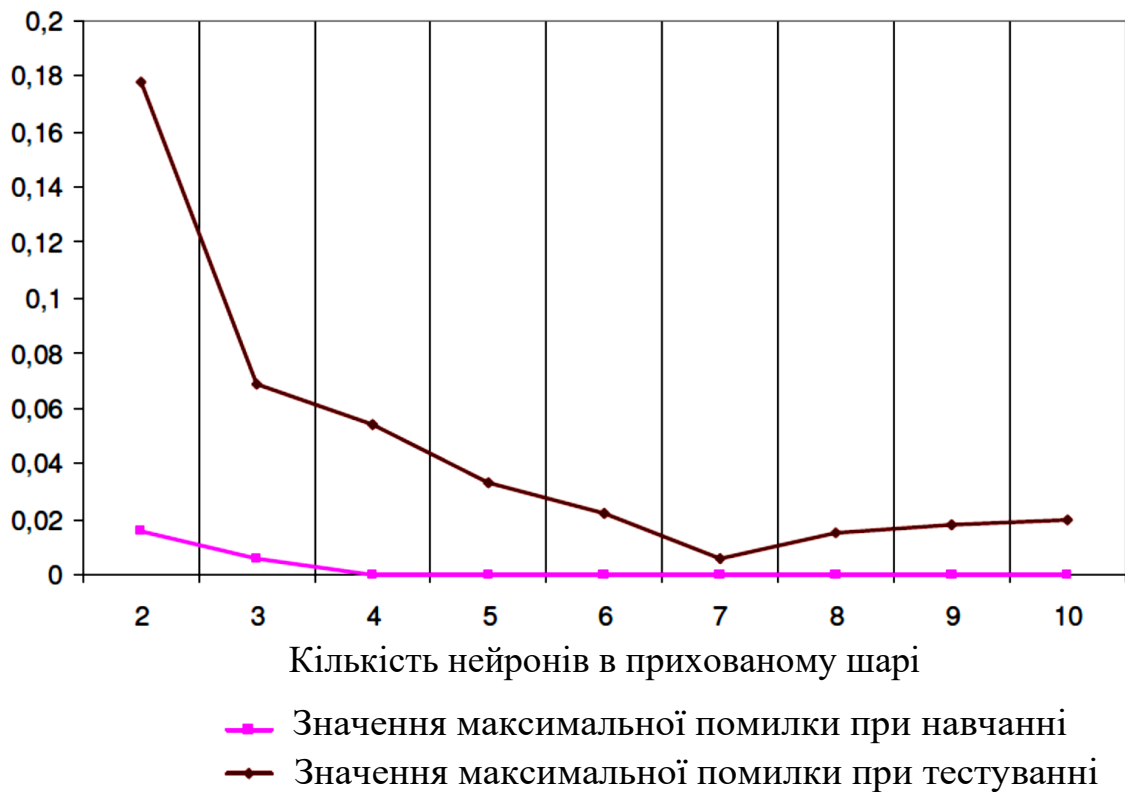


Рисунок Б.6 – Графік збіжності значень максимальної помилки розпізнавання дефектів ЦПГ при навчанні і тестуванні ШНМ

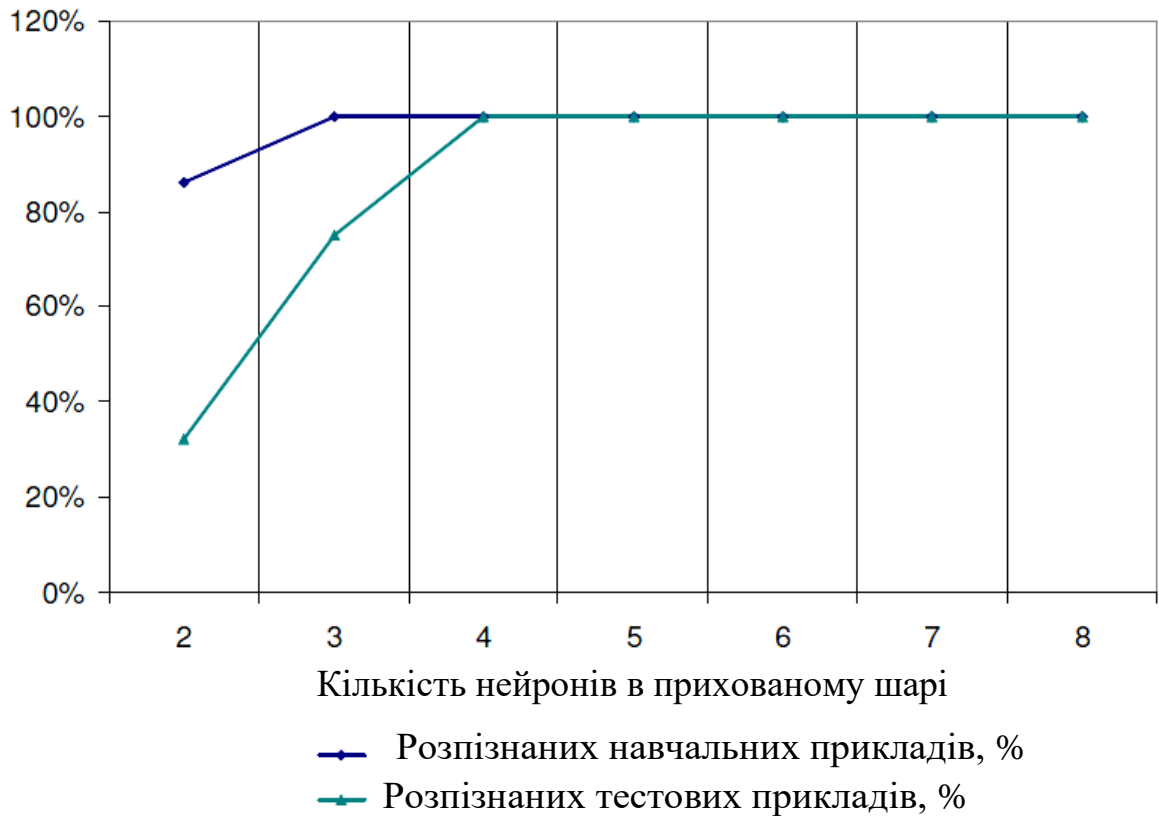


Рисунок Б.7 – Графік збіжності розпізнаних дефектів КШМ при навчанні і тестуванні ШНМ

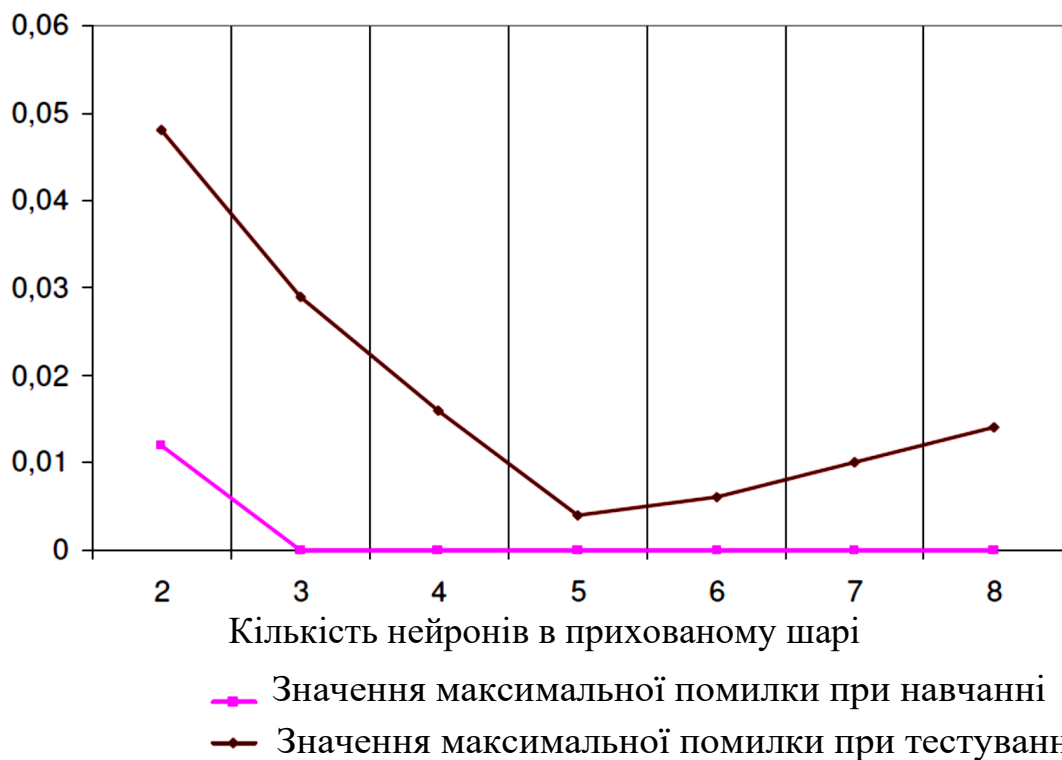


Рисунок Б.8 – Графік збіжності значень максимальної помилки розпізнавання дефектів КШМ при навчанні і тестуванні ШНМ

Таблиця Б.4 – Значення помилок при розпізнаванні поєднань дефектів ГРМ в залежності від кількості нейронів в прихованому шарі

L	Розпізнаних навчальних прикладів, %	Значення максимальної помилки при навчанні	Розпізнаних тестових прикладів, %	Значення максимальної помилки при тестуванні
2	84	0,022	0	0,179
3	100	0	28	0,082
4	100	0	56	0,045
5	100	0	94	0,031
6	100	0	100	0,018
7	100	0	100	0,008
8	100	0	100	0,014
9	100	0	100	0,016
10	100	0	100	0,021

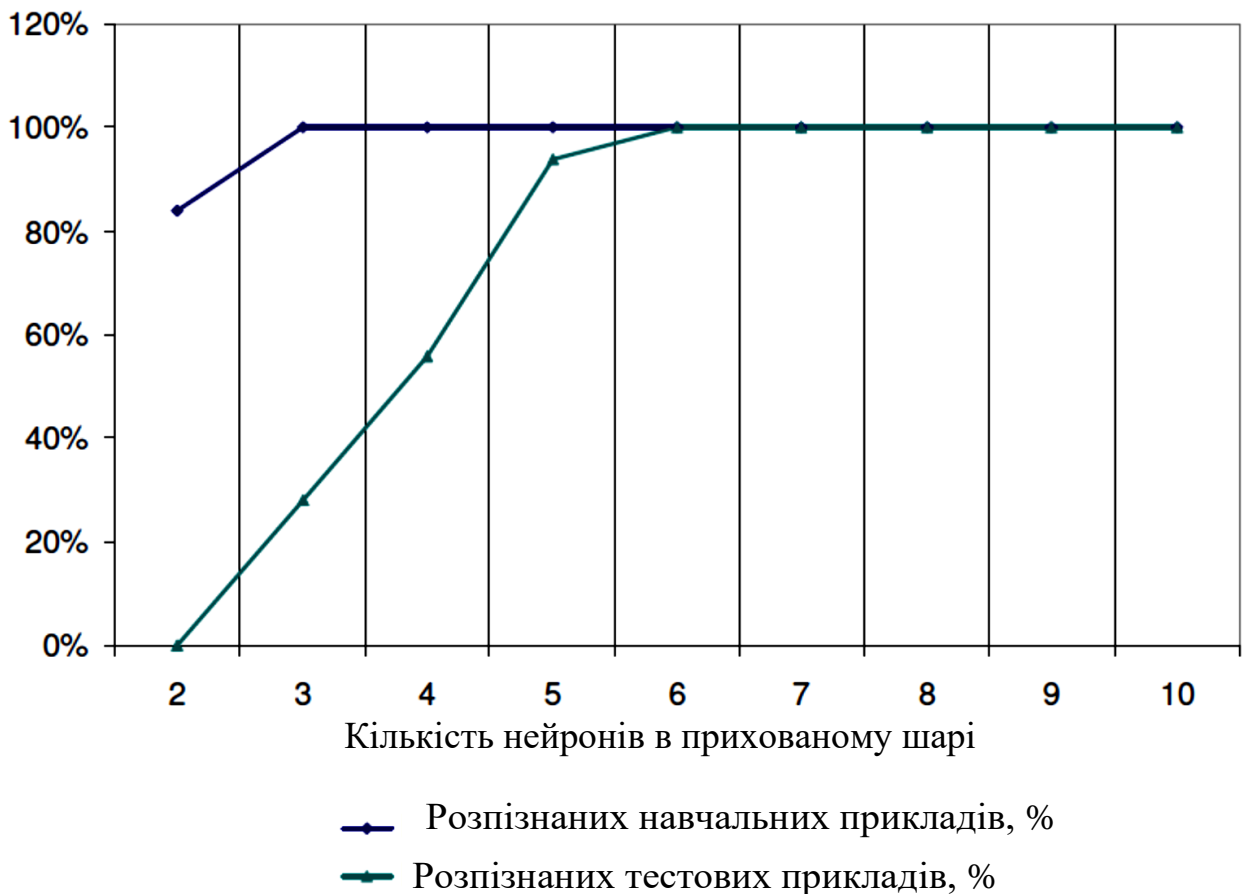


Рисунок Б.9 – Графік збіжності розпізнаних дефектів ГРМ при навчанні і тестуванні ШНМ

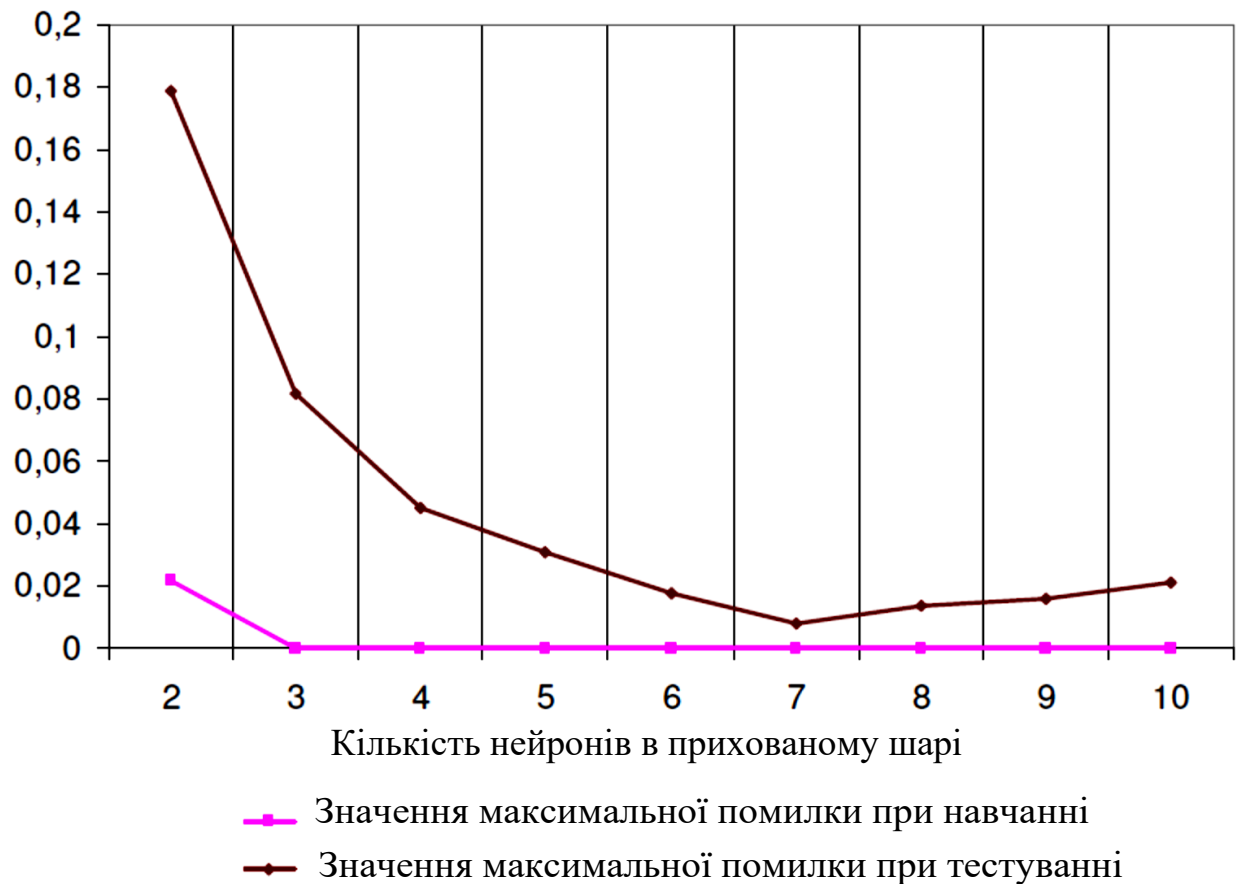


Рисунок Б.10 – Графік збіжності значень максимальної помилки розпізнавання дефектів ГРМ при навчанні і тестуванні ШНМ

На рис. Б.6, Б.8, Б.10, де представлені графіки збіжності значень максимальної помилки при розпізнаванні дефектів, наочно показано, що умова цільової функції $\varepsilon \rightarrow \min$ виконується при $L = 7$ для ЦПГ; для КШМ при $L = 5$; для ГРМ при $L = 7$.

Отримані результати представлені у зведеній табл. Б.5, де число нейронів вхідного шару (N_x) дорівнює кількості контрольованих параметрів, а число нейронів вихідного шару (N_y) - кількості можливих дефектів.

Дані результати також представлені на рис. Б.11, Б.12 і Б.13 у вигляді побудованих граф-моделей штучних нейронних мереж.

Таким чином, отримані поєднання дефектів для основних ресурсних груп двигуна ЯМЗ-238 формують матрицю, загальний вигляд якої наведено в табл. Б.6.

