

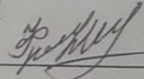
Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

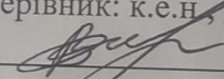
МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

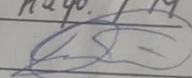
на тему:

«Підвищення ефективності визначення технічного стану
підшипників маточин коліс в умовах станції технічного
обслуговування автомобілів товариства з обмеженою
відповідальністю «Джерман-Центр» місто Вінниця»

Виконав: студент 2-го курсу, групи 1АТ-
22м спеціальності 274 – Автомобільний
транспорт

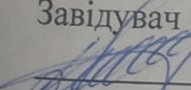

Францішко М.О.

Керівник: к.е.н., доцент каф. АТМ

Огневий В.О.
« 06 » 12 2023 р.

Опонент: к.т.н., доц. каф. АТМ
Бакалець Д.В. 
« 08 » 12 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри АТМ


к.т.н., доц. Цимбал С.В.
« 11 » грудня 2023 р.

Вінниця ВНТУ – 2023 рік

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

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

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

«19» 2023 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Францішко Миколі Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності визначення технічного стану підшипників маточин коліс в умовах станції технічного обслуговування автомобілів товариства з обмеженою відповідальністю «Джерман-Центр» місто Вінниця.

керівник роботи Огневий Віталій Олександрович, к.е.н., доцент,

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

затверджені наказом ВНТУ від «18» вересня 2023 року № 247.

2. Строк подання студентом роботи: 04.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: Вимоги до конструкції та експлуатації автотранспортних засобів (діючі міжнародні, державні, галузеві стандарти та технічні умови заводів-виробників автомобільної техніки); законодавство України в галузі безпеки руху, охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; структура автопарку України; район експлуатації автомобілів – Україна; досліджувані моделі АТЗ – автомобілі Volkswagen; об'єкт дослідження – підшипники маточин коліс автомобіля; похибка прогнозування досліджуваних показників не більше – 10%.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1 Науково-технічне обґрунтування розробок з підвищення ефективності визначення технічного стану підшипників маточин коліс автомобілів в умовах СТО ТОВ «Джерман-Центр» місто Вінниця

2 Розробка методу визначення технічного стану підшипника маточини колеса автомобіля

3 Розробка методу визначення технічного стану підшипників маточин коліс в умовах СТО ТОВ «Джерман-Центр»

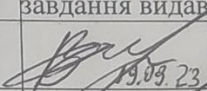
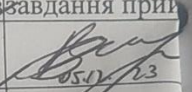
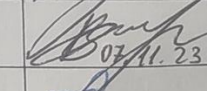
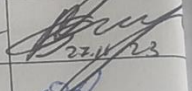
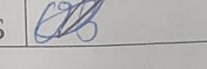
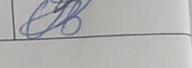
4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5 Розрахунок економічного ефекту від впровадження методики визначення технічного стану підшипників маточин коліс в умовах СТОа ТОВ «Джерман-Центр»

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

- 1-3 Тема, мета та завдання дослідження.
- 4 Пристрій вимірювання опору підшипника
- 5 Техніко-економічні показники СТО «Джерман-Центр»
- 6 Схема сил, діючих на колесо і підшипник маточини колеса
- 7 Структура математичної моделі опору підшипника
- 8 Структурна схема методу визначення технічного стану підшипника маточини колеса
- 9 Пристрій виміру опору трибоспрямлення підшипника маточини колеса
- 10 Зовнішній вигляд стенду визначення технічного стану підшипника маточини колеса
- 11 Експериментальна установка
- 12-14 Експериментальні залежності параметрів підшипників маточини колеса
- 15 Економічний ефект від впровадження методики визначення технічного стану підшипників маточини коліс в умовах СТОа ТОВ «Джерман-Центр»

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ/підрозділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прий
Розв'язання основної задачі	Огневий В.О., доцент кафедри АТМ	 19.09.23	 05.10.23
Визначення ефективності запропонованих рішень	Огневий В.О., доцент кафедри АТМ	 07.11.23	 22.11.23
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Березюк О.В., професор кафедри БЖДПБ	 07.11.23	 07.11.23

7. Дата видачі завдання « 19 » вересня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим.
1	Вивчення об'єкту та предмету дослідження	19.09-02.10.2023	виконано
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	19.09-02.10.2023	виконано
3	Обґрунтування методів досліджень	19.09-02.10.2023	виконано
4	Розв'язання поставлених задач	03.10-20.11.2023	виконано
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	21.11-29.11.2023	виконано
6	Виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»	07.11-27.11.2023	виконано
7	Виконання розділу/підрозділу «Визначення ефективності запропонованих рішень»	07.11-27.11.2023	виконано
8	Нормоконтроль МКР	30.11-04.12.2023	виконано
9	Попередній захист МКР	05.12-07.12.2023	виконано
10	Рецензування МКР	08.12-11.12.2023	виконано
11	Захист МКР	12.12-22.12.2023	

Студент


(підпис)

Францішко М.О.

