

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

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Удосконалення процесу діагностування циліндро-поршневої групи
двигунів внутрішнього згорання автомобілів
в умовах станції технічного обслуговування автомобілів «Немирів-Авто»
місто Немирів Вінницької області»

Виконав: здобувач 2-го курсу, групи 1АТ-24м
спеціальності 274 – Автомобільний
транспорт

Освітньо-професійна програма –
Автомобільний транспорт

Кіт Я.Ю.

Керівник: к.т.н., доцент каф. АТМ

Борисюк Д.В.

« 2 » 12 2025 р.

Опонент: д.т.н., професор каф. ГМ

Сивак Р.І.

« 6 » 12 2025 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри АТМ

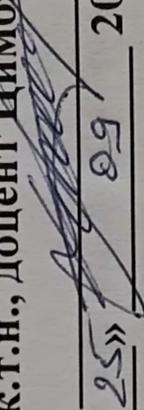
Цимбал С.В.
к.т.н., доц.

« 6 » 12 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

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

вень вищої освіти II-й (магістерський)
дузь знань 27 – Транспорт
пеціальність 274 – Автомобільний транспорт
світньо-професійна програма – Автомобільний транспорт

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

« 25 » 09 / 2025 року

ЗАВДАННЯ **НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ**

Коту Ярославу Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Удосконалення процесу діагностування циліндро-поршневої групи зигунів внутрішнього згорання автомобілів в умовах станції технічного обслуговування автомобілів «Немирів-Авто» місто Немирів Вінницької області, керівник роботи Борисюк Дмитро Вікторович, к.т.н., доцент, затвержені наказом ВНТУ від «24» вересня 2025 року № 313.

Строк подання здобувачем роботи: 30.11.2025 р.

Вихідні дані до роботи: Вимоги до конструкції та експлуатації автотранспортних засобів (діючі міжнародні, державні, галузеві стандарти та технічні умови аводів-виробників автомобільної техніки); законодавство України в галузі безпеки уху, охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; структура автопарку країни; район експлуатації автомобілів – Україна; досліджувані моделі АТЗ – втомобілі з двигунами типу УМЗ-4216; об'єкт дослідження – двигуни автотранспортних засобів та системи бездротової передачі даних; похибка прогнозування досліджуваних показників – не більше 10%.

4. Зміст текстової частини:

1. Дослідження процесу діагностування автотранспортних засобів в умовах СТО «Немирів-Авто»

2. Теоретичне обґрунтування розробки методу і засобів оцінки залишкового ресурсу вузлів і агрегатів автотранспортних засобів

3. Результати досліджень

4. Техніко-економічна оцінка і практичні рекомендації з використання результатів дослідження

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

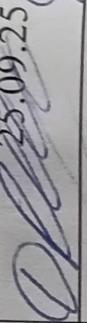
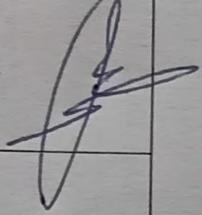
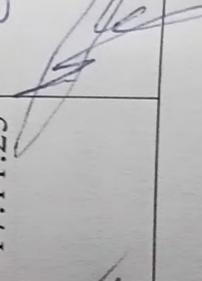
1-2 Тема, мета та завдання дослідження

3-4. Загальні відомості про СТО «Немирів-Авто»

5. Методи діагностування автотранспортних засобів

6. Засоби діагностування автотранспортних засобів
7. Приклад встановлення обладнання для дистанційного моніторингу
8. Приклад взаємодії діагностичних сенсорних мереж окремих транспортних засобів із службою технічного сервісу
9. Принципова схема плати сполучення
10. Теоретичні основи технічного діагностування під час експлуатації автотранспортних засобів
11. Структурно-наслідкова схема циліндро-поршневої групи двигуна як об'єкта діагностування
12. Схема системи оцінки технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна внутрішнього згоряння
13. Графік залежності витрати картерних газів двигунів УМЗ 4216-170 від частоти обертання колінвала
14. Залежність зносу циліндрів та поршневих кілець двигуна від напрацювання
15. Висновки

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

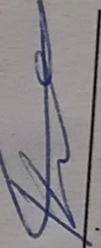
Розділ/підрозділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розв'язання основної задачі	Борисюк Дмитро Вікторович, доцент кафедри АТМ	 25.09.25	 24.11.25
Визначення ефективності запропонованих рішень	Буренніков Ю.Ю., професор кафедри АТМ		

7. Дата видачі завдання « 25 » вересня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

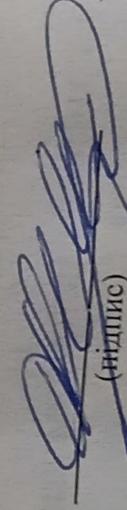
№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1	Вивчення об'єкту та предмету дослідження	25.09-29.09.2025	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	30.09-20.10.2025	
3	Обґрунтування методів досліджень	30.09-20.10.2025	
4	Розв'язання поставлених задач	21.10-10.11.2025	
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	11.11-16.11.2025	
6	Виконання розділу/підрозділу «Визначення ефективності запропонованих рішень»	17.11-24.11.2025	
7	Нормоконтроль МКР		
8	Попередній захист МКР	25.11-30.11.2025	
9	Рецензування МКР	01.12-04.12.2025	
10	Захист МКР	05.12-09.12.2025 10.12.2025- 12.12.2025	

Здобувач


(підпис)

Кіт Я.Ю.

Керівник роботи


(підпис)

Борисюк Д.В.

АНОТАЦІЯ

УДК 629.113

Кіт Я.Ю. Удосконалення процесу діагностування циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згорання автомобілів в умовах станції технічного обслуговування автомобілів «Немирів-Авто» місто Немирів Вінницької області. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 274 – Автомобільний транспорт, освітня програма – Автомобільний транспорт. Вінниця: ВНТУ, 2025. 108 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 40 назв; рис.: 29; табл.: 4.

В магістерській кваліфікаційній роботі пророблено питання удосконалення процесу діагностування циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згорання автомобілів.

У першому розділі представлено аналіз виробничої діяльності СТО «Немирів-Авто», сучасний стан та напрямки розвитку діагностики автотранспортних засобів, а також розглянуто основні підходи до оцінки технічного стану за параметрами, що прогнозують.

Другий розділ присвячений теоретичному обґрунтуванню розробки методу та засобів оцінки залишкового ресурсу вузлів та агрегатів автотранспортних засобів.

У третьому розділі представлено планування та результати досліджень.

У четвертому розділі представлена техніко-економічна оцінка та практичні рекомендації щодо використання результатів дослідження.

Графічна частина складається з 15 слайдів.

Ключові слова: діагностування, дослідження, двигун, математична модель, циліндро-поршнева група, транспортний засіб, ресурс, технічний стан.

ABSTRACT

UDC 629.113

Kit Ya.Yu. Improvement of the process of diagnosing the cylinder-piston group of internal combustion engines of automobiles in the conditions of the car service station "Nemiriv-Avto", Nemiriv city, Vinnytsia region. Master's thesis on the specialty 274 – Road transport, educational program – Road transport. Vinnytsia: VNTU, 2025. 108 p.

In Ukrainian language. Bibliography: 40 titles; Fig.: 29; tables: 4.

The master's qualification work deals with the issue of improving the process of diagnosing the cylinder-piston group of internal combustion engines of automobiles.

The first section presents analysis of production activities of the service station "Nemiriv-Avto" and the current state and directions of development of diagnostics of motor vehicles, and also considers the main approaches to assessing the technical condition by predictive parameters.

The second section is devoted to the theoretical justification of the development of a method and means of assessing the residual resource of motor vehicle components and assemblies.

The third section presents the planning and results of the research.

The fourth section presents the technical and economic assessment and practical recommendations for using the research results.

The graphic part consists of 15 slides.

Keywords: diagnostics, research, engine, mathematical model, cylinder-piston group, vehicle, resource, technical condition.

Зміст

Вступ	8
РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В УМОВАХ СТО «НЕМИРІВ-АВТО»	13
1.1 Загальні відомості про СТО «Немирів-Авто»	13
1.2 Виробнича характеристика СТО «Немирів-Авто»	14
1.3 Стан та напрямки розвитку діагностики автотransпортних засобів	18
1.4 Діагностування технічного стану автомобіля за прогнозуючими параметрами	21
1.5 Аналіз методів та способів неруйнівного контролю залишкового ресурсу вузлів та агрегатів техніки	27
1.6 Тенденції розвитку засобів діагностування агрегатів АТЗ	36
1.7 Діагностика із застосуванням бездротових систем передачі даних	40
1.8 Методика проведення досліджень безперервного діагностування прогнозуючих параметрів із використанням бездротових каналів зв'язку передачі даних	48
1.9 Висновки за розділом 1	49
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ МЕТОДУ І ЗАСОБІВ ОЦІНКИ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ВУЗЛІВ І АГРЕГАТІВ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	51
2.1 Теоретичні основи технічного діагностування під час експлуатації автотransпортних засобів	51
2.2 Методологія та технічна реалізація побудови мобільної бездротової сенсорної мережі	60
2.3 Застосування розподілених сенсорних мереж у задачах технічного діагностування	65
2.4 Методи оцінки динаміки зміни залишкового ресурсу вузлів та агрегатів техніки	69
2.5 Висновки за розділом 2	78

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	79
3.1 Планування досліджень	79
3.2 Результати дослідження	81
3.3 Залежність ресурсу ЦПГ ДВЗ від нерівномірності зазорів в однойменних з'єднаннях «поршневе кільце – гільза циліндра»	87
3.4 Спосіб діагностування однойменних елементів ЦПГ ДВЗ за компресією в циліндрах	89
3.5 Висновки за розділом 3	92
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА І ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	94
4.1 Оцінка надійності технічних засобів безперервної діагностики	94
4.2 Розробка методики автоматичного діагностування технічного стану вузлів та агрегатів автотранспортних засобів	97
4.3 Оцінка економічного ефекту впровадження безперервного діагностування вузлів та агрегатів автотранспортних засобів	98
4.4 Висновки за розділом 4	103
ВИСНОВКИ	104
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	105
Додаток А (обов'язковий). РЕЗУЛЬТАТИ ОЦІНКИ КІЛЬКОСТІ КАРТЕРНИХ ГАЗІВ ДВИГУНІВ УМЗ 4216-170	109
Додаток Б (обов'язковий). ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	111
Додаток В (обов'язковий). ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ	126

ВСТУП

Аналіз експлуатації техніки показує, що значна частина відмов і несправностей припадає на двигуни. В даних умовах значно зростають питання надійності техніки, як найважливішого чинника ефективності вирішення завдань.

При цьому особливу увагу слід приділяти стадії експлуатації автомобільної техніки. Провідну роль при цьому займає діяльність, спрямована на забезпечення призначеного ресурсу двигунів автотранспортних засобів, що досягається як забезпеченням оптимальних умов експлуатації, передбачених технічними вимогами заводів-виробників, так і проведенням своєчасного якісного технічного обслуговування та ремонту.

Інтегрування сучасних датчиків та мікропроцесорних пристроїв у двигуни відкриває можливості для створення бортових систем прогнозування, що забезпечують оперативний моніторинг експлуатаційної надійності. Запропонована система, орієнтована на контроль і прогнозування параметричної надійності двигунів в спеціальних режимах роботи, включає систему оперативного контролю, що приймає коригувальні рішення, та інформаційну систему для оптимізації періодичності технічного обслуговування. Її алгоритм роботи передбачає збір експлуатаційних даних, оцінку робочих параметрів двигуна, оперативний контроль стану моторного масла та вжиття коригувальних заходів.

Таким чином, одним із перспективних напрямів досліджень у цій галузі є розвиток системи технічного забезпечення, експлуатації та відновлення автотранспортних засобів у галузі оперативної оцінки експлуатаційної надійності двигунів автотранспортних засобів.

Технічний стан автомобілів, їх вузлів, агрегатів та деталей змінюється в процесі експлуатації внаслідок різних процесів старіння (знос, втома, корозія тощо). При цьому відбуваються зміни у діагностичних параметрах. Виявлення закономірностей зміни діагностичних параметрів дозволяє прогнозувати технічний стан транспортних засобів (їх деталей, вузлів та агрегатів) та підвищувати ефективність їх використання (рекомендації щодо підвищення надійності, обґрунтування діагностичних па-

раметрів та критеріїв, розробка методів та засобів технічного діагностування, періодичність технічного обслуговування та корегування номенклатури.

Загальна мета контрольної-діагностичних робіт – отримання інформації про технічний стан автомобіля, його окремих агрегатів, вузлів та деталей для прийняття рішень щодо технічної експлуатації автомобіля.

Достовірна інформація дозволяє приймати оптимальні рішення щодо технічного впливу на окремі вузли та агрегати транспортного засобу, що підвищує ефективність роботи технічних служб та автомобільного транспорту.

Роботи з перевірки та діагностування становлять близько 30% трудовитрат на технічне обслуговування, а разом з регулювальними роботами – 17...20% трудовитрат на технічне обслуговування та ремонт автомобілів. Крім того, трудомісткість цих робіт вища, коли ремонтуються окремі вузли чи агрегати. Але найголовніше, те що необхідність ремонту та регламент технічного обслуговування виявляються за результатами контрольної-діагностичних робіт, тобто загальна кількість технічних заходів визначається якістю виконання цих завдань. Тому в даний час розвиток усієї системи технічного обслуговування та ремонту автомобілів спрямовано на вдосконалення методів та засобів технічного діагностування.

Технічне діагностування є найефективнішим інструментом управління надійністю машин в експлуатації. Теоретичні засади діагностування машин закладено у науковій дисципліні, відомій як "діагностика". Існує тісний взаємозв'язок між технічною діагностикою та теорією надійності. Діагностика забезпечує інформаційну базу, необхідну для управління експлуатаційною готовністю і надійністю машин. Крім того, ремонтпридатність, що є характеристикою надійності, характеризує пристосованість об'єкта (машини та її компонентів) до діагностування.

Технічне діагностування автомобілів — це вивчення, встановлення та класифікація відмов та несправностей вузлів та агрегатів, симптомів цих відмов та несправностей, розробка методів та засобів їх виявлення з метою визначення профілактичних та ремонтних заходів, необхідних для підтримки високої надійності об'єкта та прогнозування ресурсів, необхідних для його повноцінного функціонування. Це одна із галузей науки про утилізацію. У даному випадку діагностику можна описати як

процес визначення та оцінки технічного стану об'єкта без його демонтажу з урахуванням сукупності виявлених діагностичних симптомів.

У загальному процесі діагностування виділяють три етапи. На першому етапі технічного діагностування проводиться аналіз інформації про надійність транспортного засобу, який включає процес оперативного дослідження змін технічного стану об'єкта.

На другому етапі на основі інженерного аналізу визначаються допуски та граничні відхилення параметрів технічного стану об'єкта, вибирається метод діагностування, система діагностування комплектується необхідним обладнанням та формується оцінка технічного стану об'єкта.

Третій етап діагностичного прогнозування передбачає прогноз майбутньої поведінки об'єкта на основі закономірності зміни його технічного стану, формування висновків про очікуваний термін служби основних елементів та встановлення періодичності їх заміни, регулювання та ін.

Метою прогнозування технічного стану може бути визначення справного (працездатного) стану об'єкта або ймовірності того, що справний стан об'єкта підтримуватиметься в заданому інтервалі часу із заданою ймовірністю інтервал часу (ресурс).

Прогнозування визначається як імовірнісне, науково обґрунтоване судження про майбутню ймовірність будь-якого явища, його можливий стан та (або) альтернативні методи та терміни їх реалізації. Нині розробляється кілька трендів виявлення закономірностей зміни діагностичних параметрів. Прогнозування також відноситься до визначення того, як довго автомобіль нормально функціонуватиме до досягнення граничного стану, зазначеного в технічній документації. Під час проведення діагностування визначається, чи автомобіль нормально функціонуватиме до наступного обслуговування чи ремонту. На практиці прогнозування полягає у визначенні періодичності обслуговування (діагностування), визначенні часу роботи до наступного ремонту та визначенні критеріїв прогнозованої діагностики. При цьому основним завданням діагностики є досягнення максимальної ефективності за обраними критеріями.

Актуальність теми дослідження полягає у необхідності розробки заходів, спо-

собів та технічних засобів діагностики та прогнозування технічного стану вузлів та агрегатів автотранспортних засобів.

Наукове завдання полягає у розробці методу прогнозування технічного стану вузлів та агрегатів автотранспортних засобів, заснованого на нелінійних моделях деградації параметрів, із застосуванням бездротових систем передачі даних.

Мета дослідження – зниження трудомісткості та підвищення оперативності при оцінці технічного стану ЦПГ ДВЗ автотранспортних засобів шляхом розробки способу безперервного діагностування з використанням бездротових каналів зв'язку для передачі даних.

Для досягнення поставленої мети необхідно послідовно вирішити такі основні завдання дослідження:

1. Провести аналіз виробничої діяльності СТО «Немирів-Авто».
2. Проаналізувати стан технічних засобів та методів діагностування вузлів та агрегатів автотранспортних засобів.
3. Теоретично обґрунтувати можливість прогнозування технічного стану вузлів та агрегатів на основі прогнозуючих параметрів.
4. Розробити метод та засіб діагностування із застосуванням бездротової передачі даних.
5. Розробити математичну модель прогнозування технічного стану вузлів та агрегатів автотранспортних засобів.
6. Навести практичні рекомендації щодо застосування запропонованого методу та засобів діагностування із застосуванням бездротової передачі даних, оцінити ефективність їх застосування.

Об'єкт дослідження – двигуни автотранспортних засобів та системи бездротової передачі даних.

Предмет дослідження – оцінка кількості картерних газів як прогнозуючого параметра технічного стану циліндро-поршневої групи двигунів автотранспортних засобів.

Методи дослідження: при вирішенні поставлених завдань використовувалися математичне та фізичне моделювання; методи планування експерименту та статис-

тичної обробки результатів вимірювань; факторний аналіз; теорія ймовірностей; Марківські процеси теорії надійності.

Наукова новизна роботи полягає у розробці математичної моделі прогнозування зміни технічного стану вузлів та агрегатів автотранспортних засобів шляхом застосування засобів безперервного діагностування та бездротової передачі даних.

Теоретична значимість результатів дослідження полягає у розробці методики побудови бездротової системи безперервного контролю параметрів, що характеризують технічний стан автотранспортного засобу, що дозволяє на основі прогнозування реалізувати технічне обслуговування за фактичним станом.

Практична значимість роботи полягає у розробці системи обслуговування автотранспортних засобів на основі безперервного діагностування та прогнозування технічного стану вузлів та агрегатів автотранспортних засобів, із застосуванням засобів бездротової передачі даних, коригування регламенту обслуговування техніки, управління фондом запасних частин з метою зниження матеріальних витрат та підвищення коефіцієнта готовності.

Апробація результатів. Основні положення роботи були представлені на XVIII-й міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 20-22 жовтня 2025 року у Вінницькому національному технічному університеті (м. Вінниця).

Структура та обсяг роботи. Дана дипломна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ АВТОТРАНС- ПОРТНИХ ЗАСОБІВ В УМОВАХ СТО «НЕМИРІВ-АВТО»

1.1 Загальні відомості про СТО «Немирів-Авто»

СТО «Немирів-Авто» розпочало свою роботу з 90-х років ХХ століття і на сьогодні є передовим підприємством де можна вирішити всі проблеми пов'язані з технічною експлуатацією автомобілів.

Із завданням, що стосується відновлення автотранспортного засобу до рівня, який він мав, зійшовши з конвеєра заводу-виробника, в змозі впоратися не кожне АТП чи СТО.

Такий рівень технічного обслуговування може запропонувати лише АТП чи СТО, що має висококваліфікований персонал, професійне обладнання з відповідними запасними частинами і власне виробництво.

Сервісний комплекс підприємства СТО «Немирів-Авто» об'єднує в собі ремонтні майстерні в м. Вінниця та м. Немирів, шинний центр, магазин автозапчастин та автомийку.

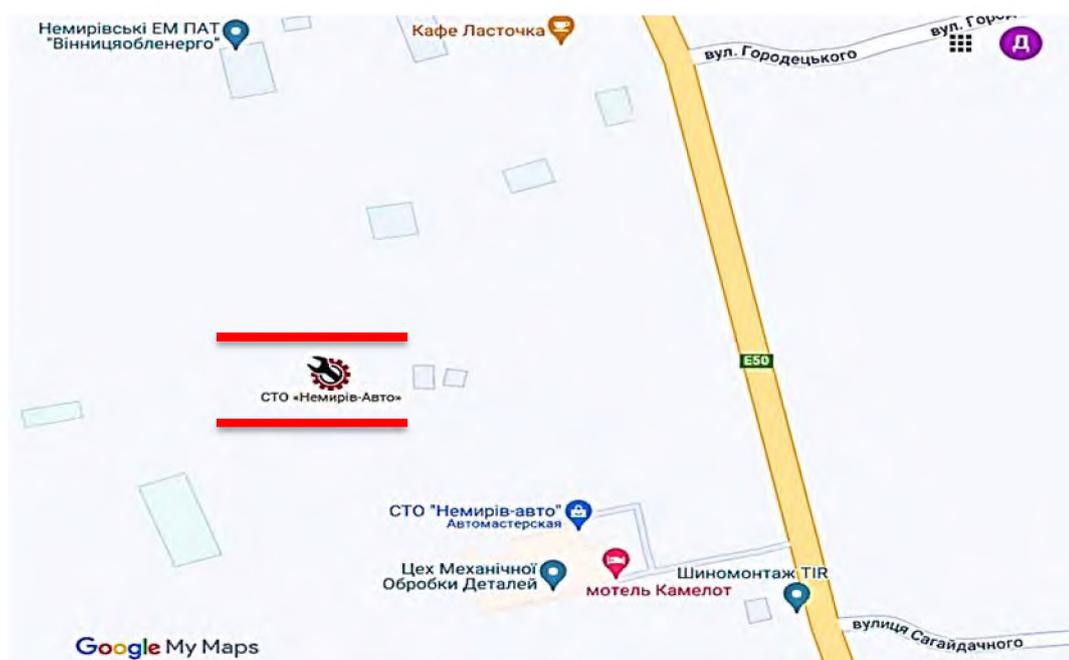


Рисунок 1.1 – Розташування виробничих підрозділів СТО «Немирів-Авто»
в м. Немирів

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 автомайстерні СТО «Немирів-Авто» використовують все необхідне обладнання для роботи з багатьма марками автомобілів азіатського європейського і американського виробництва. Спеціальні сканери і тестери дозволяють виконати діагностування виконавчих механізмів і блоків управління, двигунів, ходової частини та різних систем автомобілів.

Ремонт двигунів в СТО «Немирів-Авто» посідає особливе місце, оскільки СТО починала свою роботу як майстерня по ремонту автотракторних двигунів (рис. 1.2). При ремонті головок блоку циліндрів ДВЗ фахівцям допомагає високоточне обладнання. Особливий вид сервісу, на якому спеціалізується СТО «Немирів-Авто» – це установка, діагностування та ремонт турбокомпресорів ДВЗ. Це високотехнологічні агрегати, робота з якими вимагає високої кваліфікації 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. Завдяки співпраці з «Turbo car» СТО «Немирів-Авто» має дільницю по ремонту і виробництву карданних валів транспортних засобів з використанням запчастин, технологій та обладнання німецької компанії «Welte-Wenu GmbH».

Склад компанії «Немирів-Авто» має значний запас запасних частин до багатьох марок сучасних автомобілів. Якщо необхідна деталь відсутня, її можна замовити за каталогом виробників – запасні частини підбираються під конкретний автомобіль по VIN-коду.



Рисунок 1.2 – Дільниця ремонту двигунів СТО «Немирів-Авто» в м. Немирів

За якість шиномонтажних робіт компанії «Немирів-Авто» відповідає обладнання італійської фірми «ТЕСО» і висококваліфікований персонал, значна частина якого пройшла навчання в Європі, а також в Україні на семінарах компанії «ТіДіСі». Тут ремонтують пошкодження шин всіх типів автомобілів, в тому числі сільсько-господарської 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 виконують балансування коліс будь-якого типу, роблять нарізку протектора і рихтування сталевих дисків коліс.

Компанія «Немирів-Авто» виробляє рукава високого тиску для власних потреб і на продаж. Виготовляють рукава високого тиску з німецького матеріалу за технологією компанії «Cohline» (Німеччина) на німецьких верстатах «Uniflex». Додатково СТО «Немирів-Авто» надає послуги з ремонту клієнтських рукавів високого тиску.

Основне завдання карданного цеху СТО «Немирів-Авто» – це високий рівень надання послуг з ремонту і виробництва карданних валів. На сьогодні 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 СТО «Немирів-Авто» надає послуги з виготовлення, ремонту і балансуванню карданних валів. Сфера діяльності станції технічного обслуговування «Немирів-авто» поширюється на автомобілі європейського і американського виробництва, будівельну, індустріальну і сільськогосподарську техніку світових лідерів: VW, AUDI, MERCEDES, BMW, MAN, VOLVO, SCANIA, DAF, RENAULT, LIEBHERR, JOHN DEERE, KOMATSU, VALMET, CATERPILLAR. Замовлення на виготовлення і ремонт карданних валів надходять від підприємств і приватних осіб усіх областей України.

Крім ремонту карданних валів до переліку послуг СТО «Немирів-Авто» входять:

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

Підприємство СТО «Немирів-Авто» виготовляє та виконує заміну гальмівних трубок для всіх автомобілів 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.

Підприємство СТО «Немирів-Авто» має технічні можливості для оперативного виконання всіх видів токарних робіт. Фахівці СТО «Немирів-Авто» виготовлять на замовлення деталі будь-якої складності з чітким забезпеченням заданих параметрів.

Багатофункціональні токарні верстати дозволяють майстрам СТО «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.

Цех металообробки СТО «Немирів-Авто» пропонує послуги з металообробки, такі як: шліфування шийок колінчатих валів, полірування колінчастих валів, розточування та хонінгування БЦ ДВЗ (включаючи алюмінієві блоки), гільзовка блоків циліндрів ДВЗ (включаючи алюмінієві), відновлення постілі колінчастих і

розподільних валів, комплексний ремонт головок блоку циліндрів ДВЗ (включаючи вантажні), ремонт верхньої і нижньої головок шатуна, перепресовка шатунів, обробка площин блоків циліндрів ДВЗ, обробка площини ГБЦ ДВЗ, миття і очищення деталей двигуна, балансування деталей ДВЗ та трансмісії.

Підприємство «Немирів-Авто» виконує такі види фрезерних операцій: торцеве фрезерування; кінцеве фрезерування; фасонне фрезерування (фрезерування профілів).

Підприємство «Немирів-авто» займається зварювальними роботами різної складності. СТО «Немирів-авто» виконує відновлення автомобільних агрегатів і вузлів, шляхом напівавтоматичного зварювання, аргонодугового зварювання, газової пайки ацетиленом. Технічне оснащення СТО «Немирів-Авто» поповнилося новим апаратом аргоннодугового зварювання з сенсорним керуванням «KIND TIG 400DP AC/DC». Даний зварювальний апарат застосовується для аргонового зварювання всіх видів металів та їх сплавів.

Підприємство «Немирів-Авто» пропонує своїм клієнтам сервісне обслуговування та капітальний ремонт промислових вакуумних насосів пластинчато-роторного типу. Фахівці «Немирів-авто» здійснюють ремонт вакуумних насосів на спеціально обладнаній ділянці цеху механічної обробки деталей (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Ділянка механічної обробки деталей СТО «Немирів-Авто» в м. Немирів

З 2006 року СТО «Немирів-Авто» здійснює продаж турбокомпресорів. З 2018 року склад турбокомпресорів СТО «Немирів-Авто» розташовано в м. Вінниця.

Працівники відділу продажів та складу запасних частин СТО «Немирів-Авто» надають консультації по підборі і постачанню запчастин. Це дозволяє значно скоротити час доставки запчастин необхідних для ремонту автомобілів, але якщо потрібна заміна деталі, яка відсутня на складі, тоді менеджери можуть організувати доставку потрібної запчастини в максимально стислі терміни з країн Європи і Америки.

1.3 Стан та напрямки розвитку діагностики автотранспортних засобів

При використанні транспортних засобів неминуче відбувається деградація їх функціональних характеристик та загального технічного стану, що спричиняє різні неполадки та збої.

Технічний рівень транспортного засобу визначається комплексним аналізом трьох основних компонентів: конструктивного виконання, виробничих можливостей та експлуатаційних характеристик. При цьому серед експлуатаційних параметрів ключову роль відіграють два фундаментальні критерії – надійність і контролепридатність, які є базовими індикаторами при оцінці технічного стану.

Надійність відображає здатність транспортного засобу зберігати свої функціональні характеристики протягом заданого періоду, тоді як контролепридатність визначає зручність та ефективність проведення діагностичних процедур. Ці показники взаємно доповнюють один одного, формуючи цілісну картину технічного рівня машини та дозволяють прогнозувати її експлуатаційний ресурс.

Такий трикомпонентний підхід до оцінки забезпечує всебічне розуміння технічного потенціалу транспортного засобу та дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо його технічного обслуговування та експлуатації.

Життєвий цикл надійності транспортного засобу охоплює три етапи: проектування, де вона закладається, виробництво, де забезпечується, та експлуатацію, де підтримується. Для виміру надійності застосовуються чотири основні критерії: зда-

тність працювати без збоїв, термін служби, зручність ремонту та стійкість до зберігання.

Дефекти та відмови виступають ключовими індикаторами ремонтпридатності транспортного засобу.

Відмова характеризується як порушення працездатності механізму, у якому його експлуатаційні параметри виходять за допустимі межі, що робить подальше використання технічно неможливим чи економічно нераціональним. Причинами можуть бути різні чинники: від механічного зносу контактуючих поверхонь і порушення цілісності компонентів до неузгодженості робочих параметрів і незворотних змін у матеріалах.

При порушенні роботи механізму не завжди відбувається його повна зупинка. Дефектний елемент часто продовжує виконувати свої функції, нехай і не в повному обсязі або з певними порушеннями. Втім, нехтування навіть незначними збоями, чи то незвичайні звуки в підшипниковому вузлі колінвала, здатне спровокувати вихід із ладу всієї системи.

Часова динаміка розвитку несправностей дозволяє розділити їх у дві категорії. У першому випадку спостерігається повільна деградація робочих характеристик, коли показники, що вимірюються, поступово досягають неприпустимих значень. Подібне явище можна простежити на прикладі зниження потужності двигунів.

Раптові відмови часто виникають внаслідок прихованих змін у структурі матеріалів, накопичення втомних ушкоджень або впливу екстремальних навантажень та температур. До таких відмов відносяться пробої електричної ізоляції, вихід з ладу електронних компонентів та руйнування гідравлічних магістралей.

Сучасний розвиток діагностичних технологій дозволяє перекваліфікувати багато раптових відмов у категорію поступових. Така класифікація допомагає підібрати оптимальні методи виявлення несправностей та прогнозування залишкового ресурсу обладнання.

Етіологія технічних несправностей поділяється на три основні напрямки. Недоліки в інженерних рішеннях породжують дефекти конструкційного характеру, тоді як похибки в технологічному процесі збирання та виробництва виявляють себе на

початкових етапах роботи механізму. Третя категорія збоїв зумовлена недотриманням регламенту експлуатації устаткування.

Аналіз характеру несправностей виявляє їх взаємозумовленість чи автономність виникнення. Важливо відзначити, що довговічність та безвідмовність транспортної техніки суттєво підвищується за умови раннього виявлення потенційних проблем із використанням інноваційних засобів технічної діагностики.

Діагностична діяльність фокусується на двох ключових напрямках: розроблення критеріїв оцінки технічного стану та створення методології ідентифікації несправностей. Отримані дані є основою для прогнозування залишкового ресурсу як цілого транспортного засобу, так і його окремих компонентів.

Всебічна діагностика забезпечує комплексну оцінку технічного стану, точну локалізацію несправностей, раціональне використання запасних частин та оптимізацію експлуатаційних витрат. Це створює передумови переходу від планового до практично необхідного обслуговування, підвищуючи експлуатаційну готовність техніки.

Діагностика, на відміну від традиційного контролю, надає об'єктивну кількісну оцінку технічного стану і дозволяє здійснювати оперативне управління ним. Вона інтегрована у процеси технічного обслуговування різних галузей.

Діагностичні процедури поділяються на функціональні, що оцінюють загальний стан транспортного засобу, та тестові, спрямовані на перевірку конкретних вузлів та систем. Діагностика також оптимізує виробничі процеси сервісних підприємств, забезпечуючи раціональний розподіл робіт.