Таблиця Б.5 – Результати визначення оптимального числа нейронів в прихованому шарі для виявлення поєднань дефектів

Найменування вузла	N_x	N_y	Обсяг навчальної вибірки	Максимальна кількість нейронів в прихованому	Оптимальна кількість нейронів в прихованому
ЦПГ	9	4	36	22	7
КШМ	4	4	16	23	5
ГРМ	6	6	36	46	7

Таблиця Б.6 – Матриця поєднань дефектів для основних вузлів об'єкта досліджень

ДВЗ	Поєднання дефектів													
	ЦПГ				КШМ				ГРМ					
1	$S_{1,1}$	$S_{1,2}$	$S_{1,3}$	$S_{1,4}$	$S_{1,5}$	$S_{1,6}$	$S_{1,7}$	$S_{1,8}$	$S_{1,9}$	$S_{1,10}$	$S_{1,11}$	$S_{1,12}$	$S_{1,13}$	$S_{1,14}$
2	$S_{2,1}$	$S_{2,2}$	$S_{2,3}$	$S_{2,4}$	$S_{2,5}$	$S_{2,6}$	$S_{2,7}$	$S_{2,8}$	$S_{2,9}$	$S_{2,10}$	$S_{2,11}$	$S_{2,12}$	$S_{2,13}$	$S_{2,14}$
3	$S_{3,1}$	$S_{3,2}$	$S_{3,3}$	$S_{3,4}$	$S_{3,5}$	$S_{3,6}$	$S_{3,7}$	$S_{3,8}$	$S_{3,9}$	$S_{3,10}$	$S_{3,11}$	$S_{3,12}$	$S_{3,13}$	$S_{3,14}$
...
N	$S_{N,1}$	$S_{N,2}$	$S_{N,3}$	$S_{N,4}$	$S_{N,5}$	$S_{N,6}$	$S_{N,7}$	$S_{N,8}$	$S_{N,9}$	$S_{N,10}$	$S_{N,11}$	$S_{N,12}$	$S_{N,13}$	$S_{N,14}$

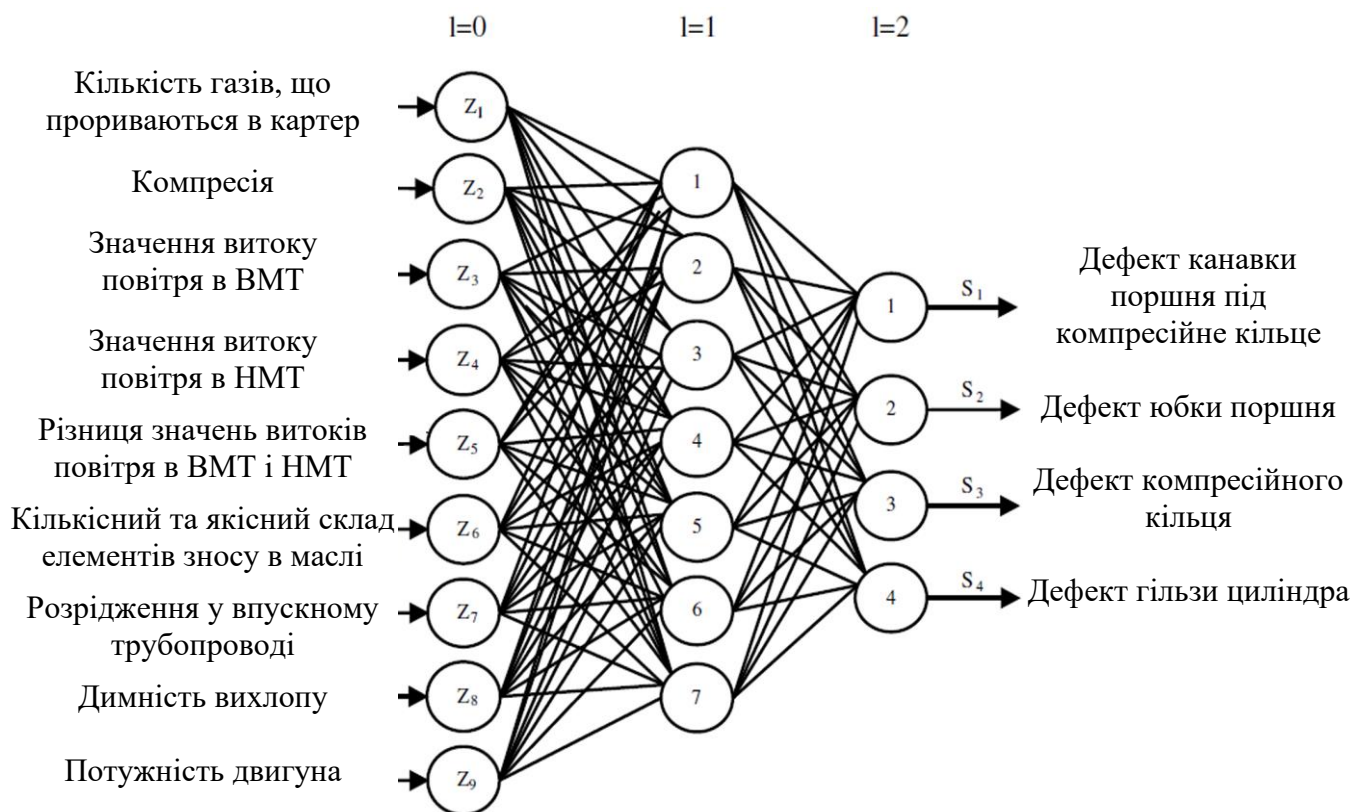


Рисунок Б.11 – Граф-модель ШНМ для задачі розпізнавання дефектів ЦПГ

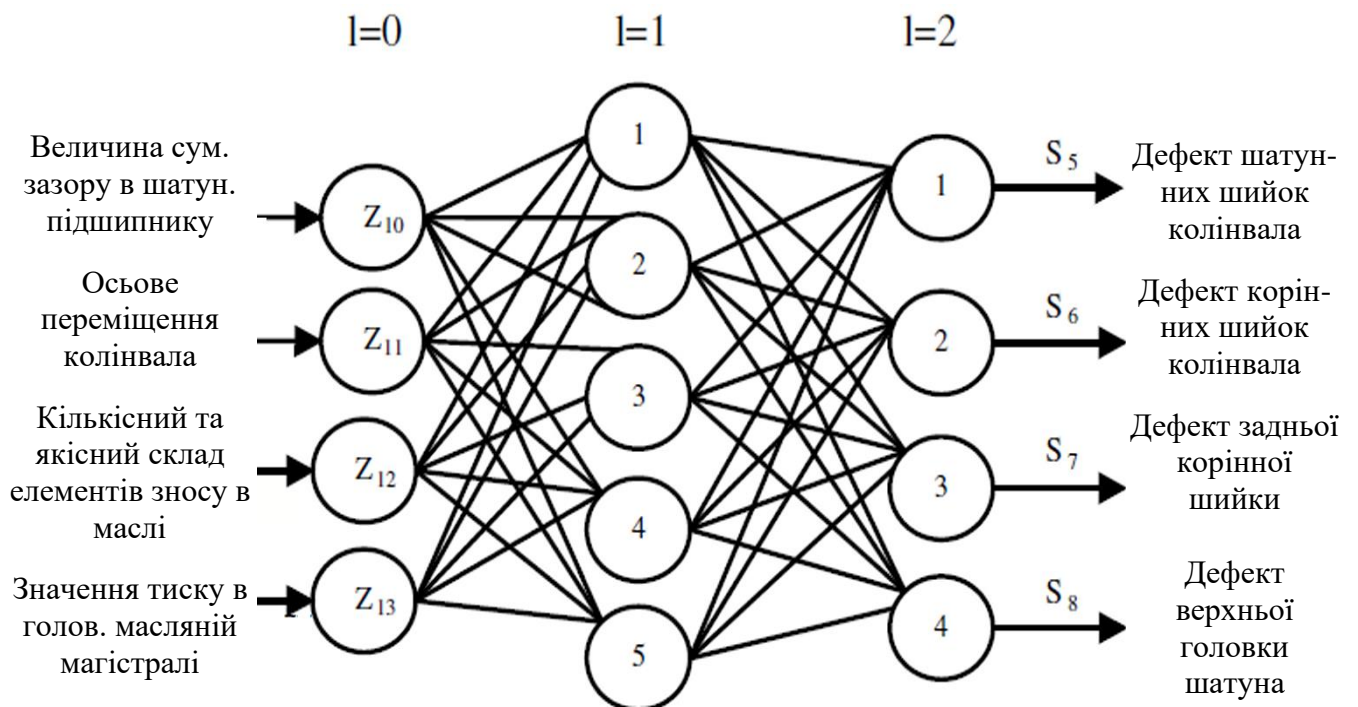


Рисунок Б.12 – Граф-модель ШНМ для задачі розпізнавання дефектів КШМ

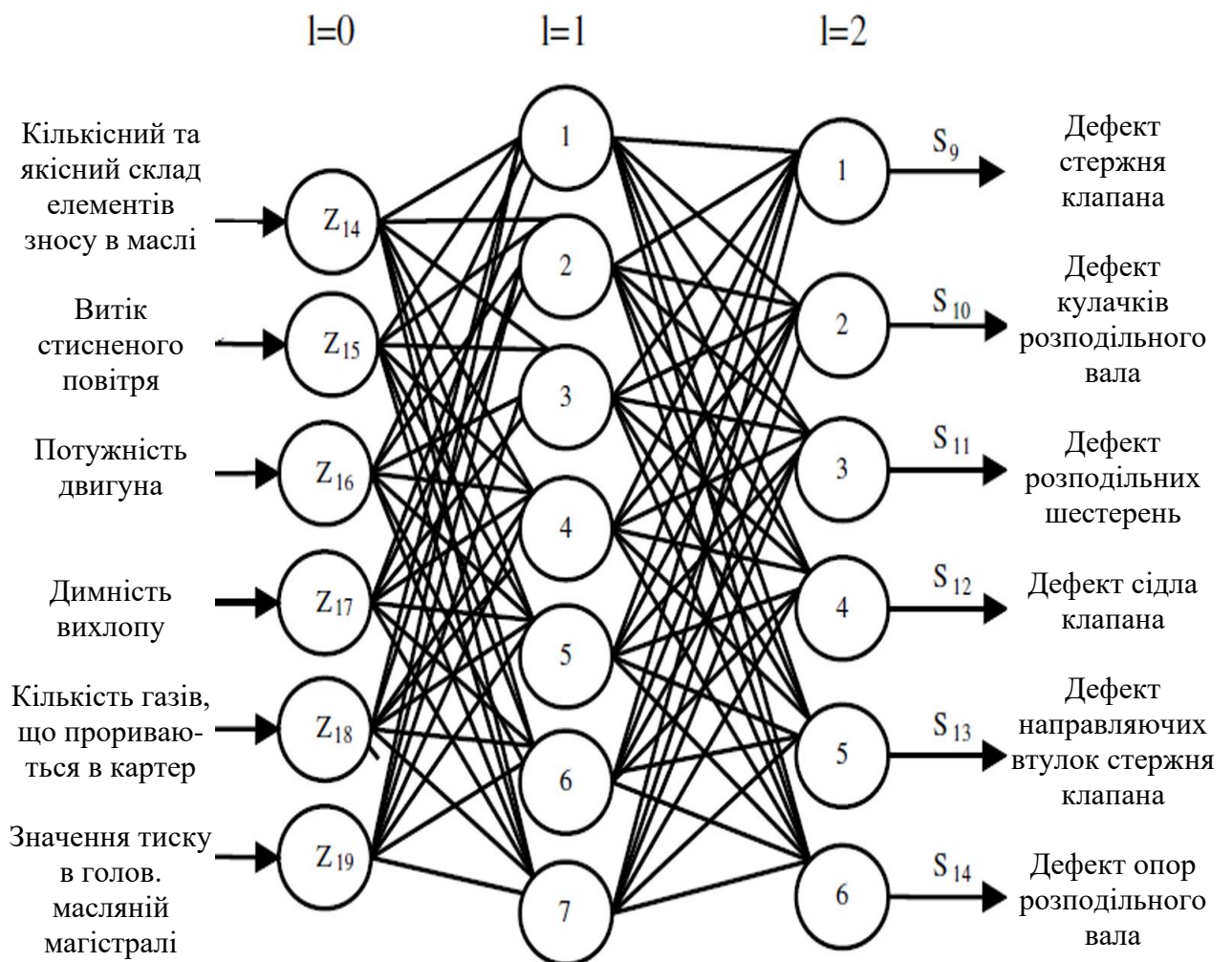


Рисунок Б.13 – Граф-модель ШНМ для задачі розпізнавання дефектів ГРМ

В результаті тестування побудованої моделі ШНМ на основі даних отриманих в реальних виробничих умовах, було сформовано 42 (по кількості двигунів ЯМЗ-238, що беруть участь в експериментальних дослідженнях) поєднання дефектів основних ресурсних груп (ЦПГ, КШМ, ГРМ) ЯМЗ-238, які були занесені в базу даних DB2.

Б.13.2. Рішення задачі розподілу агрегатів по КРР в залежності від їх фактичного технічного стану

Отримані поєднання виявлених дефектів двигунів ЯМЗ-238 використовувалися в якості тестового набору даних під час вирішення наступної задачі, розподілу агрегатів ремонтного фонду по КРР, згідно блок-схемі алгоритму на рис. 2.7, в рамках загальної методики досліджень.

У своїй дисертації к.т.н. В.В. Попцов, використовуючи метод багатомірної таксономії, визначив, що оптимальна кількість комплексів ремонтних робіт для двигунів ЯМЗ-238 дорівнює «4» [22].

Навчальний набір даних для поточного завдання було сформовано на основі вибіркового поєднань з $R_{\text{ЦПГ}}$, $R_{\text{КШМ}}$, $R_{\text{ГРМ}}$, яким був призначений певний технологічний маршрут, ґрунтуючись на висновках к.т.н. Попцова В.В. про оптимальності числа і складу КРР [26], і згідно з критерієм розподілу по КРР. Обсяг навчальної вибірки був складений виходячи з гіпотези (Б.12).

Кожен можливий дефект, з сукупності дефектів всіх основних вузлів об'єкта досліджень, буде окремим нейроном вхідного шару штучної нейронної мережі.

Кожен нейрон вихідного шару буде відповідати певному КРР, яким будуть привласнені сигнали «0» або «1» відповідно, в залежності від виявленої приналежності поєднань дефектів до того чи іншого КРР.

Отримані результати роботи алгоритму розподілу агрегатів ремонтного фонду по КРР в залежності від розпізнаних поєднань дефектів основних вузлів представлені в табл. Б.7, а також у вигляді графіків на рис. Б.14, Б.15.

Таблиця Б.7 – Значення помилок при розподілі двигунів ЯМЗ-238 по технологічним маршрутам ремонту в залежності від розпізнаних поєднань дефектів основних вузлів

L	Розпізнаних навчальних прикладів, %	Значення максимальної помилки при навчанні	Розпізнаних тестових прикладів, %	Значення максимальної помилки при тестуванні
2	46	0,093	0	0,388
3	63	0,052	12	0,215
4	87	0,026	44	0,092
5	95	0,014	66	0,068
6	100	0,000	85	0,039
7	100	0,000	100	0,023
8	100	0,000	100	0,014
9	100	0,000	100	0,005
10	100	0,000	100	0,009
11	100	0,000	100	0,017
12	100	0,000	100	0,026

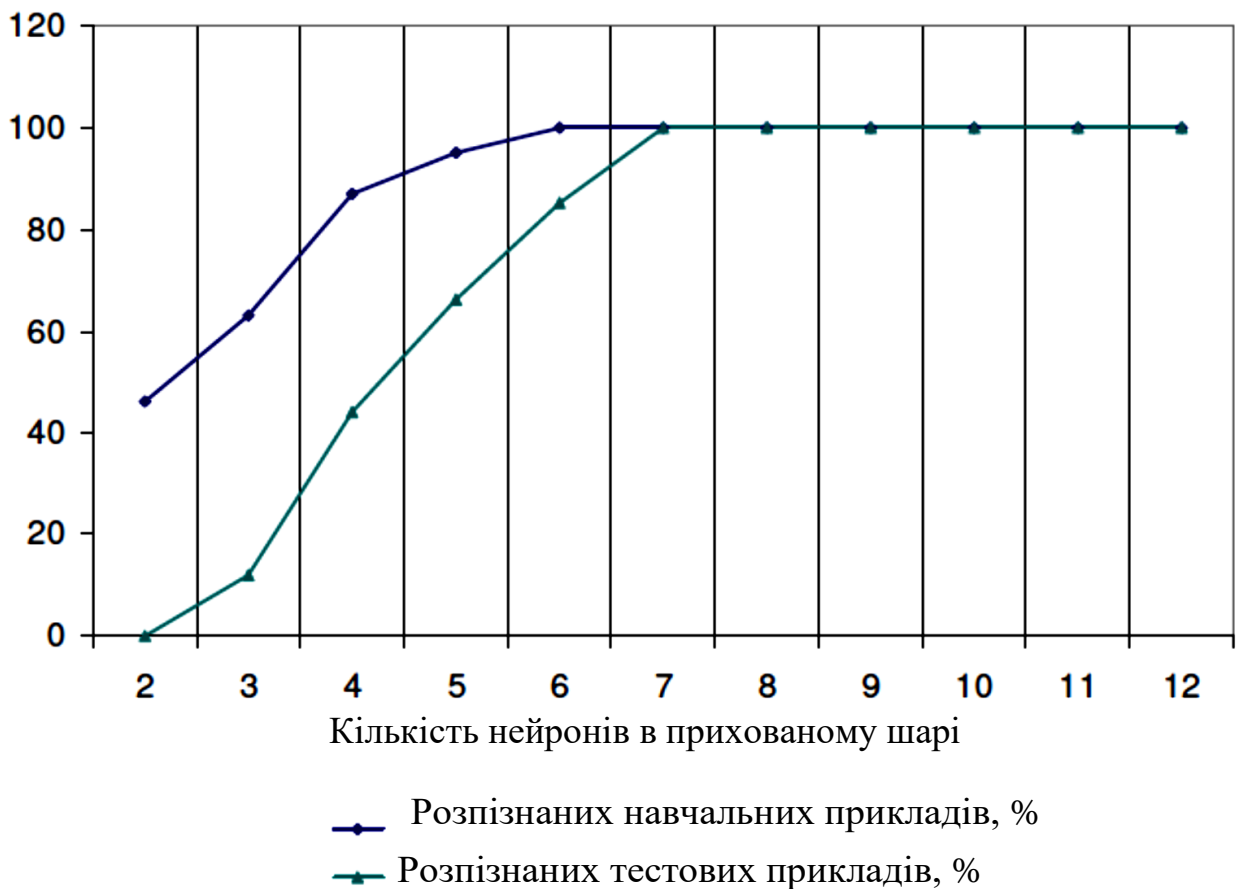


Рисунок Б.14 – Графік збіжності успішно розподілених двигунів ЯМЗ-238 по КРР при навчанні і тестуванні ШНМ