Керівник роботи


(підпис)

Огневий В.О.

АНОТАЦІЯ

УДК 629.113.004

Францішко М. О. Підвищення ефективності визначення технічного стану підшипників маточин коліс в умовах станції технічного обслуговування автомобілів товариства з обмеженою відповідальністю «Джерман-Центр» місто Вінниця. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 274 – Автомобільний транспорт, освітня програма – Автомобільний транспорт. Вінниця: ВНТУ, 2023. 99 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 28 назв; рис.: 22; табл. 19.

В магістерській кваліфікаційній роботі пророблено питання підвищення експлуатаційної надійності автомобілів шляхом удосконалення процесу визначення технічного стану підшипників маточин коліс в умовах станції технічного обслуговування автомобілів товариства з обмеженою відповідальністю «Джерман-Центр». У розділі 1 наведено науково-технічне обґрунтування розробок з підвищення ефективності визначення технічного стану підшипників маточин коліс автомобілів в умовах СТО ТОВ «Джерман-Центр» місто Вінниця. В розділі 2 виконано вдосконалення методу визначення технічного стану підшипника маточини колеса автомобіля. В розділі 3 виконано експериментальну перевірку методу визначення технічного стану підшипників маточин коліс в умовах СТО ТОВ «Джерман-Центр». В розділі 4 розроблено технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, технічні рішення з безпеки при визначенні технічного стану підшипників маточин коліс в умовах станції технічного обслуговування автомобілів та безпека в надзвичайних ситуаціях. В розділі 5 проведено розрахунок економічного ефекту від впровадження методики визначення технічного стану підшипників маточин коліс в умовах СТО ТОВ «Джерман-Центр».

Графічна частина складається з 15 слайдів.

Ключові слова: визначення технічного стану, підшипники маточин коліс, метод, автомобіль, удосконалення.

ABSTRACT

UDC 629.113.004

Francishko M.O. Increasing the efficiency of determining the technical condition of wheel hub bearings in the conditions of the car maintenance station of German-Center Limited Liability Company, Vinnytsia. Master's qualification work on specialty 274 - Road transport, educational program - Road transport. Vinnytsia: VNTU, 2023. 99 p.

In Ukrainian speech Bibliography: 28 titles; Fig.: 22; table 19.

In the master's qualification work, the issue of increasing the operational reliability of cars by improving the process of determining the technical condition of the wheel hub bearings in the conditions of the car maintenance station of the "German-Center" limited liability company was worked out. Chapter 1 provides the scientific and technical justification of the developments to improve the efficiency of determining the technical condition of the bearings of the wheel hubs of cars in the conditions of the "German-Center" LLC service center in the city of Vinnytsia. In section 2, the method of determining the technical condition of the car wheel hub bearing was improved. In section 3, an experimental check of the method of determining the technical condition of the wheel hub bearings in the conditions of the service center of German-Center LLC was performed. In section 4, technical solutions for labor hygiene and industrial sanitation, technical solutions for safety in determining the technical condition of wheel hub bearings in the conditions of a car service station and safety in emergency situations are developed. In chapter 5, the calculation of the economic effect of the implementation of the method of determining the technical condition of the wheel hub bearings in the conditions of the "German-Center" LLC service center was carried out.

The graphic part consists of 15 slides.