Система управління технічним станом транспорту є комплексом профілактичних і відновлювальних заходів. Оптимальними вважаються рішення, які мінімізують ресурсозатрати при відновленні працездатності, а для систем безпеки – що забезпечують мінімальний ризик відмови [5].

Ефективне управління технічним станом реалізується через замкнуту систему, що включає чотири основних компоненти: об'єкт управління, діагностичний комплекс, керуючий центр та виробничу базу. У цьому діагностика постає як самостійний елемент цієї структури, що забезпечує інформаційну основу прийняття рішень.

Контроль технічного стану транспортного парку виходить з багатофакторної системи критеріїв. В основі цієї системи лежать ключові індикатори працездатності, інтервали між сервісними заходами, критичні пороги величин, що діагностуються, допустимі похибки вимірювальних процедур, і навіть розрахунковий термін служби техніки.

Система управління функціонує з урахуванням двунаправленої взаємодії. По каналу прямого зв'язку формуються рішення про необхідні технічні впливи, а зворотний зв'язок забезпечує коригування параметрів надійності та ефективності. Діагностика у цій системі виконує триєдине завдання: первинну оцінку стану, підтримку регульовальних робіт та контроль якості обслуговування з прогнозуванням залишкового ресурсу.

Оптимізація діагностичного процесу досягається через обґрунтований вибір контрольованих параметрів, вимірювального обладнання, встановлення еталонних показників та оптимальних інтервалів перевірок.

Значний вплив діагностики на процеси технічного обслуговування сприяє еволюції системи від планово-попереджувальної моделі до обслуговування, що базується на фактичному стані транспортних засобів.

1.4 Діагностування технічного стану автомобіля за прогнозуючими параметрами

Визначення технічного стану об'єкта здійснюється за допомогою спеціалізованого контрольно-діагностичного обладнання. Взаємодія об'єкта, що діагностується, з цим обладнанням формує цілісну діагностичну систему. Процес діагностики являє собою циклічну взаємодію, при якому об'єкт отримує вхідні сигнали і генерує відповідні реакції, що підлягають виміру та аналізу.

Стимулюючі сигнали можуть надходити як від самого діагностичного обладнання, так і від зовнішніх джерел, відповідних штатному режиму роботи об'єкта. Залежно від методики подачі цих сигналів діагностичні системи поділяються на функціональні та тестові, схематичне подання яких відображено на рис. 1.4 та 1.5.

Такий підхід до діагностики дозволяє отримати комплексну картину технічного стану об'єкта через аналіз його реакцій на різні типи впливів.

Технічна діагностика націлена на створення ефективних методів оцінки технічного стану як усього транспортного засобу, і його окремих компонентів.

Використання діагностичних систем на автотранспортних підприємствах дозволяє оптимізувати керування технічним станом автопарку. Це зумовлює необхідність формування комплексних діагностичних систем управління.

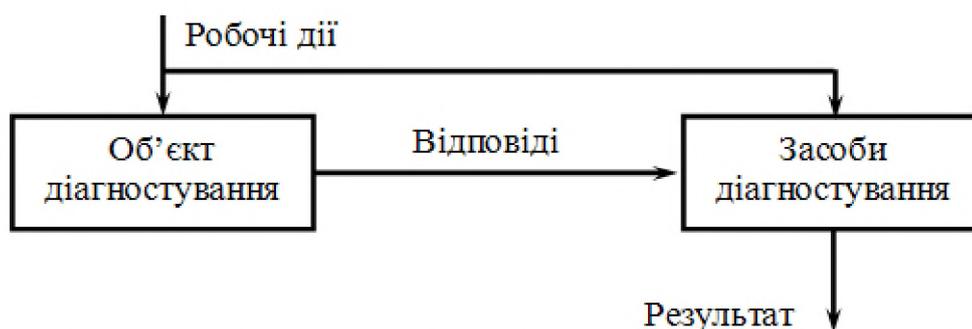


Рисунок 1.4 – Система функціонального діагностування



Рисунок 1.5 – Система тестового діагностування

Діагностичні системи, призначені для перевірки працездатності та пошуку несправностей, класифікуються за кількома критеріями. За масштабом обстеження вони поділяються на загальні та локальні. За способом взаємодії з об'єктом виділяють функціональні та тестові методи, які можуть застосовуватись як окремо, так і спільно. За типом обладнання розрізняють універсальні, спеціалізовані, вбудовані та зовнішні засоби діагностики. За рівнем автоматизації системи поділяються на автоматичні, автоматизовані та ручні.

Під час розробки діагностичної системи враховуються такі чинники, як точність діагностики та глибина пошуку несправностей. Ці параметри визначаються з урахуванням надійності компонентів, особливо критичних для безпеки, можливості

контролю та відновлення, а також економічної ефективності діагностичного процесу.

Для оцінки технічного стану автомобіля використовуються структурні параметри – фізичні величини, встановлені виробником у технічній документації. Ці параметри визначають взаємозв'язок елементів автомобіля та його загальну функціональність.

Особливу роль грають прогнозуючі параметри, які характеризують поточний технічний стан за непрямими ознаками, і основою до створення прогностичних моделей зміни технічного стану транспортного засобу.

Ефективність діагностичних параметрів визначається їхньою чутливістю до змін технічного стану.

Кількісна оцінка технічного стану механізмів спирається на систему діагностичних параметрів, що охоплюють початкові, критичні та проміжні значення при регламентованій частоті контролю. Актуальний стан агрегатів визначається через порівняльний аналіз даних з еталонними показниками, які можуть бути як загальноприйнятими, так і специфічними для конкретного виробника.

Аналіз залишкового експлуатаційного потенціалу транспортного засобу до досягнення ним критичного стану становить суть прогностичного підходу. Така методика дозволяє вибудувати індивідуальну стратегію обслуговування для кожного автомобіля, що суттєво ефективніше за застосування усереднених нормативів.

Раціональна організація технічного обслуговування потребує синергії діагностичних даних з їхньою прогновною динамікою. На практиці це втілюється у визначенні оптимальних термінів діагностики та превентивних нормативів, що базуються на теоретичних засадах надійності з урахуванням економічної доцільності.

Прогнозування може здійснюватися за різними критеріями, включаючи втомну міцність, знос, вібраційні характеристики, склад мастила та економічні показники.

Існують три основні групи методів прогнозування:

- експертні оцінки, що ґрунтуються на аналізі думок фахівців;
- моделювання, що використовує теорію подібності переносу результатів з моделі на реальний об'єкт;

- статистичні методи, які переважно використовують екстраполяцію для виявлення закономірностей зміни параметрів у часі.

Діагностичні дані є основним елементом у системі контролю технічного стану автомобільного парку. Основною метою діагностики є забезпечення оптимальних експлуатаційних характеристик транспортних засобів. Це досягається шляхом точної ідентифікації необхідних сервісних та ремонтних заходів для кожної конкретної машини в даний момент експлуатації.

Такий індивідуалізований підхід до технічного обслуговування, що базується на актуальних діагностичних показниках, дозволяє ефективно відновлювати робочі параметри автомобіля та підтримувати їх на належному рівні.

Процес відновлення являє собою комплексну динамічну систему, що поєднує різні компоненти: діагностичне та гаражне обладнання, інструменти, запасні частини та матеріали, персонал, який здійснює роботи та управління процесом, а також самі об'єкти ремонту – автомобільні вузли та агрегати.

Сучасний розвиток галузі характеризується використанням автоматизованих діагностичних систем, як зовнішніх, так і вбудованих. Ці системи, оснащені електронними модулями, забезпечують автоматизоване тестування, встановлення діагнозу та передачу інформації як безпосередньо механікам, так і в центр управління виробництвом.

Діагностичні дані також є інструментом контролю якості технічного обслуговування та ремонтних робіт.

Документообіг діагностичної інформації регламентується спеціальним керівництвом та включає два типи документів:

- первинні (одноразові картки з робочих місць);
- вторинні (накопичувальні таблиці з техніки).

Діагностичні карти виконують функцію обліку результатів перевірок та контролю виконаних робіт. Удосконалення використання діагностичної інформації має відбуватися через покращення нормативної документації та розробку стандартизованих управлінських рішень.

Діагностика автомобіля здійснюється двома основними методами: суб'єктив-

ними та об'єктивними.

Суб'єктивні методи ґрунтуються на оцінці технічного стану через аналіз динамічних процесів за допомогою органів чуття фахівця. До них відносяться: візуальний огляд; прослуховування роботи механізмів; тактильне обстеження; логічний аналіз стану.

Однак такий підхід неминуче пов'язаний із похибками в оцінці через людський чинник.

Інструментальна діагностика спирається на застосування спеціальних технічних засобів і методик аналізу. В основі цього підходу лежить комплексне дослідження конструктивних параметрів, контроль герметичності вузлів, моніторинг експлуатаційних процесів, оцінка вібраційних та акустичних показників, вивчення періодичних процесів, а також аналіз стану експлуатаційних рідин та вихлопних газів. Дані методи повинні відповідати високим стандартам точності вимірювань, надійності апаратури, технологічності процесу та економічності доцільності.

Діагностичне обладнання поділяється на автономні пристрої та інтегровані системи контролю. Автономна діагностична техніка, у свою чергу, може бути реалізована у вигляді стаціонарних комплексів, мобільних установок чи портативних приладів.

Сучасне діагностичне обладнання охоплює широкий спектр завдань від всебічної перевірки транспортного засобу до вузькоспеціалізованої діагностики окремих систем. З розвитком автомобільних технологій та посиленням експлуатаційних вимог роль інструментальної діагностики неухильно зростає [10].

За охопленням діагностування розрізняють такі діагностичні системи: системи загальної діагностики, локальні системи для окремих вузлів, автономні діагностичні засоби.

За рівнем автоматизації виділяють: автоматичні системи, напівавтоматичні системи, системи з ручним керуванням, комбіновані системи.

За типом обладнання розрізняють: стендове діагностування (включаючи роликіві стенди, що імітують рух), портативне діагностування.

Діагностика за структурними параметрами є безконтактним методом оцінки те-

хнічного стану через вимірювання геометричних характеристик сполучених деталей. Цей підхід охоплює широкий спектр вимірювань: від зазорів у різних механізмах (підшипникові вузли, клапанна система, кривошипно-шатунний механізм) до геометрії ходової частини (шворневі з'єднання, кермові механізми, кути установки коліс).

Технічний контроль механізмів реалізується у вигляді спеціалізованого діагностичного устаткування. Для визначення структурних параметрів застосовується комплекс вимірювальних пристроїв, що включає індикаторні прилади та різний спеціальний інструментарій.

Функціональна діагностика базується на аналізі робочих процесів. У ході перевірки оцінюються ефективність гальмування, включаючи довжину гальмівної колії та величину уповільнення, рівномірність гальмівних зусиль, динаміка їхньої зміни. Досліджуються характеристики взаємодії шин з дорожнім покриттям, параметри вихлопних газів, коливання тиску в паливній системі та впускному колекторі. Важливими показниками є тягові характеристики, динаміка розгону та паливна економічність.

Окремий напрямок представляє аналіз циклічних процесів. Багато систем автомобіля працюють у режимі, що повторюється – це стосується газорозподілу, паливоподачі, запалювання. Завдяки ідентичності параметрів у кожному циклі досить детально вивчити один робочий цикл. Спеціальні перетворювачі дозволяють розгорнути параметри одиничного циклу у часовій послідовності для подальшої реєстрації та аналізу.

Для визначення кута випередження запалення та контролю балансування коліс застосовуються стробоскопічні прилади. Їх принцип дії заснований на особливості людського зору: при висвітленні об'єкта, що обертається, короткими світловими імпульсами в певні моменти створюється ілюзія його нерухомості.

Аналіз стану двигуна можна провести шляхом дослідження картерного масла. Вивчаючи концентрацію різних металів у маслі, фахівці отримують інформацію про зношування конкретних деталей. Наприклад, підвищений вміст заліза свідчить про знос циліндрів і колінвала, а алюмінію – стирання поршневої групи. Наявність грун-

тових частинок свідчить про проблеми у системі повітряної фільтрації.

Аналіз складу мастильних матеріалів переважно здійснюється за допомогою спектрометрії. Дана методика виявляє наявність різних хімічних елементів завдяки унікальним спектральним характеристикам, що виявляються при впливі електричного розряду на досліджуваний зразок.

Результативність діагностики визначається здатністю методів та обладнання точно оцінюватиме технічний стан транспортного засобу. Ключовими критеріями виступають точність визначення несправностей, інформативність діагностичних алгоритмів, достовірність даних, зручність проведення робіт, матеріаломісткість обладнання та економічна доцільність застосовуваних методів.

1.5 Аналіз методів та способів неруйнівного контролю залишкового ресурсу вузлів та агрегатів техніки

Технічний стан транспортних засобів можна оцінити за різними ознаками, що супроводжують їхню експлуатацію. Будь-яке відхилення від норми проявляється через певні фізичні явища: зміна розмірів деталей, поява нехарактерних звуків, коливань, порушення теплових режимів чи зниження експлуатаційних показників. Усі ці прояви піддаються кількісній оцінці.

У діагностиці виділяють два типи параметрів стану. Перший тип – структурні параметри, що безпосередньо відображають працездатність вузлів через вимірювання конкретних величин, таких як ступінь зношування або величина зазорів. Другий тип – діагностичні параметри, які опосередковано свідчать про стан механізмів через оцінку температури, акустичних характеристик, вібрації чи ефективності використання палива [7].

Вибираючи діагностичні показники керуються кількома ключовими критеріями. Найважливішим є однозначність – кожному значенню параметра, що вимірюється, повинен відповідати певний технічний стан. Істотну роль грає чутливість параметра, що характеризує масштаб зміни при відхиленні структурних характеристик.

Ефективність діагностичного показника безпосередньо пов'язана з доступністю його вимірювання, що зумовлено конструктивними особливостями як діагностованої техніки, так і вимірювальних приладів. Ключовим критерієм вибору контрольного параметра є його діагностична цінність – здатність однозначно характеризувати технічний стан досліджуваного вузла. При розробці методик діагностики перевагу надають тим індикаторам, які дозволяють виявляти типові дефекти та неполадки.

Ефективність діагностичного процесу багато в чому залежить від зручності проведення вимірювань, що включає простоту підключення приладів та обробки отриманих даних. Ці фактори безпосередньо впливають на витрати часу та коштів під час проведення діагностики.

Інформаційна класифікація виділяє три категорії параметрів: технічні індикатори стану, функціональні показники та інтегральні характеристики, що поєднують обидва аспекти.

Кореляція між структурними та діагностичними параметрами варіюється від простих однозначних відповідностей до складних багатофакторних залежностей. Трапляються випадки неоднозначних зв'язків, коли один діагностичний показник може сигналізувати про різні структурні зміни.

Вибір ключових діагностичних параметрів ґрунтується на пріоритетності показників безпеки руху та екологічного впливу. Особлива увага приділяється характеристикам, відхилення яких тягне за собою значні витрати на відновлення.

За наявності альтернативних методів оцінки перевага надається найбільш інформативним та економічно ефективним рішенням. Оптимальними вважаються параметри, що забезпечують багатофакторний контроль за мінімальних вимірювальних витрат.

Методологія, що базується на формулах Байєса, пропонує науково обґрунтований підхід до селекції діагностичних параметрів через оцінку їхньої інформативності у визначенні різних станів системи.

Практичне застосування методу включає ідентифікацію основних структурних та діагностичних параметрів, статистичний аналіз відмов та розрахунок імовірнісних характеристик різних станів системи. Такий математичний підхід забезпечує

оптимальну селекцію діагностичних параметрів та підвищує результативність діагностичного процесу.

Формула Байєса:

$$p(D_i / K) = \frac{p(D_i)p(K_1 / D_i)\dots p(K_m / D_i)}{\sum_{s=1}^n p(D_s)p(K_1 / D_s)\dots p(K_m / D_s)} \quad (1.1)$$

де $p(D_i)$ – апіорна ймовірність станів, яка визначається як число об'єктів N_i , в яких виявлені несправності D_i , до загального числа об'єктів, що досліджуються; $p(K_j/D_i)$ – ймовірність прояву j -го діагностичного параметра при стані D_i .

Технічна оцінка сучасних транспортних засобів є багатогранною проблемою, що охоплює широкий спектр пристроїв – від традиційної механіки до складної електроніки. Подібне розмаїття технічних систем унеможливорює використання єдиного методу діагностики, змушуючи фахівців розробляти вузькоспрямовані методики контролю.

Присутність у конструкції автомобіля як переривчастих, так і плавно функціонуючих систем потребує диференційованого підходу до їхньої діагностики. У випадку дискретних елементів ефективно застосовуються логічні алгоритми аналізу, тоді як стан безперервно працюючих вузлів оцінюється шляхом зіставлення поточних показників з еталонними характеристиками.

Диференціація у показниках надійності окремих вузлів та різноманіття режимів експлуатації суттєво впливають на організацію діагностичного процесу. Це потребує ретельного планування інтервалів перевірок та вибору оптимальних методик оцінки.

Високий рівень автоматизації сучасної техніки передбачає відповідний розвиток автоматизованих діагностичних процедур з урахуванням усіх можливих експлуатаційних станів транспортного засобу.

Ефективна діагностика складної структури транспортного засобу реалізується через блочно-функціональну декомпозицію, що включає вертикальний та горизонтальний поділ. Вертикальна структура визначає ієрархію взаємозв'язків між компонентами, що безпосередньо відбивається у створенні діагностичних алгоритмів.

У горизонтальному зрізі компоненти групуються на основі фізичних процесів

та особливостей технічної реалізації. До кожного елемента визначається домінуючий фізичний метод діагностики.

Комплексна характеристика транспортного засобу як об'єкта діагностики включає три ключові аспекти. Функціональний аналіз досліджує цільове призначення системи через ієрархію показників ефективності. Морфологічний аспект розкриває структурну організацію об'єкта. Інформаційний підхід оцінює стан системи через показник ентропії, що розраховується за формулою Шеннона

$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i, \quad (1.2)$$

де P_i – ймовірність знаходження системи в i -тому стані;

n – кількість можливих станів системи.

Точність технічного контролю транспортного засобу залежить від рівня деталізації його інформаційної моделі. Ефективність діагностичних заходів оцінюється через зміну ентропійних показників системи до та після проведення досліджень, причому даний метод застосовується як до комплексної оцінки транспортного засобу, так і до аналізу його окремих вузлів.

Формування діагностичної інфраструктури виходить з комплексної методології дослідження контрольованого об'єкта. Отримані результати стають фундаментом проєктування діагностичних систем та вдосконалення конструктивних рішень, вкладених у спрощення процедур технічного контролю. Зрештою формується цілісний діагностичний комплекс, що поєднує взаємодоповнюючі модулі контролю різних компонентів транспортного засобу.

До структури діагностичного забезпечення входять діагностичні параметри з методами їх аналізу, критерії працездатності, індикатори несправностей, діагностичні алгоритми та програми, а також показники контролю придатності та результативності діагностики.

Створення діагностичного забезпечення реалізується через послідовність етапів: від розробки діагностичної моделі до формування програми діагностування, включаючи визначення параметрів та їх оцінки.

Діагностична модель, що є основою забезпечення, має відповідати триєдності

вимог: універсальності застосування, широти охоплення можливих станів об'єкта та практичної реалізованості з можливістю комп'ютерної автоматизації. При цьому існує певний конфлікт між вимогами універсальності та деталізації моделі, що вирішується шляхом розмежування загальних класів моделей та їх конкретних реалізацій.

У структурі діагностичного моделювання транспортного засобу виділяються два ключові рівні, що визначаються глибиною декомпозиції об'єкта.

На верхньому, системному рівні, діагностична модель відображає ієрархічну структуру транспортного засобу, де кожна система займає певне місце у загальній архітектурі. Така модель дозволяє оцінити, як параметри окремих систем впливають на загальні експлуатаційні характеристики транспорту. Однак через високу комплексність подібна модель рідко застосовується для практичної діагностики. Натомість фахівці вважають за краще працювати з моделями окремих систем або підсистем, що дозволяє ефективно оцінювати їхню працездатність і прогнозувати технічний стан.

На елементному рівні модель фокусується на базових компонентах системи та їх взаємозв'язках. Елементами тут є неподільні функціональні одиниці, аналіз яких дозволяє проводити детальну діагностику працездатності та виявляти конкретні несправності.

Вибір конфігурації діагностичної моделі визначається безліччю чинників, включаючи цільове призначення, особливості конструкції та рівень вивченості об'єкта.

Особливу категорію складають аналітичні діагностичні моделі, що описують трансформацію вхідних параметрів у вихідні за допомогою функціональних рівнянь. Ці моделі є математичним виразом зв'язків між різними характеристиками системи.

$$z = Ax, \quad (1.3)$$

де x, z – відповідно вхідна та вихідна величини;

A – оператор перетворення.

Оператор A виступає як функція внутрішніх параметрів об'єкта, де будь-яке відхилення параметра тягне за собою зміну як самого оператора, так і результуючої

величини. Це дозволяє ідентифікувати несправності шляхом аналізу змін вихідних показників при фіксованих вхідних даних.

Діагностика транспортних засобів спирається на аналітичні моделі різного рівня складності. Особливу цінність становлять диференціальні рівняння, що застосовуються для аналізу окремих вузлів та систем. З їх допомогою фахівці оцінюють вплив параметричних змін на ефективність роботи, визначають критичні значення показників та досліджують характер розподілу відхилень. Складні системи, такі як дизель-генераторні установки та системи автоматичного регулювання, потребують комп'ютерного моделювання для аналізу таких рівнянь.

Регресійні моделі, що створюються на основі статистичних експериментів, дозволяють встановити взаємозв'язок між діагностичними параметрами та загальними показниками ефективності транспортного засобу. Це уможливує як діагностику, так і управління технічним станом транспорту.

Для діагностики систем автоматичного регулювання, електронних компонентів та механічних систем застосовуються моделі статичних та динамічних характеристик. Особливе значення має аналіз частотних характеристик механічних систем, що дозволяє виявляти відхилення у роботі.

Логічні моделі займають особливе місце у діагностиці об'єктів із блочно-функціональною структурою. Їхня універсальність дозволяє застосовувати їх на різних рівнях аналізу транспортних засобів – від цілісних систем керування до окремих агрегатів. Особливу ефективність вони демонструють при діагностиці як розімкнених, так і замкнених систем управління, включаючи енергетичні установки і гальмівні системи.

У процесі логічного моделювання кожен елемент функціональної структури перетворюється на систему логічних ланок, де результуючий сигнал визначається одним показником. Технічний стан оцінюється бінарним методом: значення у межах допуску маркуються «одиницею», поза – «нулем». За підсумками цього принципу створюється матриця несправностей, що є базовим інструментом діагностичного дослідження.

Дослідження систем із зворотним зв'язком відрізняється специфічним підхо-

дом, що передбачає, де це можливо, створення контрольних точок розриву петель зворотного зв'язку. Логічне моделювання вигідно відрізняється своєю доступністю для розуміння, візуальною ясністю та економним використанням вихідної інформації.

Графові моделі надають можливість урахування топологічних особливостей об'єкта та його взаємодії з оточенням. Вони відрізняються алгоритмічною простотою та зручністю комп'ютерної реалізації. При моделюванні об'єктів без блокової структури враховуються специфічні особливості: неможливість розриву тісних функціональних зв'язків, необхідність включення якісних дефектів до вершин графа, мінливність структури залежно від діагностичних завдань.

Графові моделі можуть бути реалізовані як в детермінованому, так і ймовірністному вигляді, що розширює їх аналітичні можливості.

В основі аналізу діагностичної моделі є виявлення ключових індикаторів технічного стану. Серед безлічі доступних показників відбираються ті, що мають найвищу діагностичну цінність і дозволяють отримати максимально об'єктивну картину стану транспортного засобу. Ці відібрані параметри є основою для подальшої діагностичної процедури.

Вибір методів оцінки діагностичних параметрів залежить від заданої точності вимірювань і ступеня автоматизації. На цій стадії детально опрацьовуються технічні специфікації вимірювального обладнання [9].

Визначення допустимих значень нерозривно пов'язане з розпізнаванням дефектів, що дозволяє провести чітку межу між справним та несправним станом техніки.

Результати аналізу діагностичної моделі лягають в основу алгоритмічного та програмного забезпечення. Їхня ефективність оцінюється через призму економічних, тимчасових та технічних ресурсів, а також вимог до кваліфікації фахівців. Фінальною стадією є оцінка придатності транспортного засобу до діагностичного контролю.

При створенні діагностичних систем для нових транспортних засобів на чільне місце ставиться максимальна результативність. У випадку з існуючим автопарком технологія ведеться з урахуванням особливостей кожної конкретної моделі, беручи

до уваги унікальні технічні рішення та специфіку експлуатації.

Достовірна оцінка стану техніки потребує науково обґрунтованого визначення характерних значень діагностичних параметрів. Ці нормативи, зафіксовані в обслуговуючій документації, є обов'язковими критеріями при проведенні технічних робіт.

Діагностичні показники поділяються на дві основні категорії за рівнем значущості. До першої відносяться параметри, безпосередньо пов'язані з безпекою та ергономікою транспорту, що легко піддаються виміру і безпосередньо характеризують експлуатаційні якості. Друга категорія включає параметри, що визначають економічну ефективність експлуатації.

У системі технічної діагностики виділяються три базові нормативи: номінальні значення, характерні для нової техніки; граничні показники, що означають критичний поріг експлуатації; та допустимі значення, які гарантують безпечну роботу до наступної перевірки.

Визначення цих нормативних значень є критично важливим етапом у розробці системи технічного діагностування, оскільки вони є основою для оцінки поточного стану транспортного засобу та прогнозування його працездатності.

В рамках обслуговування за поточним станом ключовим контрольним індикатором є допустиме значення параметра. Технічний стан об'єкта визначається шляхом зіставлення актуальних діагностичних показників із встановленими нормами, на підставі чого приймається рішення про необхідність профілактичного ремонту чи налаштування. Виробники фіксують еталонні та критичні величини структурних характеристик компонентів транспортних засобів у спеціалізованих технічних документах.

Істотну роль у підвищенні експлуатаційної ефективності транспорту грає скорочення часу технічного обслуговування та ремонту. Це досягається розширенням діагностичних процедур, частка яких у загальному обсязі сервісних робіт перевищує чверть всіх операцій.

Цікаво, що безпосередні виміри займають лише малу частину загального часу діагностики. Більшість часу йде на підготовчі операції: монтаж датчиків, налаштування режимів роботи транспортного засобу та аналіз отриманих даних. При цьому

операції з вимірювальним обладнанням становлять понад половину всього процесу.

Ключовим напрямом оптимізації діагностичних процедур є вдосконалення конструкції транспортних засобів з погляду їхнього діагностування, а також запровадження інноваційних методів контролю.

Поліпшення діагностування транспорту може реалізовуватися трьома основними шляхами:

- створення універсальної системи підключення вимірювального обладнання через спеціально передбачені точки доступу та роз'єми. Оптимізація методології контролю за параметрами транспортного засобу;

- інтеграція вбудованих датчиків у конструкцію, що дозволяють підключати зовнішнє діагностичне обладнання через спеціалізовані порти;

- оснащення транспортних засобів постійними системами моніторингу, які надають оператору актуальну інформацію про технічний стан усіх ключових вузлів.

Максимальна ефективність досягається при комбінованому застосуванні описаних підходів.

При проектуванні, створенні та виробництві транспортних засобів (а також їх компонентів, вузлів та елементів) необхідно забезпечити їх контроль та придатність. Ця властивість регламентується комплексом характеристик, що охоплюють конструкційні особливості, діагностичні параметри та методики, а також специфічні критерії оцінки.

Конструкційні вимоги фокусуються на адаптації виробу до сучасних діагностичних методів, сумісності із вимірювальним обладнанням та стандартизації сполучних елементів. Особлива увага приділяється розміщенню, доступності та зручності підключення діагностичних інтерфейсів.

У сфері діагностичних параметрів та методології важливо визначити необхідний набір вимірюваних показників та послідовність перевірок. Система оцінки контролю та придатності базується на кількісних показниках, поділених на базові та допоміжні категорії. Базові критерії включають операційні та економічні параметри.

Операційна оцінка враховує часові витрати на діагностику ($t_{д,сп}$), підготовчі роботи ($t_{п,сп}$), час перевірки ($t_{д,уд}$). Також застосовуються комплексні індикатори: часові

(K_B) та інформативно-часові (K_i), що характеризують ефективність конструкції та вибору контрольних параметрів.

Економічна складова оцінюється через енергоспоживання (E), трудовитрати на діагностику (T_d) та підготовку (T_p), фінансові витрати на перевірки (C_d) та підготовчі операції (C_p). Використовуються також інтегральні показники: вартісний ($K_{K.c}$), трудовий (K_T), матеріальний (K_M), коефіцієнт підготовчої трудомісткості ($K_{T.d}$) та питомі витрати на контроль параметрів ($T_{y.k}$).

Допоміжні критерії оцінюють практичні аспекти діагностики: доступність, ергономічність, інтеграцію вимірювальних компонентів.

1.6 Тенденції розвитку засобів діагностування агрегатів АТЗ

Сучасні різновиди функціонування планово-попереджувальної системи (ППС) підтримки працездатності АТЗ у технічно справному стані за принципом використання/реалізації в технологічних процесах ТО та ремонту засобів діагностики поділяються на два варіанти: «on condition» – за фактичним технічним станом та «condition monitoring» – контролю технічного стану об'єкта діагностування із забезпеченням заданого рівня надійності.

Значна частина фахівців галузі автомобільного транспорту віддає перевагу першому варіанту «on condition» використання діагностики. Варіант «on condition» вважається засобом індивідуального призначення, що попереджає водія про передвідмовний стан елементів АТЗ у процесі виконання транспортного виробничого завдання. При такому варіанті реалізації ППС оцінка фактичного технічного стану вузлів та агрегатів АТЗ здійснюється за результатами функціональної діагностики, що проводиться вбудованими бортовими пристроями.

Цей напрямок у діагностиці відповідає сучасному тренду розвитку автомобільної індустрії, яке сприяє зниженню ДТП і експлуатаційних витрат на забезпечення працездатності АТЗ не менше ніж на 75% порівняно зі сформованими показниками перетворюючи систему «on condition» на активний інструмент управління технологічними процесами ТО та ремонту.

Для здійснення стратегії «on condition» у сформованій у вітчизняній галузі автомобільного транспорту ситуації фахівцями пропонуються здійснити два першочергові кроки щодо її реорганізації, які передбачають:

- на першому етапі значне збільшення частки профілактичних робіт, пов'язаних із плановими запобіжними замінами «критичних» елементів автомобілів;
- на другому – регулювання режимів технічних впливів АТЗ по мірі вироблення ресурсу (пробігу або віку) з урахуванням індивідуальної (фактичної) зміни технічного стану взаємодіючих елементів.

Не заперечуючи позитивного ефекту від використання першого напряму реорганізації системи шляхом «запланованого старіння» або «планових відмов» Бернарда Лондона, що реалізується створенням нормативів за режимами попереджувальних замін агрегатів і систем в автомобілі, відзначимо, що другий шлях реорганізації більш раціональний. Він передбачає поетапний перехід до централізованої диспетчерської служби, що працює спільно з підрозділами технічної експлуатації АТЗ з розвиненою виробничо-технічною базою, що забезпечує індивідуальний підхід по необхідним обсягам профілактичних і ремонтно-відновлювальних робіт до конкретного автомобіля, що диктується такими міркуваннями:

- по-перше, диверсифікація, розукрупнення підприємств комерційного автомобільного транспорту та розвиток підприємництва в країні призвели до зосередження значної кількості АТЗ (понад 90%) у невеликих, малих за потужністю (менше 50 од.) автопарках зі слабкою або відсутньою виробничою базою. При малій чисельності рухомого складу в АТП створилися реальні можливості аналізувати поточний індивідуальний технічний стан кожного АТЗ засобами діагностики, з урахуванням витраченого ресурсу агрегатів і автомобіля в цілому, підвищення витрати паливо-мастильних матеріалів і зниження інших техніко-економічних показників;

- по-друге, стосовно сформованого стану комерційного транспорту економічно доцільно виконувати як поточні, так і капітальні ремонти АТЗ, оскільки з практики відомо: у вітчизняних автомобілях, що надходять у ремонт, 50% деталей мають можливість відновлення їх ресурсу і лише 5% підлягають утилізації. Так як вартість відремонтованих деталей в залежності від складності і характеру пошкоджень коли-

вається від 20 до 60% від ціни на нові, а більше половини автомобільного парку країни виробила свій нормативний термін, збереження цієї функції в діяльності технічних служб є важливим фактором зниження експлуатаційних витрат;

- по-третє, і це головний привід диференційованого підходу до режимів технічних впливів – сучасна тенденція впровадження складних високоефективних електронних систем управління та вбудованих бортових діагностичних пристроїв в основні структурних елементів конструкції АТЗ, що зчитують параметри їх функціонування в режимі "on - line".