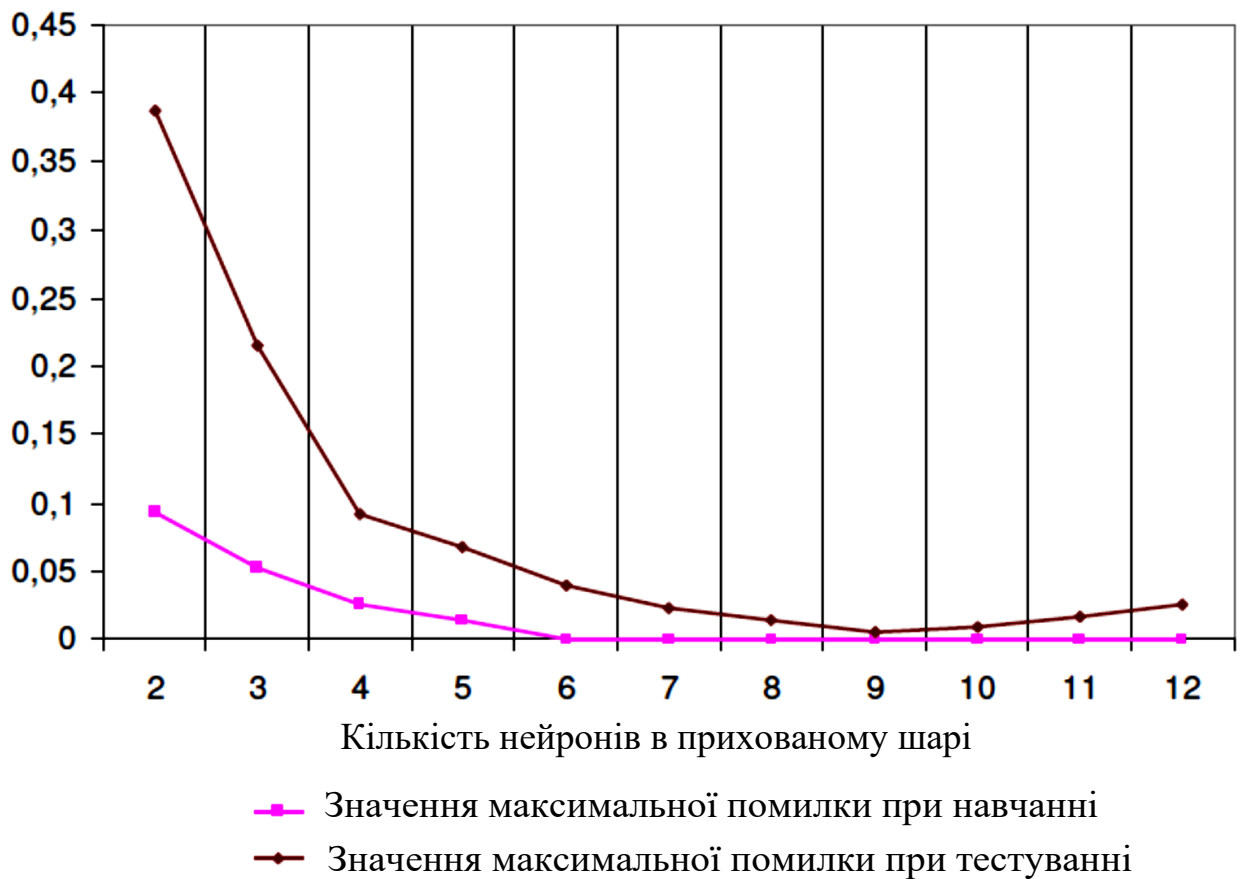


Рисунок Б.15 – Графік збіжності значень максимальної помилки при розподілі двигунів ЯМЗ-238 по КРР при навчанні і тестуванні ШНМ

Табл. Б.8 містить результати визначення оптимальної кількості нейронів в прихованому шарі для даного завдання, що виявлені методом ітераційного нарощування числа нейронів згідно з алгоритмом на рис. А.7.

Таблиця Б.8 – Результати визначення оптимального числа нейронів в прихованому шарі для завдання розподілу двигунів ЯМЗ-238 по КРР

Найменування вузла	N_x	N_y	Об'єм навчальної вибірки	Максимальна кількість нейронів в прихованому шарі	Оптимальна кількість нейронів в прихованому шарі
Сукупність вузлів (ЦПГ, КШМ і ГРМ)	14	14	56	21	9

Отримані результати також представлені на рис. Б.16 у вигляді побудованої граф-моделі штучної нейронної мережі.

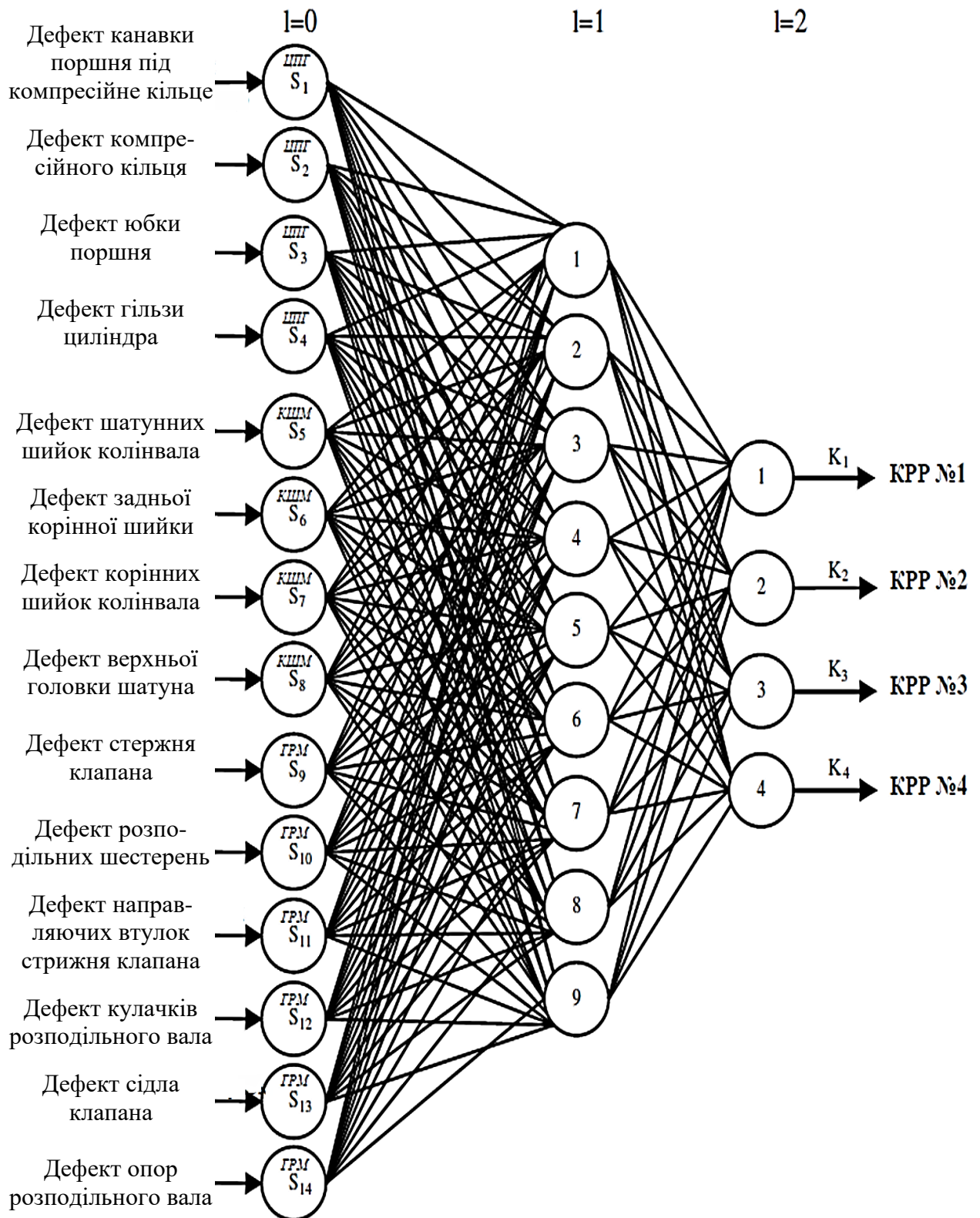


Рисунок Б.16 – Граф-модель ШНМ для завдання розподілу агрегатів по КРР

У табл. Б.8 кількість нейронів вхідного шару (N_x) дорівнює числу дефектів (згідно з табл. Б.1), що утворюють поєднання, всіх вузлів об'єкта досліджень, а число нейронів вихідного шару (N_y) - кількості комплексів ремонтних робіт, між якими будуть розподілятися агрегати ремонтного фонду в залежності від виявлених сполучень дефектів.

Таким чином, за результатами тестування побудованої моделі ШНМ для рішення поточної задачі, всі агрегати (на прикладі двигунів ЯМЗ-238) були успішно розподілені по технологічних маршрутах ремонту, в залежності від розпізнаних поєднань дефектів.

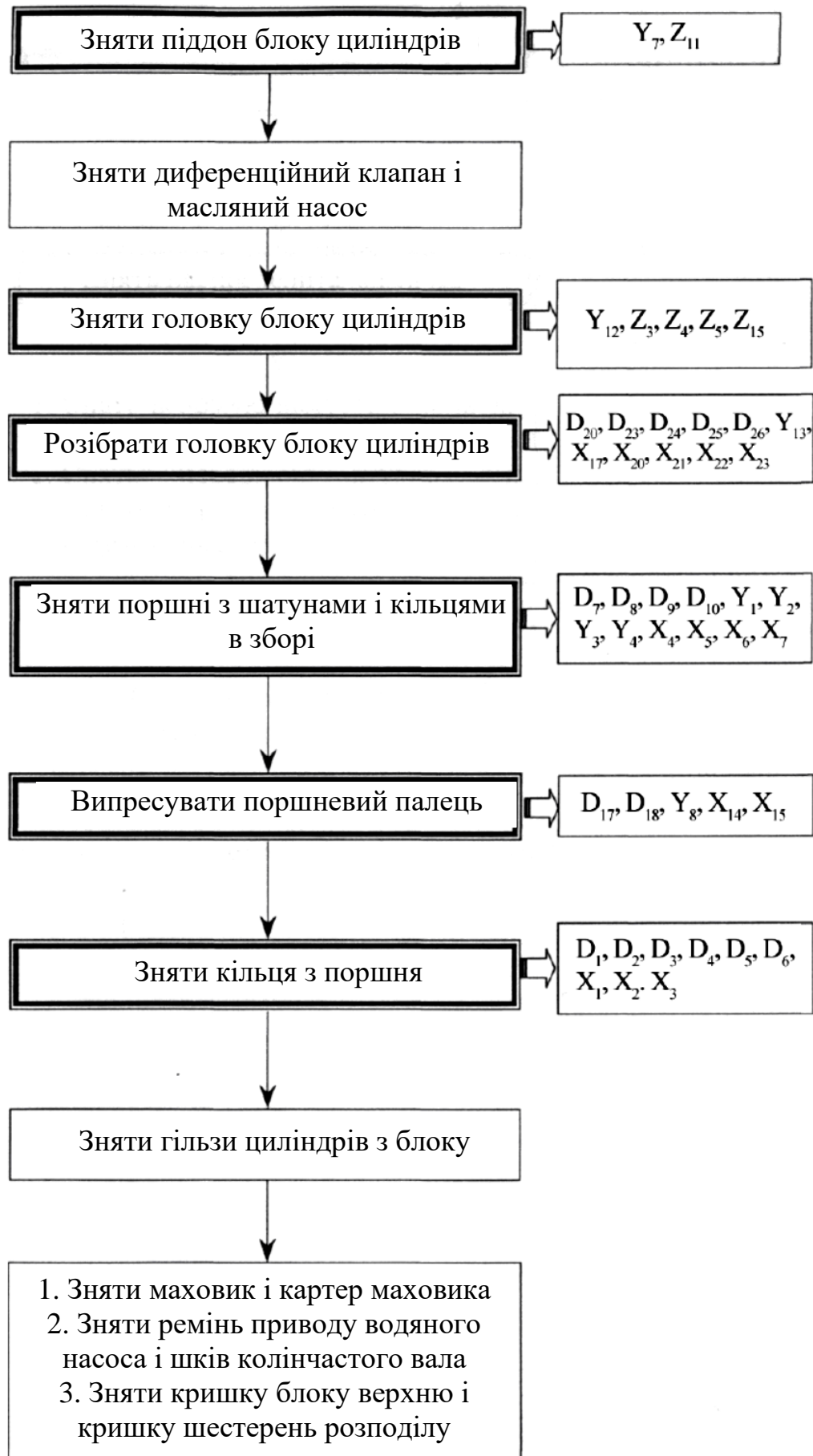
Додаток В (обов'язковий).

**СТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА РОЗБИРАННЯ ДВИГУНА
ЯМЗ-238 І СПЕЦИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ**

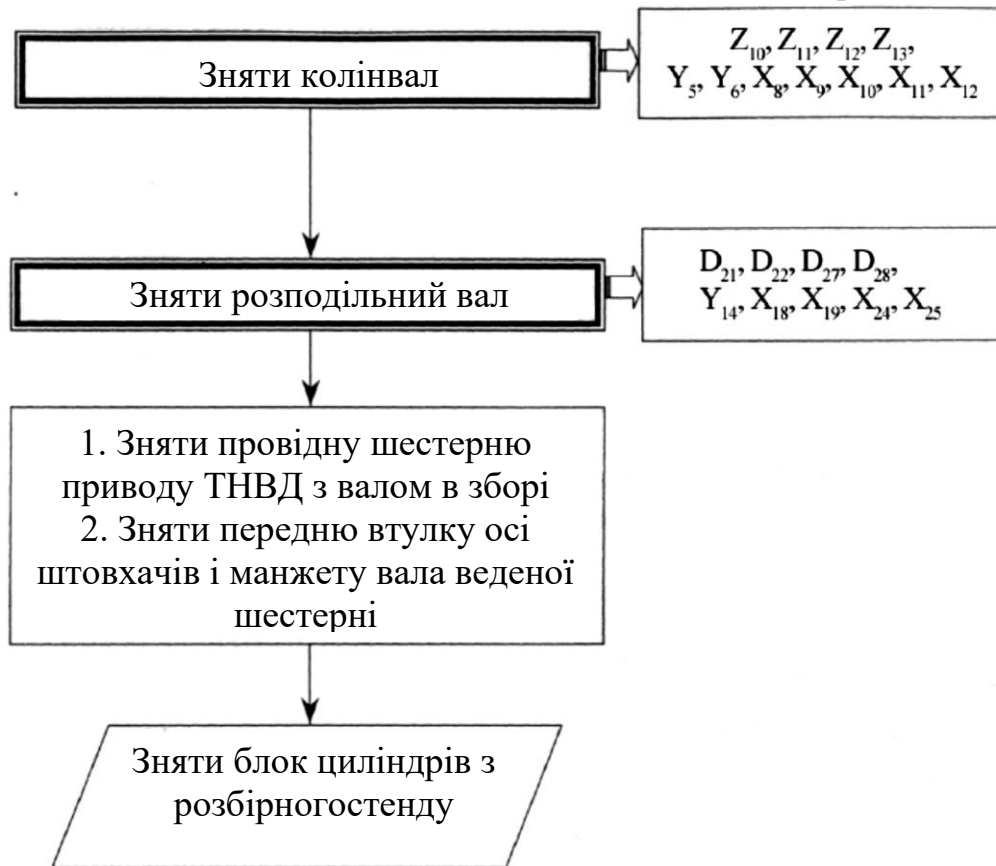
ДОДАТОК В. СТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА РОЗБИРАННЯ ДВИГУНА ЯМЗ-238 І СПЕЦИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ

Структурно-технологічна схема розбирання ДВЗ ЯМЗ-238





Продовження схеми



Таблиця В.1 - Специфікація параметрів

Позначення	Найменування
1	2
Циліндро-поршнева група	
<i>1. Діагностичні параметри</i>	
Z_1	Кількість газів, що прориваються в картер
Z_2	Компресія
Z_3	Значення витoku повітря в ВМТ
Z_4	Значення витoku повітря в НМТ
Z_5	Різниця значень витoku повітря в ВМТ і НМТ
Z_6	Кількісний та якісний склад елементів зносу вмаслі
Z_7	Розрядження у впускному трубопроводі
Z_8	Димність вихлопу
Z_9	Потужність двигуна
<i>2. Структурні параметри</i>	
Y_1	Зазор між поршнем і першим компресійним кільцем
Y_2	Зазор між поршнем і другим компресійним кільцем
Y_3	Зазор між поршнем і третім компресійним кільцем
Y_4	Зазор між гільзою і юбкою поршня

1	2
3. Розмірні параметри	
X ₁	Висота першого компресійного кільця
X ₂	Висота другого компресійного кільця
X ₃	Висота третього компресійного кільця
X ₄	Діаметр юбки поршня
X ₅	Діаметр гільзи циліндра в верхньому поясі
X ₆	Діаметр гільзи циліндра в нижньому поясі
X ₇	Діаметр гільзи в поперечній площині
4. Дефекти ЦПГ	
D ₁	Знос канавки поршня під перше компресійне кільце
D ₂	Знос першого компресійного кільця
D ₃	Знос канавки поршня під друге компресійне кільце
D ₄	Знос другого компресійного кільця
D ₅	Знос канавки поршня під третє компресійне кільце
D ₆	Знос третього компресійного кільця
D ₇	Знос юбки поршня
D ₈	Знос гільзи циліндра
D ₉	Конусність гільзи циліндра
D ₁₀	Овальність гільзи циліндра
Кривошипно-шатунний механізм	
1. Діагностичні параметри	
Z ₁₀	Величина сумарного зазору в шатунному підшипнику
Z ₁₁	Осьове переміщення колінчастого вала
Z ₁₂	Кількісний та якісний аналіз елементів зносу в маслі
Z ₁₃	Значення тиску в головній масляній магістралі
2. Структурні параметри	
Y ₅	Зазор "шатунна шийка - вкладиш"
Y ₆	Зазор "корінна шийка - вкладиш"
Y ₇	Зазор в упорному підшипнику
Y ₈	Зазор "поршневий палець - втулка"
3. Розмірні параметри	
X ₈	Висота шатунного вкладиша
X ₉	Діаметр шатунної шийки
X ₁₀	Висота корінного вкладиша
X ₁₁	Діаметр корінної шийки
X ₁₂	Ширина задньої корінної шийки