Key words: determination of technical condition, wheel hub bearings, method, car, improvement.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБОК З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПІДШИПНИКІВ МАТОЧИН КОЛІС АВТОМОБІЛІВ В УМОВАХ СТО ТОВ «ДЖЕРМАН-ЦЕНТР» МІСТО ВІННИЦЯ.....	10
1.1 Методи визначення технічного стану підшипникових вузлів.....	10
1.2 Аналіз діяльності СТО ТОВ «Джерман-Центр».....	22
1.3 Аналіз стану існуючої виробничо-технічної бази.....	28
1.4 Аналіз існуючої системи і організації ТО і ПР.....	34
1.5 Висновки до розділу 1.....	39
РОЗДІЛ 2 ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПІДШИПНИКА МАТОЧИНИ КОЛЕСА АВТОМОБІЛЯ.....	40
2.1 Математичне моделювання процесів в підшипнику.....	40
2.2 Комплексування вимірювальної інформації.....	52
2.3 Комплексний метод визначення технічного стану підшипника автомобіля.....	56
2.4 Оцінка точності розпізнавання дефектів підшипника.....	66
2.5 Висновки до розділу 2	69
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПІДШИПНИКІВ МАТОЧИН КОЛІС В УМОВАХ СТО ТОВ «ДЖЕРМАН-ЦЕНТР».....	70
3.1 Експериментальне дослідження працездатності принципу визначення технічного стану.....	71
3.2 Механічна частина пристрою визначення технічного стану.....	74
3.3 Експериментальні дослідження працездатності методу.....	76
3.4 Висновки до розділу 3.....	82
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	83

	6
4.1 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	84
4.2 Технічні рішення з безпеки при визначенні технічного стану підшипників маточин коліс в умовах СТО.....	88
4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	90
4.4 Висновки до розділу 4	91
РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПІДШИПНИКІВ МАТОЧИН КОЛІС В УМОВАХ СТОА ТОВ «ДЖЕРМАН-ЦЕНТР».....	92
Висновки до розділу 5	95
ВИСНОВКИ	96
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	97
ДОДАТКИ	100
Додаток А Ілюстративна частина	101
Додаток Б Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	102

ВСТУП

Актуальність теми. Одним із завдань розвитку автотранспортних засобів є підвищення експлуатаційної надійності. Для її вирішення необхідний випуск більш надійних вузлів і деталей, вдосконалення методів експлуатації, до чого відноситься підвищення ефективності визначення технічного стану автомобілів.

Надійність автотранспортного засобу визначається складовими його конструкції системами, вузлами і агрегатами що в кінцевому результаті попереджає аварійні ситуації. Зокрема, контроль ходової частини саме на часі, так як від 10 до 25% дорожньо-транспортних пригод відбуваються за участю автомобілів ходова частина яких несправна [3].

У зв'язку із зростанням інтеграції елементів, посиленням вимог до надійності агрегатів автомобіля виникла необхідність в розробці гнучких методів визначення технічного стану, що дозволяють визначати приховані при візуальній експертизі несправності і прогнозувати зміну технічного стану [3].

В даний час при технічному обслуговуванні автомобілів контроль стану деяких вузлів (наприклад, маточинних вузлів) проводиться за допомогою органолептичних методів. Щоб збільшити ефективність даних операцій контролю необхідні інтелектуальні діагностичні пристрої і комплекси, які забезпечать автоматизовану визначення технічного стану ходової частини автомобіля, зможуть дати вичерпну прогностичну оцінку і запропонувати рекомендації щодо подальшого обслуговування. Такі пристрої і комплекси припускають швидке визначення технічного стану вузла з мінімальними затратами і, по можливості, без застосування висококваліфікованого персоналу в умовах сервісного обслуговування [14].

Вибір методів контролю та визначення технічного стану підшипників, кожен з яких має свої переваги і недоліки, дуже великий. Одними з головних показників якості підшипників маточин є стан поверхонь підшипника, наявність мастила, герметичність і ін. Особливою складністю є визначення технічного стану двохопрного підшипникового вузла, тому що в даний час поверхнево

опрацьовано питання про виділення діагностичної інформації про конкретний підшипник у вузлі.

Зокрема, в практиці визначення технічного стану підшипників є кінематичні, теплові, вібраційні, електричні та ін. Найбільш вживаними є вібраційні методи, однак їх використання ускладнене при пошуку малих і дефектів, що зароджуються в елементах трибовузла, а також вони мають малу чутливість для оцінки стану мастильного матеріалу [22].

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконувалась у відповідності з напрямками наукових досліджень кафедри автомобілів та транспортного менеджменту.

Мета і завдання дослідження - підвищення ефективності експлуатації автотранспортних засобів за рахунок вдосконалення методики визначення технічного стану підшипників маточин коліс автомобіля, на основі оцінки технічного стану підшипника по комплексному параметру в умовах станції технічного обслуговування.