Таким чином, платформою для індивідуалізації контролю технічного стану АТЗ служить наростаючий ступінь комп'ютеризації систем вбудованої діагностики та стеження за керуючими діями водія автомобіля. Розвиток вбудованих засобів елементного діагностування АТЗ сприяє впровадженню найбільш прогресивного напрямку їх використання в якості транспортно-телематичних систем дистанційного моніторингу і прогнозування технічного стану автомобіля, включаючи прогнози на ресурсні його можливості.

Відомі перші прообрази подібних систем дистанційної технічної діагностики автомобілів – CityPoint, VG FLEET. Крім поточного діагностування елементів АТЗ в програмне забезпечення мікропроцесора цих систем входять функції контролю якості та кількості витратних експлуатаційних матеріалів, що дозволяють повніше їх використовувати в залежності від реальної напруженості виконаної транспортної роботи. Прикладом програмного забезпечення для подібних цілей служать відомі розробки Virtual mechanic і Service Fuel Eco NTU-HADI-12.

На основі узагальнення їхнього досвіду на рис. 1.6 представлена перспективна структура системи підтримки працездатності автомобілів з адаптивними засобами вбудованого діагностування, де суцільними лініями показані обов'язкові зв'язки, що підлягають реалізації, а пунктирними – зв'язки, виконання яких технічними службами АТП визначатиметься техніко-економічними факторами.

В ідеалі пропонований варіант стратегії реорганізації існуючої системи, спрямованої на забезпечення працездатності індивідуально взятого АТЗ, повинен здійснювати дистанційний моніторинг «запасу» ресурсу працездатності і планувати тер-

міни постановки конкретного автомобіля на ТО і обсяг необхідних профілактичних робіт, що включають супутні поточні ремонти.

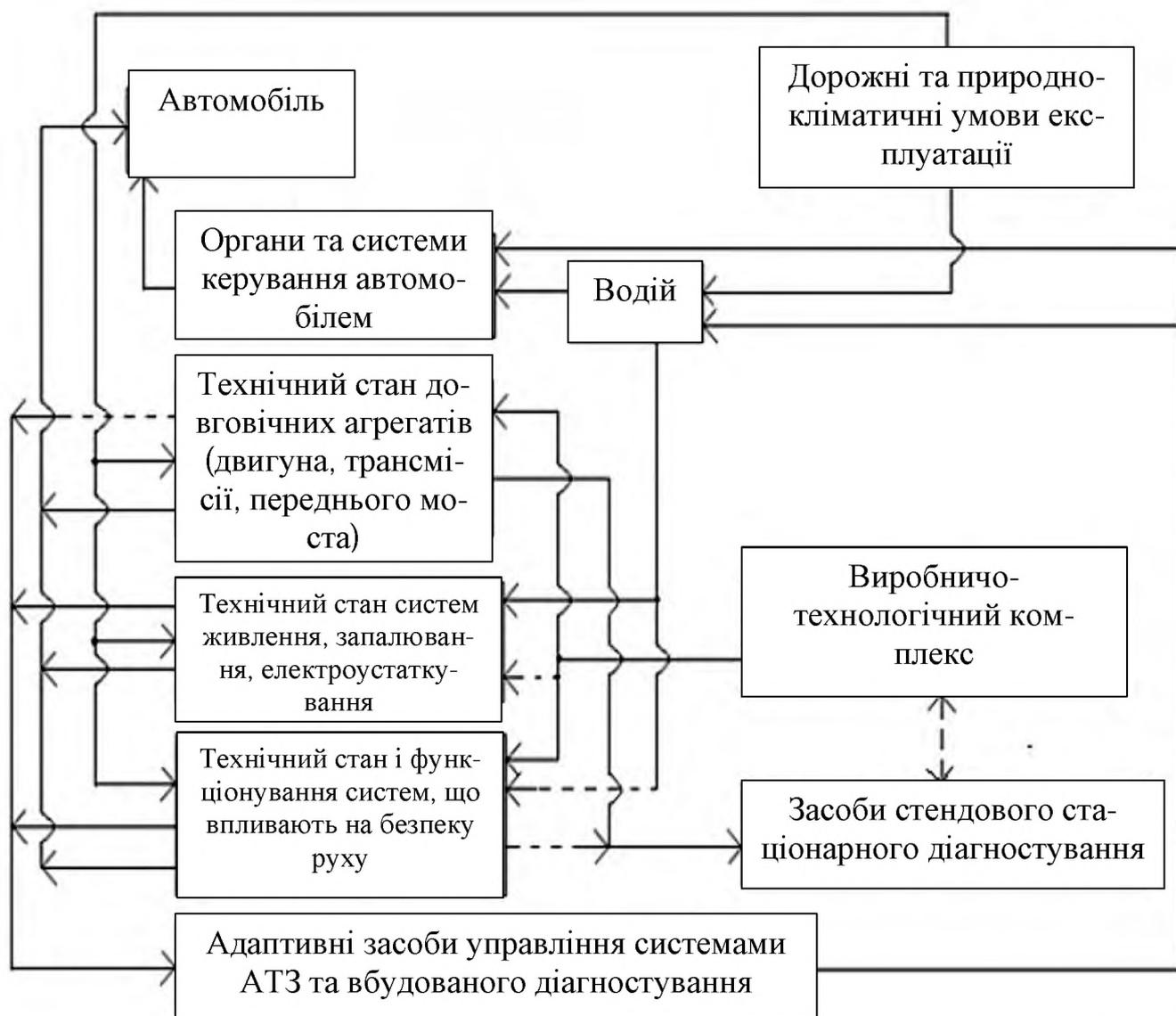


Рисунок 1.6 – Структура індивідуального забезпечення працездатності АТЗ із системами адаптивного керування агрегатами та вбудованого діагностування

Крім інтеграції автомобільного транспорту, в інтелектуальну єдину транспортну систему країни, застосування даної системи сприяє підвищенню рівня транспортної та екологічної безпеки та пропускнуєї спроможності існуючої дорожньої інфраструктури, зниження експлуатаційних витрат.

Основною перешкодою для здійснення планованих заходів щодо переходу до стратегії індивідуалізації системи забезпечення працездатності АТЗ служать обме-

жені можливості існуючих бортових діагностичних пристроїв, оскільки вони орієнтовані тільки на фіксацію гранично допустимих поточних показників технічного стану елементів автомобіля, що інформують за формою «Несправний» або «Справний».

Існуючі вбудовані засоби діагностики не наділені функціями прогнозування залишкового ресурсу контрольованих елементів АТЗ через відсутність у програмному забезпеченні нормативних даних по граничному співвідношенню отриманих прирощень структурних параметрів за певний пробіг та їх допустимих значень у складних кінематичних ланцюгах.

Проблема прийняття профілактичних попереджувальних рішень по виду керуючого технічного впливу, спрямованого на трансформацію існуючого передвідмовного стану системи автомобіля в бажану, як і раніше, покладена на оператора-діагноста логістичних центрів або АТП.

Саме створення програмного забезпечення з функціями прогнозування і є основною проблемою практичної реалізації концепції індивідуально-адаптивного управління працездатністю автомобіля, що передбачає можливість вибору пріоритетного коригувального технічного впливу службами АТП, спрямованого на перетворення технічного стану конкретного автомобіля у бік максимально можливого використання його потенційних експлуатаційних властивостей на запланований період.

1.7 Діагностика із застосуванням бездротових систем передачі даних

Сучасні технології дозволили створити особливий тип мережної інфраструктури – бездротову сенсорну мережу, що є автономною системою взаємопов'язаних датчиків і виконавчих механізмів, що комунікують по радіоканалах.

Радіус дії такої мережі варіюється від кількох метрів до кілометрових відстаней, що досягається завдяки механізму послідовної передачі між вузлами. Ефективність покриття суттєво залежить від особливостей ландшафту та характеру навколишнього середовища [8].

Історія активного розвитку цих мереж бере початок у середині 90-х років мину-

лого століття. Істотний прорив стався у 2000-х, коли досягнення мікроелектроніки уможливили економічно ефективно виробництво компонентної бази. До початку 2010-х основним протоколом для таких мереж став стандарт ZigBee.

Затребуваність бездротових сенсорних мереж [7] неухильно зростає у різних секторах економіки – від промислових підприємств до комунальних служб та систем безпеки. Цьому сприяє ускладнення виробничих процесів, розвиток індустрії та зростаючі запити приватного сектора у сфері моніторингу ресурсів та матеріальних цінностей. Прогрес у мікроелектроніці постійно розширює спектр практичних застосувань та теоретичних досліджень у галузі сенсорних мереж. Доступність бездротових датчиків створює нові перспективи для систем віддаленого контролю та вимірювань [11].

Незважаючи на тривале існування сенсорних мереж [3], їх концептуальна основа продовжує еволюціонувати, не набувши поки що остаточної форми у вигляді стандартизованих програмно-апаратних рішень. Сучасна реалізація таких мереж значною мірою визначається специфічними потребами конкретних промислових завдань. Технологія знаходиться в стадії активного розвитку як в архітектурному, так і у практичному аспектах, що привертає увагу розробників, які прагнуть зайняти перспективні ринкові позиції [14].

Основу бездротових сенсорних мереж складають компактні обчислювальні модулі – моти, оснащені різноманітними сенсорами (для вимірювання температури, тиску, освітленості, вібрації, місцезнаходження) і радіопередаючими пристроями певного діапазону.

Технологія ZigBee виділяється серед інших комунікаційних протоколів завдяки своїй адаптивній структурі та економічності установки. Особливо значною перевагою стає можливість об'єднання в єдину мережу великої кількості пристроїв – до 65 тис. елементів, що значно перевищує можливості альтернативних дротових і бездротових рішень.

У наші дні спостерігається стійка тенденція до заміщення традиційних провідних систем бездротовими рішеннями у сфері телеметрії, віддаленої діагностики та інформаційного обміну. Цьому сприяє постійне здешевлення бездротових техноло-

гій за одночасного поліпшення їх технічних характеристик. Термін "сенсорна мережа" міцно закріпився в технічній термінології, позначаючи автономну систему, що самовідновлюється, здатну функціонувати при виході з ладу окремих елементів, що не потребують складного монтажу або обслуговування [1].

Вузлові елементи такої мережі є комплексними пристроями, що включають сенсорні компоненти для моніторингу навколишніх умов, обчислювальний модуль і приймальне обладнання. Така архітектура забезпечує можливість локальної обробки отриманих даних та підтримки комунікації із центральною інформаційною системою.

Протокол 802.15.4/ZigBee, що реалізує технологію ближнього радіозв'язку, що ретранслюється, став ключовим рішенням у розвитку сучасних самоорганізованих розподілених систем моніторингу та управління.

Відмінною рисою мереж ZigBee (рис. 1.7) є використання коміркової (сітьової) топології, що дозволяє пристроям взаємодіяти як безпосередньо, так і через проміжні вузли, формуючи гнучку та надійну комунікаційну структуру.

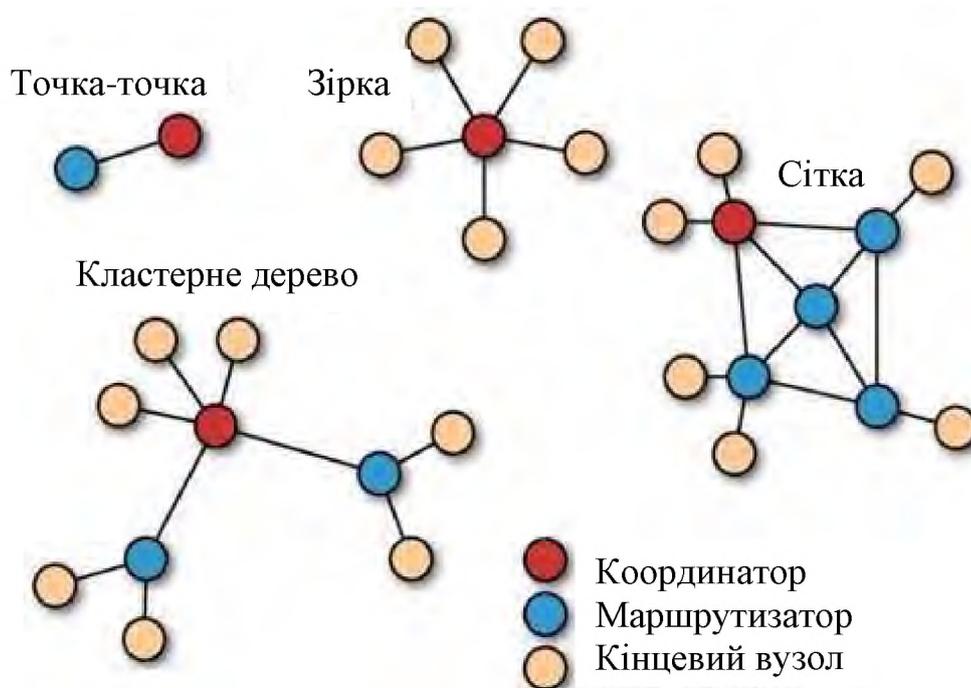


Рисунок 1.7 – Види ZigBee сенсорної мережі

Сучасні бездротові сенсорні мережі є унікальною технологією, здатною забез-

печити тривалий моніторинг і контроль в системах з критичними вимогами до автономності датчиків. Такі мережі формують розподілену інфраструктуру, що самоорганізується, здійснює збір, обробку і трансляцію даних. Їхнє головне призначення – моніторинг фізичних параметрів навколишнього середовища та різних об'єктів [14].

Базовий стандарт IEEE 802.15.4 регламентує механізми керування доступом до бездротового каналу та фізичний рівень для низькошвидкісних персональних мереж, що відповідає двом початковим рівням моделі OSI. Традиційна архітектура мережі базується на стандартному вузлі (наприклад, RC2200AT-SPPIO), що включає радіотракт, процесорний блок, джерело живлення та набір сенсорів [7].

Інтеграція в типовий вузол додаткового передавача стандарту ISO 24730-5 розширює функціонал мережі, додаючи можливості геолокації та відстеження переміщень маркованих радіомітками об'єктів. Така конфігурація дозволяє створити бездротову інфраструктуру систем позиціонування реального часу (RTLS).

Залежно від функціонального призначення, вузли мережі поділяються на кілька категорій [9].

В архітектурі бездротових сенсорних мереж виділяються три функціональні категорії вузлів:

- мережевий координатор (NCD – Network Coordination Device) виступає як центральний елемент управління, що відповідає за формування, налаштування та загальну координацію мережі. Це найбільш технічно складний компонент, що потребує суттєвих ресурсів пам'яті та енергозабезпечення;

- повнофункціональний пристрій (FFD – Fully Function Device) реалізує повний набір можливостей стандарту 802.15.4. Завдяки розширеним характеристикам пам'яті та енергоспоживання може виконувати координуючі функції та підтримує всі варіанти мережевої топології: від простої "точки-точки" до складної комірчастої структури. Має можливість прямої взаємодії з будь-якими вузлами мережі;

- пристрій з обмеженим функціоналом (RFD – Reduced Function Device) працює з базовим набором функцій 802.15.4. Підтримує лише прості топології ("точка-точка" та "зірка"), не виконує координуючих функцій і взаємодіє виключно через координатори та маршрутизатори мережі.

Приклад встановлення обладнання для дистанційного моніторингу автомобілів показано на рис. 1.8.



Рисунок 1.8 – Приклад встановлення обладнання для дистанційного моніторингу

Сучасні системи моніторингу рівня пального в техніці відкривають широкі можливості оптимізації витрат. З їхньою допомогою вдається виявляти наднормативне споживання палива, встановлювати точні нормативи для конкретних операцій, відстежувати динаміку заправок та відборів пального, а також припиняти несанкціоновані вилучення надлишків, що виникають через порушення технологічного процесу або завищені нормативи.

Відстеження експлуатаційних характеристик машин забезпечує контроль за дотриманням технологічних регламентів. Це стосується як основних агрегатів, так і додаткового обладнання. Система фіксує ключові параметри роботи: частоту обертання двигуна, споживання палива на годину, температурний режим охолоджуючої рідини, стан масляної системи. Приклад взаємодії діагностичних сенсорних мереж окремих транспортних засобів із службами технічного сервісу показано на рис. 1.9.

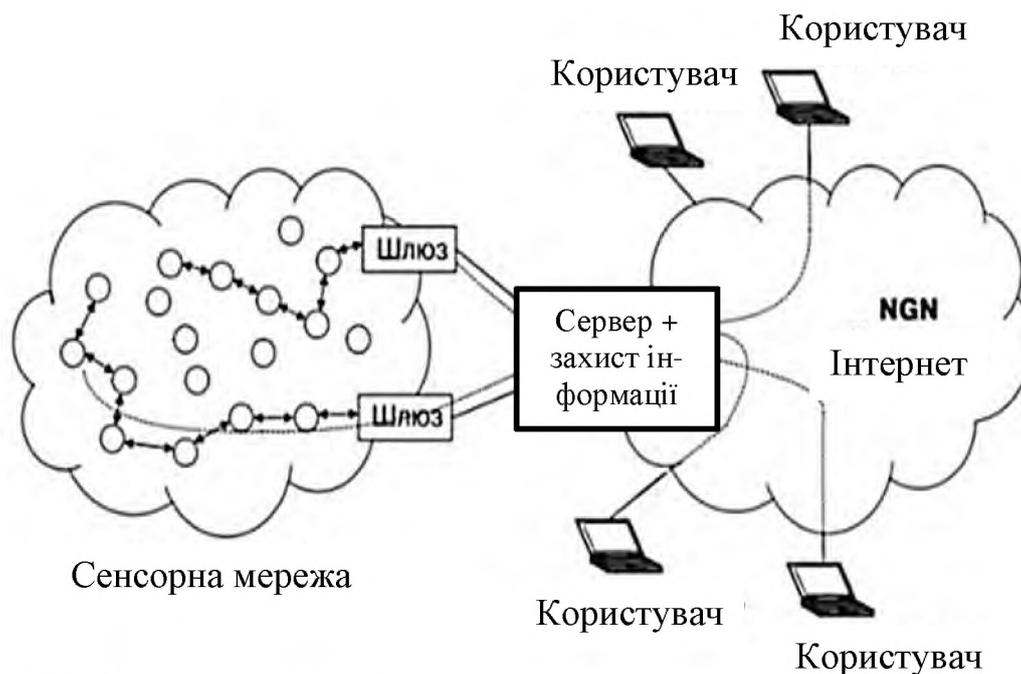


Рисунок 1.9 – Приклад взаємодії діагностичних сенсорних мереж окремих транспортних засобів із службами технічного сервісу

Хронометраж експлуатації техніки сприяє формуванню обґрунтованих часових нормативів щодо різноманітних операцій.

Навігаційний контроль через GPS надає вичерпні дані про дислокацію техніки, вектори переміщення та пройдені маршрути. Це допомагає виявляти випадки нецільового використання транспортного засобу.

У забезпеченні комунікації, маршрутизації та управління критичну роль відіграють протоколи бездротових сенсорних мереж ZigBee, 6LoWPAN, Thread, RPL.

1. ZigBee – бездротовий стандарт, розроблений для малопотужних, малошвидкісних персональних мереж (WPAN). Він орієнтований на додатки з низькою пропускну здатністю, тривалим часом автономної роботи та невеликим радіусом дії. ZigBee базується на стандарті IEEE 802.15.4 для фізичного та каналного рівнів. Підтримує різні топології, включаючи зірку, дерево та сітку. ZigBee визначає протоколи мережного рівня та вище, включаючи управління мережею, безпеку та програми. Різні профілі програм ZigBee призначені для різних завдань (наприклад, ZigBee Home Automation, ZigBee Light Link). Протокол оптимізовано для роботи від батарей протягом тривалого часу. Швидкість передачі зазвичай варіюється від 20 до 250

кбіт/с. Застосування у галузі транспорту – моніторинг параметрів довкілля, контроль технічних систем.

До переваг можна віднести: низьке енергоспоживання; просте встановлення та налаштування; висока надійність; поширеність.

Недоліки: обмежена швидкість передачі; обмежена дальність зв'язку; може бути складним у налаштуванні сітьових мереж.

2. 6LoWPAN (IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks) – це стандарт, який дозволяє використовувати протокол IPv6 (Internet Protocol version 6) у бездротових мережах з низьким енергоспоживанням та малою пропускнуою здатністю, таких як IEEE 802.15.4.

6LoWPAN адаптує IPv6 для роботи в умовах обмежених ресурсів WSN. Підтримує фрагментацію великих IPv6 пакетів на дрібніші. Може працювати з різними топологіями, включаючи зірку, дерево та сітку. Дозволяє безпосередньо підключати бездротову сенсорну мережу (WSN) до Інтернету.

Переваги: інтеграція з IP-мережами; широка доступність інструментів та протоколів IPv6; масштабованість.

Недоліки: більш складний у реалізації, ніж ZigBee; може вимагати більше ресурсів, аніж ZigBee.

3. Thread – це протокол бездротового зв'язку, розроблений для програм з низьким енергоспоживанням. Він базується на стандарті IEEE 802.15.4 та протоколі 6LoWPAN. Thread використовує IPv6 для сумісності з іншими IP-мережами. Thread побудований на основі надійної сітьової топології, при цьому забезпечує автоматичне налаштування та керування мережею. Оптимізовано для тривалої роботи від батарей. Використовує передові механізми безпеки для захисту даних.

Переваги: надійна сітьова мережа; інтеграція з IP; автоматичне налаштування та управління; висока безпека.

Недоліки: менш поширена, ніж ZigBee; може бути складнішою у реалізації.

4. RPL (Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks) – це протокол маршрутизації для малопотужних та нестабільних мереж (LLN), таких як WSN. Він оптимізований для мереж з обмеженими ресурсами та нестабільним зв'язком. RPL

використовує принцип дистанційно-векторної маршрутизації визначення оптимальних шляхів. RPL формує орієнтований ациклічний граф для представлення топології мережі. Використовує різні метрики визначення оптимальних шляхів (наприклад, кількість переходів, якість зв'язку, енергоспоживання). Оптимізовано для мінімізації енергоспоживання. Інтегрований із IPv6.

Застосовується при маршрутизації в 6LoWPAN і Thread мережах.

Переваги: адаптований до мереж з обмеженими ресурсами; енергоефективна маршрутизація; підтримка різноманітних топологій.

Недоліки: може бути складним у налаштуванні; потребує додаткових ресурсів для роботи.

Порівняння протоколів бездротових сенсорних мереж представлено в таблиці 1.1.

ZigBee, 6LoWPAN, Thread і RPL є перспективними і важливими протоколами для бездротових сенсорних мереж. ZigBee пропонує простоту та низьке енергоспоживання, 6LoWPAN забезпечує інтеграцію з IP-мережами, Thread – надійність та автоматизацію, а RPL – ефективну маршрутизацію у мережах з обмеженими ресурсами. Вибір протоколу залежить від конкретних вимог програми та характеристик мережі.

Таблиця 1.1 – Порівняння протоколів бездротових сенсорних мереж

Характеристика	ZigBee	6LoWPAN	Thread	RPL
Основа	IEEE 802.15.4	IPv6, IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.4, 6LoWPAN	IETF (стандарт)
Мережевий рівень	Власний	IPv6	IPv6	IPv6
Топології	Зірка, дерево, сітка	Зірка, дерево, сітка	Сітка	Різні
Енергоспоживання	Низьке	Низьке	Низьке	Низьке
Швидкість даних	Низька	Середня	Середня	-
Складність	Середня	Висока	Висока	Висока
Інтеграція з IP	Обмежена	Так	Так	Так

1.8 Методика проведення досліджень безперервного діагностування прогнозуючих параметрів із використанням бездротових каналів зв'язку передачі даних

Розробка методики проведення досліджень з безперервної діагностики прогнозуючих параметрів автотранспортних засобів з використанням бездротових каналів зв'язку передачі даних є критично важливим завданням для безлічі областей сучасної техніки і науки. Значимість досліджень у цій галузі обумовлена кількома чинниками:

1. Підвищення надійності та безпеки технічних систем: Безперервна діагностика, заснована на прогнозуванні, дозволяє своєчасно виявляти потенційні несправності та запобігати аваріям. Це особливо актуально для критично важливих систем, відмова яких може призвести до значних економічних втрат, екологічних збитків чи загрози життю людей (наприклад, в авіації, енергетиці, транспорті). Бездротова передача даних забезпечує віддалений моніторинг, збільшуючи доступність і швидкість реакції на проблеми, що виникають.

2. Оптимізація технічного обслуговування та ремонту – перехід від планово-попереджувального ремонту до ремонту за станом, що базується на результатах безперервної діагностики, значно знижує витрати на технічне обслуговування. Своєчасне виявлення несправностей дозволяє проводити ремонт у оптимальні терміни, запобігаючи дорогому ремонту в аварійному режимі та мінімізуючи простой обладнання.

Структура дослідження параметричної надійності двигунів автотранспортних засобів показана на рис. 1.10.

Безперервна діагностика дозволяє оптимізувати виробничі процеси, запобігати дефектам та несправностям та підвищувати якість продукції. Це особливо актуально для автоматизованих ліній та роботизованих систем, де простой можуть призводити до значних втрат.



Рисунок 1.10 – Структура дослідження параметричної надійності двигунів автотранспортних засобів

1.9 Висновки за розділом 1

1. Бездротові технології відкривають нові можливості для моніторингу віддале-

них та важкодоступних об'єктів. Це дозволяє здійснювати контроль за станом обладнання в реальному часі, незалежно від його розташування, що особливо важливо для моніторингу навколишнього середовища, розподілених енергетичних систем, транспорту та інших областей.

2. Впровадження бездротових технологій діагностування технічного стану включає розробку нових методів прогнозування, алгоритмів обробки даних, а також удосконалення технологій передачі даних.

3. Розробка та впровадження систем безперервного діагностування на основі бездротових технологій стимулюють створення нових ринків та технологічних рішень, сприяючи розвитку інновацій та економічному зростанню.

4. Отримання достовірних та своєчасних даних дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення з управління технічними системами.

5. Застосування систем безперервної діагностики дозволить підвищити ефективність роботи автотранспортних підприємств.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ МЕТОДУ І ЗАСОБІВ ОЦІНКИ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ВУЗЛІВ І АГРЕГАТІВ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

2.1 Теоретичні основи технічного діагностування під час експлуатації автотранспортних засобів

Інвестиції у надійність техніки, як правило, окупаються за рахунок зниження витрат на експлуатацію. Важливу роль відіграє правильна експлуатація, своєчасне техобслуговування та використання якісних матеріалів.

Сучасні системи складні не лише через кількість елементів, а й через їх внутрішні структури. Тому оцінювати їх потрібно не лише за кількістю, а й за якістю роботи. Це дозволяє порівнювати різні системи та вибрати оптимальні рішення.

Технічний стан механізму визначається двома ключовими факторами: ефективністю функціонування та присутністю несправностей. Сучасні діагностичні процедури здійснюються за допомогою комп'ютеризованих діагностичних комплексів.

Проектування діагностичних комплексів потребує вирішення двох фундаментальних проблем. Першорядне значення має визначення раціональної періодичності технічного обслуговування, що ґрунтується на статистиці надійності обладнання. Не менш важливим завданням є обчислення оптимальних часових інтервалів між профілактичними роботами в ситуаціях, коли дані про надійність компонентів обмежені або недостатньо достовірні [8].

Для досягнення високого рівня надійності потрібно сформувати науково обґрунтований підхід до технічного обслуговування, що враховує:

- параметри довговічності та зручності проведення ремонтних робіт;
- специфіку технічного виконання та методи виявлення дефектів.

Стратегія має бути оптимальною та забезпечувати найкращі результати.

Вибір оптимальної стратегії дозволяє покращити роботу техніки без додаткових витрат просто за рахунок зміни правил експлуатації.

Щоб описати, як автомобіль змінюється з часом, використовують математичні

моделі, що ґрунтуються на випадкових процесах. Ці процеси бувають трьох видів: регенеруючі; марківські; напівмарківські.

Відновлювальні роботи (ремонт) ділять на види за трьома ознаками:

- у якому стані автомобіль, коли розпочинають ремонт;
- у якому стані автомобіль, коли закінчують ремонт;
- чи відомо заздалегідь, коли потрібно розпочинати ремонт.

Назви видів відновлювальних робіт наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика відновлювальних робіт

Глибина відновлення системи	Відновлювальна робота	
	працездатна система	непрацездатна система
Ніякого оновлення в системі не виробляється	Плановий (позаплановий) огляд чи перевірка працездатності	-
Виробляється повне оновлення	Планова (позапланова) попереджувальна профілактика системи	Плановий (позаплановий) аварійно-профілактичний ремонт системи
Виробляється оновлення частини системи	Планова (позапланова) попереджувальна профілактика частини системи	Плановий (позаплановий) аварійно-профілактичний ремонт частини системи

При тривалому використанні машини аналіз ефективності технічного обслуговування базується на таких ключових індикаторах функціональності:

- КГ – показник, що відображає готовність машини до роботи;
- $R(z)$ – параметр, що визначає ймовірнісну оцінку успішного виконання поставленої задачі (також відомий як коефіцієнт оперативної готовності);
- S – усереднений показник прибутковості за одиницю календарного періоду;
- C – усереднені витрати, що припадають на одиницю часу безвідмовної роботи устаткування.

У багатьох практичних ситуаціях характеристики надійності точно не відомі, а відомо лише, що функції розподілу належать деякому класу. Можливі такі ситуації:

- відомі значення $\pi = (0, \pi_1, \dots, \pi_n)$ функції розподілу часу безвідмовної роботи

$F(y)$ в окремих точках $y = \{y_0 = 0, y_1, \dots, y_n\}$, тобто $F(y_i) = \pi_i, i = 0, \dots, n$ (клас таких функцій позначатимемо через $\Omega(n, y, \pi)$);

- відомі моменти розподілу

$$F(y): \mu_k = \int_0^{\infty} x^k dF(x), k = 1, 2, \dots, m$$

(клас таких функцій позначається через $\Omega_m = \Omega(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m)$).

Мінімаксий метод являє собою оптимальний підхід до вибору результативної стратегії в умовах невизначеності [3]. Методологія включає поетапний аналіз, де спочатку виділяються функції розподілу із найменш сприятливими показниками якості серед усіх можливих у заданому класі. На основі отриманих результатів проводиться розрахунок оптимальних керуючих параметрів.

При дослідженні процесів оптимізації технічного обслуговування, що не підкоряються марківським властивостям, істотну роль відіграє застосування леми Дуба і практичних наслідків, що впливають з неї [4].

Стан такої системи може бути відображено у вигляді векторного випадкового процесу $X(t)$. Його складові демонструють як безперервну, так і дискретну динаміку змін. Яскравим прикладом останньої служать стрибкоподібні зміни при накопиченні відмов у резервованих системах [4].

Технічний стан системи у будь-який конкретний часовий зріз t піддається однозначній ідентифікації як працездатний або несправний. Найчастіше процес $X(t)$ спостерігається дискретно з інтервалом Δt у моменти $\tau_k = k \Delta t, k = 0, 1, 2 \dots$, тобто спостерігається послідовність випадкових векторів X_0, X_1, \dots, X_k . Значить, у кожний момент t_k стає відомою вся минула траєкторія випадкового процесу $X(t)$:

$$(x_0, x_1, \dots, x_k) = \bar{X}_k.$$

З практики експлуатації технічних систем відомо, що в момент t_k по траєкторії X_k можна прийняти тільки два рішення:

- не втручатися у роботу системи та продовжити спостереження за процесом $X(t)$;

- припинити роботу системи та шляхом заміन і регулювань повернути систему в початковий стан. У момент відмови системи, тобто при

$$X_0 \in X_+, \dots, X_{k-1} \in X_+, X_k \in X_-$$

приймається друге рішення (тут X_+ - простір справних станів системи, X_- - простір її несправних станів $X = X_+ \cup X_-$, де X - весь простір станів системи).