1	2
X ₁₃	Діаметр поршневого пальця
X ₁₄	Діаметр втулки верхньої головки шатуна
4. Дефекти КШМ	
D ₁₁	Знос шатунних вкладишів
D ₁₂	Знос шатунних шийок колінчастого вала
D ₁₃	Знос корінних вкладишів
D ₁₄	Знос корінних шийок колінчастого вала
D ₁₅	Знос задньої корінної шийки по ширині
D ₁₆	Знос поршневого пальця
D ₁₇	Знос втулки верхньої головки шатуна
Газорозподільчий механізм	
1. Діагностичні параметри	
Z ₁₄	Кількісний та якісний аналіз елементів зносу в маслі
Z ₁₅	Витік стисненого повітря
Z ₁₆	Потужність двигуна
Z ₁₇	Димність вихлопу
Z ₁₈	Прорив газів в картер
Z ₁₉	Тиск масла в головній масляній магістралі
2. Структурні параметри	
Y ₉	Тепловий зазор в клапанному механізмі
Y ₁₀	Фази газорозподілу
Y ₁₁	Зазор в шестернях приводу механізму ГРМ
Y ₁₂	Порушена щільність клапанів
Y ₁₃	Зазор "стержень клапана - направляюча втулка"
Y ₁₄	Зазор "шийка розподільного вала - втулка опори"
3. Розмірні параметри	
X ₁₅	Висота носка коромисла
X ₁₆	Висота торця клапана
X ₁₇	Висота кулачка
X ₁₈	Товщина зубів приводу ГРМ
X ₁₉	Висота профілю фаски клапана
X ₂₀	Висота профілю фаски сидла клапана
X ₂₁	Внутрішній діаметр направляючих втулок
X ₂₂	Діаметр стержня клапана
X ₂₃	Діаметр втулок опор
X ₂₄	Діаметр шийок

1	2
4. Дефекти ГРМ	
D ₁₈	Знос бойка коромисла
D ₁₉	Знос торця стержня клапана
D ₂₀	Знос кулачків розподільного вала
D ₂₁	Знос розподільних шестерень
D ₂₂	Знос або вигорання робочих фасок клапана
D ₂₃	Знос або вигорання робочих фасок сидла клапана
D ₂₄	Знос напрямних втулок
D ₂₅	Знос стержня клапана
D ₂₆	Знос втулок опор розподільного вала
D ₂₇	Знос шийок опор розподільного вала

Додаток Г (обов'язковий).

**ТАБЛИЦІ КОНТРОЛЬОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ ДВИГУНА ЯМЗ-238 І
СКЛАД ДІАГНОСТИЧНИХ ЗАСОБІВ**

**ДОДАТОК Г. ТАБЛИЦІ КОНТРОЛЬОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ
ДВИГУНА ЯМЗ-238 І СКЛАД ДІАГНОСТИЧНИХ ЗАСОБІВ**

**Таблиця Г.1 - Перелік діагностичних параметрів двигуна ЯМЗ-238
і склад діагностичних засобів**

Діагностичні параметри	Прилади, пристосування, інструменти
Прослуховування шумів	Автостетоскоп ТУМ Бео - 003 або "Экранес", КИ-1154
Потужність двигуна і частота обертання колінчастого вала	ИМД- 2М (ИМД-Ц) або ГДО-ЛСХИ, ГИМ-46-ЛСХИ або РГО-ЛСХИ
Масова витрата палива	КИ-4818 або КИ-8940
Розрідження у впускному трубопроводі	U-подібний мановакууметр або тягомір ТМС-718, вакуум-аналізатор КИ-28165
Кількість газів, що прорвалися в картер	КИ-4887, СПГ ЭГКФ-8 і ГКФ-6
Компресія	Вакуум-аналізатор КИ-28165, Компресограф Zeca 363
Витік стисненого повітря з циліндрів	К69М, К-272
Тиск масла в системі мащення	КИ-5472 або КИ-4940-ГОСНИТИ
Сумарний зазор у верхній голівці шатуна і шатунному підшипнику	Компресорно-вакуумна установка КИ-4942 і пристосування КИ-11140
Нещільність клапанів газорозподілу	КИ-4887-II-ГОСНИТИ

Таблиця Г.2 - Перелік структурних параметрів двигуна ЯМЗ-238 і склад вимірювальних засобів

Структурні параметри	Прилади, пристосування, інструменти
Зазор між торцем клапана і носком коромисла	Набір щупів № 2 або пристосування КИ-9918
Фази газорозподілу, град.	КИ-4849 разом з КИ-13902
Втоплення тарілок клапанів в гніздах головки циліндрів	Штангенглибиномір ШГ-160
Граничні значення нещільності закриття клапанів газорозподілу, л/хв.	КИ-4887
Зазор між гільзою циліндра і найбільшим діаметром юбки поршня	Набір щупів № 2
Осьовий зазор в упорному підшипнику колінчастого вала	Набір щупів № 2
Зазор між канавкою поршня і верхнім компресійним кільцем	Набір щупів № 2
Зазор між щокою колінчастого вала і торцем шатуна	Набір щупів № 2
Осьовий люфт розподільного вала	Індикатор
Зазор в сполученні «шийка колінчастого вала – корінний вкладиш»	Скоба СР-125, кінцеві міри 2-Н1, нутромір індикаторний НР-100, НР-160.
Зазор в сполученні «шийка колінчастого вала - шатунний вкладиш»	Скоба СР-100, кінцеві міри 2-Н1, нутромір індикаторний НР-50, НР-100.
Зазор «поршневий палець - отвір у верхній голівці шатуна»	Нутромір індикаторний НР-50, мікрометр МК-25
Зазор в стику маслоз'ємного кільця	Набір щупів № 2
Зазор в стику верхнього компресійного кільця	Набір щупів № 2
Зазор «опорна шийка розподільного вала – отвір у втулці»	Мікрометр МК-75-2, нутромір індикаторний НИ 50-100-2, КИ-2320
Перевірка зазору або натягу між бабишками поршня і пальцем	СР-50, НИ-50
Окружний зазор в зачепленні шестерень	Набір щупів № 2

Таблиця Г.3 - Перелік розмірних параметрів двигуна ЯМЗ-238 і склад вимірювальних засобів

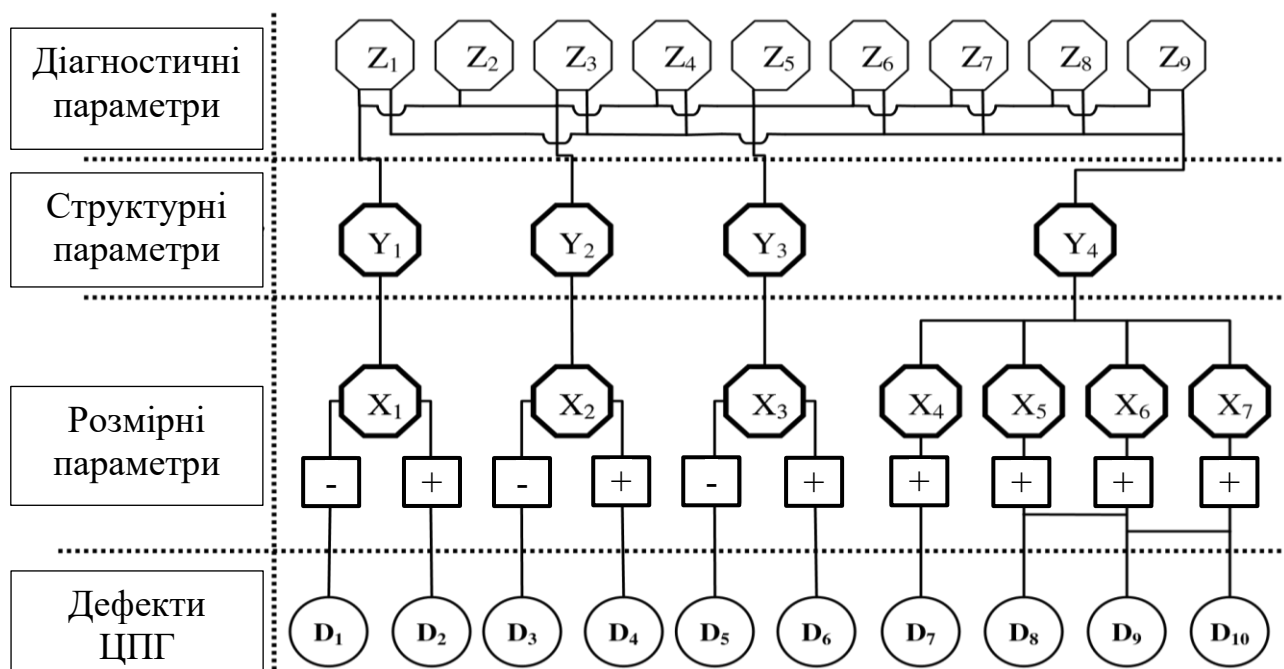
Розмірні параметри	Прилади, пристосування, інструменти
Діаметр поршневого пальця	Скоба важільна
Овальність і конусність	СР-50, скоба важільна
Діаметр отвору нижньої головки шатуна	Нутромір НР-100, ключ динамометричний
Ремонтний розмір	ОР-8928.01
Діаметр поверхні втулки	Нутромір НР-100
Діаметр отвору верхньої головки шатуна	Нутромір НР-100
Діаметр корінних шийок колінчастого вала	Скоба важільна СР-125, кінцеві міри 2-Н1
Діаметр шатунних шийок колінчастого вала	Скоба важільна СР-100, кінцеві міри 2-Н1
Діаметр шийки вала під шків	Скоба важільна СР-75
Діаметр шийки вала під передню противагу	Скоба важільна СР-75
Діаметр шийки вала під шестерню	Скоба важільна СР-75
Ширина паза під шків, передню противагу і шестерню	КИ-4921
Ширина задньої корінної шийки	Нутромір індикаторний НИ 50-100-2
Биття проміжних корінних шийок відносно крайніх	Пристосування для контролю колінчастих валів 70-8735-1028
Відстань від заднього торця останньої корінної шийки до заднього торця вала	Штангенциркуль ШЦ-ІІ-250-0,05
Діаметр отвору противаги під шийку вала	Нутромір НР-100
Ширина паза противаги	Шаблони КИ-4921
Радіальне биття розподільного вала відносно крайніх опор	Індикатор ИЧ-10Б кл.1, плита повірочна 2-1-1000x630, призма повірочна П2-1-1, штатив Ш-ПН-8
Діаметр опорних шийок розподільного вала	Мікрометр МК 75-2
Висота кулачків	Мікрометр МК 50-2
Ширина шпоночного паза розподільного вала	Шаблони КИ-4921
Діаметр шийки розподільного вала під шестерню	Мікрометр 50-2
Діаметр стержня клапана	Мікрометр 25-2
Діаметр робочої поверхні осі коромисел	Мікрометр 25-2
Діаметр отвору втулки коромисла	Нутромір 18-50
Висота носка коромисла	Штангенциркуль ШЦ-І-125-0,1
Довжина штанги	Штангенциркуль ШЦ-ІІІ-630-0,1
Діаметр отвору під вісь ролика штовхача	Нутромір НР-18
Діаметр втулки під вісь штовхачів	Нутромір НИ-50-2
Діаметр осі штовхачів	Мікрометр МК-25-2
Внутрішній діаметр гільзи	Нутромір НР-160
Зовнішній діаметр поршня	Скоба важільна СР-150

Додаток Д (обов'язковий).

**ГРАФ-МОДЕЛЬ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ КОНТРОЛЬОВАНИХ
ПАРАМЕТРІВ ЦПГ ДВЗ ЯМЗ-238 І ДЕФЕКТІВ**

**ДОДАТОК Д. ГРАФ-МОДЕЛЬ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ
КОНТРОЛЬОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ ЦПГ ДВЗ ЯМЗ-238 І**

ДЕФЕКТИВ

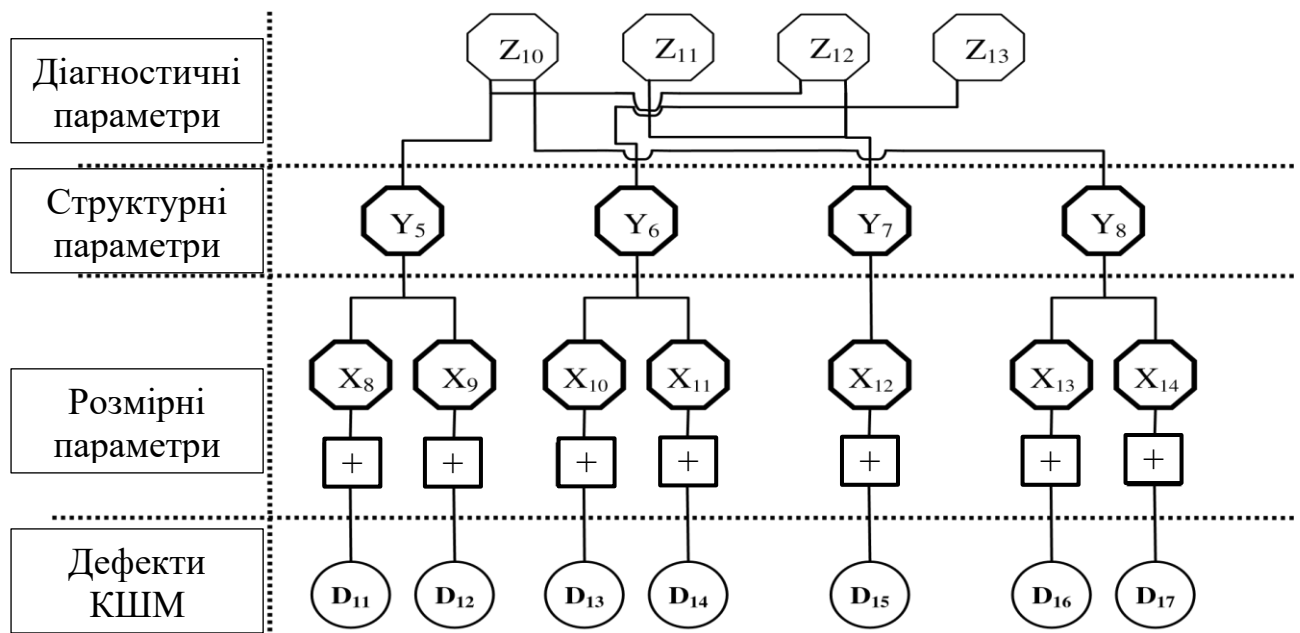


Специфікацію параметрів див. у таблиці додатка В.

Додаток Е (обов'язковий).

**ГРАФ-МОДЕЛЬ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ КОНТРОЛЬОВАНИХ
ПАРАМЕТРІВ КШМ ДВЗ ЯМЗ-238 І ДЕФЕКТІВ**

**ДОДАТОК Е. ГРАФ-МОДЕЛЬ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ
КОНТРОЛЬОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ КШМ ДВЗ ЯМЗ-238 І
ДЕФЕКТІВ**



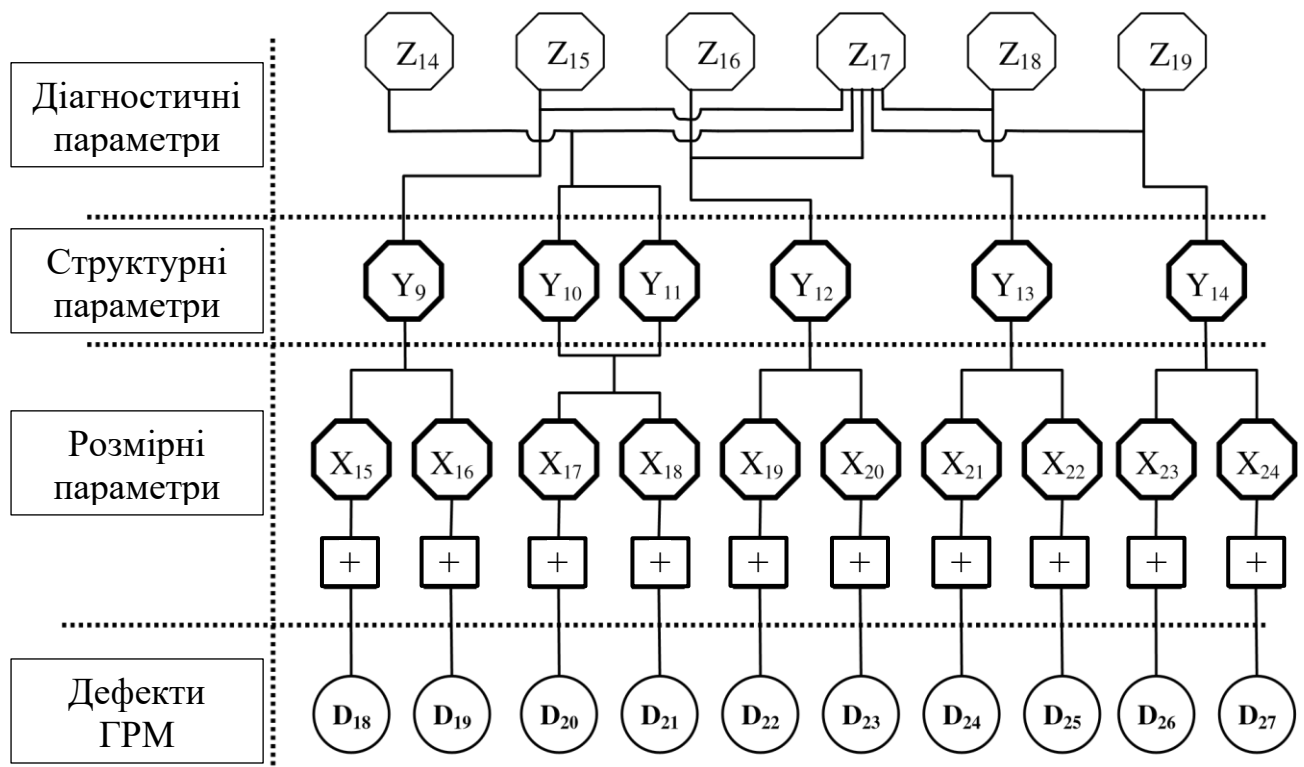
Специфікацію параметрів див. у таблиці додатка В.