Відповідно до поставленої мети в роботі вирішуються наступні завдання:

- удосконалення математичної моделі вібраційних процесів і електричного опору в трибоспряженнях двохрядного підшипника маточини колеса з можливістю моделювання локальних дефектів, і стану мастильного шару;
- розробка комплексного діагностичного параметра;
- розробка алгоритму визначення технічного стану підшипника із застосуванням комплексного діагностичного параметра;
- удосконалення пристрою визначення технічного стану підшипників маточин коліс і методики визначення технічного стану підшипника для автосервісного підприємства.

Об'єктом дослідження є процес визначення технічного стану підшипникового вузла маточин коліс легкового автомобіля.

Предметом дослідження є закономірності, що характеризують процес визначення технічного стану підшипникового вузла із застосуванням комплексного параметра, що враховує характеристики електрофлукуаційних і вібраційних процесів трибоспряжень.

Методи дослідження. Проведені теоретичні дослідження засновані на положеннях теорій: електропровідності контакту двох шорсткуватих тіл, пружності, контактної гідродинаміки, контакту реальних поверхонь. Для проведення досліджень використовувалися методи математичного аналізу, аналітичні та чисельні методи вирішення систем рівнянь.

Наукова новизна одержаних результатів:

- удосконалено математичну модель електрофлуктуаційних і вібраційних процесів в трибоспряженнях підшипника маточини колеса автомобіля, які базуються на залежностях провідності і механічної взаємодії контактуючих тіл, що відрізняються можливістю параметризації локальних дефектів і станом мастильного шару;

- набув подальшого розвитку метод комплексного визначення технічного стану підшипника із застосуванням комплексного параметра, що враховує характеристики електрофлуктуаційних і вібраційних процесів підшипника.

Практичне значення одержаних результатів.

Удосконалена методика визначення технічного стану підшипників маточин коліс автомобіля для використання на підприємствах автосервісу. Розроблено пристрій визначення технічного стану підшипників маточин коліс автомобілів, що дозволяє визначати наявність локальних дефектів, а також стан мастильного матеріалу підшипника автомобіля.

Достовірність теоретичних положень магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується коректним застосуванням математичних методів та збіжністю результатів математичного моделювання та експериментальних досліджень.

Апробація результатів роботи. Проміжні результати досліджень були опубліковані серед матеріалів конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», Вінниця, 2024. [13].

Публікації. Матеріали магістерської роботи висвітлені у 1 опублікованій науковій праці, з яких 1 – опублікована праця апробаційного характеру.

РОЗДІЛ 1

НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБОК З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПІДШИПНИКІВ МАТОЧИН КОЛІС АВТОМОБІЛІВ В УМОВАХ СТО ТОВ «ДЖЕРМАН-ЦЕНТР» МІСТО ВІННИЦЯ

1.1 Методи визначення технічного стану підшипникових вузлів

В даний час існує досить велика кількість опублікованих оглядових робіт і монографій, в яких висвітлюється питання систематизації методів оцінки стану підшипникових вузлів і їх елементів, зокрема, мастильних матеріалів. Для вибору напрямку подальшої роботи, вибору принципу дії методу для визначення технічного стану потрібно провести аналіз вже існуючих. За фізичним принципом дії виділимо таку класифікацію методів визначення технічного стану:

- 1) методи спектрометрії, фотометрії;
- 2) механічні методи;
- 3) теплові методи;
- 4) електричні методи;
- 5) віброакустичні методи (вібродіагностичні, шумодіагностичні, акустичної емісії, ультразвукові методи).

Методи спектрометрії, фотометрії набули широкого поширення серед методів аналізу мастильних матеріалів. Основна область використання - оцінка параметрів мастильних матеріалів, визначення хімічного складу і наявності домішок. Використовують методи аналізу ступеня поглинання світлового потоку, аналізу спектру оптичного або лазерного випромінювання. Останній метод призначений для вирішення завдань: визначення параметрів домішок металів в мастильному матеріалі; контролю якості параметрів мастильного матеріалу; оцінки технічного стану, ступеня зносу машин і механізмів за параметрами домішок, виявлених в мастильному матеріалі; оцінки здатності

мастильних матеріалів зберігати свої властивості при різних температурах; визначення температурного матеріалу мастил; визначення обсягу продуктів зносу в використаному мастилі двигунів; оцінки впливу мастил на процес корозії.

Механічні методи визначення технічного стану є найбільш поширеними. Для окремих видів трибоспряжень вони входять в число стандартних методів визначення технічного стану. До даного класу методів відноситься широкий комплекс методів, призначених для вимірювання сил і моментів тертя, визначення масогабаритних параметрів деталей вузлів і продуктів зносу.