Введемо функцію експлуатаційних втрат системи. Нехай $C1^*$ - середні втрати у разі, коли на момент зупинки системи вона справна, а $C2^*$ - середні втрати у разі, коли на момент зупинки система несправна.

У момент зупинки системи ($t_k = k\Delta t$) функція середніх питомих втрат:

$$y_{k=} \begin{cases} \frac{C_1}{t_k}, & \text{якщо система справна;} \\ \frac{C_2}{t_k}, & \text{якщо система несправна} \end{cases} \quad (2.1)$$

Правилом зупинки системи при спостереженні за процесом $X(t)$ (далі просто правилом зупинки) назвемо випадкову величину зі значеннями $1, 2, \dots, k, \dots$ (момент зупинки визначається поведінкою процесу $X(t)$, тому він випадковий у часі). Вважаємо, що рішення про зупинку в момент t_k залежить від траєкторії процесу X_k до моменту t_k [4].

Для правила зупинки – випадкової величини з розподілом $P\{v = k\}, k=1, 2, \dots$ середні втрати:

$$y(v) = \sum_{k=1}^{\infty} P\{v = k\} y_k \quad (2.2)$$

при рішенні завдань експлуатації правило v^* оптимальне, якщо

$$y(v^*) = \min_v y(v)$$

Під величинами C_1 та C_2 можуть розумітися відповідно середні тривалості регулювань справної I_1 та несправної I_2 систем.

Пошук оптимального критерію припинення експлуатації v^* передбачає введення додаткових обмежень процесу $X(t)$. Найбільш суттєвим серед них є принцип часової монотонності, характерний для технічних систем за тривалого використання. Цей принцип проявляється у збільшенні ймовірності виходу з ладу та відображається у природних процесах погіршення технічного стану – від поступового старіння

матеріалів до порушення регулювань та балансування механізмів [8].

За наявності зазначеної умови можна успішно застосувати лему Дуба [4] знаходження оптимального правила зупинки. Формулювання леми в контексті даної задачі передбачає набір критеріїв, дотримання яких необхідне для підтвердження оптимальності правила v^* :

$$\begin{aligned}
 & 1) \ M[v^*] < \infty; \\
 & 2) \ M\left[y_k \sqrt{X_{k-1}}\right] \times \begin{cases} \leq y_{k-1} & \text{при } k \leq v^*, \\ \geq y_{k-1} & \text{при } k > v^*; \end{cases} \\
 & 3) \ M\left[|y_k - y_{k-1}| \sqrt{X_{k-1}}\right] \leq C
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

для всіх k , де C – деяка стала.

При експлуатації технічних систем на практиці перших та третіх умов дотримуються природним чином через об'єктивні обмеження, пов'язані з витратами на обслуговування та часом роботи обладнання. Друга умова не потребує спеціального контролю у ситуаціях з монотонними випадковими процесами – воно виконується само собою.

Для аналізу ефективності технічного обслуговування найбільш відповідним математичним апаратом служить лема Дуба. Її застосування особливо ефективно у випадках, коли потрібно визначити оптимальні інтервали між процедурами регулювання системних параметрів.

Нехай деградація системи (блоку, елемента) у процесі тривалої експлуатації характеризується безперервним одновимірним, монотонно зростаючим випадковим процесом $X(t)$, значення параметрів якого розначені на осі функцій $\varphi(k)$, $X(t_k)$ і контролюється без помилок у моменти часу $t_k = k \Delta t$, $k = 0, 1, 2, \dots$

Припустимо, що приріст процесу $X(t)$ по крокам контролю незалежні та утворюють послідовність незалежних випадкових величин із загальною функцією розподілу

$$F(x) = P\{\Delta X_k < x\},$$

де ΔX_k – збільшення процесу за кроками контролю $k = 1, 2, \dots$

У процесі регулювання параметра системи $X(t)$ можна назвати дві категорії ча-

сових витрат. Перша категорія, що позначається як C_1 , характеризує середній час, що витрачається на превентивне налаштування системи, поки параметр не вийшов за межі допустимого інтервалу $(0, L)$. Друга категорія C_2 відображає усереднений час, необхідний для екстреного коригування параметра у випадках, коли його значення перевищило допустимі межі інтервалу $(0, L)$.

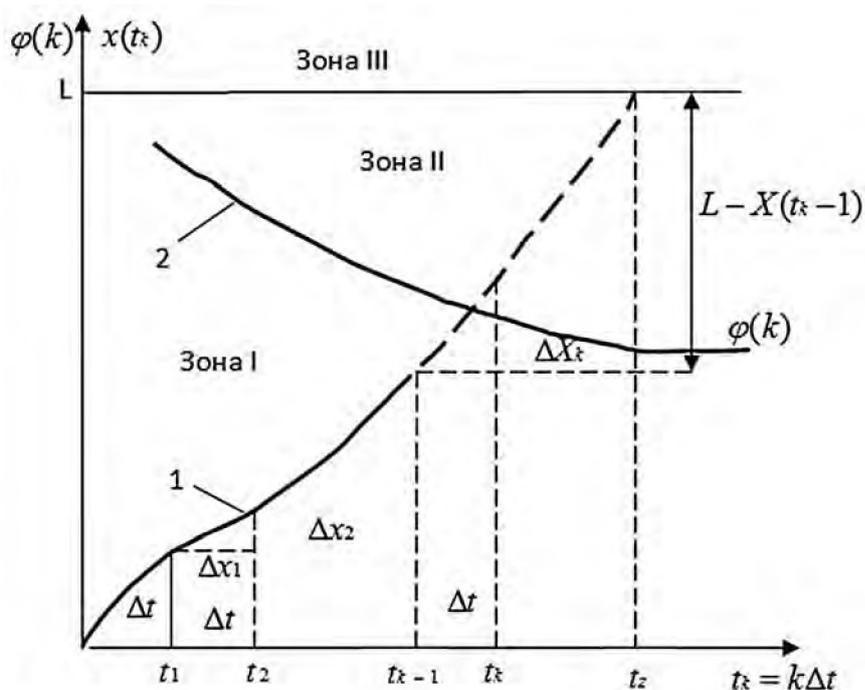


Рисунок 2.1 – До визначення правил оптимальної зупинки

Функція питомих втрат:

$$y_k = \begin{cases} \frac{C_1}{t_k}, & \text{якщо } t_k < \tau_z; \\ \frac{C_2}{t_k}, & \text{якщо } t_k \geq \tau_z \end{cases} \quad (2.4)$$

де t_z – вихід процесу $X(t)$ за рівень L (див. рис. 2.1, штрихова крива 1).

Завдання полягає в знаходженні такого правила зупинки (регулювання параметра) v^* , при якому досягається $\min M[y_k]$ у процесі тривалої експлуатації системи.

Запишемо вираз середніх втрат для моментів t_{k-1} , t_k , вважаючи, що процес спостерігався до моменту t_{k-1} включно (спостерігається траєкторія процесу – суцільна крива

1 на рис. 2.1), а в момент t_k він буде зупинений (схильний або до попереджувально-го, або аварійного регулювання):

$$\begin{aligned}
 M\left[y_k(\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_{k-1}, \Delta X_k)\right] &= \\
 &= \frac{C_1}{t_k} P\{\Delta X_k < L - X(t_{k-1})\} + \\
 &+ \frac{C_1 + A}{t_k} \left[1 - P\{\Delta X_k < L - X(t_{k-1})\}\right] = \\
 &= \frac{C_1}{t_k} + \frac{A}{t_k} \left[1 - P\{\Delta X_k < L - X(t_{k-1})\}\right]
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

де $C_2 - C_1 = A$ – деяка компенсація через відмову системи, а записи $\Delta x_i, \Delta x_a, \dots, \Delta x_{k-1}$ відносяться до значень відповідних, що спостерігаються, випадкових прирощень $\Delta x_i, \Delta x_a, \dots, \Delta x_{k-1}$.

Процес удосконалення стратегії технічного обслуговування ініціюється виявленням критичних експлуатаційних сценаріїв шляхом аналізу функцій розподілу. За підсумками визначення найбільш несприятливих режимів роботи формуються методи ефективного управління експлуатаційними параметрами устаткування.

Практичне застосування математичних моделей у плануванні ремонтних робіт демонструє значне покращення експлуатаційних характеристик: коефіцієнт готовності КГ збільшується на 12%, а ймовірність успішного виконання задачі $R(z)$ зростає на 7%.

Діагностика технічного стану може проводитись на різних етапах життєвого циклу об'єкта, але переважно здійснюється у процесі експлуатації, використовуючи імовірнісні характеристики [6]. Існують два основні методи діагностування: робоче (оцінка за вихідними параметрами при штатних вхідних впливах) та тестове (аналі реакції на спеціальні тестові сигнали). Кожен метод реалізується за певним алгоритмом діагностичних операцій [11].

Оцінка стану об'єкта проводиться за діагностичними ознаками – параметрами, що відображають зміни у його стані [3]. Діагностування вирішує три ключові завдання: контроль працездатності шляхом порівняння поточних показників з нормативними, пошук причин та локалізація дефектів у разі зниження працездатності,

прогнозування майбутнього стану об'єкта.

Для складних технічних систем застосовується комбінований підхід, що включає як робоче, так і тестове діагностування, що може проводитися як під час функціонування устаткування, так і у період його резервного стану [4].

У процесі діагностики технічний стан об'єкта вважається визначеним за умови виявлення функціональної залежності $f(t)$ та можливості побудови прогностичної моделі його стану на майбутній часовий інтервал.

У практичних умовах експлуатації такі діагностичні завдання переважно вирішуються за допомогою ймовірнісного підходу, що базується на аналізі накопичених статистичних даних про відмови, виражені через показник ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$. Після встановлення нормативного рівня надійності P_z діагностичний процес здійснюється згідно з певним алгоритмом дій (див. рис. 2.2).

Цей підхід дозволяє як оцінювати поточний стан об'єкта, так і прогнозувати його зміну, що особливо важливо для своєчасного попередження можливих відмов та планування технічного обслуговування.

Для здійснення контролю та оцінки рівня надійності машин необхідно задати верхню межу регулювання

$$P_{зад} = \sum_{n=0}^{n=BPG} \frac{(\omega \cdot T)^n}{n!} e^{-\omega T} \quad (2.6)$$

Розглянута модель оперує такими ключовими параметрами: верхньою межею регулювання (ВРГ), що відповідає допустимому числу відмов при заданій ймовірності $P_{зад}$, запланованим параметром потоку відмов (ω), напрацюванням однотипних об'єктів за контрольний період (T) та кількістю зафіксованих відмов (n).

Визначення верхньої межі регулювання вимагає встановлення значення $P_{зад}$, що формується на основі історичних даних та економічного аналізу. У міжнародній практиці прийнято використовувати $P_{зад} = 0,975$, що передбачає можливість випадкового перевищення числа відмов над ВРГ рівне 0,025. Таке значення вважається статистично незначним, а його перевищення вказує на наявність систематичних причин відмов, що потребують детального дослідження та розробки коригувальних заходів.

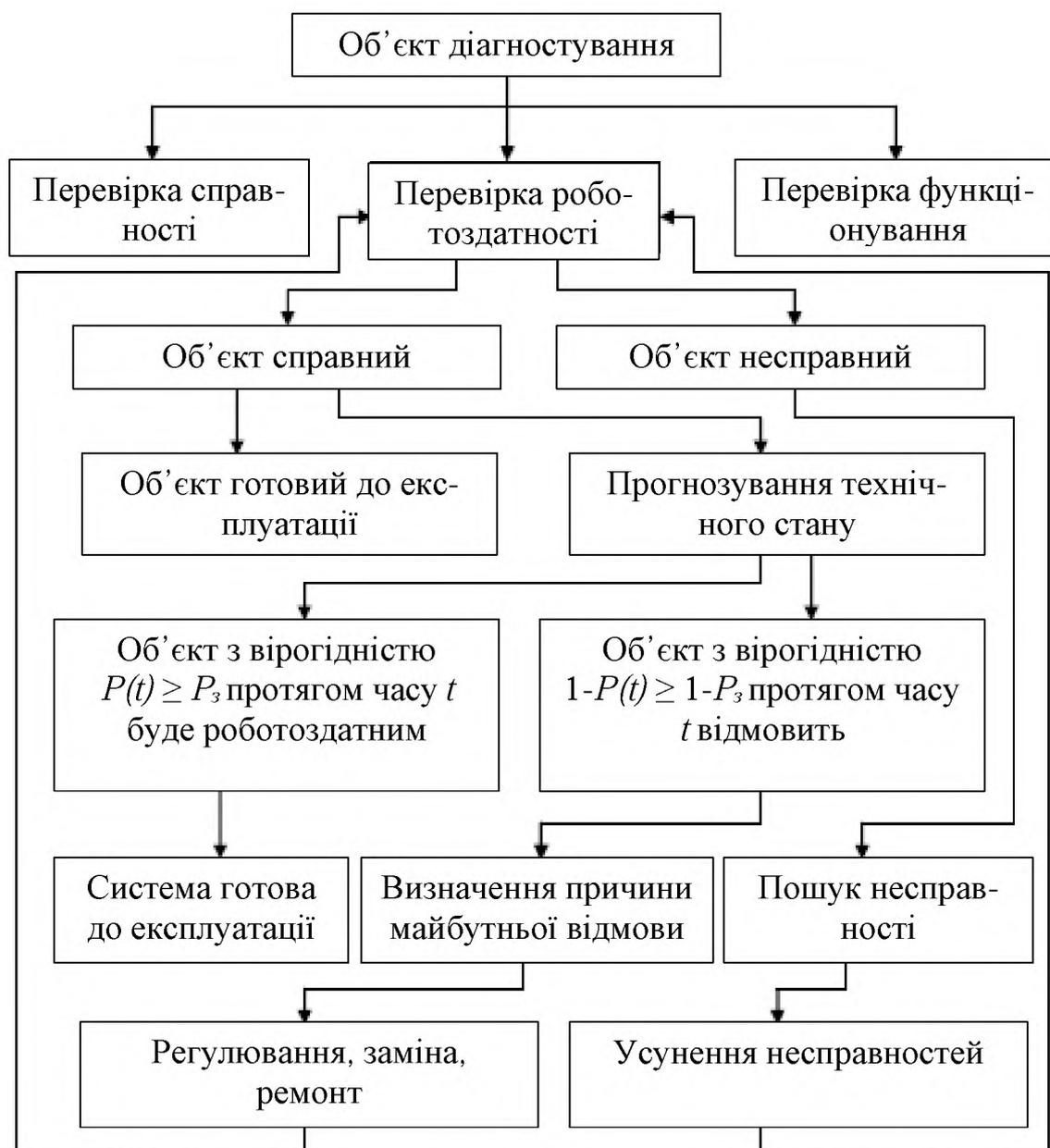


Рисунок 2.2 – Схема технічного діагностування автотранспортних засобів

Регулярний моніторинг (щомісячний, щорічний) дозволяє об'єктивно оцінювати експлуатаційну надійність та результативність заходів щодо зниження кількості відмов. Контроль здійснюється шляхом зіставлення фактичної кількості відмов (n_{ϕ}) з ВГР. Якщо $n_{\phi} < \text{ВГР}$, експлуатація може тривати у штатному режимі. При $n_{\phi} \geq \text{ВГР}$ необхідно провести поглиблений аналіз причин відмов, розробити заходи щодо підвищення надійності та оцінити економічну доцільність застосування стратегії технічного обслуговування з контролем рівня надійності [6].

2.2 Методологія та технічна реалізація побудови мобільної бездротової сенсорної мережі

Сучасна метрологія досягла значних успіхів у галузі виміру неелектричних параметрів електричними методами. Спеціалізовані пристрої здатні трансформувати різноманітні фізичні величини в електричні параметри – напругу (постійну чи змінну), частотні характеристики, фазові показники або періодичність коливань. У сучасних вимірювальних і керуючих комплексах широко застосовується перетворення фізичних параметрів в електричні сигнали з наступною цифровізацією для обробки обчислювальною технікою.

Інформаційний зміст повідомлень оцінюється універсальними методами, що забезпечує можливість визначення ефективності системи за об'єктивними критеріями. Інформаційний потік може бути представлений безперервною функцією з обмеженим частотним діапазоном та послідовністю дискретних інформаційних блоків ("пакетів даних").

Процес формування сигналу включає три послідовні етапи:

1. Конвертація неелектричних параметрів у електричні величини.
2. Кодування – створення електричного сигналу за певним математично обґрунтованим алгоритмом.
3. Модуляція – зміна характеристик електричного струму для передачі інформаційного сигналу, при цьому тип модуляції визначається особливостями передавального устаткування.

Електричний сигнал може бути математично представлений як безперервна часова функція

$$u = A \sin(\omega t + \varphi) \quad (2.7)$$

де $\omega = 2\pi f$ – кругова частота;

f – лінійна частота сигналу;

φ – фазовий зсув;

A – амплітуда;

t – поточний час.

Трансформація безперервної функції в дискретну форму вимагає визначення

відповідного інтервалу квантування. При цьому процес дискретизації може здійснюватися двома способами: шляхом квантування часової складової (розбиття за часовою шкалою) та квантування амплітудної складової (розбиття за рівнями сигналу). При квантуванні відбувається заміна точного значення функції найближчим квантованим значенням, що спричиняє похибку вимірювання, яка не перевищує половини обраного кроку квантування.

Інформаційно-обчислювальні системи, хоч і виконують внутрішню обробку даних у двійковому форматі, мають гнучкість у поданні інформації: результати можуть бути представлені та збережені як у вісімковій, так і у звичній десятковій системі числення.

Комплексна автоматизація може охоплювати максимальну кількість контрольованих агрегатів автотранспортних засобів, щоб забезпечити високу інформованість про технічний стан техніки.

В даний час для вирішення задач безперервного контролю технічного стану агрегатів автотранспортних засобів ефективним рішенням є розробка бездротової мережі передачі даних із застосуванням технології ZigBee.

Бездротова сенсорна мережа являє собою автономну структуру, що об'єднує безліч датчиків і виконавчих механізмів через радіоканали зв'язку. Завдяки механізму ретрансляції сигналів між елементами, зона покриття такої мережі може змінюватись від кількох метрів до кілометрів. Технологія 802.15.4/ZigBee стала ключовим рішенням у розвитку сучасних відмовостійких систем розподіленого моніторингу та управління. На сьогоднішній день це єдине бездротове рішення, яке здатне забезпечити тривалий автономний моніторинг фізичних параметрів середовища та об'єктів.

Архітектура мережі включає безліч периферійних пристроїв з автономним живленням і центральну базову станцію, підключену до комп'ютера та від стаціонарного джерела живлення. Периферійні вузли здійснюють регулярний збір даних із підключених сенсорів та передають їх на базову станцію, яка через USB-інтерфейс транслює інформацію на комп'ютер для подальшої обробки та аналізу.

Система, що розробляється, призначена для комплексної обробки і візуального представлення даних, одержуваних від віддалених датчиків.

Ключові вимоги до проекту включають: забезпечення високої точності перетворення сигналів, максимізацію часу автономної роботи пристроїв, універсальність

налаштування для роботи з різними типами датчиків.

Базова плата MLM-DB оснащена контролером MSP430F1611, який включає вбудований 12-розрядний АЦП. Всі вісім каналів перетворювача підключені до розширювального гнізда X1, що має двадцять контактів. Однак існуючих можливостей недостатньо для повноцінної роботи з датчиками, тому потрібно створити додаткову плату-надбудову, що монтується на конектори X1 та X2.

Модуль, що проєктується, повинен включати прецизійний АЦП з мінімальним рівнем шуму і економічним енергоспоживанням, а також силовий комутатор для забезпечення електроживлення датчика, що контролює герметичність в системі ПСТ-100. При доборі аналого-цифрового перетворювача доцільно розглянути моделі з сигма-дельта-архітектурою, що забезпечує високу точність перетворення (16-24 біта), оскільки висока швидкодія не є критичним параметром.

У розробленій схемі застосовується мікросхема AD7799 виробництва AnalogDevices, оснащена інтегрованими схемами фільтрації та посилення вхідного сигналу – ключовими компонентами для вирішення поставленого завдання. Цей 24-бітний перетворювач функціонує в частотному діапазоні 4,17-470 Гц. Ключові переваги включають наднизьке енергоспоживання (380 мкА в робочому стані і 1 мкА в режимі очікування), коефіцієнт посилення, що налаштовується від 1 до 128, а також наявність трьох диференціальних вхідних каналів. Комунікація між перетворювачем та мікроконтролером здійснюється за протоколом SPI, лінії якого виведені на роз'єм X1 (рис. 2.3).

Для забезпечення живлення датчика потрібен потужніший силовий ключ, оскільки вбудований в АЦП елемент зі струмом 30 мА не задовольняє вимогам. У ході проєктування визначились критичні параметри: мінімальний опір у відкритому стані, швидке перемикання, енергоефективність та здатність комутувати струм 150-200 мА. Оптимальним рішенням став комутатор ADG819 від AnalogDevices, що забезпечує струм до 200 мА при опорі 0,8 Ом у відкритому стані та час перемикання 10-26 нс. Управління здійснюється безпосередньо від цифрового виводу MSP430.

З огляду на можливість значного віддалення датчика від вузла бездротової сенсорної мережі для підвищення точності вимірювань застосована 6-провідна схема підключення датчиків з вбудованим вимірювальним мостом. При проєктуванні дру-

кованої плати особливу увагу приділено оптимальній топології ланцюгів живлення та заземлення для мінімізації перешкод. Результатом стала компактна двошарова друкована плата із раціональною схемотехнікою.

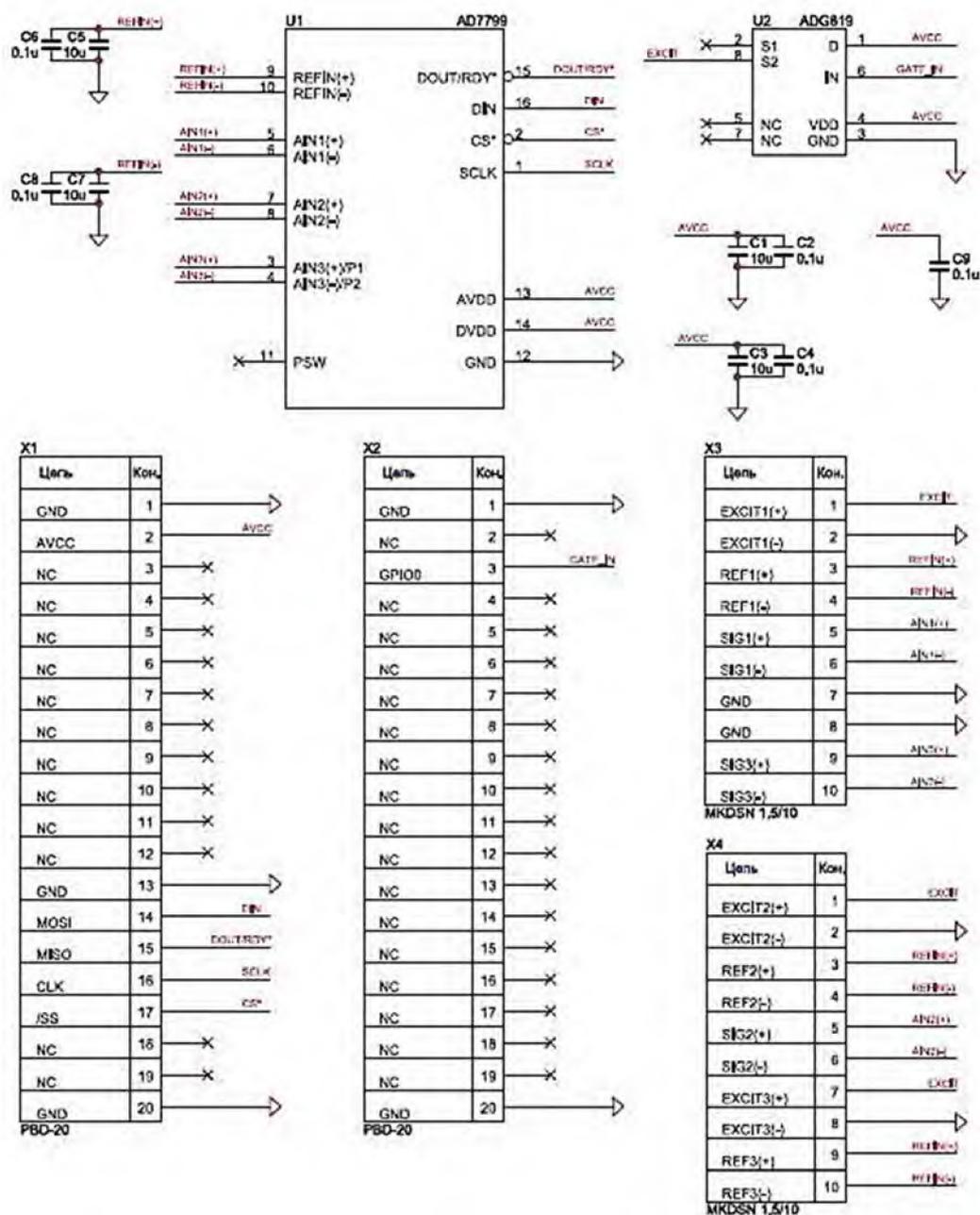


Рисунок 2.3 – Принципова схема плати сполучення

В області програмного забезпечення розроблено вбудоване програмне забезпечення для обробки та передачі даних з розподілених аналогових датчиків. Ключові вимоги до програмного забезпечення включають [15]: комплексну обробку сигналів (фільтрація, лінеаризація, перетворення показань АЦП), мінімальне енергоспожи-

вання та універсальність роботи як у режимі базової станції, так і кінцевого пристрою (вибір здійснюється джампером на контактах 3-4).

Хоча АЦП забезпечує 24-бітове розширення, достовірність молодших розрядів обмежена внутрішніми шумами перетворювача та зовнішніми перешкодами. Точність перетворення істотно залежить від частоти дискретизації та коефіцієнта посилення.

Істотним обмеженням фільтрації, що застосовується, є значна часова затримка, обумовлена необхідністю наповнення буфера новими даними. Для оптимізації швидкодії системи при змінах параметрів, що вимірюються, впроваджено попередній алгоритм аналізу та відсіювання недостовірних показань АЦП [5, 6].

З метою зниження обчислювального навантаження на базову станцію перетворення цифрового коду АЦП у фізичні величини проводиться безпосередньо на периферійному пристрої. Процес включає множення відфільтрованого значення на калібрувальний коефіцієнт, що визначає відповідність показань реальної ваги.

Проведені випробування підтвердили високу лінійність характеристики перетворення, досягнуту завдяки системному калібруванню АЦП, що виключило необхідність застосування поліноміальної апроксимації. Кінцевий результат вимірювання направляється до комунікаційного модуля MeshLogic ML-Module-Z, що забезпечує автономну маршрутизацію та доставку інформаційних пакетів до базової станції.

У режимі периферійного пристрою реалізовані механізми енергозбереження, оскільки базова станція отримує живлення через підключення USB до комп'ютера. Між вимірами (інтервал 2 секунди) система переходить в енергоефективний режим: мікроконтролер активує LPM3, АЦП переключається в режим сну, відключається живлення сенсор. Середнє енергоспоживання периферійного пристрою становить близько 0,5 мА. Для мінімізації перешкод під час роботи АЦП модуль ML-Module-Z тимчасово переводиться в сплячий режим, проте тривале відключення неприпустиме, щоб уникнути порушення мережевої топології.

Взаємодія з ML-Module-Z здійснюється через простий командний протокол типу "запит-відповідь", що вимагає отримання відповіді перед надсиланням наступної команди. Структура повідомлень включає код команди в першому байті та наступні

за ним дані. При успішному виконанні код відповіді збігається з кодом команди, при помилці встановлюється одиниця у старшому біті. Для роботи з командами змінної довжини застосовується протокол COBS [6, 7], який використовує нульовий байт як маркер кінця кадру. Функціональність модуля ML-Module-Z забезпечується лаконічним, але ефективним набором команд.

Початкове налаштування вимагає конфігурації UART-інтерфейсу (8 біт даних, 115...200 біт/с, один стоп-біт, без перевірки парності). Далі виконується встановлення режиму роботи (команда 0x05) із зазначенням номера та пріоритету для базової станції або значення 0xFF для периферійного пристрою. Передача даних здійснюється командою 0x09. Важливий нюанс при налагодженні – необхідність встановлення коротких інтервалів для сигнальних пакетів (LinkPeriod та RoutePeriod, команда 0x06), інакше ініціалізація мережної конфігурації може тривати тривалий час, що може бути помилково прийнято за програмну несправність [9].

При розробці програмного забезпечення слід уникати безперервної циклічної передачі даних, оскільки це перешкоджає нормальному функціонуванню модуля – він зможе обмінюватися службовими пакетами і отримувати інформацію про конфігурації мережі. Також потрібно коректне налаштування АЦП на периферійних пристроях та конфігурація перетворювача USART-USB на базовій станції. Критично важливим елементом надійної роботи системи є ретельна обробка кодів помилок, що надходять від модуля, який запобігає втраті даних та неефективному використанню ресурсів.

Збір та відображення інформації з сенсорної мережі здійснюється комп'ютером. Програмне забезпечення приймає дані від центрального вузла MeshLogic через USB-з'єднання, реалізоване на базі перетворювача CP2102 виробництва SiliconLaboratories, після чого виконується їхня обробка відповідно до вимог кінцевого користувача.

2.3 Застосування розподілених сенсорних мереж у задачах технічного діагностування

Підтримка працездатного стану техніки наразі здійснюється відповідно до прийнятої системи планово-попереджувального технічного обслуговування та ре-

монтажу машин. Зниження витрат на обслуговування можна досягти шляхом реалізації концепції технічного обслуговування за фактичним станом, впровадження якої можна досягти шляхом впровадження технологій розподілених сенсорних мереж.

Тенденція впровадження розподілених сенсорних мереж зумовлена ускладненням технологічних процесів, розвитком виробництва, необхідністю контролю ресурсів, використанням матеріальних цінностей та безпеки.

Кожен вузол бездротової сенсорної мережі є інтегрованим пристроєм, що поєднує різні сенсори моніторингу середовища, обчислювальний модуль і радіокомунікаційний блок. Така архітектура забезпечує повний цикл роботи з даними: від вимірювання параметрів до їх обробки та трансляції у розподіленій мережі.

Впровадження бездротових сенсорних систем відкриває широкі можливості телеметрії, включаючи раннє виявлення несправностей через моніторинг ключових параметрів (вібрація, температура, тиск), безперервне спостереження за технологічним обладнанням, оптимізацію використання ресурсів та екологічний моніторинг довкілля.

Конфігурація сенсорної мережі визначається специфікою розв'язуваних завдань, що впливає на вибір архітектури та технічної реалізації. Переваги бездротових інтелектуальних сенсорних мереж полягають у гнучкості проектування та мінімізації монтажних витрат. Масштабованість системи дозволяє інтегрувати до 65 000 пристроїв. Удосконалення технологій та покращення експлуатаційних характеристик стимулюють перехід до бездротових рішень у галузі телеметрії, віддаленої діагностики та інформаційного обміну.

При аналізі надійності розподіленої комунікаційної мережі слід застосовувати модель системи з поелементним резервуванням. Кількісна оцінка показників надійності провадиться за спеціальною методикою. Введемо позначення: $P_{i0}(t)$, $i = 1, 2, \dots, n$ – можливість безвідмовної роботи елемента на інтервалі часу $(0, t)$.

Запишемо можливість відмови i -ї групи

$$q_i(t) = \prod_{j=0}^m q_{ij}(t) \quad (2.8)$$

де $i = 1, 2, \dots, n$.

Запишемо можливість безвідмовної роботи i -ї групи:

$$P_{i(t)} = 1 - Q_{i(t)} = 1 - \prod_{j=0}^m [1 - P_{ij}(t)]. \quad (2.9)$$

Запишемо можливість безвідмовної роботи системи з поелементним резервуванням:

$$P_c = P_c(t) = 1 - Q_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i(t)) \quad (2.10)$$

Для надійних елементів системи:

$$P_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i(t)) = 1 - (1 - P_i(t))^n \quad (2.11)$$

Ефективність резервування прийнято оцінювати за допомогою коефіцієнта підвищення надійності γ , який визначають за показниками безвідмовності із співвідношень:

$$\gamma_p = P(t)_p / P(t) \quad (2.12)$$

$$\gamma_Q = Q(t) / Q(t)_p \quad (2.13)$$

де $P(t)_p$, $Q(t)_p$ – ймовірність безвідмовної роботи та ймовірність відмови для резервованої системи, а $P(t)$ і $Q(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи та ймовірність відмови для системи, що не резервується.

Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи об'єктів, елементи яких з'єднані послідовно, провадиться за формулою:

$$P(t) = P_1(t) * P_2(t) * \dots * P_n(t), \quad (2.14)$$

де $P(t)$ – ймовірність відмови об'єкта за напрацювання t ;

$P_1(t)$, $P_2(t)$, ..., $P_n(t)$ – можливість відмовитися від напрацювання t відповідно 1, 2, ..., n -го елементів, складових об'єкт.

Ймовірність безвідмовної роботи системи, елементи яких з'єднані паралельно, визначається:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n \left[1 - \prod_{j=1}^m [1 - P_{ij}(t)] \right] \quad (2.15)$$

Створення блоку схеми алгоритму розрахунку надійності на основі математич-

ної моделі можливе з використанням спеціальних програмних засобів (рис. 2.4).

У разі обмеженого числа контрольованих компонентів допустимо застосування двох основних підходів до діагностики. Перше передбачає проведення комплексного тестування під час планового технічного обслуговування.

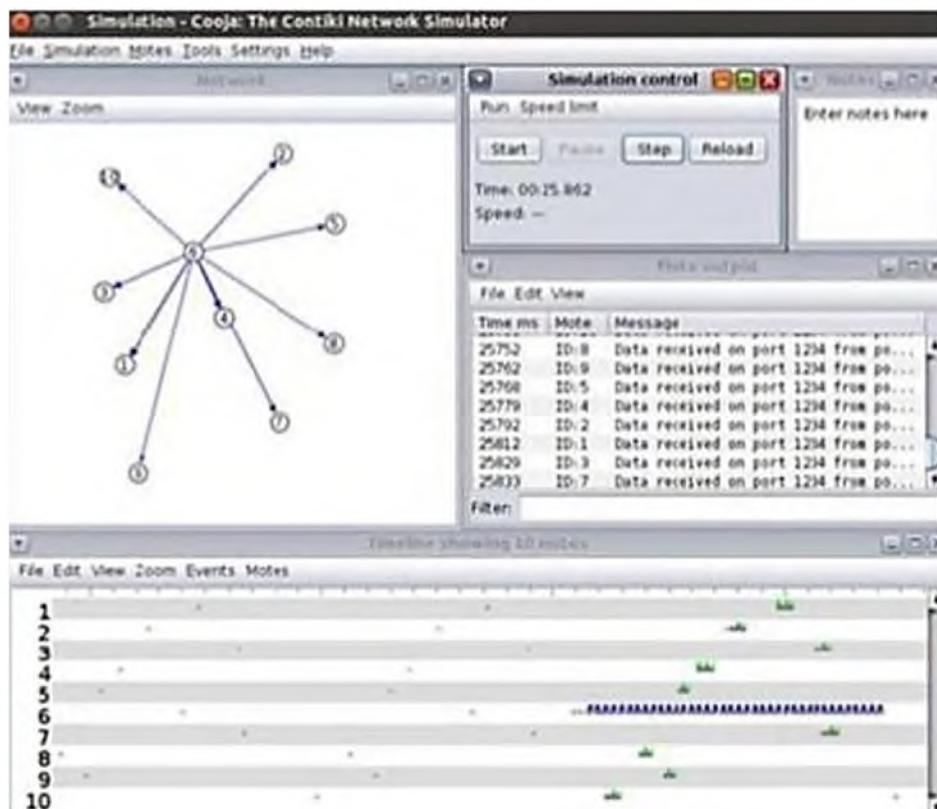


Рисунок 2.4 – Вікно симулятора Сooja

Симулятор мережі, для операційної системи (ОС) Contiki, спеціально розроблений для бездротових сенсорних мереж, що дозволяє оцінити можливості мережі, що розробляється, до її безпосередньої реалізації.

Вирішення завдань технічної діагностики передбачає використання методів пошуку несправностей.

Другий базується на послідовному виконанні найпростіших перевірочних операцій, які можуть здійснюватися як у постійному режимі, так і з певною періодичністю протягом усього терміну експлуатації транспортного засобу.

2.4 Методи оцінки динаміки зміни залишкового ресурсу вузлів та агрегатів техніки

Витрати на технічне обслуговування та ремонт автомобіля за весь період експлуатації у 5-7 разів перевищують його первісну вартість. Отже, особливої значущості набуває точне прогнозування показників надійності компонентів як на етапі проєктування, так і в процесі експлуатації. Дослідження фокусується на методах діагностики параметрів та оцінки ресурсу автомобільних вузлів. Технічна діагностика, будучи невід'ємною частиною обслуговування в автосервісах, дозволяє визначити технічний стан компонентів із заданою точністю без їх демонтажу.

Чинна система планово-попереджувального обслуговування передбачає обов'язкове проведення профілактичних робіт через фіксовані інтервали пробігу чи часу. Незважаючи на наявність коригувальних коефіцієнтів, що враховують різні фактори, такий підхід не забезпечує індивідуального обслуговування кожного автомобіля. Необхідність індивідуального діагностичного підходу обумовлена значною варіативністю технічного стану автомобілів навіть за схожих умов експлуатації та однакового пробігу. Ця відмінність виникає під впливом безлічі факторів, включаючи конструктивні особливості, манеру управління та якість сервісного обслуговування.

Застосування стандартизованого переліку сервісних операцій часто тягне за собою надлишкове обслуговування, що не тільки підвищує експлуатаційні витрати, а й може негативно позначатися на технічному стані транспортного засобу.

Часті технічні втручання сприяють передчасному зносу сполучених деталей, послаблення кріплень та порушення герметичності вузлів.

Істотна шкода також наноситься невчасною діагностикою несправностей, що призводить до масштабних ремонтних робіт.

Оптимальне – забезпечує точну оцінку стану об'єкта та сприяє своєчасному проведенню обслуговування, запобіганню відмов, продовженню терміну служби компонентів за рахунок мінімізації розбиральних робіт та оптимізації витрати матеріальних ресурсів завдяки раціональному плануванню ремонтних заходів.

Хоча технічний стан автомобіля визначається структурними параметрами його

компонентів, їхній безпосередній вимір без розбирання часто неможливий. Тому діагностика ґрунтується на аналізі вихідних процесів працюючого механізму, які діляться на робочі (потужність, витрата палива, теплообмін) та супутні (шум, вібрація, світлові ефекти).

Існує функціональна залежність між структурними параметрами та характеристиками вихідних процесів, що дозволяє оцінювати технічний стан автомобіля за непрямыми ознаками. При нормальному стані спостерігаються номінальні значення параметрів, а їх відхилення свідчать про погіршення технічного стану. Досягнення граничних значень сигналізує про необхідність обслуговування чи ремонту. Аналіз динаміки зміни параметрів дозволяє прогнозувати залишковий ресурс до наступного обслуговування або ремонту.

Діагностичні параметри поділяються на узагальнені, що характеризують стан автомобіля в цілому (динаміка розгону, паливна економічність), та часткові, що відображають стан конкретних вузлів (люфт керма, шуми двигуна). На відміну від структурних параметрів, вони вимірюються на працюючому автомобілі без розбирання.

Для ефективного використання у діагностиці вихідний параметр має відповідати комплексу вимог:

- функціональне значення для оцінки технічного стану;
- однозначність залежності від структурного параметра без зміни характеру функції;
- висока чутливість до змін структурних параметрів;
- стабільність показань при повторних вимірах;
- здатність локалізувати несправності до конкретного вузла чи деталі;
- практичність та економічна доцільність вимірювань.

Точність діагностування суттєво залежить від режимів роботи автомобіля (навантажувального, швидкісного, теплового). Для отримання достовірних результатів застосовують спеціальні пристрої, що забезпечують оптимальні умови діагностики шляхом підтримки необхідних режимів роботи агрегатів.

Діагностичні ознаки – це вихідні процеси, які придатні з метою оцінки техніч-

ного стану без розбирання, а їх кількісні характеристики є діагностичними параметрами. При цьому не всі вихідні процеси можуть бути діагностичними ознаками – вони повинні задовольняти вищезазначеним вимогам для забезпечення достовірності діагностики.

Методи діагностування автомобілів поділяються на три основні групи (рис. 2.5), кожна з яких має свою специфіку застосування та особливості реалізації.



Рисунок 2.5 – Методи діагностування автотранспортних засобів

Методи діагностики першої категорії побудовано на імітації реальних експлуатаційних умов роботи автомобіля. У ході діагностики проводиться вимірювання ро-

бочих характеристик у регламентованих умовах із подальшим порівнянням отриманих результатів із нормативними показниками. Процедура може виконуватися як на спеціалізованих стендових установках, оснащених біговими барабанами, так і у процесі штатної експлуатації транспортного засобу. Подібний підхід дозволяє провести всебічну оцінку технічного стану як автомобіля загалом, так і окремих його вузлів.

Друга категорія поєднує діагностичні методи, засновані на аналізі супутніх процесів. Ключове значення у цій групі має перевірка герметичності робочих порожнин. Методика передбачає створення в об'ємі, що діагностується, підвищеного тиску або вакууму з подальшим моніторингом динаміки їх зміни. Такий діагностичний підхід демонструє особливу ефективність при обстеженні циліндро-поршневої групи силового агрегату та пневматичної системи гальм.

Методи діагностики шляхом імітації режимів роботи та контролю герметичності дозволяють отримати об'єктивну інформацію про технічний стан автомобіля без його розбирання, що суттєво скорочує часові та матеріальні витрати на обслуговування.

Діагностика з використанням теплового методу базується на дослідженні теплових процесів при функціонуванні механічних вузлів, включаючи тепловиділення від згорання палива та фрикційної взаємодії деталей. При цьому аналізуються температурні показники та характер їх зміни у часі. Незважаючи на очевидний потенціал застосування для діагностування рухових систем, трансмісійних вузлів та підшипникових механізмів, цей метод поки не став стандартним інструментом автомобільної діагностики.

Діагностика на основі коливальних характеристик реалізується у трьох ключових напрямках. Перше включає дослідження електричних коливань у системах живлення, друге фокусується на аналізі механічних вібрацій та акустичних сигналів від працюючих вузлів, третій напрямок пов'язаний з вивченням флуктуацій тиску в паливних магістралях.

На окрему увагу заслуговують методи дослідження відпрацьованих матеріалів. Діапазон їх застосування варіюється від простої оцінки забрудненості масла до ком-

плексного спектрального аналізу, що дозволяє за змістом певних елементів діагностувати стан конкретних вузлів. Наприклад, надмірна кількість свинцю сигналізує про знос підшипників, підвищена концентрація заліза вказує на зношування циліндрів, а аномальний вміст кремнію свідчить про неефективність повітряної фільтрації.

Замикає класифікацію група методів прямих вимірювань геометричних параметрів, що включають оцінку зазорів, люфтів та відхилень. Основним обмеженням цього підходу є необхідність фізичного доступу до елементів конструкції, що вимірюються.

Сфера діагностики динамічно еволюціонує, відповідаючи на виклики сучасного автомобілебудування. Фахівці безперервно модернізують існуючі методики та створюють інноваційні підходи, враховуючи зростаючу складність автомобільних систем та прогрес у галузі мікроелектроніки. Примітно, що часто єдиний процес може бути виміряний різними способами.

Вибір найбільш підходящої методики діагностики складає основу комплексної оцінки кількох критеріїв. Вирішальну роль відіграє достовірність і точність одержуваних результатів, можливість широкого застосування методу у різних ситуаціях, витрати часу та зусиль на проведення діагностичних процедур, а також економічна доцільність та організаційні особливості його впровадження.

Особлива складність – це вибір діагностичних параметрів для оцінки технічного стану комплексних систем. Це зумовлено різноманіттям взаємозв'язків між структурними та діагностичними параметрами. Правильний вибір параметрів суттєво впливає на ефективність діагностики та достовірність одержуваних результатів.

Розвиток методів діагностики продовжується у напрямі підвищення їх точності, автоматизації процесів та адаптації до сучасних автомобільних технологій.

При виборі діагностичних параметрів (рис. 2.6) необхідно враховувати, що різні параметри по-різному відповідають вимогам до діагностичних показників. Тому процес визначення для складних систем вимагає системного підходу.

Процес визначення діагностичних параметрів ініціюється створенням вичерпного переліку потенційних індикаторів. Ключовим інструментом на цьому етапі виступає структурно-наслідкова схема, реалізована як графічної моделі досліджувано-

го механізму чи вузла. Дане уявлення інтегрує в єдину систему базові компоненти механізму, їх конструктивні характеристики, поширені дефекти, що підлягають виявленню, та можливі діагностичні показники [6].

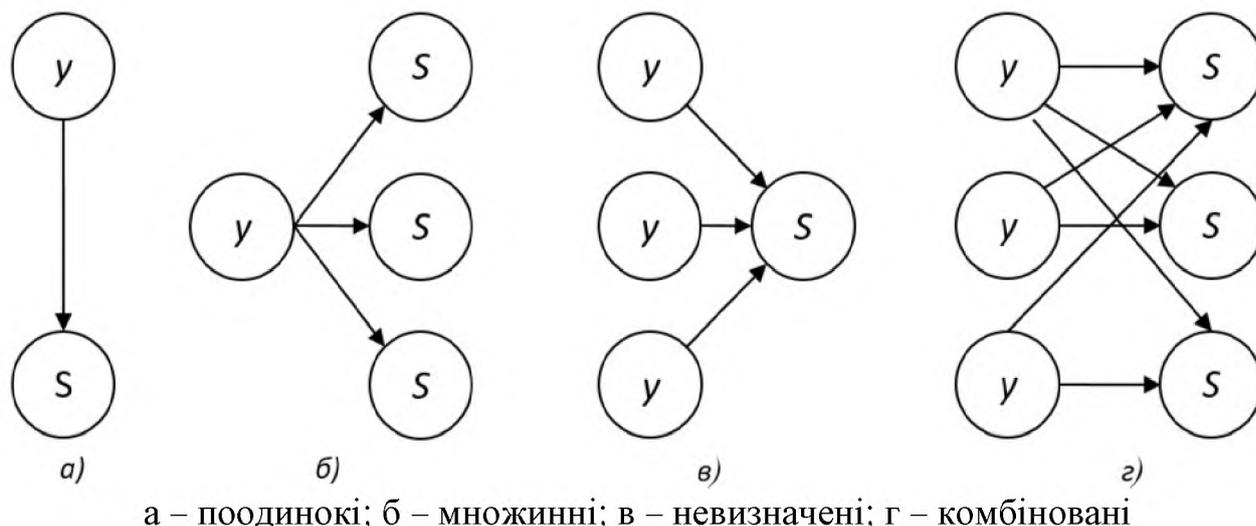


Рисунок 2.6 – Можливі зв'язки між структурними та діагностичними параметрами

Формування списку типових несправностей складає основу статистичного дослідження надійних показників механізму. Наочним прикладом реалізації такого підходу є структурно-наслідкова схема циліндро-поршневої групи двигуна (рис. 2.7). На *I* – му рівні цієї схеми розташовані найбільш уразливі механізми і деталі автомобіля. На *II* – му рівні зображені зв'язки між ними, тобто структурні параметри. *III* рівень демонструє відхилення цих величин, що перевищують допустимі межі, що негативно впливають на характерні несправності. *IV* рівень містить робочі або супровідні процеси (діагностичні ознаки), що відповідають структурним параметрам. На *V* – му рівні представлені діагностичні параметри – фізичні величини, які мають виміряти супровідні або робочі процеси об'єкта діагностики, таким чином визначаючи його технічний стан без розбирання. Ця схема ефективно візуалізує системні взаємозв'язки між компонентами та забезпечує раціональний підбір діагностичних параметрів для оцінки технічного стану вузла.

Такий комплексний підхід забезпечує науково обґрунтований вибір діагностичних параметрів та підвищує ефективність діагностики в цілому.

Процес вибору діагностичних параметрів включає кілька послідовних етапів.

На основі інженерного аналізу об'єкта та структурної схеми формується первинний перелік діагностичних параметрів із встановленням їх взаємозв'язків зі структурними параметрами та можливими несправностями.

Далі проводиться селекція найбільш значущих параметрів шляхом їх оцінки за ключовими критеріями: однозначність; стабільність; чутливість; інформативність.

Заключний етап включає аналіз технологічності параметрів та економічної ефективності їх використання при розробці методів та засобів діагностування.



Рисунок 2.7 – Структурно-наслідкова схема циліндро-поршневої групи двигуна як об'єкта діагностування

Постановка діагнозу варіюється по глибині в залежності від завдань:

- загальна оцінка працездатності (вердикт "придатний");
- локалізація конкретної несправності, визначення необхідних ремонтних робіт.

Найпростіша діагностична процедура полягає в зіставленні одиничного виміря-

ного показника з еталонним значенням. Однак для багатопараметричних систем такий підхід неефективний, що вимагає застосування досконаліших методик. У таких випадках використовуються діагностичні матриці, що являють собою структуровані логічні схеми, що встановлюють взаємозв'язки між контрольованими параметрами S та потенційними дефектами A (таблиця 2.2). Формування цих матриць відбувається з урахуванням статистики надійності об'єкта, який діагностується, що дозволяє створити впорядкований алгоритм технічної діагностики.

Таблиця 2.2 – Діагностична матриця

Діагностичні параметри	Можливі несправності		
	A1	A2	A3
S1	1	0	0
S2	0	1	0
S3	1	0	1
S4	0	1	1

Система технічної діагностики оперує діагностичною матрицею, побудованою на двійковій логіці, де присутність потенційної несправності позначається «одиницею», та її відсутність – «нулем». Матриця ілюструє процес виявлення трьох різних несправностей у вигляді аналізу чотирьох діагностичних показників. Механізм діагностики базується на встановленні відповідності між певними комбінаціями параметрів, що відхилилися, і специфічними несправностями: відхилення S1 та S3 свідчать про несправність A1, аномальні значення S2 та S4 вказують на A2, а спільне відхилення S3 та S4 характерне для A3.

Актуальні засоби технічного діагностування (ЗТД) є інтегрованими системами, що поєднують різні функціональні блоки: генератори тестових сигналів, вимірювальні сенсори, реєструючу апаратуру, системи візуалізації даних та автоматизовані комплекси управління з аналітичними можливостями. Відповідно до принципу взаємодії з об'єктом, що діагностується, ЗТД поділяються на три основні категорії, що відображено на рис. 2.8. При цьому діагностичні матриці є фундаментальною основою для розробки автоматизованих логічних систем, що впроваджуються в сучасне діагностичне обладнання [18].

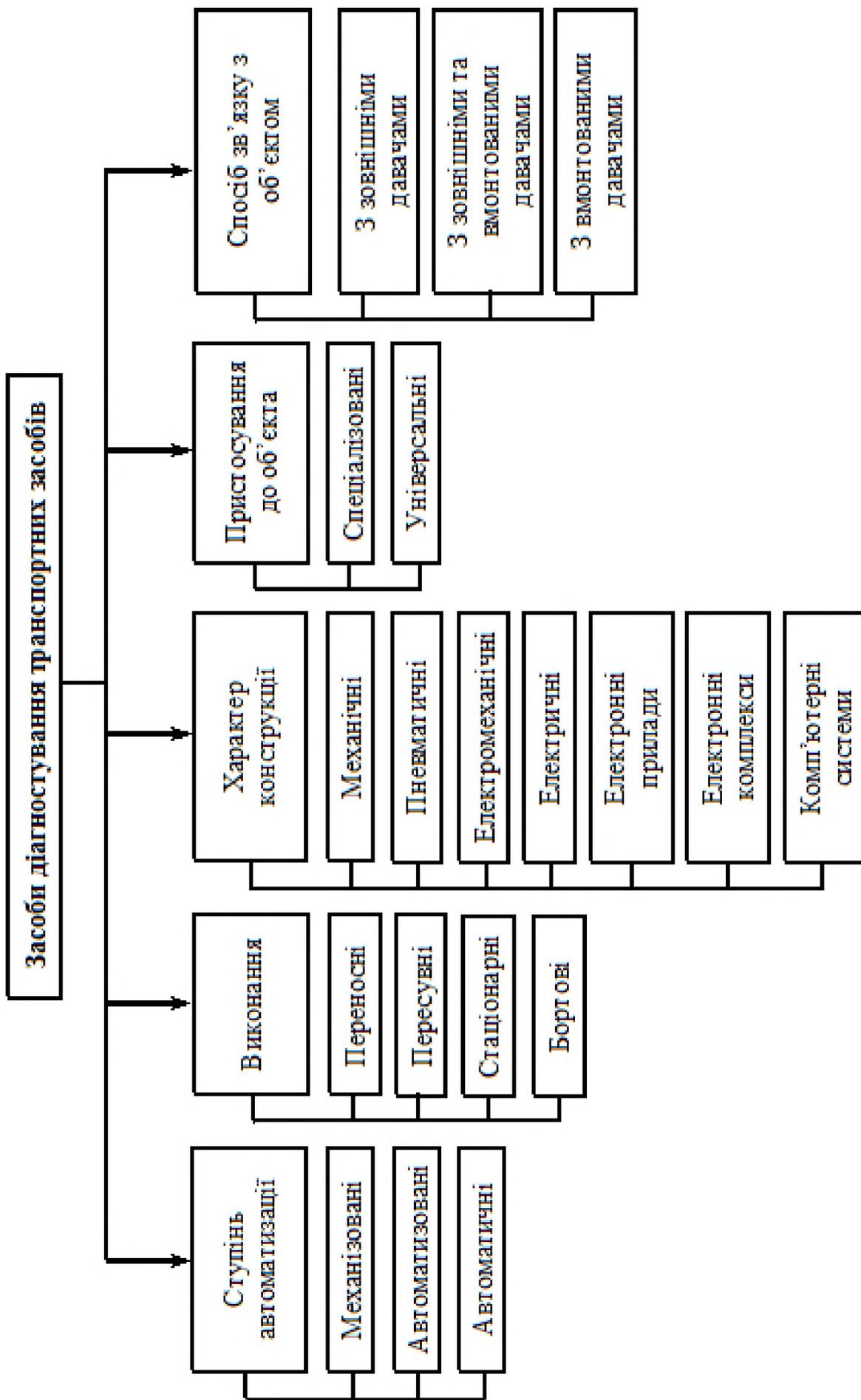


Рисунок 2.8 – Засоби діагностування транспортних засобів

2.5 Висновки за розділом 2

1. Технічний стан будь-якого вузла чи агрегату безпосередньо пов'язаний з його робочими параметрами. Ці параметри відображають внутрішні процеси, що відбуваються у пристрої. Будь-які відхилення у роботі, викликані зносом, ушкодженнями чи іншими чинниками, виявлятимуться у зміні цих параметрів.

2. Зміна фізичного стану пристрою неминуче веде до зміни його робочих характеристик і, відповідно до зміни параметрів, що спостерігаються.

3. Зв'язок між параметрами та станом може бути виражений математично у вигляді моделей, рівнянь, графіків або алгоритмів. Ці моделі можуть бути як детермінованими (заснованими на фізичних законах), так і стохастичними (заснованими на статистичних даних).

4. Прогнозуючі параметри мають бути чутливими до змін технічного стану вузла чи агрегату, а їх значення мають змінюватися у разі виникнення дефектів чи відхилень у роботі.

5. Параметри повинні нести інформацію про поточний та майбутній стан вузла або агрегату, та здатні відображати динаміку розвитку дефектів та пошкоджень вузлів, агрегатів та їх елементів.

6. Параметри повинні бути доступні для вимірювання за допомогою сучасних датчиків та вимірювальних систем з необхідною точністю та надійністю.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Планування досліджень

Визначення оптимальних діагностичних параметрів є багатоступеневим процесом. На першому етапі проводиться детальний технічний аналіз об'єкта, що досліджується, результатом якого стає формування базового набору показників і виявлення їх кореляції з особливостями конструкції і потенційними дефектами.

Наступна стадія сфокусована на відборі найбільш значущих і практично реалізованих діагностичних індикаторів з сформованого масиву даних. У ході селекції кожен показник піддається ретельній оцінці за чотирма фундаментальними характеристиками, що включають здатність давати недвозначні результати, стійкість показань, сприйнятливість змін стану об'єкта і змістовну цінність одержуваної інформації.

Фінальний етап процесу концентрується на практичних аспектах: аналізується технологічна здійсненність вимірювань та проводиться економічна оцінка витрат на реалізацію діагностичних процедур при розробці методики контролю та добору відповідного вимірювального обладнання.

Глибина діагностичного дослідження варіюється в залежності від поставлених завдань та складності об'єкта, що досліджується. При необхідності загальної оцінки працездатності автомобіля або його окремих вузлів достатньо аналізу вихідних параметрів, що дозволяють зробити бінарний висновок ("придатний"/"не придатний"). Більш детальна діагностика потрібна для визначення необхідності конкретних ремонтних чи регулювальних робіт, що передбачає точну ідентифікацію несправності. У найпростішому випадку, коли діагностика ґрунтується на єдиному параметрі, процедура зводиться до простого зіставлення вимірюваного значення з нормативним показником

Сучасний розвиток автотранспортних засобів характеризується прагненням до підвищення ефективності, екологічності, безпеки та комфорту. Цей прогрес зумовлений як технологічними досягненнями, так і зростаючими вимогами споживачів та

посиленням екологічних стандартів, що підвищує вимоги до ефективності функціонування двигунів. У процесі експлуатації двигунів важливо контролювати та зберігати на необхідному рівні їх технічний стан. З розвитком техніки виникла необхідність прогнозування зміни технічного стану для запобігання відмовам та підвищення ефективності їх обслуговування.

При безперервній діагностиці необхідно використовувати параметри, що побічно характеризують технічний стан двигуна. Дослідження надвигунах УМЗ 4216-170 показали, що кількість картерних газів є параметром стану циліндро-поршневої групи. Розроблена методика є універсальною для автотранспортних засобів. Визначення поточного технічного стану виробу за допомогою фіксації його характеристик в момент вимірювання є важливою складовою його життєвого циклу, від створення до експлуатації. Зазвичай це завдання вирішується засобами технічного контролю. Однак, в умовах експлуатації відповідних технічних систем, виникає необхідність прогнозування їх стану в майбутньому, з метою запобігання відмовам. Розвиток техніки зумовлює потребу в управлінні станом складних систем, включаючи перемикання на резервні елементи та зміну режимів роботи, що неможливе без прогнозування. Таким чином, виникає нове завдання – прогнозування технічного стану. Для таких систем, як транспортні та виробничі, необхідно не тільки констатувати їхню справність в даний момент, але й гарантувати їхню працездатність протягом певного майбутнього інтервалу часу.

Дослідження проводили на двигунах УМЗ 4216-170. Частота обертання колінчастого валу двигуна варіювалася від 750 хв^{-1} до 4200 хв^{-1} . Використовувався бензин неетильований марки АІ-92.

У процесі досліджень проводили зміну частоти обертання колінчастого валу двигуна і знімали показання витратоміра картерних газів у вигляді вольтамперної характеристики. Показання витратоміра картерних газів фіксувалися для частоти обертання колінчастого валу двигуна 1000, 1500, 1800, 2000, 2200, 2500, 3000, 3500, 4000, 4200 хв^{-1} .

За результатами досліджень було розроблено методику визначення нормативних значень кількості картерних газів як непрямого параметра технічного стану ци-

ліндро-поршневої групи двигуна.

Для непрямой оцінки технічного стану циліндро-поршневої групи 12 двигунів УМЗ 4216-170 побудовано математичні залежності з достовірністю апроксимації $R^2 = 0,97$.

При аналізі даних, отриманих в результаті проведених досліджень 12 нових двигунів УМЗ 4216-170, встановлено, що відхилення від середніх значень вольтамперної характеристики витратоміру картерних газів становило $\pm 13,04\%$, і можна говорити про чутливість даного параметра, при оцінці технічного стану ЦПГ. Розроблена методика безперервної діагностики двигунів автотранспортних засобів за прогнозуючими параметрами є універсальною і може бути застосована для різних вузлів та агрегатів автотранспортних засобів.

3.2 Результати дослідження

Прогнозування технічного стану важливе не лише під час експлуатації, а й на етапах проектування та виробництва виробів. При розробці необхідно заздалегідь оцінювати показники майбутнього виробу. У процесі виробництва, з урахуванням обмежених випробувань, робляться висновки про працездатність великих партій на тривалих часових відрізках. Прискорені випробування дозволяють передбачити стан виробів у нормальних умовах. Таким чином, прогнозування є важливою частиною процесу експлуатації та технічного обслуговування.

Прогнозування є процесом передбачення майбутнього стану події, заснований на аналізі факторів, що впливають на цю подію або пов'язані з нею. Науковий підхід до прогнозування передбачає вивчення об'єктивних закономірностей, керуючих процесами та явищами. Ці закономірності можуть бути поділені на дві групи: стохастичні (імовірнісні) та детерміновані. При прогнозуванні використовуються два основні підходи:

- прогнозування майбутнього стану події на основі вивчення закономірностей її власної зміни;
- прогнозування з урахуванням аналізу інших подій.

Специфіка оцінки ефективності полягає у комплексному підході, що враховує не лише внутрішні характеристики складної системи, а й результативність її роботи – кінцевий вихідний ефект. Подібний метод оцінки має значну перевагу, дозволяючи проводити порівняльний аналіз роботи різнорідних складних систем, які можуть кардинально відрізнятися за конструкцією, принципами роботи та складовими елементами, але призначені для вирішення ідентичних завдань. Такий підхід відкриває можливості для пошуку і відбору оптимальних варіантів побудови складних систем.

Розробка автоматизованої системи технічного діагностування (рис. 3.1) вимагає вирішення двох взаємозалежних завдань: необхідно визначити оптимальну періодичність планового відновлення як за наявності вичерпних даних про надійність об'єкта, що діагностується, так і в умовах дефіциту такої інформації. При цьому обрана стратегія обслуговування має відповідати критерію оптимальності, що враховує якісні показники роботи та експлуатації системи. Для визначення оптимального рішення у таких умовах розроблено двоетапний метод мінімаксу. У першому етапі здійснюється пошук найгірших сценаріїв функціонування системи у межах заданих обмежень, а в другому етапі, з урахуванням цих сценаріїв, визначається оптимальна стратегія управління.

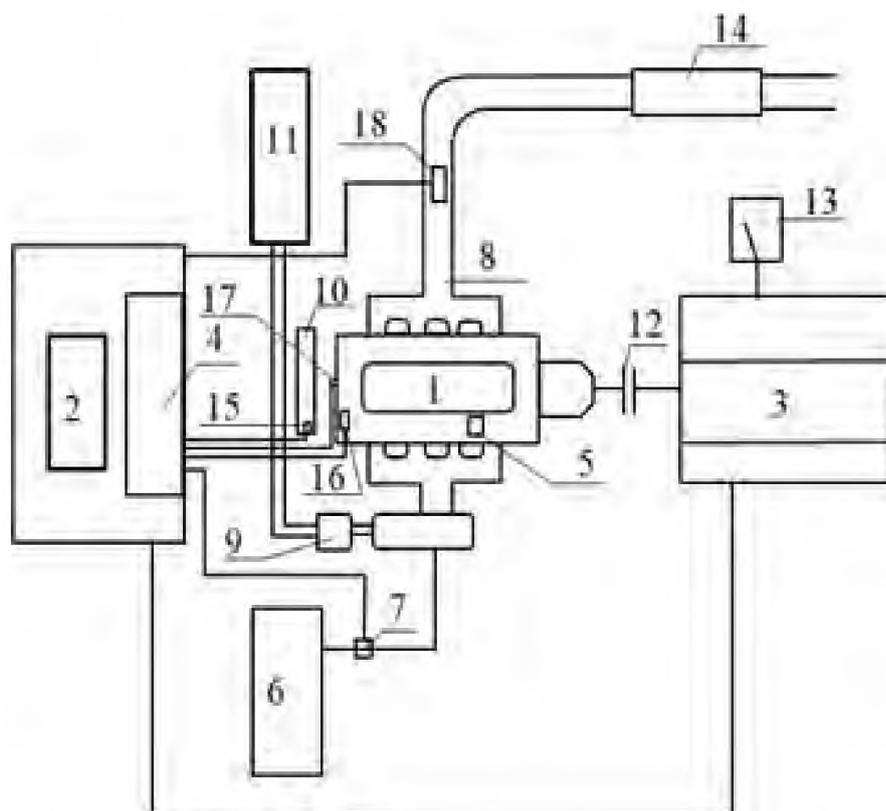
Мета дослідження полягає у підвищенні оперативності діагностування технічного стану та своєчасному проведенні технічного обслуговування автотранспортних засобів на основі застосування методики визначення нормативних значень кількості картерних газів.