Додаток Ж (обов'язковий).

**ГРАФ-МОДЕЛЬ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ КОНТРОЛЬОВАНИХ
ПАРАМЕТРІВ ГРМ ДВЗ ЯМЗ-238 І ДЕФЕКТІВ**

**ДОДАТОК Ж. ГРАФ-МОДЕЛЬ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ
КОНТРОЛЬОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ ГРМ ДВЗ ЯМЗ-238 І**

ДЕФЕКТИВ



Специфікацію параметрів див. у таблиці додатка В.

Додаток 3 (обов'язковий).

ТАБЛИЦЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПЛАНУВАННЯ ЧИСЛА СПОСТЕРЕЖЕНЬ

**ДОДАТОК 3. ТАБЛИЦЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПЛАНУВАННЯ ЧИСЛА
СПОСТЕРЕЖЕНЬ**

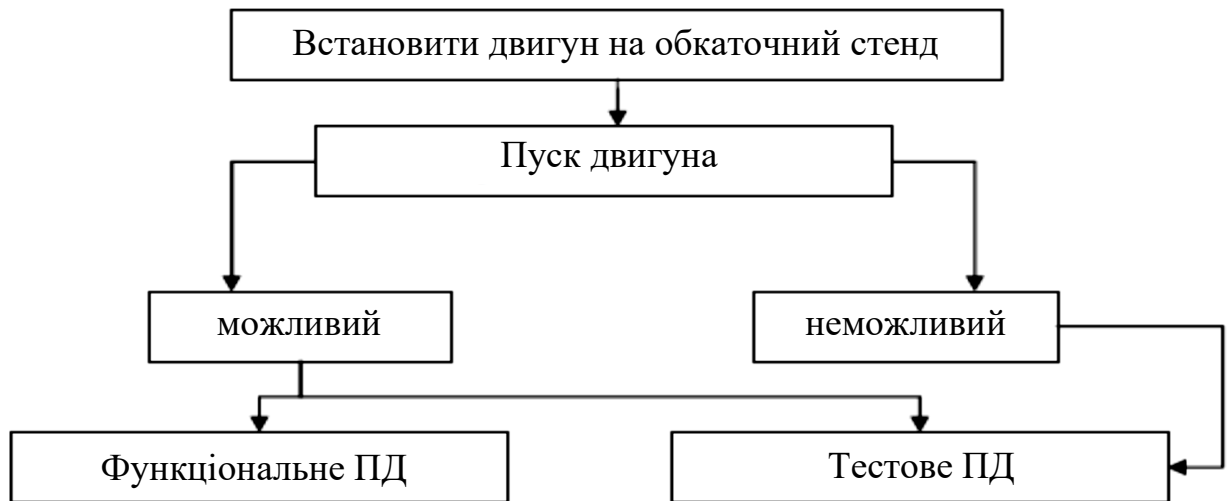
Параметр	Відносна гранична помилка δ	Коефіцієнт варіації	Значення	Число випробувань
1	2	3	4	5
1. ЦПГ				
1.1. Діагностичні параметри				
Z ₁	0,093	0,488	0,191	65
Z ₂	0,032	0,081	0,321	44
Z ₃	0,026	0,138	0,188	68
Z ₄	0,026	0,138	0,188	68
Z ₅	0,041	0,075	0,245	59
Z ₆	0,024	0,141	0,171	71
Z ₇	0,063	0,342	0,433	20
Z ₈	0,090	0,477	0,189	65
Z ₉	0,029	0,131	0,221	62
1	2	3	4	5
1.2. Структурні параметри				
Y ₁	0,029	0,085	0,341	40
Y ₂	0,010	0,055	0,182	70
Y ₃	0,100	0,200	0,500	11
Y ₄	0,090	0,460	0,195	64
1.3. Розмірні параметри				
X ₁	0,0113	0,056	0,238	59
X ₂	0,0159	0,056	0,284	51
X ₃	0,089	0,450	0,198	64
X ₄	0,071	0,313	0,226	60
X ₅	0,089	0,452	0,196	64
X ₆	0,250	1,090	0,229	54
X ₇	0,630	2,020	0,312	38
2. КШМ				
2.1. Діагностичні параметри				
Z ₁₀	0,476	0,520	0,232	71
Z ₁₁	0,100	0,358	0,451	18
Z ₁₂	0,092	0,226	0,192	68
Z ₁₃	0,677	0,152	0,335	65
2.2. Структурні параметри				
Y ₅	0,068	0,282	0,240	58
Y ₆	0,061	0,292	0,208	63
Y ₇	0,073	0,218	0,225	61
Y ₈	0,085	0,334	0,254	55

1	2	3	4	5
2.3. Розмірні параметри				
X ₈	0,385	1,980	0,194	52
X ₉	0,217	1,069	0,203	58
X ₁₀	0,0246	0,121	0,209	64
X ₁₁	0,0235	0,113	0,207	65
X ₁₂	0,0253	0,137	0,210	64
X ₁₃	0,0235	0,113	0,207	65
X ₁₄	0,323	1,045	0,308	42
3. ГРМ				
3.1. Діагностичні параметри				
Z ₁₄	0,089	0,232	0,147	77
Z ₁₅	0,173	0,221	0,542	5
Z ₁₆	0,051	0,181	0,282	50
Z ₁₇	0,083	0,212	0,348	39
Z ₁₈	0,027	0,147	0,184	69
1	2	3	4	5
Z ₁₉	0,059	0,282	0,446	18
3.2. Структурні параметри				
Y ₉	0,061	0,291	0,210	62
Y ₁₀	0,476	1,067	0,446	21
Y ₁₁	0,613	1,212	0,187	74
Y ₁₂	0,278	0,989	0,281	48
Y ₁₃	0,335	0,523	0,143	82
Y ₁₄	0,319	0,763	0,211	65
3.3. Розмірні параметри				
X ₁₅	2,000	5,260	0,380	27
X ₁₆	0,209	0,458	0,405	29
X ₁₇	0,100	0,155	0,545	3
X ₁₈	0,385	0,215	0,580	6
X ₁₉	0,257	0,512	0,173	74
X ₂₀	0,243	0,421	0,279	55
X ₂₁	0,134	0,097	0,184	74
X ₂₂	0,252	0,820	0,242	55
X ₂₃	0,122	0,692	0,439	15
X ₂₄	1,415	0,963	0,157	114

Додаток І (обов'язковий).

**СТРУКТУРНА СХЕМА ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ ПРИ
ПЕРЕДРЕМОНТНОМУ ДІАГНОСТУВАННІ (ПД) ДВИГУНІВ ЯМЗ-238**

**ДОДАТОК І. СТРУКТУРНА СХЕМА ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ ПРИ
ПЕРЕДРЕМОНТНОМУ ДІАГНОСТУВАННІ (ПД) ДВИГУНІВ
ЯМЗ-238**



Таблиця І.1 - Перелік виконуваних робіт

№	Вимірювані параметри	Функціональне ПД	Тестове ПД
1	Визначення складу відпрацьованих газів	+	-
2	Прослуховування шумів	+	-
3	Потужність двигуна і частота обертання	+	-
4	Тиск в системі мащення	+	-
5	Компресія	+	+
6	Розрідження у впускному трубопроводі	+	-
7	Кількість газів, що прориваються в картер	+	-
8	Пневмотестування	-	+
9	Сумарний зазор в шатуне	-	+

Додаток К (обов'язковий).

**РЕЗУЛЬТАТИ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ КОНТРОЛЬОВАНИХ
ПАРАМЕТРІВ**

**ДОДАТОК К. РЕЗУЛЬТАТИ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ
КОНТРОЛЬОВАНИХ ПАРАМЕТРІВ**

№ п/п	Отримані регресійні залежності	Параметри перевірки адекватності моделей і значущості регресійних коефіцієнтів					
		F (a = 0,01)		R	R ²	t (a = 0,01)	
		досл.	табл.			досл.	табл.
1	2	3	4	5	6	7	8
1	$Z_1 = 45,2 \cdot Y_1 + 12,82 \cdot Y_2 + 51,35 \cdot Y_3 + 11,05 \cdot Y_4$	68,17	4,18	0,850	0,722	t ₁ = 5,31 t ₂ = 3,35 t ₃ = 3,12 t ₄ = 3,78	1,98 1,98 1,98 1,98
2	$Z_2 = 13,12 \cdot Y_1 + 24,91 \cdot Y_2 + 34,65 \cdot Y_3$	174,98	4,68	0,912	0,832	t ₁ = 3,52 t ₂ = 4,15 t ₃ = 6,73	1,98 1,98 1,98
3	$Z_3 = 9,51 \cdot Y_1 + 56,22 \cdot Y_2 + 64,31 \cdot Y_3 + 17,94 \cdot Y_4$	60,10	4,18	0,834	0,696	t ₁ = 4,64 t ₂ = 5,35 t ₃ = 4,23 t ₄ = 6,52	1,98 1,98 1,98 1,98
4	$Z_4 = 36,23 \cdot Y_1 + 5,13 \cdot Y_2 + 33,63 \cdot Y_3 + 53,73 \cdot Y_4$	62,73	4,18	0,840	0,705	t ₁ = 3,26 t ₂ = 3,53 t ₃ = 3,01 t ₄ = 4,28	1,98 1,98 1,98 1,98
5	$Z_5 = 24,91 + 15,74 \cdot Y_1 + 53,88 \cdot Y_2 + 4,27 \cdot Y_3$	79,01	4,68	0,831	0,691	t ₁ = 3,31 t ₂ = 2,73 t ₃ = 3,60	1,98 1,98 1,98
6	$Z_6 = 24,04 \cdot Y_1 + 15,74 \cdot Y_2 + 35,30 \cdot Y_3 + 14,17 \cdot Y_4$	50,28	4,18	0,811	0,657	t ₁ = 4,67 t ₂ = 3,29 t ₃ = 3,16 t ₄ = 4,91	1,98 1,98 1,98 1,98
7	$Z_7 = 9,12 \cdot Y_1 + 1,51 \cdot Y_2 + 62,04 \cdot Y_3 + 6,63 \cdot Y_4$	108,37	4,18	0,897	0,805	t ₁ = 3,77 t ₂ = 3,23 t ₃ = 2,90 t ₄ = 4,01	1,98 1,98 1,98 1,98
8	$Z_8 = 37,3 \cdot Y_1 + 52,81 \cdot Y_2 + 4,1 \cdot Y_3 + 0,22 \cdot Y_4$	140,95	4,18	0,919	0,843	t ₁ = 3,01 t ₂ = 3,41 t ₃ = 2,87 t ₄ = 2,94	1,98 1,98 1,98 1,98
9	$Z_9 = - 0,59 + 28,7 \cdot Y_1 + 0,018 \cdot Y_2 + 7,26 \cdot Y_3 + 0,063 \cdot Y_4$	59,25	4,18	0,832	0,693	t ₁ = 3,11 t ₂ = 2,83 t ₃ = 3,18 t ₄ = 2,87	1,98 1,98 1,98 1,98
10	$Z_{10} = - 0,05 + 9,4 \cdot Y_5 + 2,52 \cdot Y_8$	143,19	5,07	0,853	0,728	t ₁ = 6,71 t ₂ = 3,12	1,98 1,98

Продовження таблиці

1	2	3	4	5	6	7	8
11	$Z_{11} = 0,18 + 3,3 \cdot Y_7$	369,88	7,04	0,880	0,774	$t_1 = 6,23$	1,98
12	$Z_{12} = 9,51 + 12,02 \cdot Y_5 + 1,68 \cdot Y_6$	114,74	5,07	0,826	0,682	$t_1 = 5,59$ $t_2 = 4,22$	1,98 1,98
13	$Z_{13} = - 7,12 - 39,3 \cdot Y_6$	265,70	7,04	0,843	0,711	$t_1 = 7,12$	1,98
14	$Z_{14} = 0,34 - 9,17 \cdot Y_{10} + 2,11 \cdot Y_{11}$	88,03	5,78	0,789	0,622	$t_1 = 3,27$ $t_2 = 10,04$	1,98 1,98
15	$Z_{15} = - 12,53 + 82,01 \cdot Y_9$	237,05	7,05	0,829	0,687	$t_1 = 11,21$	1,98
16	$Z_{16} = 65,11 + 16,27 \cdot Y_{12}$	657,96	7,40	0,927	0,859	$t_1 = 3,32$	1,98
17	$Z_{17} = - 0,3 \cdot Y_9 + 15,92 \cdot Y_{10} + 1,13 \cdot Y_{11} + 5,82 \cdot Y_{12} + 22,4 \cdot Y_{13} + 0,67 \cdot Y_{14}$	33,77	3,81	0,814	0,663	$t_1 = 12,17$ $t_2 = 3,81$ $t_3 = 3,05$ $t_4 = 11,32$ $t_5 = 9,95$ $t_6 = 6,76$	1,98 1,98 1,98 1,98 1,98 1,98
18	$Z_{18} = - 15,98 + 3,29 \cdot Y_{13}$	626,69	7,72	0,924	0,853	$t_1 = 3,37$	1,98
19	$Z_{19} = 0,23 - 8,5 \cdot Y_{14}$	219,27	7,06	0,908	0,670	$t_1 = 5,49$	1,98

Додаток Л (обов'язковий).

**ТАБЛИЦІ ІМОВІРНОСТЕЙ ПОМИЛОК 1-ГО І 2-ГО РОДУ ДЛЯ
СТРУКТУРНИХ ПАРАМЕТРІВ ДВИГУНА ЯМЗ-238 ДО І ПІСЛЯ
ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ МЕТОДИКИ**

ДОДАТОК Л. ТАБЛИЦІ ІМОВІРНОСТЕЙ ПОМИЛОК 1-ГО І 2-ГО РОДУ ДЛЯ СТРУКТУРНИХ ПАРАМЕТРІВ ДВИГУНА ЯМЗ-238 ДО І ПІСЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ МЕТОДИКИ

Таблиця Л.1 - Вірогідність помилок 1-го і 2-го роду для структурних параметрів двигуна ЯМЗ-238 до впровадження запропонованої методики

Позначення	Найменування параметра	Імовірність помилки 1-го роду	Імовірність помилки 2-го роду
1. ЦПГ			
Y ₁	Зазор між поршнем і першим компресійним кільцем	0,08	0,03
Y ₂	Зазор між поршнем і другим компресійним кільцем	0,08	0,03
Y ₃	Зазор між поршнем і третім компресійним кільцем	0,08	0,03
Y ₄	Зазор між гільзою і юбкою поршня	0,25	0,12
2. КШМ			
Y ₅	Зазор "шатуна шийка - вкладиш"	0,22	0,08
Y ₆	Зазор "корінна шийка - вкладиш"	0,22	0,08
Y ₇	Зазор в упорному підшипнику	0,25	0,12
Y ₈	Зазор "поршневий палець - втулка"	0,05	0,01
3. ГРМ			
Y ₉	Тепловий зазор в клапанному механізмі	0,30	0,17
Y ₁₀	Фази газорозподілу	0,30	0,17
Y ₁₁	Зазор в шестернях приводу механізму ГРМ	0,21	0,07
Y ₁₂	Порушена щільність клапанів	0,30	0,17
Y ₁₃	Зазор "стержень клапана - направляюча втулка"	0,15	0,06
Y ₁₄	Зазор "шийка розподільного вала - втулка опори"	0,25	0,17

Таблиця Л.2 - Вірогідність помилок 1-го і 2-го роду для структурних параметрів двигуна ЯМЗ-238 після впровадження запропонованої методики

Позначення	Найменування параметра	Імовірність помилки 1-го роду	Імовірність помилки 2-го роду
1. ЦПГ			
Y ₁	Зазор між поршнем і першим компресійним кільцем	0,04	0,01
Y ₂	Зазор між поршнем і другим компресійним кільцем	0,04	0,01
Y ₃	Зазор між поршнем і третім компресійним кільцем	0,04	0,01
Y ₄	Зазор між гільзою і юбкою поршня	0,07	0,04
2. КШМ			
Y ₅	Зазор "шатуна шийка - вкладиш"	0,06	0,02
Y ₆	Зазор "корінна шийка - вкладиш"	0,06	0,02
Y ₇	Зазор в упорному підшипнику	0,07	0,03
Y ₈	Зазор "поршневий палець - втулка"	0,00	0,00
3. ГРМ			
Y ₉	Тепловий зазор в клапанному механізмі	0,08	0,05
Y ₁₀	Фази газорозподілу	0,08	0,05
Y ₁₁	Зазор в шестернях приводу механізму ГРМ	0,06	0,03
Y ₁₂	Порушена щільність клапанів	0,08	0,05
Y ₁₃	Зазор "стержень клапана - направляюча втулка"	0,05	0,02
Y ₁₄	Зазор "шийка розподільного вала - втулка опори"	0,07	0,05

Додаток М (обов'язковий).

**БАЗОВІ НАБОРИ НАВЧАЛЬНИХ ПРИКЛАДІВ ДЛЯ ЗАДАЧІ
РОЗПІЗНАВАННЯ ДЕФЕКТІВ ДВИГУНА ЯМЗ-238**

Таблиця М.2 - Набір навчальних прикладів для задачі розпізнавання дефектів КШМ

Параметри і дефекти	Базові навчальні приклади						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Діагностичні параметри							
Z ₁₀	1	1	0	0	0	1	1
Z ₁₁	0	0	0	0	1	0	0
Z ₁₂	1	1	0	0	1	0	0
Z ₁₃	0	0	1	1	0	0	0
2. Структурні параметри							
Y ₅	1	1	0	0	0	0	0
Y ₆	0	0	1	1	0	0	0
Y ₇	0	0	0	0	1	0	0
Y ₈	0	0	0	0	0	1	1
3. Розмірні параметри							
X ₈	1	0	0	0	0	0	0
X ₉	0	1	0	0	0	0	0
X ₁₀	0	0	1	0	0	0	0
X ₁₁	0	0	0	1	0	0	0
X ₁₂	0	0	0	0	1	0	0
X ₁₃	0	0	0	0	0	1	0
X ₁₄	0	0	0	0	0	0	1
4. Дефекти КШМ							
D ₁₁	1	0	0	0	0	0	0
D ₁₂	0	1	0	0	0	0	0
D ₁₃	0	0	1	0	0	0	0
D ₁₄	0	0	0	1	0	0	0
D ₁₅	0	0	0	0	1	0	0
D ₁₆	0	0	0	0	0	1	0
D ₁₇	0	0	0	0	0	0	1

Додаток Н (обов'язковий).
РОЗРАХУНОК ТЕРМІНУ ОКУПНОСТІ ПРОЕКТУ

ДОДАТОК Н. РОЗРАХУНОК ТЕРМІНУ ОКУПНОСТІ ПРОЕКТУ

Термін окупності (англ. payback period, pay-back period; акр. DPP) — кількість часу, необхідна для покриття витрат на той чи інший проект або для повернення коштів, вкладених підприємством за рахунок коштів, одержаних в результаті основної діяльності по даному проекту.