Щодо аналізу мастильних матеріалів механічні методи вирішують завдання: оцінку енергії активації термомеханічної деструкції мастильних матеріалів при терті; оцінку ступеня забруднення мастильного матеріалу домішками механічного походження.

Теплові методи застосовуються в промисловості і на підприємствах сервісу та ремонту, так як дозволяють виміряти карту розподілу теплових полів в вузлі, деталі. Слід зазначити, що часто теплові методи поєднують з методами які мають іншу природу, наприклад, спільно з оптичними, ультразвуковими або механічними. Використання теплових методів вирішує завдання: оцінку здатності мастильних матеріалів зберігати свої властивості при різних температурах; визначення температурних властивостей мастил; оцінку ступеня забрудненості; визначення окисних властивостей.

Віброакустичні методи в даний час інтенсивно розвиваються і є найбільш поширеними в сфері сервісу і ремонту автотранспорту. Їх перевагою є можливість визначення технічного стану великої кількості видів дефектів виготовлення і збірки трибовузлів, причому в умовах функціональної визначення технічного стану .

Інтенсивний розвиток віброакустичних методів спричинив появу кількох їх різновидів: вібродіагностичні, шумодіагностичні, акустичної емісії, ультразвукові.

Вібродіагностичні методи трибологічних досліджень використовують для вирішення наступних завдань: прогнозування технічного стану підшипників кочення; контролю і визначення технічного стану технічного стану підшипників і редукторів.

Шумодіагностичні методи використовують для вирішення ряду завдань. Методи суб'єктивної оцінки шуму зводяться до елементарного пошуку несправностей. Наприклад, досвідчений контролер здатний по шуму і легкості обертання виявити підшипники з дефектами на тілах і доріжках кочення, виявити неякісно зібрані підшипники, оцінити радіальне і осьове биття в них.

Зазвичай методи цієї групи використовують для оцінки якості трибоспряжень на етапі його виготовлення або при технічному обслуговуванні та ремонті механізмів машин. Незважаючи на деякі переваги, методи суб'єктивної оцінки можна вважати лише оцінними, здатними виявити тільки грубі дефекти трибоспряжень [18].

Методи акустичної емісії використовують для вирішення завдань: контролю і визначення технічного стану технічного стану підшипників і редукторів; оцінки якості конструкцій і процесів їх руйнування; прогнозування технічного стану підшипників кочення [10].

Ультразвукові методи використовуються менш інтенсивно, але при цьому, їх використання в сукупності з тепловими та механічними методами використовуються для вирішення завдань: оцінки забрудненості мастила механічними домішками; випробування колісних пар вагонів; контролю і визначення технічного стану підшипників кочення [20].

Електричні методи використовуються для оцінки технічного стану трибоспряжень. В їх основі лежить оцінка стану об'єкта по електричним діагностичним параметрам. Електричні методи призначені для вирішення наступних завдань: оцінки зносу контактуючих поверхонь по об'єму продуктів зносу в мастильному матеріалі; вимірювання електричного опору або електричної провідності мастильного матеріалу; оцінки забруднення мастил домішками; визначення параметрів багатокомпонентних матеріалів [24].

Електричні методи здійснюються з використанням діагностичних параметрів: електрична ємність мастильного матеріалу; ЕРС електромагнітної індукції індукційного перетворювача; питома електрична провідність мастильного матеріалу; електричний опір трибосистеми [3] в якій генерується різниця потенціалів між електродами, зануреними в мастильний матеріал, який відпрацював заданий час; індикація факту електричного контакту деталі трибоспрямижень і вимірювального електрода [10]; напруженість електричного поля, необхідного для електричного пробую окисної плівки твёрдосплавного ріжучого інструменту; сила струму якоря двигуна, який приводить в обертання вал підшипникового вузла; нормований інтегральний час (НІЧ) електричного мікроконтактування. Реалізація методів фотометрії і спектрофотометрії вимагає відбору мастильного матеріалу, що буває неможливим або утрудненим через конструктивні особливості вузлів; в основному ці методи спрямовані на вирішення завдання визначення зносу, що звужує сферу їх застосування.

Механічні методи складні в реалізації через вимоги до інерційності обладнання, малочутливі до дефектів на початковій стадії їх розвитку.

Теплові методи характеризує велика інерційність процесів, залежність результатів визначення технічного стану від умов тепловіддачі, слабкий взаємозв'язок між надлишковою температурою в зоні тертя і дефектами підшипника.