Випробування здійснювали шляхом монтажу двигуна на гальмівному стенді моделі MEZ Vsetin 926-4/V.

Розроблене технічне рішення пропонує новий спосіб діагностики циліндро-поршневої групи двигуна внутрішнього згорання, заснований на оцінці стану поршневих кілець за об'ємом картерних газів, при цьому відмінною особливістю є необхідність визначення еталонних значень, так як вони визначаються індивідуально для кожного двигуна з моменту початку його експлуатації.

В результаті статистичної обробки даних (рис. 3.2) отримано математичну модель, яка описує параметричну надійність ДВЗ на підставі зміни прогнозуючого па-

раметра.



1 – двигун; 2 – пульт керування стендом; 3 – стенд для випробування двигуна; 4 – панель приладів від датчиків двигуна; 5 – система контролю витрати картерних газів; 6 – паливний бак; 7 – пристрій для вимірювання витрати палива; 8 – система випуску відпрацьованих газів; 9 – повітряний фільтр; 10 – система охолодження двигуна; 11 – ресивер для повітря; 12 – муфта з'єднання двигуна зі стендом; 13 – балансирний динамометр; 14 – глушник; 15 – індикатор температури системи охолодження двигуна; 16 – індикатор тиску масла у двигуні; 17 – електронний тахометр; 18 – газоаналізатор

Рисунок 3.1 – Схема системи оцінки технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна внутрішнього згорання

Поліноміальна апроксимація максимальних значень картерних газів двигунів може бути записана рівнянням:

$$y = 0,0097x^3 - 0,1551x^2 + 2,6247x + 5,3963 \quad (3.1)$$

Розмір достовірності апроксимації $R^2 = 0,972$.

Поліноміальна лінія апроксимації мінімальних значень картерних газів двигунів може бути записана рівнянням:

$$y = -0,005x^3 + 0,1218x^2 + 0,9418x + 4,8547 \quad (3.2)$$

Розмір достовірності апроксимації $R^2 = 0,9859$

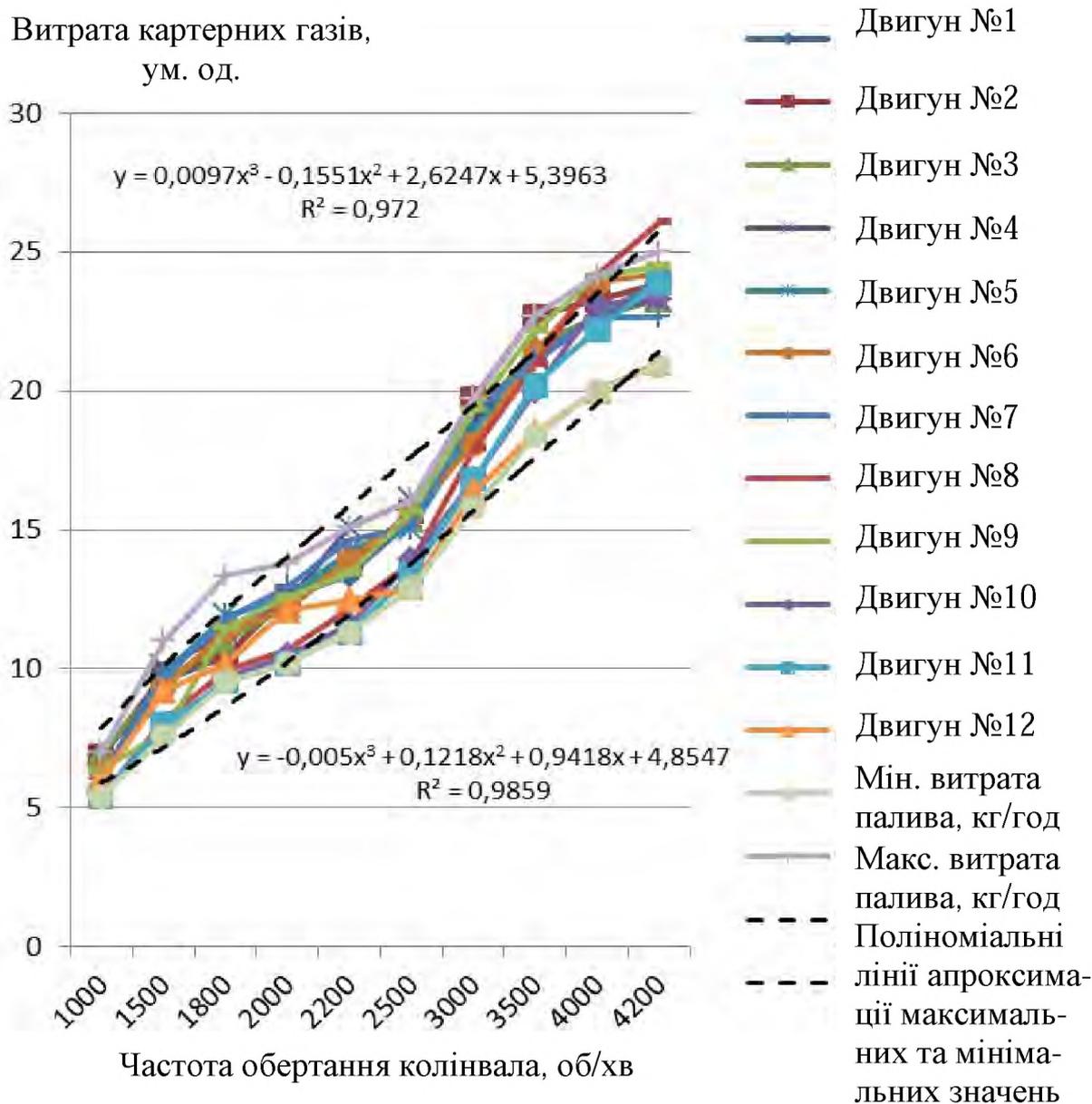


Рисунок 3.2 – Графік залежності витрати картерних газів двигунів УМЗ 4216-170 від частоти обертання колінвала

На рис. 3.3 представлений графік середнього значення витрати картерних газів 12 двигунів УМЗ 4216-170.

Результат, що досягається за допомогою даного рішення, полягає у забезпеченні безперервного контролю за технічним станом циліндро-поршневої групи двигуна внутрішнього згорання.

В процесі дослідження за допомогою пульта керування стендом задається необхідна частота обертання колінчастого валу двигуна в режимі роботи без навантаження. При цьому, відповідно до плану дослідження, знімалися показання вольтам-

перної характеристики для кожної певної частоти обертання колінчастого валу двигуна



Рисунок 3.3 – Поліноміальна апроксимація за методом найменших квадратів, побудована за медіанним значенням витрати картерних газів 12 двигунів УМЗ 4216-170

Перевірка відповідності експериментальних результатів нормальному розподілу здійснювалася двома способами: розрахунком нормальних міток та візуалізацією через побудову імовірнісних діаграм нормального розподілу (normal probability plot).

Для підтвердження репрезентативності даних щодо реальних процесів роботи двигунів застосовувався метод довірчих інтервалів. Основним аналітичним інструментом виступила техніка побудови центральних довірчих інтервалів, що базується на середніх показниках вибірки.

Розвиток бездротових технологій відкриває нові перспективи у сфері технічного обслуговування та діагностики автотранспортних засобів. Бездротові системи передачі даних пропонують гнучкі, масштабовані та економічно ефективні рішення для безперервного моніторингу стану агрегатів автомобіля. На відміну від провідних

систем, вони дозволяють здійснювати віддалену діагностику, знижують витрати на обслуговування та забезпечують оперативніше реагування на можливі несправності. Ця стаття розглядає застосування різних бездротових технологій для безперервної діагностики, досліджуючи їх потенціал та обмеження у контексті автомобільного транспорту.

Безперервна діагностика агрегатів автотранспортних засобів є важливим фактором забезпечення їхньої безпечної та надійної експлуатації. В даний час все більше уваги приділяється застосуванню бездротових технологій для збирання та передачі даних про стан транспортного засобу в режимі реального часу. Одним з ключових завдань є аналіз можливостей використання різних бездротових систем передачі для вирішення завдань безперервної діагностики агрегатів автомобілів. Різні систем бездротової передачі даних мають переваги та недоліки, що визначає сферу їх застосування та рішення конкретних завдань.

Особливості застосування бездротових мереж передачі в контексті діагностики:

1. Bluetooth/BLE: для локального підключення датчиків до діагностичних інструментів та мобільних пристроїв.
2. Wi-Fi: для передачі великих обсягів даних усередині сервісних центрів та складів.
3. Стільникові мережі: для віддаленої діагностики та моніторингу в реальному часі, а також для зв'язку з хмарними платформами.
4. LoRaWAN/Sigfox/ZigBee: для моніторингу віддаленої техніки, в умовах, коли потрібна велика дальність та низьке енергоспоживання датчиків.

Розуміння особливостей кожної бездротової мережі допомагає зробити усвідомлений вибір для конкретної задачі діагностики автотранспорту, забезпечуючи ефективну та надійну передачу даних.

Мета дослідження полягає у вивченні можливостей практичного застосування ZigBee технології бездротової передачі для вирішення завдань безперервної діагностики агрегатів автотранспортних засобів.

Передача даних системи безперервної оцінки технічного стану циліндропоршневої групи двигуна внутрішнього згорання здійснювалася за допомогою

- для гильз циліндрів

$$S_{нц} = 10,833 \cdot e^{0,0006T}, R^2 = 0,86;$$

- для поршневих компресійних кілець

$$S_{нк} = 5,164e^{0,0006T}, R^2 = 0,99.$$

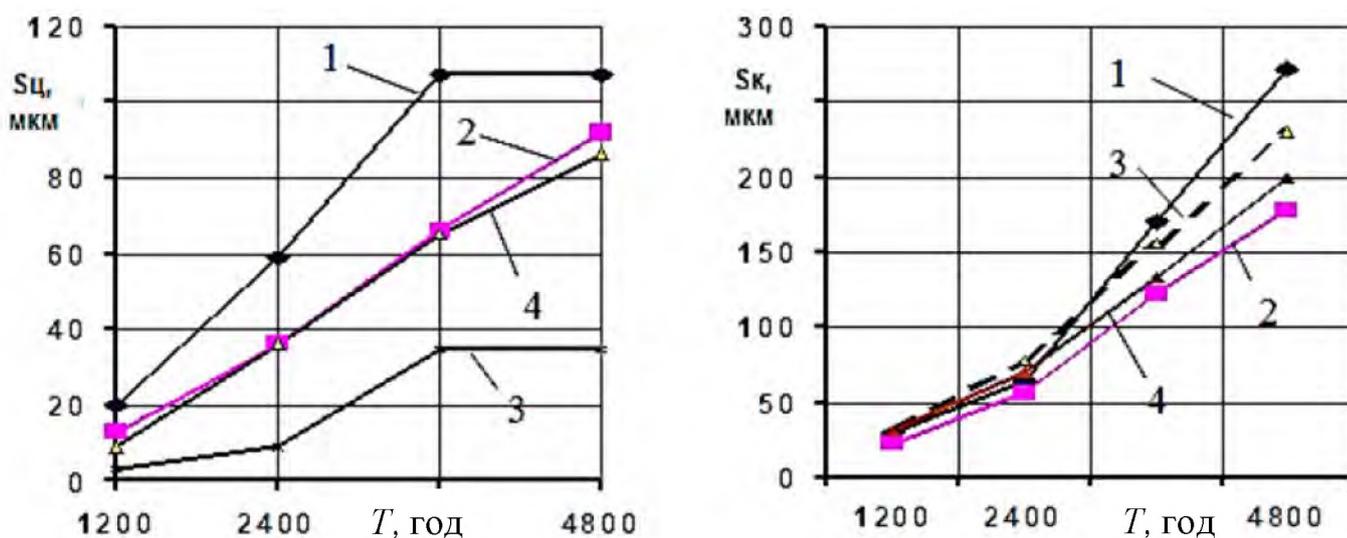


Рисунок 3.5 – Залежність зносу циліндрів $S_{ц}$ та поршневих кілець $S_{к}$ двигуна від напрацювання T : 1-4 – номери циліндрів

Експоненційне зростання інтенсивності зношування елементів ЦПГ на тривалому періоді експлуатації призводить до того, що нерівномірність зношування одноїменних сполучення ЦПГ (рис. 3.5) також безперервно збільшується і відповідає показникам

$$S_n = S_{н0} \cdot e^{b_n l}, \quad (3.3)$$

де $S_{н0}$ – значення вихідної нерівномірності зазору по з'єднанням ЦПГ;

b_n – значення коефіцієнта інтенсифікації по нерівномірності зношування з'єднання «гільза циліндра – компресійне кільце поршня», а, отже, реалізований ресурс $l_{рцпг}$ ЦПГ зменшуватиметься не пропорційно до вихідної нерівномірності $S_{н0}$, а по зростаючій експоненті

$$l_{рцпг} = S_n / \alpha - (0,5S_{н0} \cdot e^{b_n l}) / \alpha = l_{max} - B \cdot e^{b_n l}, \quad (3.4)$$

де I_{max} – потенційний ресурс елементів ЦПГ при рівності в них вихідних структурних параметрів за всіма циліндрами, тобто при $S_{н0} = 0$;

$B = 0,5 S_{н0}/\alpha$ – коефіцієнт зниження ресурсу ЦПГ від значення нерівномірності вихідних зазорів $S_{н0}$.

Наведені приклади та аналітичні дослідження показують, що довговічність та ресурс ЦПГ двигуна значною мірою визначаються вихідною нерівномірністю структурних параметрів по циліндрах ДВЗ.

3.4 Спосіб діагностування однойменних елементів ЦПГ ДВЗ за компресією в циліндрах

З метою підвищення точності способу діагностування ЦПГ ДВЗ запропоновано вимірювання внутрішньоциклових змін кутової швидкості колінчастого валу здійснювати при роботі двигуна в режимі холостого ходу на двох або одному циліндрах (для двигунів з числом циліндрів більше чотирьох – тільки на двох) з відключеними іншими. При призначенні режиму діагностування компресійних властивостей циліндрів ДВЗ, під якими розуміється сукупність нормативних вимог до швидкісного та теплового стану для досягнення максимальної достовірності вимірюваного параметра, керувалися такими обумовленими значеннями:

- за кінематичний цикл середня кутова швидкість $\omega_{ср} = 50 \pm 10$ рад/с відповідає мінімально можливій стійкій роботі ДВЗ, в зазначеному раніше режимі $n_{хх}$ з відключеними одним або двома циліндрами. При цьому пристрій діагностування ЦПГ автоматично стежить за ідентичністю дотримання обраного номінального значення із швидкісного режиму діагностування ДВЗ з точністю ± 1 рад/с при різних поєднаннях циліндрів, що відключаються з роботи;

- тепловий режим у системах мащення та охолодження 90-100 °С.

Типова діаграма внутрішньоциклових змін кутової швидкості колінчастого валу з відключеними з роботи IV та III циліндрами двигуна 4Ч 9,2/9,2 наведена на рис. 3.6.

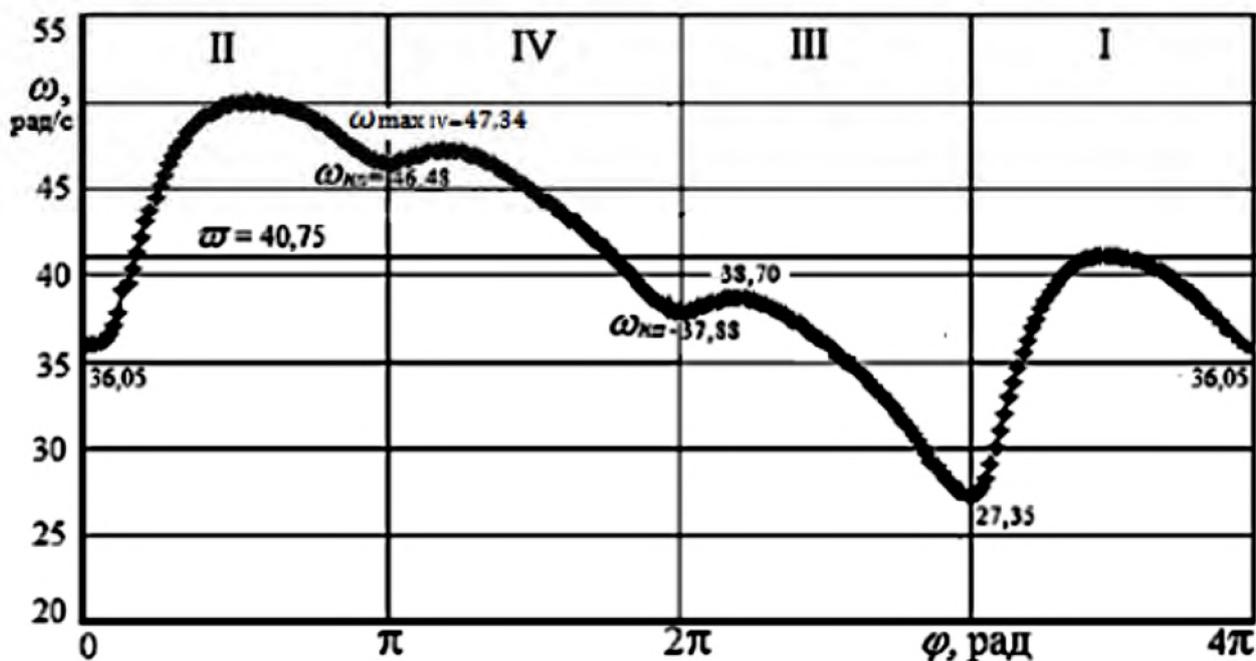


Рисунок 3.6 – Зміна швидкості ω по куту повороту φ колінвала ДВЗ 4Ч 9,2/9,2 з відключеними IV та III циліндрами при $\omega_{\text{ср}} = 40,75$ рад/с

Методика проведення дослідження передбачала штучну зміну значення компресії в циліндрах перехідниками з каліброваними отворами, які показали:

- зниження компресії по всіх циліндрах на однакову величину або в одному i -му циліндрі викликало відповідне зменшення параметрів амплітуди A_{ω} , коефіцієнта δ_{ω} кутової швидкості та роботи розгону A_p інерційних мас КШМ ДВЗ на кутових інтервалах, відповідних їх такту розширення;

- абсолютна похибка отриманих результатів компресії в циліндрах за показниками внутрішньоциклових змін кутової швидкості колінчастого валу розробленим способом порівняно з компресією в циліндрі, вимірюною безпосереднім способом – компресографом, на одному й тому режимі випробувань не перевищила 5 %.

Для двигуна 4Ч 9,2/9,2 нормативні значення надлишкової роботи A_{pi} на ділянках розгону в межах такту робочого ходу поршня відключеного i -го циліндра

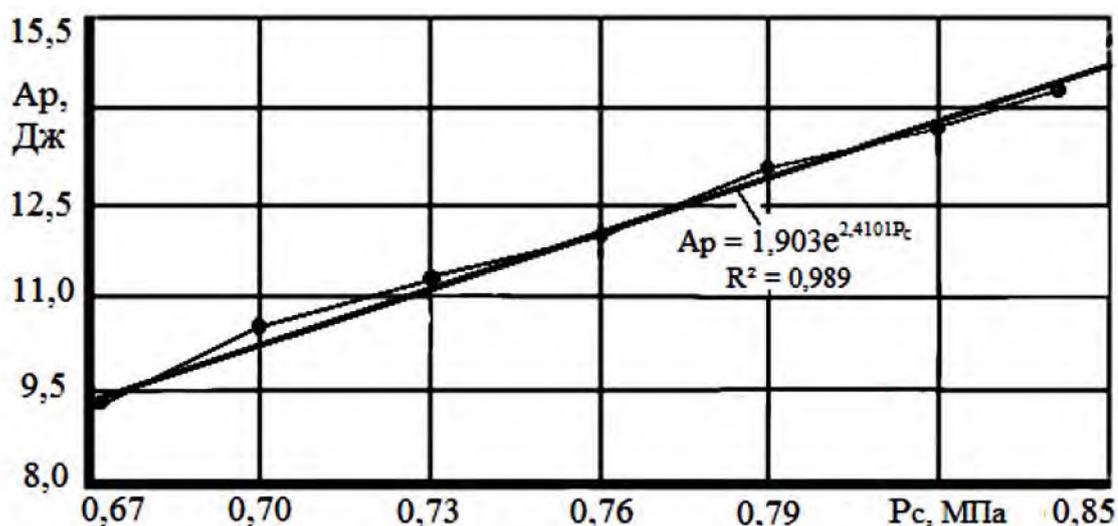
$$A_{pi} = J \frac{(\omega_{\max i}^2 - \omega_{\min i}^2)}{2} \quad (3.5)$$

в залежності від дійсного значення компресії P_c в i -му циліндрі при середньоку-

товій швидкості колінвалу $\omega = 40,75 \pm 1$ рад/с (рис. 3.6) та тепловому режимі $95 \pm 5^\circ\text{C}$, наведені у таблиці 3.1 та рис. 3.7.

Таблиця 3.1 – Зміна надлишкової роботи A_p від значення компресії P_c в циліндрах ДВЗ ЗМЗ 4Ч 9,2/9,2

Параметр	Компресія P_c , МПа							Коеф. чутливості. $K_{\text{ч}}$, Дж/МПа	Апроксимуючі залежності параметра A_p
	0,84	0,82	0,79	0,76	0,73	0,70	0,67		
A_p , Дж	14,1	13,7	13,0	12,1	11,1	10,3	9,4	27,7	$A_p = 1,903 \cdot e^{2,4101P_c}$, $R^2 = 0,99$



Рисунки 3.7 – Залежність роботи розгону A_p від компресії P_c у циліндрах ДВЗ 4Ч 9,2/9,2 при $t_m = t_{\text{охл}} = 95 \pm 5^\circ\text{C}$ і $\omega = 40,75$ рад/с

При відомій компресії в IV циліндрі, що дорівнює $P_c = 0,84$ МПа, робота розгону A_{pIV} , визначена за миттєвими значеннями кутових швидкостей, вказаних на діаграмі зміни внутрішньоциклових змін кутової швидкості колінчастого валу (рис. 3.6)

$$A_{pIV} = J \frac{(\omega_{\text{max IV}}^2 - \omega_{\text{min IV}}^2)}{2} = 0,35(47,34^2 - 46,48^2) / 2 = 14,12 \text{ Дж},$$

відповідає табличній (таблиця 3.1) та характеризує максимальну герметичність надпоршневого простору даної ЦПГ двигуна 4Ч 9,2/9,2.

Високий коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,95$ (рис. 3.7) доводить тісний зв'язок ді-

агностичного симптому A_p з показниками компресії P_c , а відсутність у ній екстремумів – однозначність.

Коефіцієнт чутливості $K_{\text{ч}}$ діагностичного симптому – роботи розгону A_p – для кількісної оцінки компресійних властивостей циліндрів

$$K_{\text{ч}} = \frac{\Delta A_p}{\Delta P_c} = 4,7 / 0,17 = 27,7 \text{ Дж / МПа}, \quad (3.6)$$

є достатнім: при зниженні значення компресії P_c в циліндрах у межах допустимих його змін у процесі експлуатації, A_p зменшується в 1,5 рази за експоненційною залежністю (рис. 3.7), близькою до лінійної.

Практична реалізація способу діагностування компресійних властивостей ЦПГ стосовно моделей 6- і 8-циліндрових двигунів здійснюється аналогічним чином, згідно з встановленими нормативними значеннями робіт розгону A_p в залежності від компресії P_c в циліндрах, подібно до представленої для 4-циліндрового ДВЗ 4Ч 9,2/9,2.

Таким чином, підтверджено відповідність симптому A_p – роботи сил інерції деталей КШМ на ділянках розгону діаграми внутрішньоциклових змін кутової швидкості колінчастого валу діагностичному параметру, оскільки він відповідає вимогам, що висуваються до нього [1]. Слід зазначити: за точністю та оперативністю, розроблений динамічний спосіб оцінки однойменних елементів ЦПГ ДВЗ перевершує найбільш досконалі його аналоги [5]. Пристрій, що реалізує спосіб, може бути використаний як вбудований засіб діагностування ДВЗ автомобілів, що мають електронні системи вимкнення частини циліндрів з роботи.

3.5 Висновки за розділом 3

1. Для коректної роботи системи оперативного контролю параметричної надійності двигунів доцільно задавати граничні інтервали значень параметрів, що відповідають певному напрацюванню двигуна, що дає можливість оцінювати його залишковий ресурс. Аналогічно можна використовувати метод поліноміальної апроксимації.

2. Для визначення меж основних параметрів двигунів, що характеризують параметричну надійність, були побудовані емпіричні залежності. Величина достовірності апроксимацій R^2 основних параметрів роботи двигунів знаходиться в межах 0,9164...0,9859, і свідчить про високу точність відповідності математичної моделі отриманим даним.

3. Розробка та впровадження бездротових систем передачі даних для безперервної діагностики агрегатів автотранспортних засобів відкривають нові можливості для підвищення надійності, безпеки та ефективності експлуатації транспортних засобів.

4. Застосування індивідуального підходу до оцінки технічного стану агрегатів автотранспортних засобів дозволить запровадити обслуговування за фактичним станом та безперервний моніторинг на стадії експлуатації. Даний підхід дозволить підвищити коефіцієнт готовності парку машин, запобігати відмовим на ранніх стадіях і знизити витрати на експлуатацію.

РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА І ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Оцінка надійності технічних засобів безперервної діагностики

При створенні алгоритмічних блок-схем необхідно дотримуватись норм, встановлених ЄСПД (Єдина система програмної документації).

ЄСПД – це набір державних стандартів, які визначають узгоджені між собою правила щодо створення, документування та використання програмного забезпечення та супутньої документації [15, 17].

Нормативи ЄСПД містять конкретні вказівки щодо підтримки, виробництва, розробки та практичного застосування програмних продуктів. Це забезпечує такі переваги:

- можливість комп'ютеризувати процеси створення та архівування програмної документації;
- оптимізація трудовитрат та зростання продуктивності на всіх етапах життєвого циклу програмного продукту;
- стандартизація програмних рішень для забезпечення їх взаємозамінності та можливості повторного використання існуючих розробок у нових проєктах.

Підтримка програмного забезпечення є комплексним процесом, що включає спостереження за функціонуванням, удосконалення можливостей та усунення виявлених помилок у програмному коді.

ЄСПД виступає універсальним стандартом, що охоплює всі види програмних розробок та супутньої документації, незалежно від їх призначення та сфери застосування.

Структура ЄСПД поєднує основні стандарти та методичні вказівки, інструменти автоматизації документування, а також нормативи, націлені на оптимізацію ресурсів на всіх стадіях існування програмного продукту.

При оцінці надійності мережевої інфраструктури з приймальними вузлами слід розглядати її як систему з поелементним резервуванням. Для розрахунку кількісних параметрів надійності такої конфігурації пропонується використати спеціальну ме-

тодологічну концепцію.

Введемо позначення:

$P_{i0}(t)$, $i = 1, 2, \dots, n$ – можливість безвідмовної роботи елемента на інтервалі часу $(0, t)$.

Запишемо можливість відмови i -ї групи

$$q_i(t) = \prod_{j=0}^m q_{ij}(t) \quad (4.1)$$

де $i = 1, 2, \dots, n$.

Запишемо можливість безвідмовної роботи i -ї групи:

$$P_{i(t)} = 1 - q_{i(t)} = 1 - \prod_{j=0}^m [1 - P_{ij}(t)]. \quad (4.2)$$

Запишемо можливість безвідмовної роботи системи з поелементним резервуванням:

$$P_c = P_c(t) = 1 - Q_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i(t)) \quad (4.3)$$

Для рівнонадійних елементів системи:

$$P_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - P_i(t)) = 1 - (1 - P_i(t))^n \quad (4.4)$$

Ефективність резервування прийнято оцінювати за допомоги коефіцієнта підвищення надійності γ , який визначають за показниками безвідмовності із співвідношень:

$$\gamma_p = P(t)_p / P(t) \quad (4.5)$$

$$\gamma_Q = Q(t) / Q(t)_p \quad (4.6)$$

де $P(t)_p$ і $Q(t)_p$ – ймовірність безвідмовної роботи та ймовірність відмови для резервованої системи;

$P(t)$ і $Q(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи та ймовірність відмови для системи, що не резервується.

Розрахунок ймовірності безвідмовної роботи об'єктів, елементи яких з'єднані послідовно, виконується за формулою:

$$P(t) = P_1(t) * P_2(t) * \dots * P_n(t), \quad (4.7)$$

де $P(t)$ – ймовірність відмови об'єкта за напрацювання t ;

$P_1(t), P_2(t), \dots, P_n(t)$ – можливість відмовитися від напрацювання t відповідно 1, 2, ..., n -го елементів, складових об'єкт.

Ймовірність безвідмовної роботи системи, елементи якої з'єднані паралельно, визначається:

$$P(t) = \prod_{i=1}^n \left[1 - \prod_{j=1}^m [1 - P_i(t)] \right] \quad (4.8)$$

Створення блок-схеми алгоритму розрахунку надійності на основі математичної моделі можливе з використанням спеціальних програмних засобів (рис. 4.1).

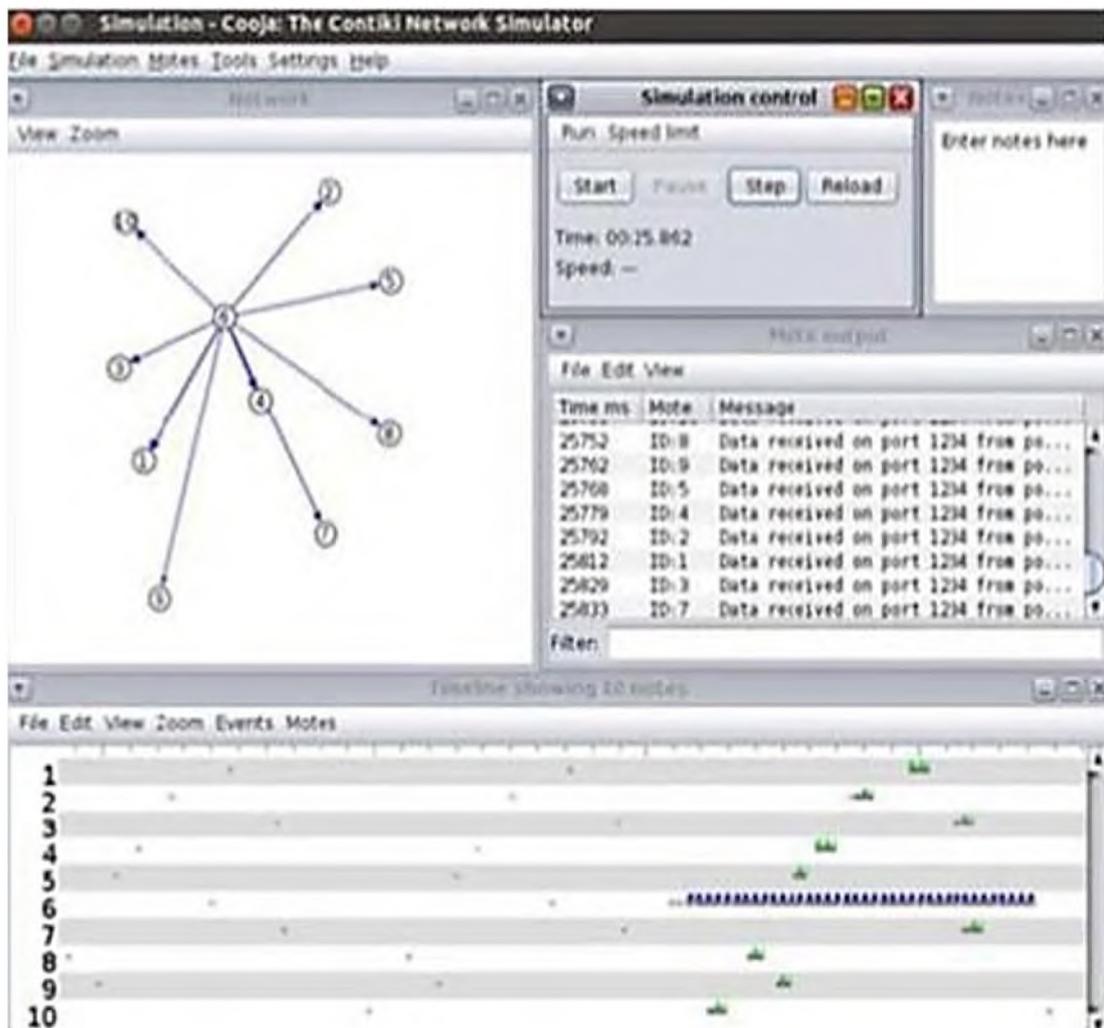


Рисунок 4.1 – Вікно симулятора «Cooja»

Симулятор мережі, спеціально розроблений для бездротових сенсорних мереж,

що дозволяє оцінити можливості мережі, яка розробляється, до її безпосередньої реалізації.