Термін окупності розраховується за формулою:

$$T_{ок} = K / П, \quad (Н.1)$$

де K – капітальні затрати, грн.

$П$ – прибуток, грн./рік.

Порівнюючи два чи більше проектів, перевагу надають проектам з коротшим періодом окупності. Проте ухвалені проекти не повинні перевищувати необхідний період окупності, який потрібно визначити заздалегідь.

Недоліки даного методу полягають в тому, що, по-перше, вибір нормативного строку окупності може бути суб'єктивний. По-друге, метод не враховує прибутковість проекту за межами строку окупності і, виходить, не може застосовуватися при порівнянні варіантів з однаковими періодами окупності, але різними термінами життя. Крім того, він не годиться для оцінки проектів, пов'язаних з принципово новими продуктами. Точність розрахунків за таким методом в більшій мірі залежить від частоти розбивки терміну життя проекту на інтервали планування. Ризик також оцінюється дуже «грубо».

Вихідні дані для розрахунку:

- вартість діагностування одного двигуна ЯМЗ-238 – $V_d = 300$ грн.;
- кількість двигунів ЯМЗ-238, які діагностуються щодня – $D_d = 10$ од.;
- заробітна плата оператора-діагноста – $Z_n = 240000$ грн./рік;
- вартість розробленого програмного забезпечення автоматизованого робочого місця оператора-діагноста – $V_{по} = 120000$ грн.;

- вартість обладнання автоматизованого робочого місця оператора-діагноста – $V_{об} = 170000$ грн.;

- вартість технічного обслуговування обладнання автоматизованого робочого місця оператора-діагноста – $V_{ТОоб} = 90000$ грн./рік;

- кількість робочих днів СТО – $P_{дСТО} = 250$ днів/рік.

Вартість капітальних затрат розраховується за формулою

$$K = V_{ПО} + V_{об}. \quad (H.2)$$

Тоді

$$K = 120000 + 170000 = 290000 \text{ грн.}$$

Прибуток від запропонованого проекту розраховується за формулою

$$\Pi = D_d \cdot V_d \cdot P_{дСТО} - Z_{п} - V_{ТОоб}. \quad (H.3)$$

Тоді

$$\Pi = 10 \cdot 250 \cdot 300 - 240000 - 90000 = 420000 \text{ грн/рік.}$$

Отже, термін окупності складе

$$T_{ок} = 290000 / 420000 = 0,69 \text{ року} = 8,28 \text{ міс.}$$

Додаток О (обов'язковий).
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ
РОБОТИ

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Підвищення ефективності діагностування двигунів ЯМЗ-238 на базі станції технічного обслуговування автомобілів «Немирів-Авто»

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

магістерської кваліфікаційної роботи


Галузь знань 27 – «Транспорт»

Спеціальність 274 – «Автомобільний транспорт»

Виконав студент гр. 1АТ-21м

Керівник к.т.н., ст. викладач кафедри АТМ

Вінниця – 2022

 Березняк М.С.

 Борисюк Д.В.

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Підвищення ефективності діагностування двигунів ЯМЗ-238 на базі станції технічного обслуговування автомобілів «Немирів-Авто»

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

магістерської кваліфікаційної роботи

Галузь знань 27 – «Транспорт»

Спеціальність 274 – «Автомобільний транспорт»

Виконав студент гр. 1АТ-21м

Березняк М.С.

Керівник к.т.н., ст. викладач кафедри АТМ

Борисюк Д.В.

Вінниця – 2022

ЯМЗ-238 на базі станції технічного обслуговування автомобілів «Немирів-Авто»

Мета дослідження - організація підсистеми передремонтного діагностування агрегатів автомобілів на основі формованого автоматизованого робочого місця оператора-діагноста, що дозволяє знизити внутрішньо-виробничі втрати ремонтного підприємства при функціонуванні системи централізованого ремонту за технічним станом.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати діяльність СТО «Немирів-Авто».
2. Виконати аналіз факторів, що обумовлюють ефективність функціонування системи ЦРТС агрегатів автомобілів і оцінити ступінь їх впливу на якість ремонту.
3. Розробити методику розпізнавання дефектів агрегатів автомобілів з використанням математичного апарату штучних нейронних мереж для їх розподілу за технологічними маршрутами ремонту (комплексам ремонтних робіт – КРР).
4. Розробити метрологічне забезпечення експериментального дослідження над об'єктом дослідження на етапі передремонтного діагностування при ЦРТС.
5. Експериментально оцінити доцільність застосування розробленої методики на етапі передремонтного діагностування об'єкта дослідження.
6. Розробити структурну схему автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора-діагноста, ядром якого є створене оригінальне програмне забезпечення (ПО).
7. Провести оцінку очікуваного економічного ефекту при впровадженні результатів дослідження.

Об'єктом дослідження є агрегати вантажних автомобілів (на прикладі двигунів ЯМЗ-238 та їх модифікацій) що надходять в ЦРТС.

Предметом дослідження є процеси розпізнавання дефектів агрегатів автомобілі, що надходять в ремонт і розподіл їх на безліч реалізованих на підприємстві технологічних процесів централізованого ремонту за технічним станом.

Наукова новизна дослідження полягає в наступному:

1. Розроблена з використанням математичного апарату штучних нейронних мереж методика розподілу агрегатів автомобілів по технологічним маршрутам ремонту в залежності від розпізнаних поєднань дефектів при їх ЦРТС, що дозволяє знизити вплив людського фактора при постановці діагнозу і розподілі по КРР.
2. Розроблено методику математичної обробки емпіричних даних з метою побудови адекватних (з необхідним рівнем достовірності) моделей ШНМ для розпізнавання сполучень дефектів агрегатів, що надходять в ЦРТС автомобілів і розподілу їх за технологічними маршрутами ремонту.
3. Вперше експериментально підтверджено доцільність застосування математичного апарату ШНМ в процесах передремонтного діагностування агрегатів автомобілів при їх ЦРТС.
4. Розроблено структурну схему організації та взаємодії елементів АРМ оператора-діагноста в процесі розподілу агрегатів автомобілів, що надходять в ЦРТС за наявними на підприємстві КРР з урахуванням отриманих результатів дослідження.

Апробація результатів. Основні положення роботи доповідалися на XV-й міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 24-26 жовтня 2022 року у Державному університеті «Житомирська політехніка» (м. Житомир).



ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СТО «НЕМИРІВ-АВТО»

2.1

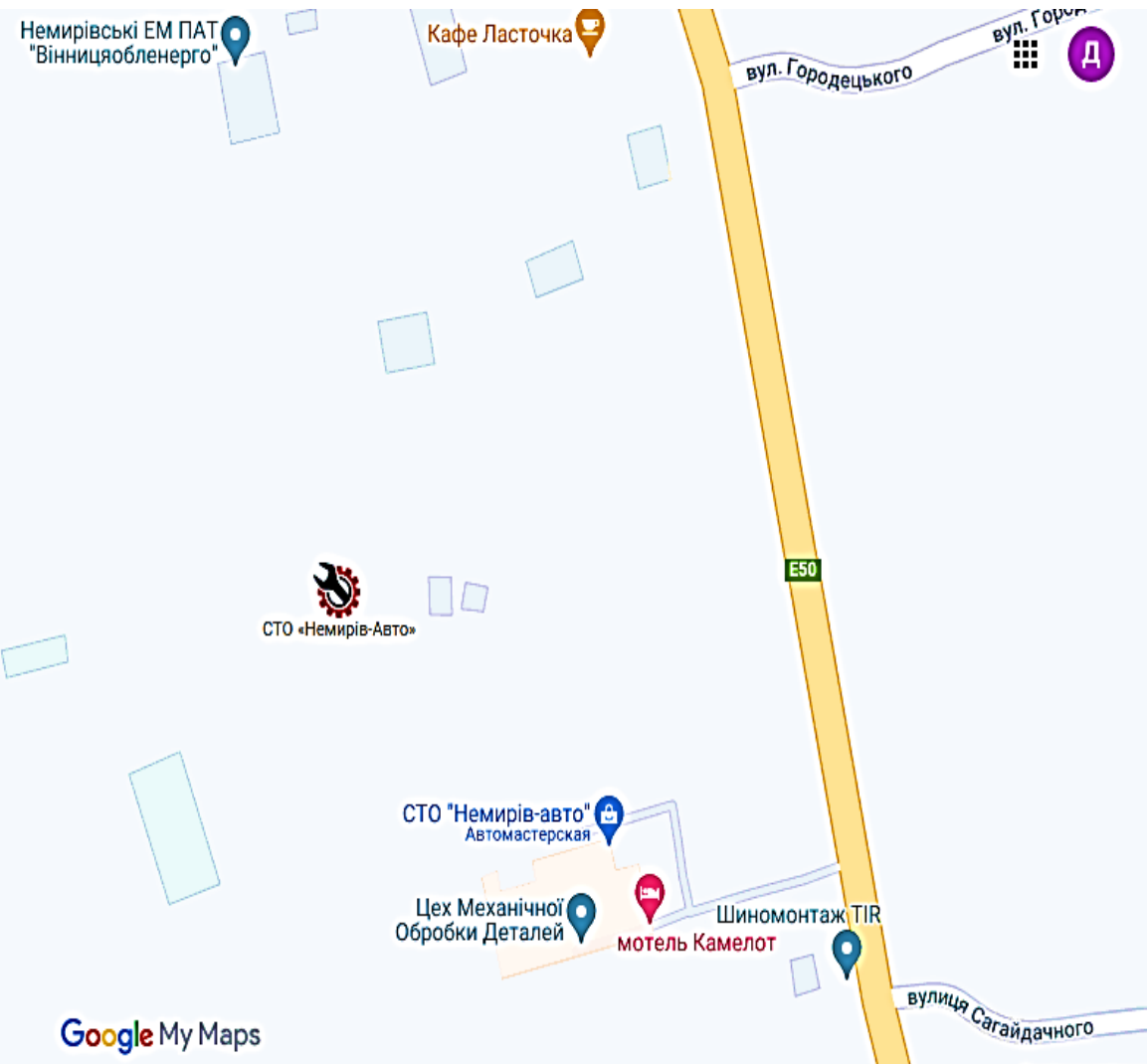
СТО «Немирів-Авто» бере свій початок з 90-х років ХХ століття і сьогодні є авторитетним і найбільш відвідуваним місцем, де можна вирішити всі проблеми, що виникли у автовласників з їх автомобілями.

Сервісний комплекс підприємства «Немирів-Авто» об'єднує ремонтні майстерні м. Вінниці та м. Немирів, шинний центр, магазин автозапчастин та сучасну автомийку.

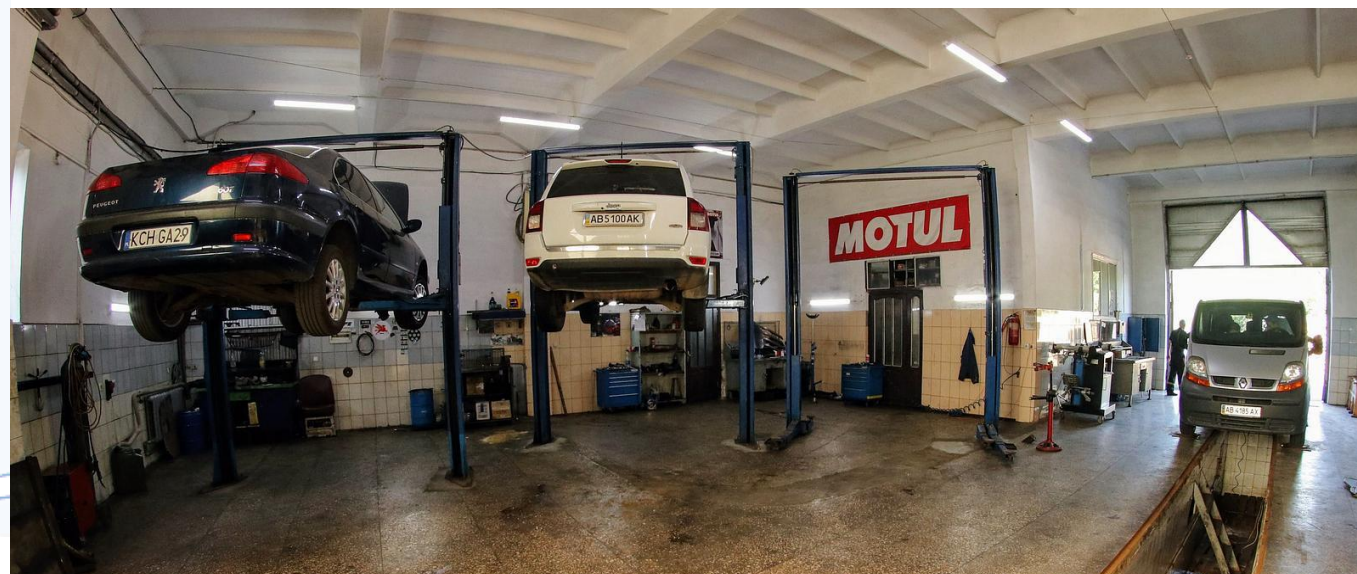
СТО «Немирів-Авто» розташована у м. Немирів (за 40 км від м. Вінниця).

Юридична адреса СТО «Немирів-Авто»: Вінницька обл., м. Немирів, вул. Маяковського, 16.

Фактична адреса СТО «Немирів-Авто»: Вінницька обл., м. Немирів, вул. Горького, 46.



*Розташування виробничих підрозділів
СТО «Немирів-Авто» в м. Немирів*



Пости ТО-1 і ТО-2 СТО «Немирів-Авто» в м. Немирів



Дільниця ремонту двигунів СТО «Немирів-Авто» в м. Немирів



Відділ продажу запчастин СТО «Немирів-Авто» в м. Немирів

Схеми процесу діагностування

Загальна структура технічного діагностування

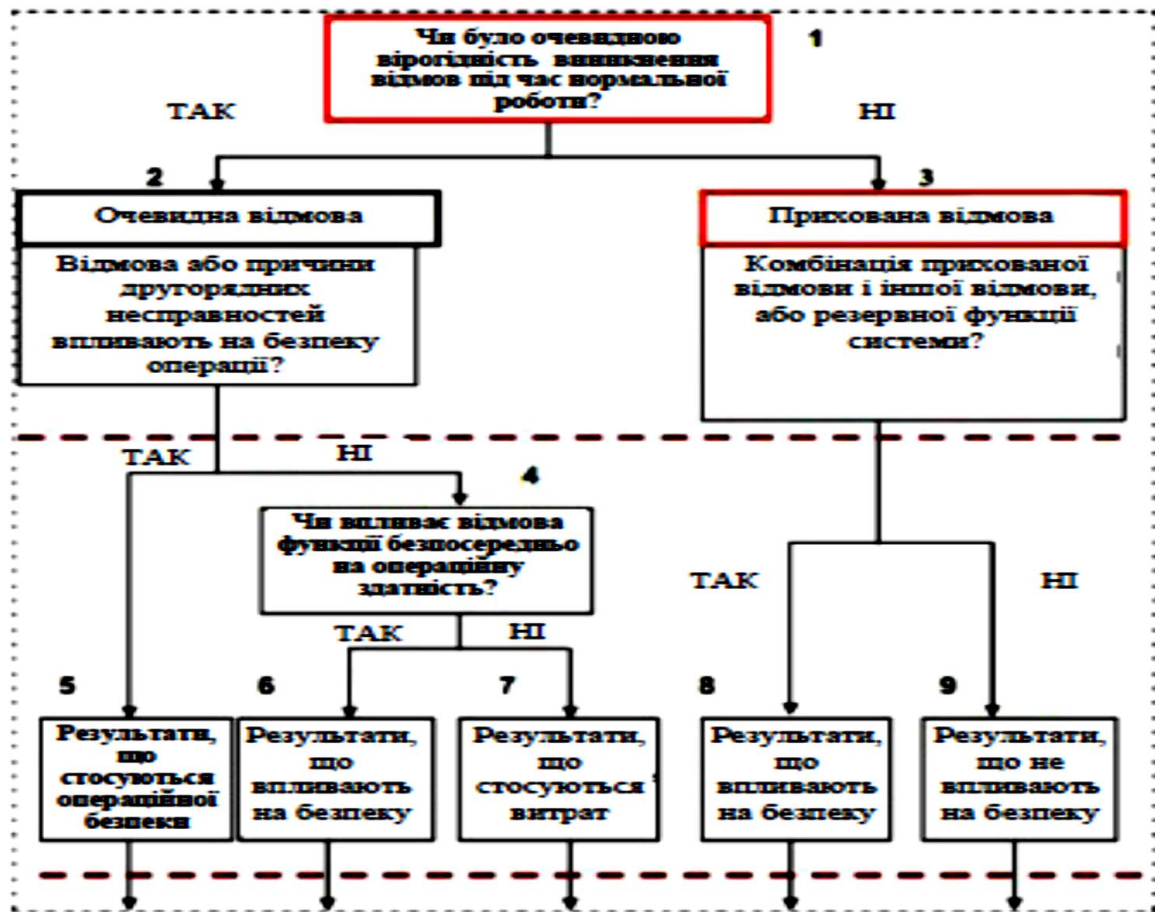
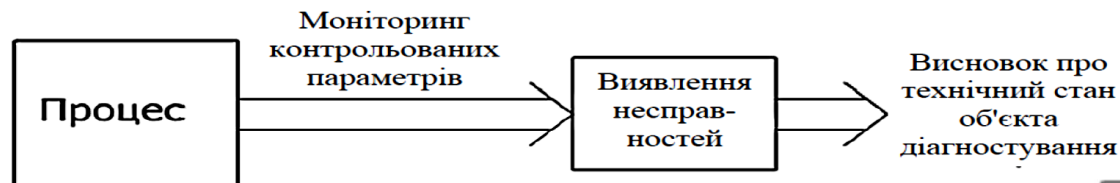


Схема прийняття рішення для ТО і ремонту в системі RCM



Складові технологічного і інформаційного забезпечення ЦРТС

Цільова функція дослідження $C_{\Sigma вн} = \Sigma C_{\Sigma ном} = (C_{\Sigma зайв} + C_{\Sigma проп} + C_{\Sigma розп}) N_2 \rightarrow \min,$

де $C_{\Sigma вн}$ - узагальнені внутрішньовиробничі втрати ремонтного підприємства, грн.;

$C_{\Sigma ном}$ - втрати виробництва, що формуються помилками розподілу ремонтованих агрегатів по КРР, грн.;

$C_{\Sigma зайв}$ - витрати на виконання зайвих робіт при усуненні помилково виявлених дефектів, грн.;

$C_{\Sigma проп}$ - витрати на виконання умовно повторних робіт при пропуску помилково не виявлених дефектів, грн.;

$C_{\Sigma розп}$ - втрати, що формуються помилками при розподілі агрегатів по технологічним маршрутам ремонту, грн.;

N_2 - виробнича програма підприємства, од. / рік.

Складова $C_{\Sigma ном}$ цільової функції може бути виражена функціоналом $C_{\Sigma ном} = f(C_{ij} P_{ij})$, де C_{ij} - узагальнені витрати на виконання робіт з виявлення та усунення і-го дефекту j-го ремонтуємого агрегату, грн.; P_{ij} - ймовірність події, яка полягає у виникненні помилки розпізнавання і-го дефекту j-го ремонтується агрегату.

При цьому ймовірність P_{ij} , враховуючи положення теорії ймовірностей, можна визначити наступним вираженням:

$$P_{ij} = a_{ij} + b_{ij},$$

де a_{ij} - помилка розпізнавання 1-го роду (помилкова несправність) і-го дефекту j-го ремонтуємого агрегату на етапі передремонтного діагностування;

b_{ij} - помилка розпізнавання 2-го роду (пропуск несправності) і-го дефекту j-го ремонтуємого агрегату на етапі передремонтного діагностування.

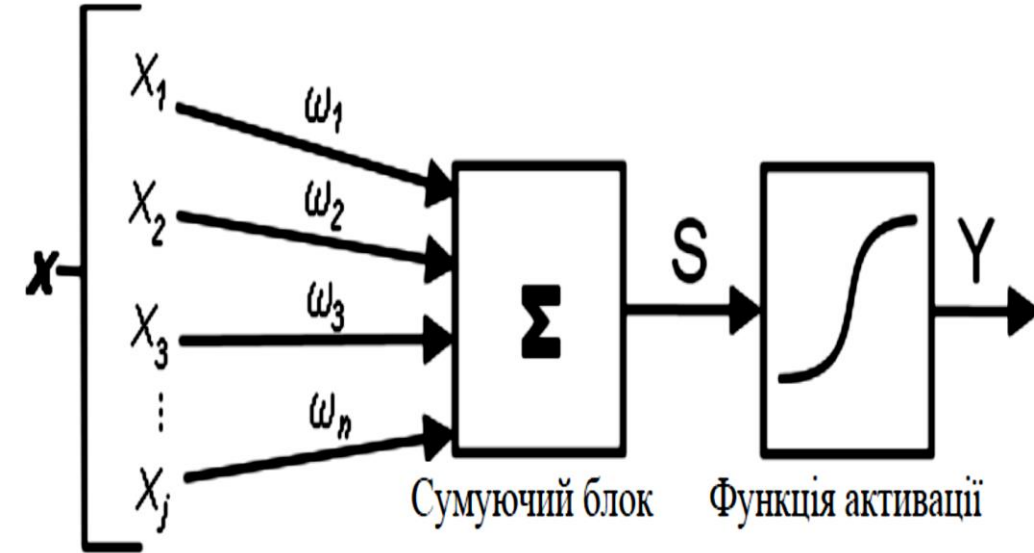
Ймовірність P_{ij} можна записати в розгорнутому вигляді:

$$P_{ij} = \{1 - [\delta_{ij} (1 - a_{ij}) + \eta_{ij} (1 - b_{ij})]\}.$$

Таким чином, досягнення поставленої мети – зниження внутрішньо-виробничих втрат при функціонуванні системи ЦРТС агрегатів автомобілів - можливо лише при вирішенні задач зниження абсолютних значень помилок на всіх етапах виробничого процесу ремонту.

Штучна нейронна мережа

Модель штучного нейрона



Математична модель штучного нейрона

$$S = \sum_{i=1}^n x_i \cdot w_i + x_0 \cdot w_0 = \sum_{i=0}^n x_i \cdot w_i ,$$

де S - зважена сума вхідних сигналів нейрона; x_i - значення на i -му вході нейрона; w_i - вага i -го синапсу; n - кількість входів; x_0 і w_0 - відповідно значення додаткового вхідного сигналу ($X_0 = 1$) і його ваги.

Вихідне значення нейрона є функцією його стану:

$$Y = f(S),$$

де $f(S)$ - функція активації.

Переваги застосування ШНМ

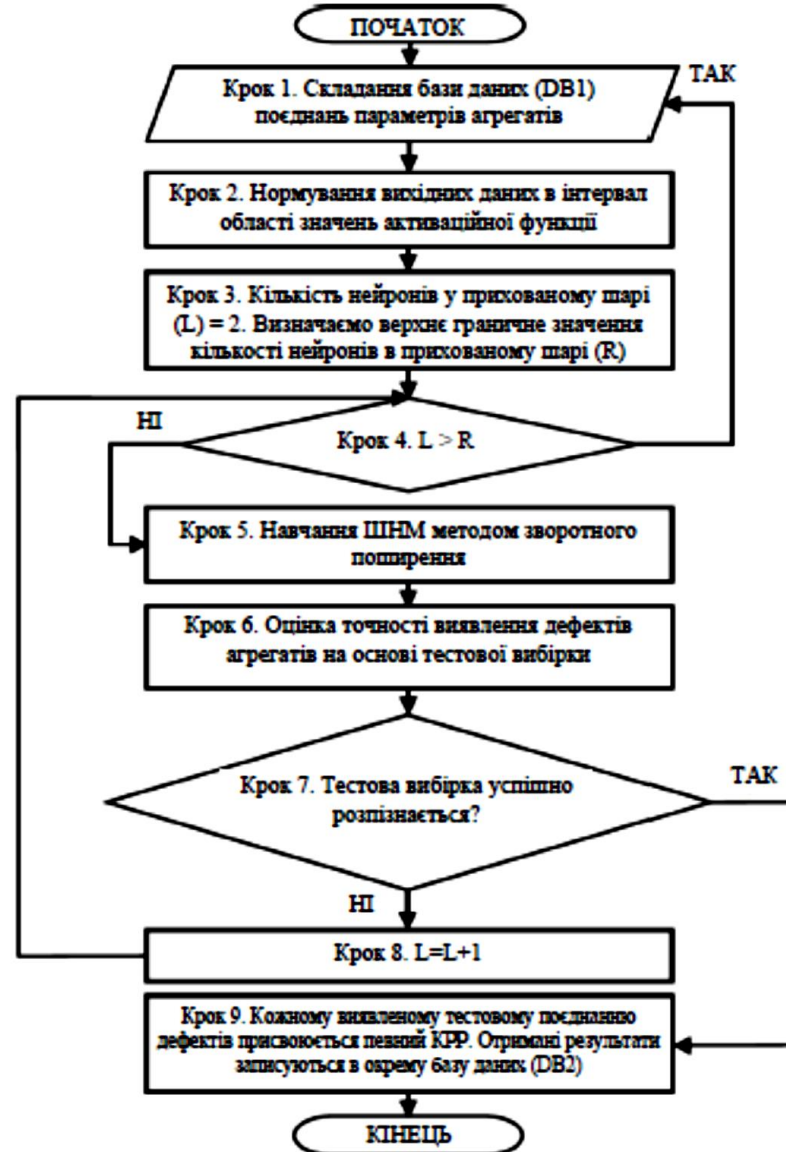
1. Завдяки здатності до навчання і запам'ятовування, а також шляхом зміни адаптивних параметрів штучних нейронів з яких складається мережа, можна домогтися високого ступеня точності при вирішенні даного завдання.
2. Застосування штучної нейронної мережі дозволяє уникнути процесу накопичення статистичної інформації для розрахунку ймовірностей появ дефектів (як це робить при методі організації та оптимізації технологічних процесів ЦРТС за типовими сполученням ремонтних робіт) для оптимального розподілу агрегатів по комплексам ремонтних робіт.
3. Перевірка адекватності побудованих на основі штучної нейронної мережі моделей проводиться з використанням тестових вибірок, які формуються під час проведення експерименту над об'єктом досліджень, що гарантує високу ступінь надійності моделей та ін.

Алгоритм застосування ШНМ

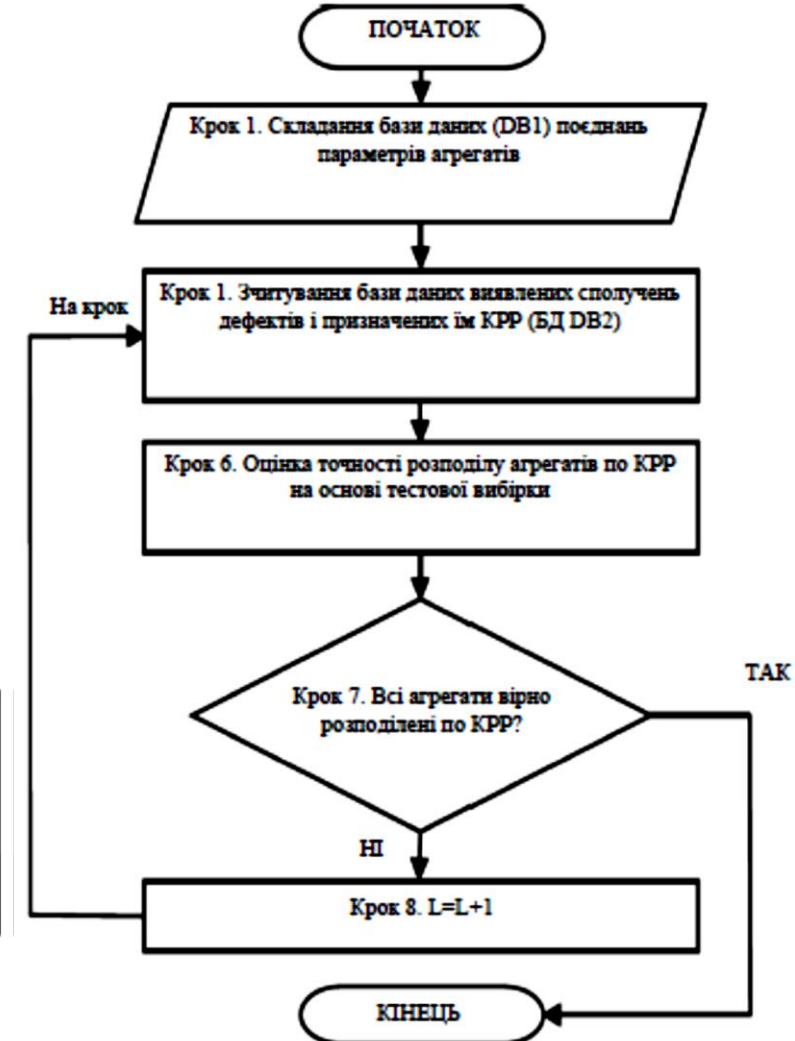
Блок-схема алгоритму навчання ШНМ



Блок-схема алгоритму застосування ШНМ для розпізнавання дефектів

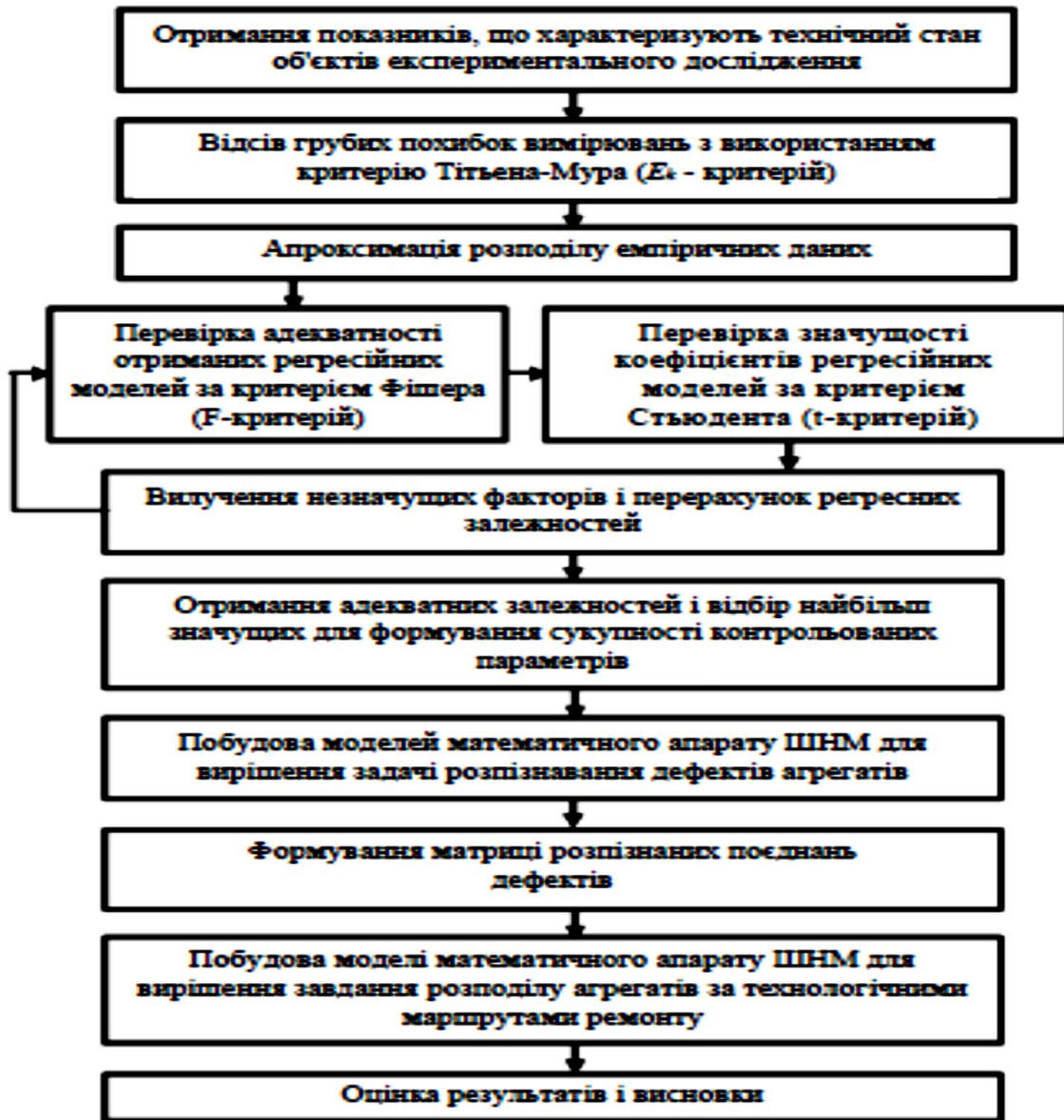


Блок-схема алгоритму застосування ШНМ для вирішення завдання розподілу агрегатів автомобілів за технологічними маршрутами ремонту



РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

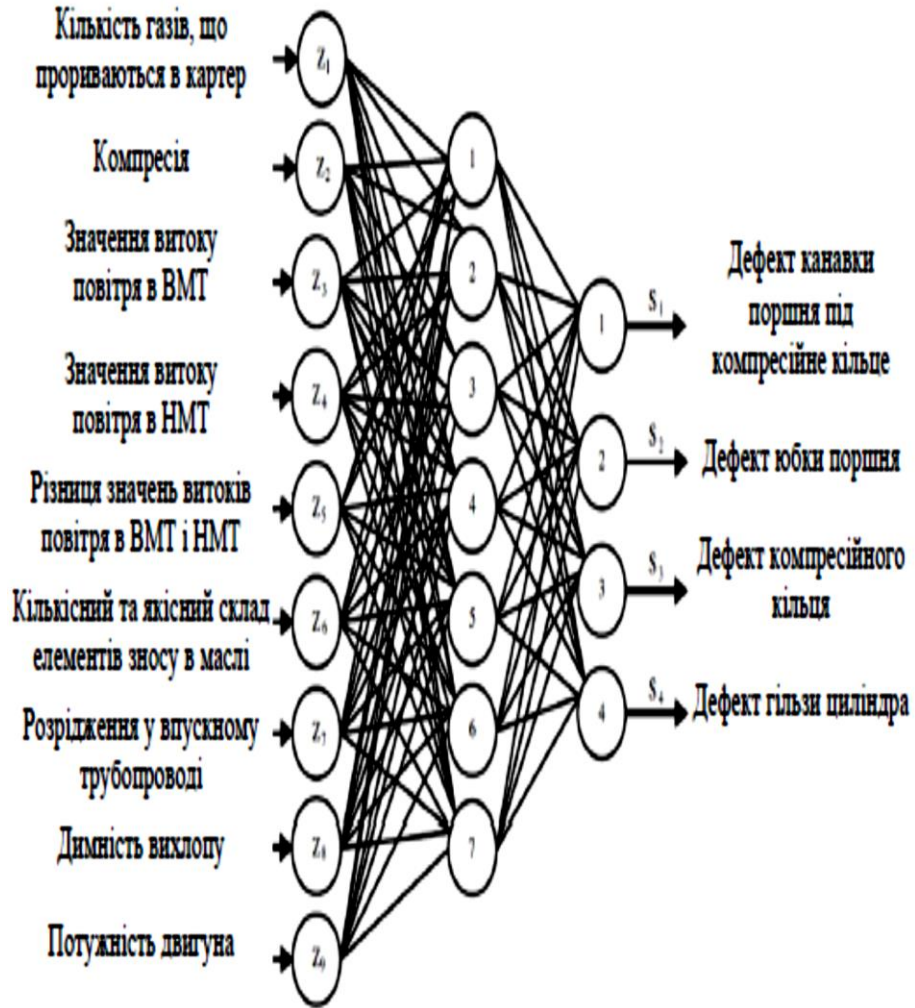
Схема методики математичної обробки емпіричних даних для побудови моделей ШНМ