Процес технічної діагностики неминуче включає застосування різних методик виявлення несправностей.

У ситуаціях з обмеженим числом компонентів, що перевіряються, існує можливість застосування двох основних підходів. Перший передбачає проведення комплексної діагностики під час планового технічного обслуговування. Другий базується на поетапному виконанні простих діагностичних операцій, які можуть проводитися як у постійному режимі, так і через певні інтервали часу протягом усього експлуатаційного періоду транспортного засобу.

4.2 Розробка методики автоматичного діагностування технічного стану вузлів та агрегатів автотранспортних засобів

Методика дистанційного автоматизованого діагностування технічного стану включає наступні етапи, показані на рис 4.2.

У разі виникнення необхідності проведення технічного обслуговування (заміни масла, проведення регулювальних робіт) або поточного ремонту (виникнення несправності в агрегаті) від датчика, встановленого на агрегаті, сигнал надходить на блок обробки інформації.

У блоці обробки інформації сигнал піддається зіставленню з еталонними значеннями та встановлюється природа виникнення відхилення сигналу від еталонного значення.

Дані, отримані за підсумками обробки сигналу, візуалізуються через виведення інформації про залишковий ресурс до проведення чергового технічного обслуговування або виникнення несправності на зовнішній носій – дисплей у кабіні водія.

Дана методика дозволяє в реальному часі відстежувати фактичний технічний стан автотранспортних засобів, оцінювати залишковий ресурс агрегатів (механізмів), не допускаючи втрати працездатного стану.



Рисунок 4.2 – Методика безперервного діагностування технічного стану вузлів та агрегатів автотранспортних засобів

4.3 Оцінка економічного ефекту впровадження безперервного діагностування вузлів та агрегатів автотранспортних засобів

Справною вважається машина, яка перебуває у стані, за якого вона відповідає всім вимогам, встановленим нормативно-технічною документацією. Справність (працездатність) машин, що оцінюється за величиною коефіцієнта технічної готовності ($K_{ТГ}$), визначається за формулою:

$$K_{II} = \frac{N_u}{N_c - (N_{cp} + N_{kr})} \quad (4.9)$$

де N_u – число справних (працездатних) в аналізований момент часу машин;

N_c – облікова кількість машин;

N_{cp} і N_{kr} – число машин, що перебувають у поточних і капітальних ремонтах.

Прийнявши коефіцієнт технічної готовності автомобільного підрозділу, дорівнює 0,9. Тоді загальна чисельність справних машин становитиме: $0,9 \times 48 = 43$.

Таким чином, розрахунок річної економії коштів при автоматизованому діагностуванні проводимо стосовно 43 автомобілів.

Річна економія визначається за такою формулою:

$$E_p = (Z_{kr} - Z_{пгд} - Z_{ст}) W_{kr}, \quad (4.10)$$

де Z_{kr} – витрати на капітальний ремонт двигунів, $Z_{kr} = 274117$ грн. станом на 1 жовтня 2025;

$Z_{пгд}$ – витрати на усунення несправностей, пов'язаних з виходом з ладу циліндро-поршневої групи, грн.;

$Z_{ст}$ – додаткові витрати, пов'язані з моніторингом кількості картерних газів із застосуванням запропонованої методики, грн.;

W_{kr} – річна програма капітальних ремонтів, шт.

Термін окупності визначимо за такою формулою:

$$T_{ок} = K / E_p, \quad (4.11)$$

де K – капіталовкладення, грн.

Капітальні вкладення визначаються сумою таких витрат:

$$K = Ц + H_{п} + T_{в}, \quad (4.12)$$

де $Ц$ – відпускна вартість пристрою контролю картерних газів, $Ц = 50$ тис. грн.;

$H_{п}$ – націнка постачальницьких організацій, $H_{п} = 25\%$ від вартості виробу;

$T_{в}$ – транспортні витрати, $T_{в} = 10\%$ від ціни виробу.

Таким чином, капітальні вкладення становитимуть:

$K_3 = 150000 + 0,25 \times 150000 + 0,1 \times 150000 = 202500$ грн. для трьох приладів,

$K_1 = 50000 + 0,25 \times 50000 + 0,1 \times 50000 = 67500$ грн. для одного приладу

Річну кількість капітальних ремонтів для 18 двигунів визначимо за формулою:

$$N_{\text{кр}} = (B \times n) / A_{\text{кр}}, \quad (4.13)$$

де B – середньорічне напрацювання, прийmemo $B = 100$ год.;

n – кількість, шт.;

$A_{\text{кр}}$ – міжремонтне напрацювання між капітальними ремонтами, $A_{\text{кр}} = 1500$ год.

Отримаємо:

$$N_{\text{кр}} = (100 \times 43) / 1500 = 2,9$$

Відповідно до встановлених параметрів, парк з 43 силових агрегатів (бортовий автомобіль «ГАЗель» зі сталевими бортами) вимагає проведення 2,9 капітальних відновлювальних робіт. Що стосується технічного обслуговування категорії ТО-1000, його необхідно виконувати через кожні 50 мотогодин. Розрахунок, заснований на коефіцієнті циклічності, показав потребу у 314 таких обслуговуваннях. Таким чином, на один двигун на рік припадає приблизно 7 ТО-1000.

Вихід з ладу двигуна найчастіше супроводжується обов'язковою аварійною зупинкою всього автомобіля. Припустимо, що завод-виробник з метою підвищення ефективності готовий проводити періодичне технічне діагностування (ПТД) у стаціонарних умовах для попередження аварійного виходу його з ладу, поєднуючи її з одним із планових ТО-1000. Виходячи з цього, приймаємо коефіцієнт охоплення періодичного технічного діагностування ЦПГ у стаціонарних умовах, необхідність якого зумовлена попередженням випадків аварій, рівним 0,5.

Число ПТД, необхідних для попередження випадків аварій, визначимо за формулою:

$$N_{\text{ПТД}a} = N_{\text{ПТД}} \times a, \quad (4.14)$$

де $N_{\text{ПТД}}$ – нормативна кількість ПТД;

a – коефіцієнт охоплення періодичного технічного діагностування ЦПГ у стаціонарних умовах.

Отримаємо:

$$N_{\text{ПТД}a} = 7 \times 0,5 = 3,5.$$

Витрати на ПТД, пов'язані з попередження випадків аварій, визначимо за формулою:

$$Z_{\text{ПТД}} = (C_{\text{Зч}} + C_{\text{ЗАМ}}) N_{\text{ПТД}}, \quad (4.15)$$

де $C_{\text{Зч}}$ – вартість запасних частин, $C_{\text{Зч}} = 34$ тис. грн.;

$C_{\text{ЗАМ}}$ – вартість витрат, пов'язаних із усуненням несправності;

$N_{\text{ПТД}}$ – кількість ПТД, пов'язаних із попередженням випадків відмови двигуна.

Опишемо вартість витрат, пов'язаних із усуненням несправності, такою формулою:

$$C_{\text{ЗАМ}} = 0,1 \times C_{\text{Зч}}, \quad (4.16)$$

$$C_{\text{ЗАМ}} = 0,1 \cdot 34\,000 = 3400 \text{ грн.}$$

Звідси вартість витрат, пов'язаних із усуненням несправності, становитиме:

$$Z_{\text{ПТД}} = 34000 + 3400 \times 3,5 = 130900 \text{ грн.}$$

Додаткові витрати складаються з таких витрат:

$$Z_{\text{ст}} = C_{\text{ЗП}} + C_{\text{СОЦ}} + A + P + E, \quad (4.17)$$

де $C_{\text{ЗП}}$ – заробітна плата спеціаліста-діагноста, грн.;

$C_{\text{СОЦ}}$ – відрахування до позабюджетного фонду, грн.;

A – амортизаційні відрахування, грн.;

P – витрати на поточний ремонт, грн.;

E – витрати на електроенергію, грн.

Відрахування до позабюджетних фондів визначимо за формулою:

$$C_{\text{СОЦ}} = E_{\text{СОЦ}} + C_{\text{СТР}}, \quad (4.18)$$

де $E_{\text{СОЦ}}$ – єдиний соціальний податок;

$C_{\text{СТР}}$ – страхування від нещасних випадків, приймаємо 2% від $C_{\text{ЗП}}$.

Прийmemo заробітну плату спеціаліста-діагноста $C_{\text{ЗП}}$ рівною 90 тис. грн.

Таким чином, $C_{\text{СТР}}$ складе таку суму:

$$C_{\text{СТР}} = 0,02 \times 90000 = 1800 \text{ грн.}$$

Єдиний соціальний податок розраховується виходячи з наступних нарахувань:

$$E_{\text{СОЦ}} = C_{\text{ЗП}} \cdot C_{\text{Пф}} + C_{\text{ЗП}} \cdot C_{\text{Мс}} + C_{\text{ЗП}} \cdot C_{\text{Сс}}, \quad (4.19)$$

де $C_{\text{Пф}}$ – відрахування до пенсійного фонду, приймаємо 14% від $C_{\text{ЗП}}$;

C_{mc} – відрахування до фонду обов'язкового медичного страхування 3,6% від $C_{зп}$;

C_{cc} – відрахування на фонд соціального страхування, 2,4% від $C_{зп}$.

Таким чином, отримаємо наступний розмір єдиного соціального податку:

$$E_{соц1} = 30000 \times 0,14 + 30000 \times 0,036 + 30000 \times 0,024 = 6000 \text{ грн.}$$

$$E_{соц3} = 90000 \times 0,14 + 90000 \times 0,036 + 90000 \times 0,024 = 18000 \text{ грн.}$$

Відрахування до позабюджетних фондів становитимуть:

$$C_{соц} = 18000 + 1800 = 19800 \text{ грн.}$$

Визначаємо амортизаційні відрахування при експлуатації та поточному ремонті:

$$A = \frac{(B \times \alpha)}{(100 \times W)} \quad (4.20)$$

де B – балансова вартість системи діагностики, $B = K = 202500$ грн.;

α – норма амортизації, $\alpha = 15\%$;

W – річна програма, $W = 12$ шт.

Отримуємо:

$$A = \frac{(202500 \times 15)}{(100 \times 12)} \approx 2500 \text{ грн}$$

Виходячи з наявного досвіду експлуатації системи діагностики витрати на її поточне обслуговування та ремонт, а також на витратні матеріали до неї приймаємо рівним:

$$P = 10000 \text{ грн.}$$

Враховуючи портативність приладу та вкрай незначну величину споживаної потужності, то в розрахунку експлуатаційних витрат вона не враховувалася.

Таким чином, розмір додаткових витрат складе:

$$Z_{ст1} = 30000 + 6600 + 2500 + 10000 = 49100 \text{ грн.}$$

$$Z_{ст3} = 90000 + 19800 + 2500 + 10000 = 122300 \text{ грн.}$$

Підсумовуючи проведені вище розрахунки, оцінюємо річну економію коштів при автоматизованому діагностуванні для 43 автомобілів за запропонованою методикою:

$$E_{р1} = (150000 - 38500 - 49100) \times 1,2 = 74880 \text{ грн.}$$

$$E_{р3} = (274117 - 130900 - 122300) \times 1,2 = 25100 \text{ грн.}$$

Таким чином, термін окупності впровадження розроблених технічних засобів та методики складе:

$$T_{\text{ок}} = 67500 / 25100 = 2,7 \text{ р.}$$

Насамкінець слід зазначити, що застосування безперервного діагностування запропонованою методикою із застосуванням системи контролю картерних газів дозволяє відмовитися від спеціально обладнаних стаціонарних випробувальних лабораторій. При цьому оперативність і простота випробувань одночасно забезпечують високу точність оцінки технічного стану вузлів і агрегатів автотранспортних засобів.

4.4 Висновки за розділом 4

1. Оцінка надійності технічних засобів безперервної діагностики є критично важливою для забезпечення їх ефективного функціонування та досягнення цілей, для яких вони призначені – безперервного моніторингу та виявлення відхилень у роботі контрольованих вузлів та агрегатів автотранспортних засобів. Запропоновані методики дозволяють забезпечити необхідний рівень надійності технічних засобів безперервної діагностики.

2. Розроблена методика безперервного діагностування технічного стану вузлів та агрегатів автотранспортних засобів дозволяє перейти до обслуговування за фактичним станом.

3. На підставі розробленої методики технічного стану вузлів та агрегатів автотранспортних засобів запропоновано стратегію підвищення ефективності технічного сервісу шляхом управління запасами.

4. Термін окупності впровадження розроблених технічних засобів та методики становив 2,7 року.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано способи та обґрунтовано необхідність оцінки експлуатаційної надійності двигунів з метою корекції інтервалів їх технічного обслуговування та ремонту. Отримано нормативні значення максимальних та мінімальних значень картерних газів, що побічно характеризують технічний стан циліндро-поршневої групи двигуна УМЗ 4216-170 та побудовано поліноміальні апроксимації граничних значень з достовірністю $R^2 = 0,9859$.

2. Розроблений пристрій безперервної оцінки технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна внутрішнього згорання, в сукупності з технічними засобами, що використовують бездротові канали передачі даних за допомогою мережі Zigbee з комірчастим набором систем.

3. Застосування математичних моделей для вибору оптимальних термінів проведення планових відновлювальних робіт та розробленого програмного комплексу оцінки залишкового ресурсу технічної системи з урахуванням динаміки зміни діагностичних параметрів дозволяє збільшити коефіцієнт готовності парку машин.

4. Проведений розрахунок річної економії коштів при використанні безперервної системи оцінки технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна показав доцільність її впровадження. При впровадженні системи з прикладу автопарку чисельністю 43 одиниці термін окупності становив 2,7 року.

5. Розроблені науково обґрунтовані рекомендації щодо вдосконалення системи технічного обслуговування із застосуванням засобів безперервної діагностики дозволяють підвищити організаційно-технічний рівень обслуговування та знизити витрати на збереження рівня готовності автотранспортних засобів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Біліченко В. В. Виробничі системи на транспорті: стратегії розвитку : монографія. Вінниця: ВНТУ, 2016. 268 с.
2. Кисликов В. Ф., Лущик В. В. Будова й експлуатація автомобілів. Київ : Либідь, 2018. 400 с.
3. Омелічев О. В. Підручник з будови автомобіля. Посібник для автомобілістів-початківців. Харків : Моноліт, 2023. 288 с.
4. Бучок В. С., Ясюк В. Ф., Ковальчук В. О. Трактори і автомобілі. Київ : Аграрна освіта, 2008. 330 с.
5. Білоконь Я. Ю., Окоча А. В. Трактори і автомобілі. Київ : Урожай, 2002. 318 с.
6. Панченко А. І. Будова автомобіля / А. І. Панченко, А. А. Волошина, О. В. Болтянський, І. І. Мілаєва, І. А. Панченко, А. А. Волошин. Мелітополь : ВПЦ «Люкс», 2021. 247 с.
7. James E. Duffy. Modern Automotive Technology. Tinley Park : Goodheart-Willcox Company, 2013. 1920 p.
8. Awari G. K., Kumbhar V. S., Tirpude R. B. Automotive Systems. Principles and Practice. Boca Raton : CRC Press, 2023. 302 p.
9. Gupta S. K. Textbook of Automobile Engineering. Noida : S Chand & Co Ltd, 2014. 833 p.
10. Трактори та автомобілі. Частина 1. Автотракторні двигуни / М. Г. Сандомирський, М. Ф. Бойко, А. Т. Лебедев та ін.; за ред. А. Т. Лебедева. Київ : Вища школа, 2000. 357 с.
11. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко Ф. Ф. Автомобільні двигуни. Київ: Арістей, 2004. 476 с.
12. Захарчук В. І. Основи теорії та конструкції автомобільних двигунів: навчальний посібник, друге видання. Луцьк: ЛНТУ, 2011. 233 с.
13. Транспортні енергетичні установки (традиційні, нетрадиційні та альтернативні), принцип роботи та особливості будови / Ю. Ф. Гутаревич та ін. Київ : НТУ, 2015. 244 с.

14. Транспортні енергетичні установки / О. М. Артюх, О. В. Дударенко, В. В. Кузьмін та ін. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. 264 с.
15. Jianda Wu. An automotive generator fault diagnosis system using discrete wavelet transform and artificial neural network. *Expert Systems with Applications: An International Journal*. 2009. Vol. 36, Issue 6. P. 9776-9783.
16. Строков О. П., Макаренко М. Г., Орлов В. Ф., Павленко В.О. Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів. Частина 1. Основи будови та експлуатації автопоїздів. Київ : Грамота, 2005. 352 с.
17. Костів Б. І. Експлуатація автомобільного транспорту. Львів : Світ, 2004. 495 с.
18. ДСТУ 2389-94. Технічне діагностування і контроль технічного стану. Терміни і визначення. [Чинний від 1995-07-01]. Вид. офіц. Київ, 1995. 24 с. (Інформація та документація).
19. 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).
20. Люлька В. С., Коньок М. М., Перинський Ю. Є., Клімов О. М. Основи діагностики автомобіля. Чернігів : ЧНПУ імені Т.Г. Шевченка, 2013. 188 с.
21. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: технологія. Київ : Вища школа, 2007. 527 с.
22. 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.
23. Анісімов В. Ф, Борисюк Д. В., Черкевич О. В. Системи діагностування сільськогосподарських тракторів. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2016. № 2 (94). С. 34-36.
24. Борисюк Д. В. Перспективи розвитку методів і засобів діагностування сільськогосподарських тракторів. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту* : Х-а Міжн. наук.-практ. конф., м. Вінниця, 23-25 жовтня 2017 р.: тези доповіді. Вінниця, 2017. С. 138-142.

25. Форнальчик Є. Ю., Качмар Р. Я. Основи технічного сервісу транспортних засобів. Львів : Львівська політехніка, 2017. 324 с.
26. Коваленко В. М., Щуріхін В. К. Діагностика і технологія ремонту автомобілів. Київ : Літера ЛТД, 2017. 224 с.
27. 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.
28. Борисюк Д. В., Заїчко В. О. Класифікація методів діагностування автомобільних генераторів. *Матеріали X-ої міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту»*, м. Вінниця, 14-15 квітня 2022 р.: тези доповіді. Вінниця, 2022. С. 27-29.
29. 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.
30. 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>
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. Кукурудзяк Ю. Ю., Біліченко В. В. Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів ТО і ПР. Вінниця : ВНТУ, 2010. 198 с.
35. Ремонт автомобілів / упор. В. Я. Чабанний. Кіровоград : Кіровоградська районна друкарня, 2007. 720 с.
36. Барановський В. М., Спірін А. В., Зелінський В. Й., Наляжний В. С. Математична модель діагностування системи уприскування палива «Mono-Jetronic». *Вісник машинобудування та транспорту*. 2018. Вип. 1 (7). С. 10-17.
37. Борисюк Д. В., Зелінський В. Й., Твердохліб І. В., Полевода Ю. А. Математична модель автоматизації процесу діагностування двигунів внутрішнього згорання сімейства ЯМЗ-238. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. №4 (115). С. 12-23.
38. Бурлака С. А., Митко М. В., Борисюк Д. В. Аналіз моделей діагностики для визначення технічного стану транспортних засобів. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2024. №6 (337), Т.1. С. 39-42.
39. Рибіцький О., Голян В. Інтелектуальна діагностика автомобілів з використанням штучного інтелекту. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*. 2025. Issue 3 (351), part 1. С. 448-454.
40. Борисюк Д.В., Зелінський В.Й., Кіт Я.Ю. Діагностування автомобілів із застосуванням дистанційних систем передачі даних. *Матеріали XVIII-ї міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту»*, 20-22 жовтня 2025 року (м. Вінниця).

Додаток А (обов'язковий).

**РЕЗУЛЬТАТИ ОЦІНКИ КІЛЬКОСТІ КАРТЕРНИХ ГАЗІВ
ДВИГУНІВ УМЗ 4216-170**

Додаток А

Результати оцінки кількості картерних газів двигунів УМЗ 4216-170

Номер двигуна	Кількість картерних газів (ум.од.) при частоті обертання колінчастого валу двигуна (об/хв)									
	1000	1500	1800	2000	2200	2500	3000	3500	4000	4200
1.	6,15	9,20	10,93	12,09	13,35	14,71	18,24	20,98	22,71	23,42
2.	6,88	9,80	10,47	12,59	13,77	15,64	19,72	22,68	23,26	23,87
3.	6,99	9,58	11	12,24	14,21	15,37	18,9	21,6	22,68	23,26
4.	6,03	10,06	11,32	12,39	15,09	16,07	19,02	21,19	22,74	23,31
5.	6,12	9,84	11,91	12,57	14,23	15,04	18,64	21,19	22,74	23,9
6.	6,3	9,33	11,38	12,17	13,9	15,58	18,1	21,4	23,9	24,2
7.	6,04	9,7	11,77	12,95	14,62	15,1	19,28	21,08	22,66	22,66
8.	5,5	7,6	9,7	10,5	11,6	13,9	16,8	20	23,1	23,3
9.	5,4	8	9,53	10,2	11,3	13,4	16,8	20,2	22,2	23,9
10.	6	9,2	10,2	12,1	12,5	12,9	16,4	18,5	20	21
11.	6,1	9,28	10,4	12	12,1	12,9	15,8	18,4	20,38	20,9
12.	6,05	11,01	13,35	13,77	14,68	15,12	18,89	21,61	22,68	24,26
Мінімальне значення	5,4	7,6	9,53	10,2	11,3	12,9	15,8	18,4	20	20,9
Максимальне значення	6,99	11,01	13,35	13,77	15,09	16,07	19,72	22,68	23,9	24,26
Середнє значення	6,13	9,38	11,00	12,13	13,45	14,64	18,05	20,74	22,42	23,17

Додаток Б (обов'язковий).

**ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ
РОБОТИ**

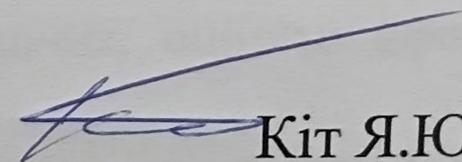
**Удосконалення процесу діагностування циліндро-поршневої
групи двигунів внутрішнього згорання автомобілів в умовах
станції технічного обслуговування автомобілів «Немирів-Авто»
місто Немирів Вінницької області**

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
магістерської кваліфікаційної роботи

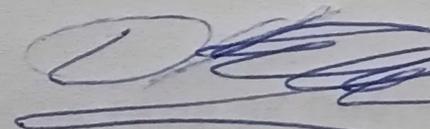
Галузь знань 27 – «Транспорт»

Спеціальність 274 – «Автомобільний транспорт»

Виконав студент гр. 1АТ-24м

 Кіт Я.Ю.

Керівник к.т.н., доцент кафедри АТМ

 Борисюк Д.В.

Вінниця – 2025

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

**Удосконалення процесу діагностування циліндро-поршневої
групи двигунів внутрішнього згорання автомобілів в умовах
станції технічного обслуговування автомобілів «Немирів-Авто»
місто Немирів Вінницької області**

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

магістерської кваліфікаційної роботи

Галузь знань 27 – «Транспорт»

Спеціальність 274 – «Автомобільний транспорт»

Виконав студент гр. 1АТ-24м

Кіт Я.Ю.

Керівник к.т.н., доцент кафедри АТМ

Борисюк Д.В.

Вінниця – 2025

Удосконалення процесу діагностування циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згорання автомобілів в умовах станції технічного обслуговування автомобілів «Немирів-Авто» місто Немирів Вінницької області

Мета дослідження – зниження трудомісткості та підвищення оперативності при оцінці технічного стану ЦПГ ДВЗ автотранспортних засобів шляхом розробки способу безперервного діагностування з використанням бездротових каналів зв'язку для передачі даних.

Для досягнення поставленої мети необхідно послідовно вирішити такі основні **завдання дослідження**:

Провести аналіз виробничої діяльності СТО «Немирів-Авто».

Проаналізувати стан технічних засобів та методів діагностування вузлів та агрегатів автотранспортних засобів.

Теоретично обґрунтувати можливість прогнозування технічного стану вузлів та агрегатів на основі прогнозуючих параметрів.

Розробити метод та засіб діагностування із застосуванням бездротової передачі даних.

Розробити математичну модель прогнозування технічного стану вузлів та агрегатів автотранспортних засобів.

Навести практичні рекомендації щодо застосування запропонованого методу та засобів діагностування із застосуванням бездротової передачі даних, оцінити ефективність їх застосування.

Об'єкт дослідження – двигуни автотранспортних засобів та системи бездротової передачі даних.

Предмет дослідження – оцінка кількості картерних газів як прогнозуючого параметра технічного стану циліндро-поршневої групи двигунів автотранспортних засобів.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СТО «НЕМИРІВ-АВТО»

2

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. Вінниця 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, 4б.



**Розташування виробничих
підрозділів СТО «Немирів-
Авто» в м. Немирів**



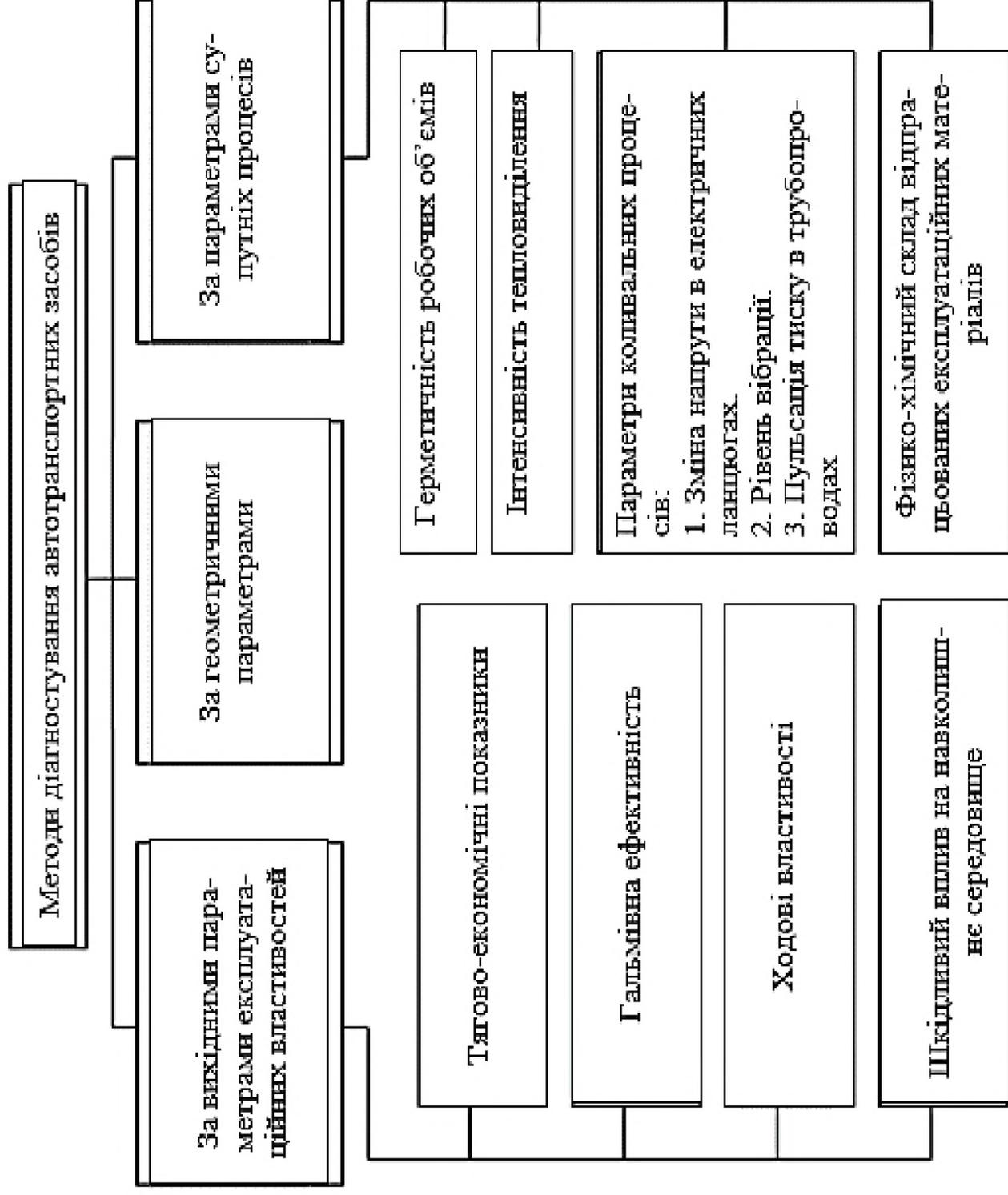
**Пости ТО-1 і ТО-2 СТО «Немирів-Авто»
в м. Немирів**

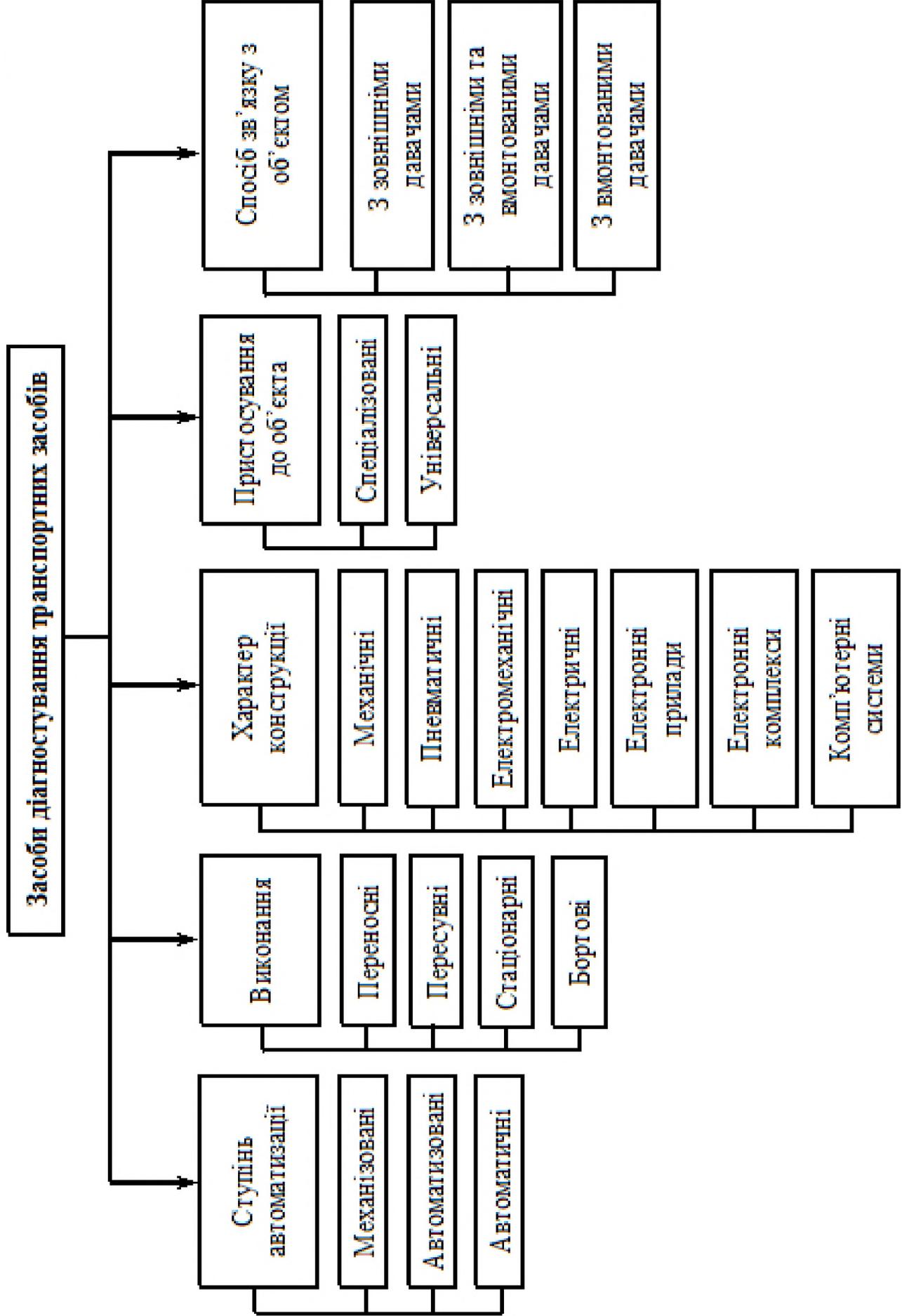


Дільниця ремонту двигунів СТО «Немирів-Авто» в м. Немирів



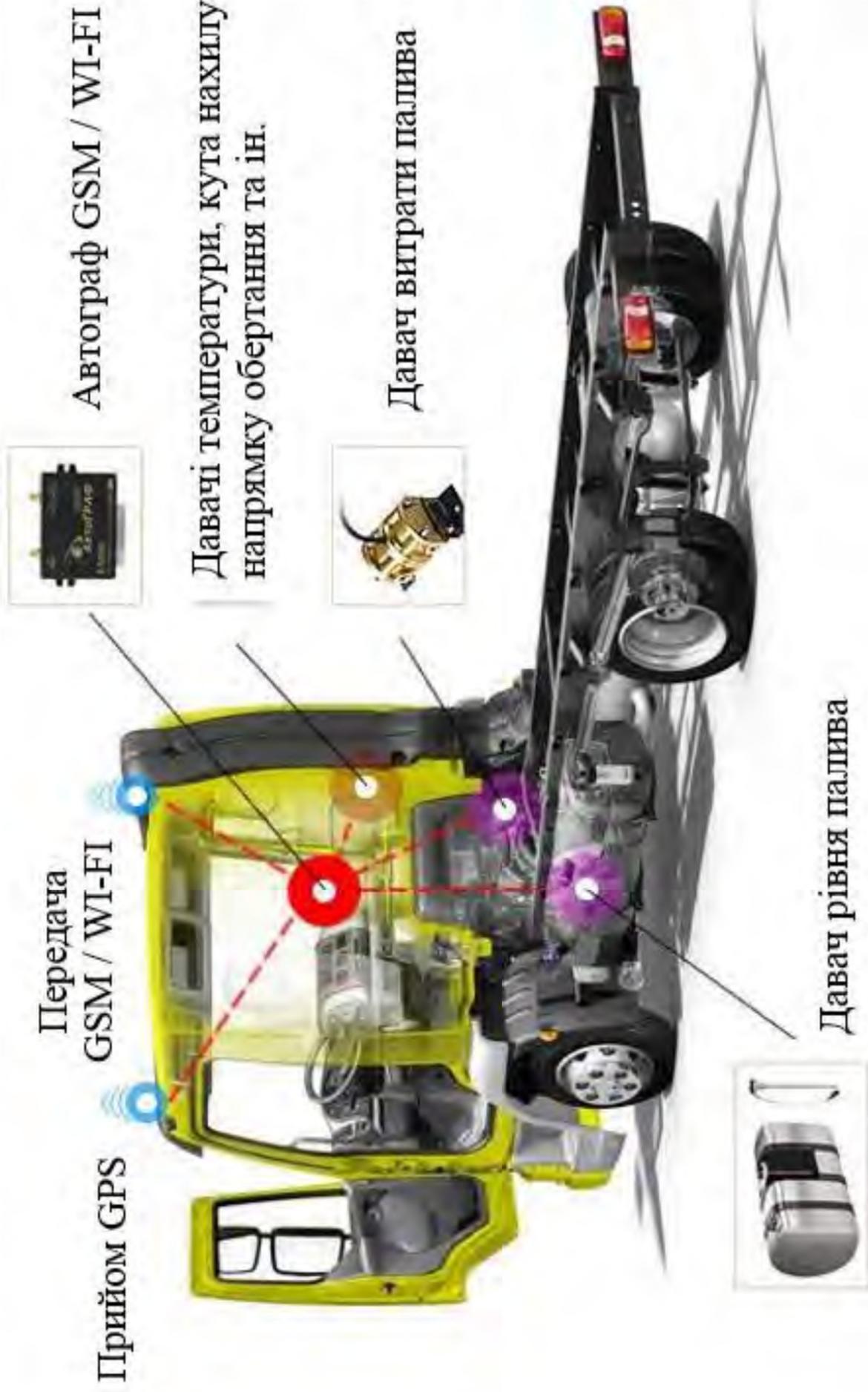
Відділ продажу запчастин СТО «Немирів-Авто» в м. Немирів



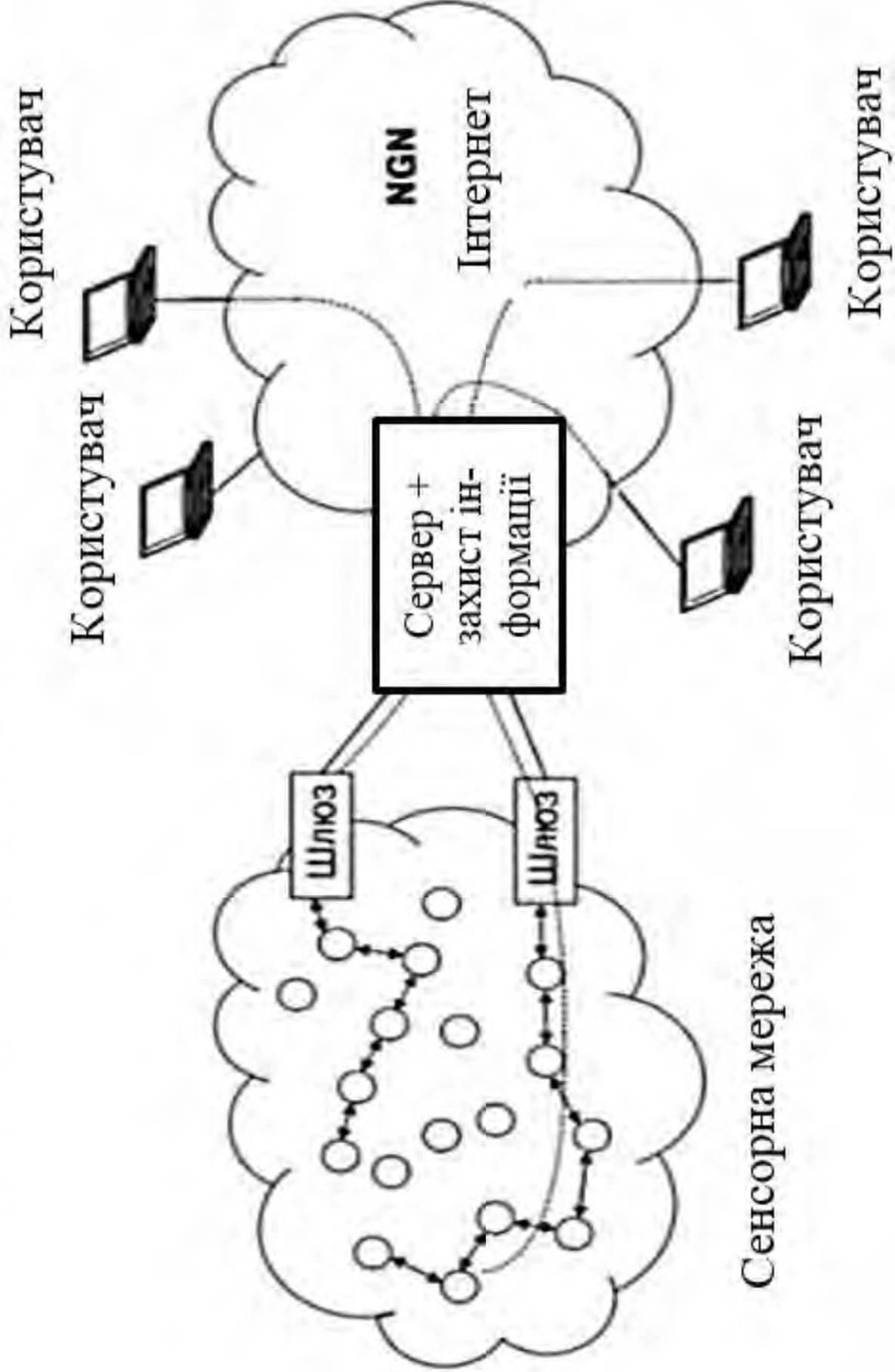


Приклад встановлення обладнання для дистанційного моніторингу

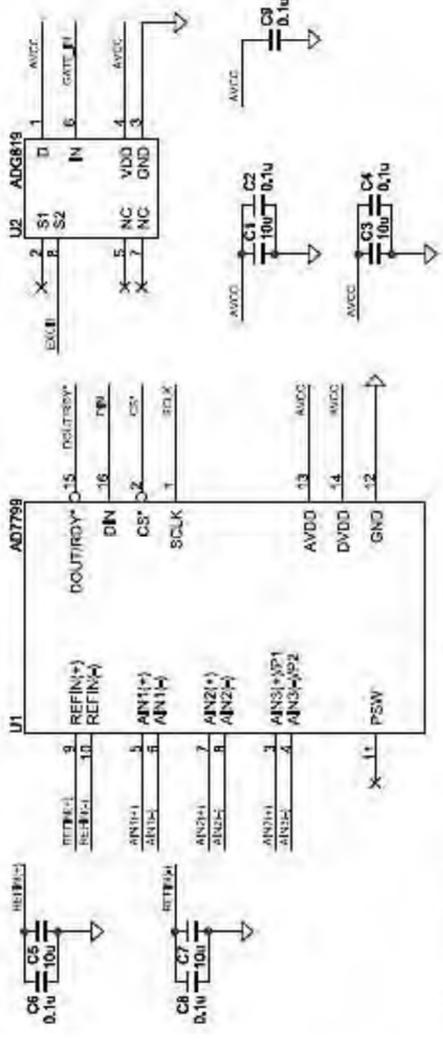
6



Приклад взаємодії діагностичних сенсорних мереж окремих транспортних засобів із службами технічного сервісу



Принципова схема плати сполучення



X1

Ціль	Конт.
GND	1
AVCC	2
NC	3
NC	4
NC	5
NC	6
NC	7
NC	8
NC	9
NC	10
NC	11
NC	12
GND	13
MOSI	14
MISO	15
CLK	16
/SS	17
NC	18
NC	19
GND	20

P80-20

X2

Ціль	Конт.
GND	1
NC	2
GPIO0	3
NC	4
NC	5
NC	6
NC	7
NC	8
NC	9
NC	10
NC	11
NC	12
NC	13
NC	14
NC	15
NC	16
NC	17
NC	18
NC	19
GND	20

P80-20

X3

Ціль	Конт.
EXCIT1(+)	1
EXCIT1(-)	2
REF1(+)	3
REF1(-)	4
SIG1(+)	5
SIG1(-)	6
GND	7
GND	8
SIG3(+)	9
SIG3(-)	10

MKDSN1,5/10

X4

Ціль	Конт.
EXCIT2(+)	1
EXCIT2(-)	2
REF2(+)	3
REF2(-)	4
SIG2(+)	5
SIG2(-)	6
EXCIT3(+)	7
EXCIT3(-)	8
REF3(+)	9
REF3(-)	10

MKDSN1,5/10

Теоретичні основи технічного діагностування під час експлуатації автотранспортних засобів

Технічний стан системи у будь-якій конкретній часовій зрізі підлягає одновимірній ідентифікації як **векторний** або **насправний**. Найчастіше процес $X(t)$ спостерігається дискретно в інтервалом Δt у моменти $t = k \Delta t, k = 0, 1, 2, \dots$ робото спостерігається послідовність **векторів** X_0, X_1, \dots, X_k . Значить, у кожній момент t_k став відомою **вже минула траєкторія** випадкового процесу $X(t)$:

$$(X_0, X_1, \dots, X_k) = \bar{X}_k$$

З практики експлуатації технічних систем відомо, що в момент t_k по **траєкторії** \bar{X}_k можна прийняти **всього два рішення** - не втручатися у роботу системи та продовжити спостереження за процесом $X(t)$.

- **припинити роботу системи та шляхом заміни і регулювань повернути систему в початковий стан**. У момент відмови системи, тобто при

$$X_k \in X_1 \cup \dots \cup X_n, \quad t = X_k, \quad X_k \in X$$

приймається **друге рішення** (тут X_n - простір справних станів системи, X - простір її **несправних станів** $X = X_1 \cup \dots \cup X_n$, де X - весь простір станів системи).

Введемо функцію експлуатаційних витрат систем. Нехай C_1^* - середні витрати у разі, коли на момент зупинки системи вона справна, а C_2^* - середні витрати у разі, коли на момент зупинки система **несправна**.

У момент зупинки система $(v = k \Delta t)$ функція середніх витрат має вигляд:

$$V(v) = \begin{cases} C_1 & \text{якщо система справна,} \\ C_2 & \text{якщо система несправна} \end{cases} \quad (1)$$

Правилом зупинки система при спостереженні за процесом $X(t)$ (далі просто правилом зупинки) названо випадкову величину k **залежну** від моменту зупинки t_k (момент зупинки визначається **поведінкою процесу** $X(t)$, тому він випадковий у часі). Вважаємо, що рішення про зупинку в момент t_k залежить від траєкторії процесу X_k до моменту t_k (4)

Для правила зупинки - випадкової величини з розподілом

середні витрати:

$$V(v) = \sum_{k=1}^{\infty} P\{v = k \Delta t\} \quad (2)$$

прирішенні завдань експлуатації правило v^* оптимальне, якщо

$$v^*(v) = \min_k V(v)$$

Під величинами C_1 та C_2 можуть розумітися відповідно середні тривалості регулювань справної і та несправної і систем.

Структурно-наслідкова схема циліндро-поршневої групи

Двигуна як об'єкта діагностування

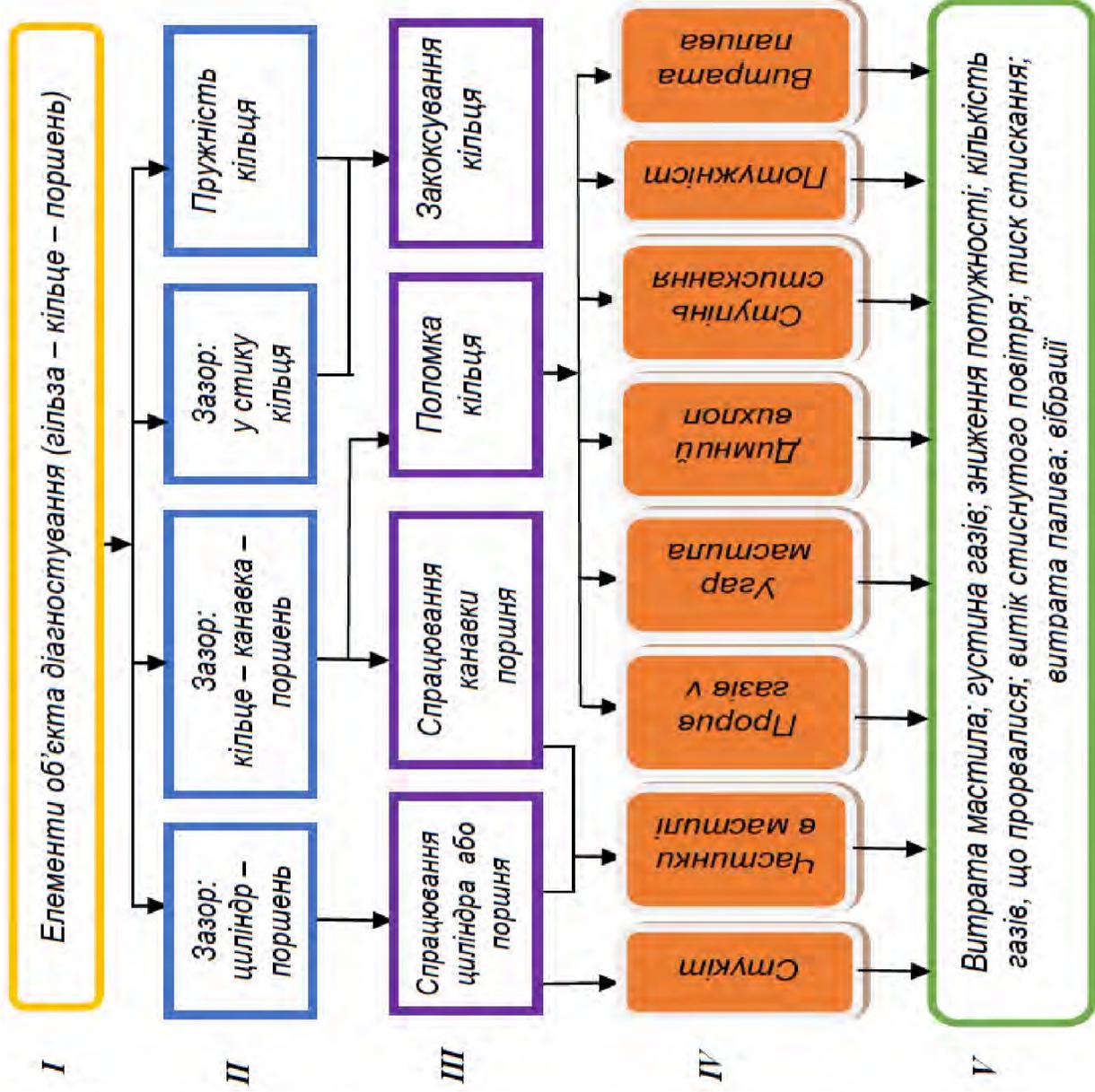
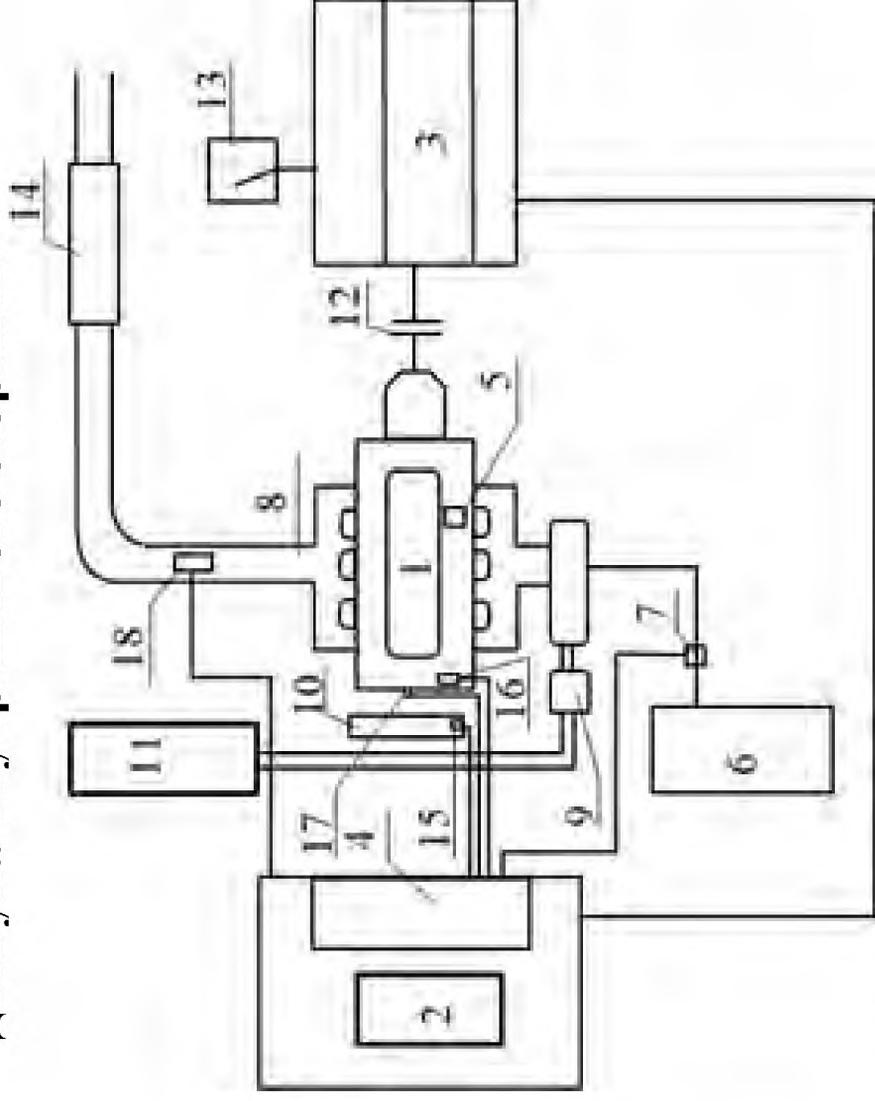
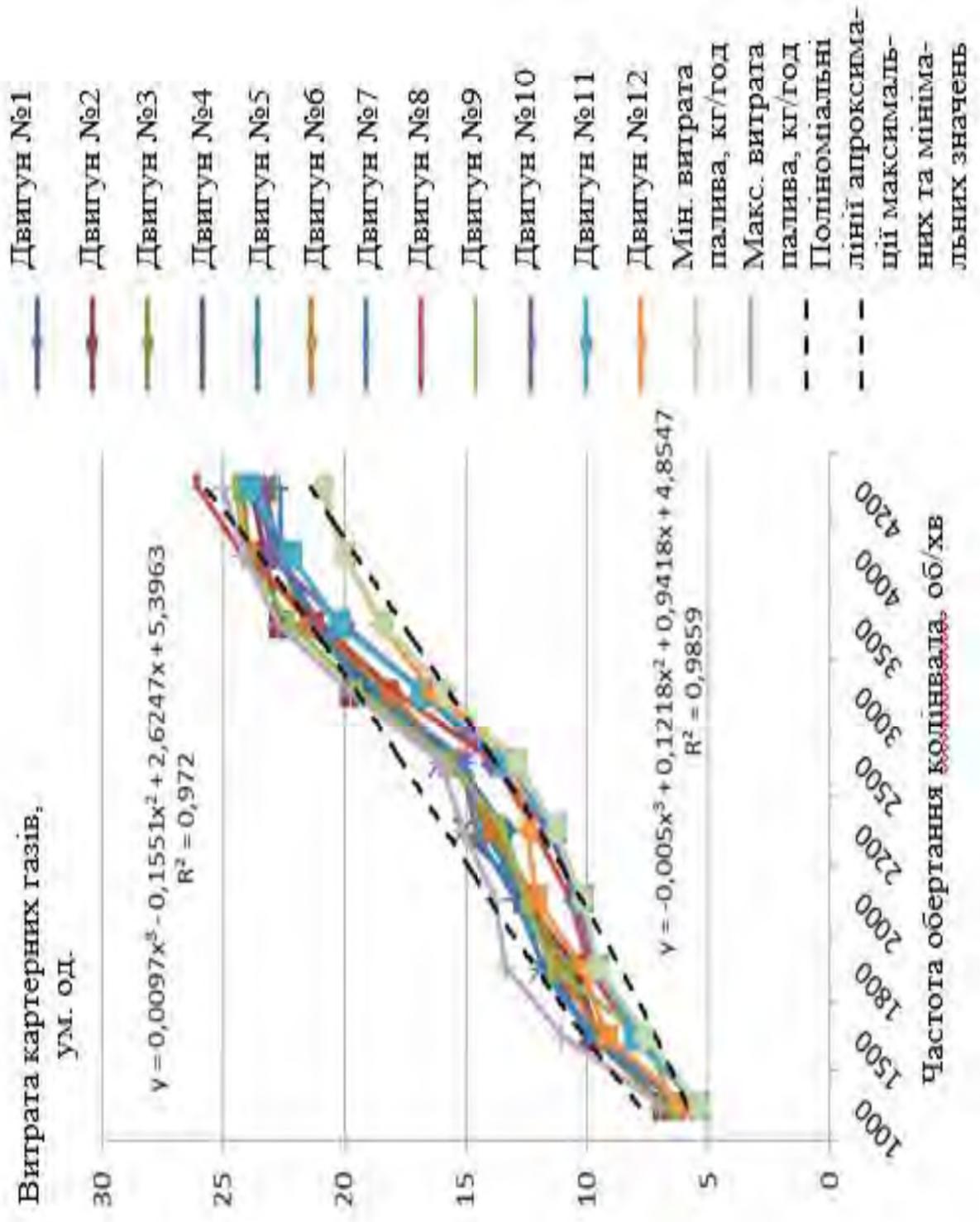


Схема системи оцінки технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна внутрішнього згоряння



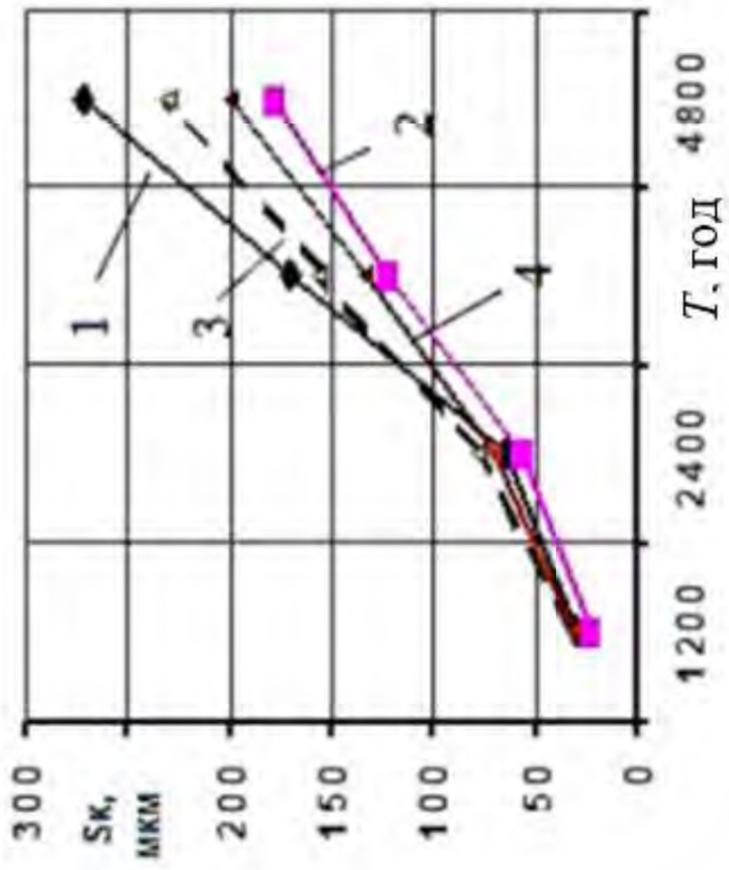
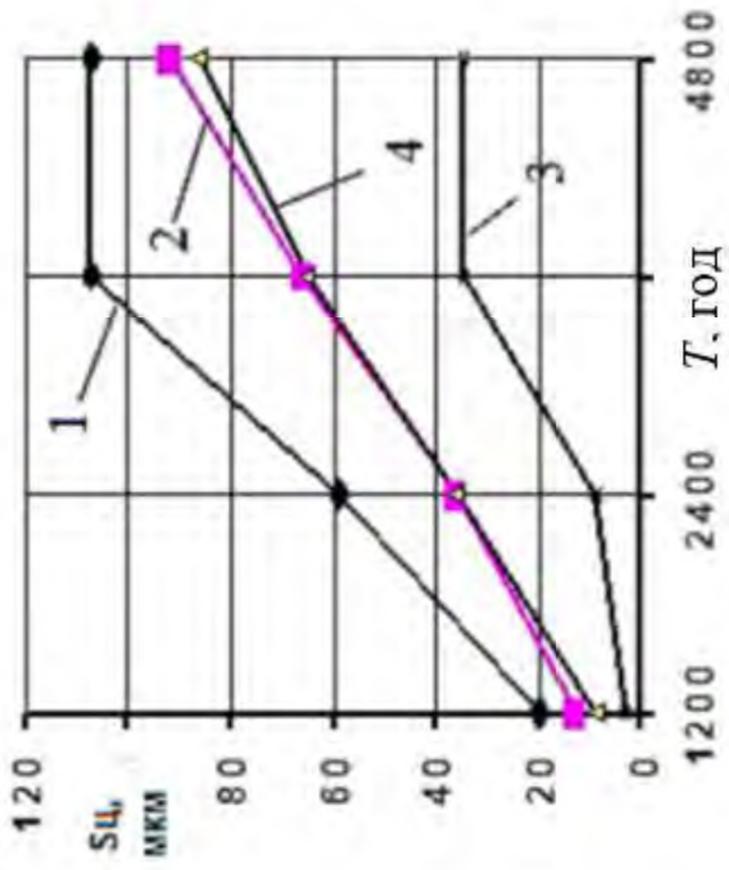
1 – двигун; 2 – пульт керування стендом; 3 – стенд для випробування двигуна; 4 – панель приладів від датчиків двигуна; 5 – система контролю витрати палива; 6 – паливний бак; 7 – пристрій для вимірювання витрати палива; 8 – система випуску відпрацьованих газів; 9 – повітряний фільтр; 10 – система охолодження двигуна; 11 – ресивер для повітря; 12 – муфта з'єднання двигуна зі стендом; 13 – балансирний динамометр; 14 – глушник; 15 – індикатор температури системи охолодження двигуна; 16 – індикатор тиску масла у двигуні; 17 – електронний тахометр; 18 – газоаналізатор

Графік залежності витрати картерних газів двигунів УМЗ 4216-170 від частоти обертання колінвала



Залежність зносу циліндрів $S_{ц}$ та поршневих кілець $S_{к}$

двигуна від напрацювання T : 1-4 – номери циліндрів



1. Проаналізовано способи та обґрунтовано необхідність оцінки експлуатаційної надійності двигунів з метою корекції інтервалів їх технічного обслуговування та ремонту. Отримано нормативні значення максимальних та мінімальних значень картерних газів, що побічно характеризують технічний стан циліндро-поршневої групи двигуна УМЗ 4216-170 та побудовано поліномінальні апроксимації граничних значень з достовірністю $R^2 = 0,9859$.
2. Розроблений пристрій безперервної оцінки технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна внутрішнього згоряння, в сукупності з технічними засобами, що використовують бездротові канали передачі даних за допомогою мережі Zigbee з комірчастим набором систем.
3. Застосування математичних моделей для вибору оптимальних термінів проведення планових відновлювальних робіт та розробленого програмного комплексу оцінки залишкового ресурсу технічної системи з урахуванням динаміки зміни діагностичних параметрів дозволяє збільшити коефіцієнт готовності парку машин.
4. Проведений розрахунок річної економії коштів при використанні безперервної системи оцінки технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна показав доцільність її впровадження. При впровадженні системи з прикладу автопарку чисельністю 43 одиниці термін окупності становив 2,7 року.
5. Розроблені науково обґрунтовані рекомендації щодо вдосконалення системи технічного обслуговування із застосуванням засобів безперервної діагностики дозволяють підвищити організаційно-технічний рівень обслуговування та знизити витрати на збереження рівня готовності автотранспортних засобів.

Додаток В (обов'язковий).

**ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ
РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Удосконалення процесу діагностування циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згорання автомобілів в умовах станції технічного обслуговування автомобілів «Немирів-Авто» місто Немирів Вінницької області

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі

системою StrikePlagiarism (КПІ) 1,3 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)
 Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту

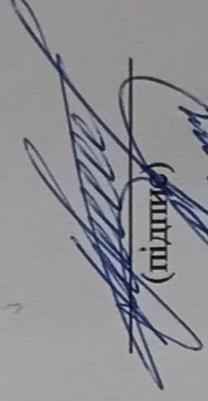
У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

У роботі виявлено ознаки академічного плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

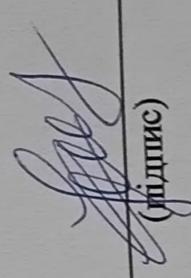
Цимбал С.В., завідувач кафедри АТМ

(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

Кужель В.П., доцент кафедри АТМ

(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

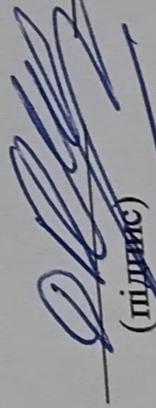
Цимбал О.В.

(прізвище, ініціали)

Особа, відповідальна за перевірку

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

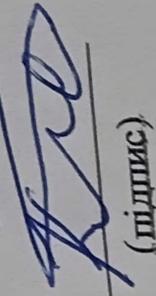
Керівник


(підпис)

Борисюк Д.В., доцент кафедри АТМ

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач


(підпис)

Кіт Я.Ю.

(прізвище, ініціали)