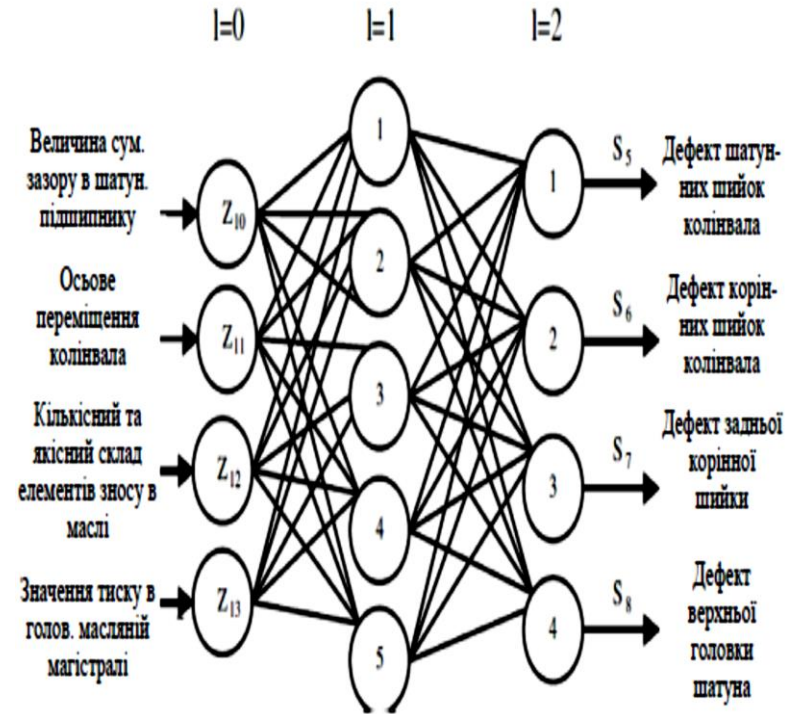
Результати групування виявлених дефектів

Познач.	Найменування
1. Дефекти циліндро-поршневої групи (ЦПГ)	
S1	Дефект канавки поршня під компресійне кільце
S2	Дефект компресійного кільця
S3	Дефект юбки поршня
S4	Дефект гільзи циліндра
2. Дефекти кривошипно-шатунного механізму (КШМ)	
S5	Дефект шатунних шийок колінчастого вала
S6	Дефект корінних шийок колінчастого вала
S7	Дефект задньої корінної шийки
S8	Дефект верхньої головки шатуна
3. Дефекти газорозподільного механізму (ГРМ)	
S9	Дефект стержня клапана
S10	Дефект кулачків розподільного вала
S11	Дефект розподільних шестерень
S12	Дефект сидла клапана
S13	Дефект направляючих втулок стержня клапана
S14	Дефект опор розподільного вала

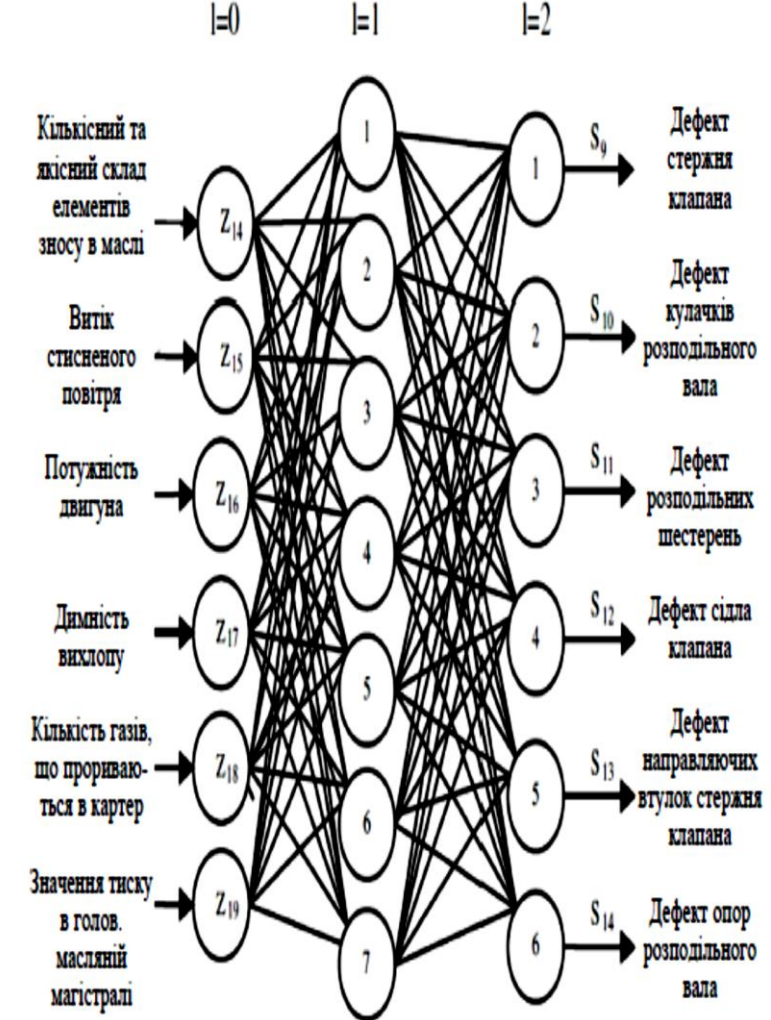
Граф-модель ШНМ для задачі розпізнавання дефектів ЦПГ



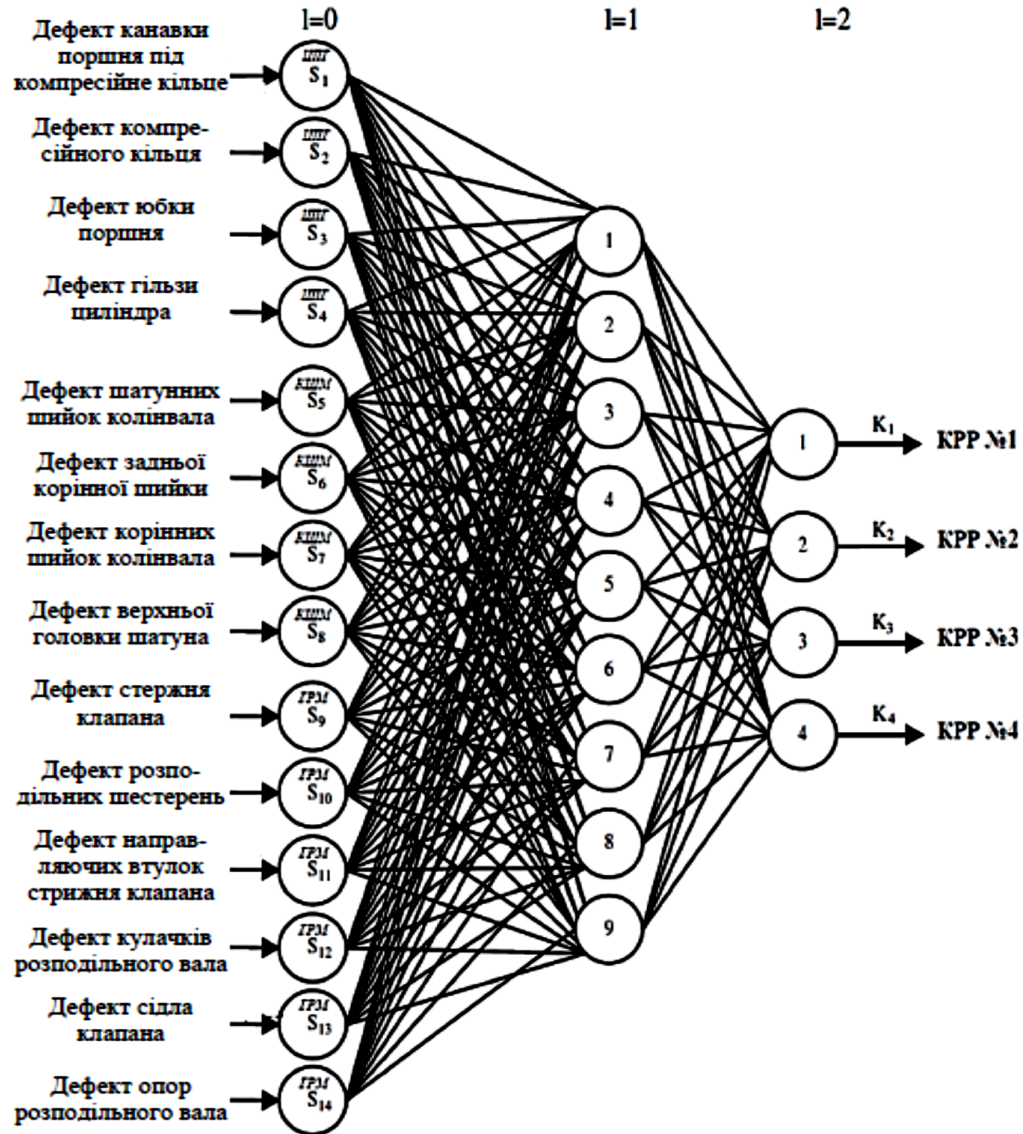
Граф-модель ШНМ для задачі розпізнавання дефектів КШМ



Граф-модель ШНМ для задачі розпізнавання дефектів ГРМ

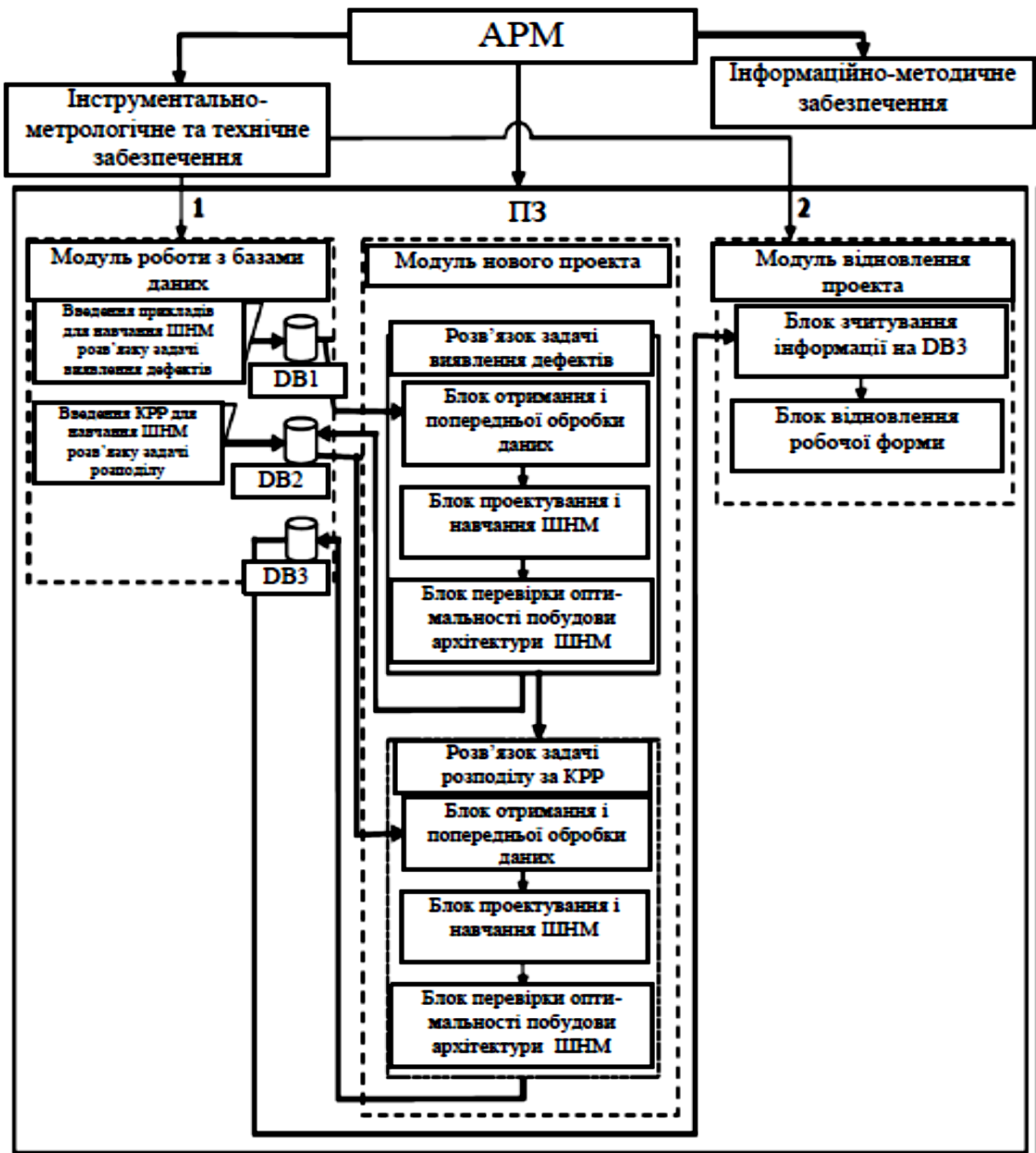


Граф-модель ШНМ для завдання розподілу агрегатів по КРР



Перелік діагностичних параметрів двигуна ЯМЗ-238 і склад діагностичних засобів

Діагностичні параметри	Прилади, пристосування, інструменти
Прослуховування шумів	Автостетоскоп ТУМ Бео - 003 або "Екранес", КИ-1154
Потужність двигуна і частота обертання колінчастого вала	ИМД- 2М (ИМД-Ц) або ГДО-ЛСХИ, ГИМ-46-ЛСХИ або РГО-ЛСХИ
Масова витрата палива	КИ-4818 або КИ-8940
Розрідження у впускному трубопроводі	U-подібний мановакууметр або тягомір ТМС-718, вакуум-аналізатор КИ-28165
Кількість газів, що прорвалися в картер	КИ-4887, СПГ ЭГКФ-8 і ГКФ-6
Компресія	Вакуум-аналізатор КИ-28165, Компресограф Zeca 363
Витік стисненого повітря з циліндрів	К69М, К-272
Тиск масла в системі мащення	КИ-5472 або КИ-4940-ГОСНИТИ
Сумарний зазор у верхній голівці шатуна і шатунному підшипнику	Компресорно-вакуумна установка КИ-4942 і пристосування КИ-11140
Нещільність клапанів газорозподілу	КИ-4887-II-ГОСНИТИ



Розроблена структура організації та взаємодії між елементами автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора-діагноста:

1 - елемент АРМ інструментально-методичного та технічного забезпечення взаємодіє з модулем роботи і базами даних ПЗ при вступі до ремонтного фонду нової моделі агрегату;

2 - елемент АРМ інструментально-методичного та технічного забезпечення взаємодіє з модулем відновлення проекту при роботі з моделями агрегатів, відомості про які вже є в базах даних ПЗ

ВИСНОВКИ

1. За результатами виконаного аналізу впливу різних чинників на систему ЦРТС в цілому встановлено, що найбільш значущий вплив на ефективність ремонту мають помилки оператора-діагноста на етапі перед-ремонтного діагностування, обумовлені причинами як об'єктивного, так і суб'єктивного (т. зв. «людський фактор») характеру.
2. Розроблено методику виявлення дефектів агрегатів автомобілів з використанням математичного апарату штучних нейронних мереж для їх розподілу за технологічними маршрутами ремонту (комплексам ремонтних робіт - КРР), яка на відміну від відомих значно знижує вплив людського фактора на постановку вірного діагнозу і подальший розподіл по КРР.
3. Розроблене методичне та метрологічне забезпечення дозволило упорядкувати процес експериментального дослідження над об'єктом дослідження на етапі передремонтного діагностування при ЦРТС. Для побудови моделей математичного апарату ШНМ з необхідним рівнем достовірності розпізнавання сполучень дефектів агрегатів автомобілів і їх розподілу по КРР була розроблена методика математичної обробки емпіричних даних.
4. Була експериментально підтверджена доцільність застосування розробленої методики при централізованому ремонті за технічним станом (ЦРТС) при виявленні дефектів агрегатів автомобілів на етапі перед-ремонтного діагностування і розподілі їх по КРР. Встановлено, що впровадження даної методики в виробничий процес сприяє зниженню помилок 1-го («помилковий дефект») роду, 2-го («пропуск дефекту») для всіх ресурсних груп двигуна як об'єкта дослідження і помилок маршрутизації, викликаних людським фактором в середньому на 70%.
5. Розроблено структурну схему АРМ оператора-діагноста, ядром якого є створене ПЗ на мові програмування Delphi в однойменній середовищі розробки, що дозволяє йому ефективно управляти процесами розпізнавання дефектів агрегатів автомобілів, що надходять в ремонт і розподілу їх по КРР при ЦРТС.
6. Порівняльний економічний ефект при організації підсистеми передремонтного діагностування за класичним і запропонованим варіантами дозволяє досягти економії при впровадженні результатів дослідження в СТО до 11 тис. грн. на ремонт одного двигуна в рік.

Додаток II (обов'язковий).
ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ
ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Підвищення ефективності діагностування двигунів ЯМЗ-238
на базі станції технічного обслуговування автомобілів «Немирів-Авто»

Тип роботи: Магістерська дипломна робота
(БДР, МКР)

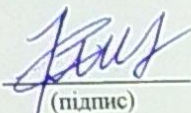
Підрозділ кафедра автомобілів та транспортного менеджменту
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

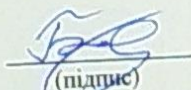
Оригінальність 82,5% Схожість 17,5 %

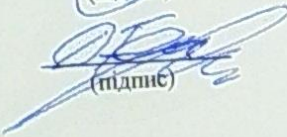
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку  Цимбал О.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи  Березняк М.С.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи  Борисюк Д.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)