Ефективність віброакустичних методів обмежена складністю виділення необхідної інформації. Вібраційний і акустичний методи засновані на аналізі спектру інформаційного сигналу і до основних недоліків цих методів можна віднести: труднощі розшифровки спектрограми через близьке розташування спектральних складових і їх можливого перекриття внаслідок коливань частоти обертання ротора електрогенератора, необхідність врахування сигналів від інших джерел, труднощі при розшифровці спектра при наявності декількох дефектів і значний вплив зовнішніх впливів на підшипники, вимоги до високої кваліфікації персоналу.

Електричні методи контролю, що використовують для отримання інформаційного сигналу первинні перетворювачі, засновані на перетворенні електричного опору трибоспряжень в вузлі тертя в сигнал напруги або струму, має наступний недолік: в зоні тертя генерується ЕРС, яка володіє невідомими амплітудою і частотою і тим самим вносить невизначеність в результат вимірювання і ускладнює винесення судження про технічний стан об'єкта.

Серед перерахованих методик найбільш перспективними на сьогодні є електричні та віброакустичні методи. Перший з них заснований на проведенні діагностичної оцінки електричних параметрів флюктуючих процесів в підшипниках, а другий на аналізі вібраційних параметрів деталей підшипника.

Проведені, за кілька останніх років, патентні дослідження за тематикою розробки технологій триботехнічних діагностик і випробувань показують, що технічні рішення по цим двом методам становлять найбільшу частку від загального числа рішень існуючих методів в цій галузі. Електричні методи складають 28%, а віброакустичні - 24% [24].

Найбільш часто на сьогодні використовуються віброакустичні методи визначення технічного стану [26]. Вони засновані на вимірі і подальшому аналізі параметрів віброакустичних сигналів, які випромінюють в процесі роботи трибоспряжень підшипникових вузлів (робоча діагностика). Крім цього, виконується аналіз частотних параметрів каналу, по якому проходить сигнал від випромінювача (тестова діагностика). Досліджуваний канал складається з наступних ланцюгів - випромінювач - трибовузол - первинний перетворювач.

У процесі використання цього методу виникають певні проблеми, пов'язані з тим, що передаваний по каналу вібросигнал є поєднанням реального чистого сигналу і перешкод. Джерелами перешкод є коливання, які генеруються через невірноваженості окремих деталей агрегатів або механізмів [23].

Також джерелами перешкод можуть бути пружні хвилі, які генеруються в процесі роботи приводу, а також власні коливання деталей, які роблять обертальні рухи. Ускладнює використання віброакустичних методів те, що в багатьох випадках співвідношення амплітуд чистого сигналу і перешкод буває

незначним при ідентичних частотних діапазонах [27]. У таких випадках використання подібних методів є практично неможливим. Тому навіть з огляду на всі переваги і позитивні сторони віброакустичного методу, іноді він не може дати достовірну інформацію про технічний стан трибоспряжень, особливо якщо механічні пошкодження є незначними.

Крім цього, в силу високої інерційності трибовузлів і первинних перетворювачів, чутливість віброакустичного методу в зоні тертя вельми обмежена [28]. З огляду на технічні особливості вимірювального каналу, доведеться відмовитися і від аналізу вібрацій трибовузлів на ультранизких частотах.

Згідно [24] частотний діапазон при контролі рівня вібрації розділений на три смуги (50-300, 300-1800 і 1800-10000 Гц). Проводять вимірювання віброшвидкості зовнішнього кільця, обертаючи внутрішнє з частотою 25-30 с⁻¹. Також здійснюють контроль загального рівня вібрації, вимірюючи віброшвидкість або віброприскорення в частотному діапазоні від 50 до 10000 Гц, або контролюючи віброприскорення в трьох смугах.

Метод акустичної емісії набуває все більшої популярності при діагностуванні опор кочення. Цей метод заснований на вимірюванні та ідентифікації пружних хвиль, що утворюються при зародженні та розвитку дефекту на елементах підшипника. Так як спектр акустичної емісії визначається високочастотними гармоніками, цей метод значно краще веде себе в умовах фону і високого рівня шумів. Так як спектр акустичних сигналів лежить у відносно високочастотній смузі, отже, спостерігається висока чутливість методу при виявленні навіть стадії зародження дефектів. Однак використання цього методу для визначення технічного стану підшипників маточин коліс не представляється можливим, у зв'язку з конструктивними особливостями вузла [27].

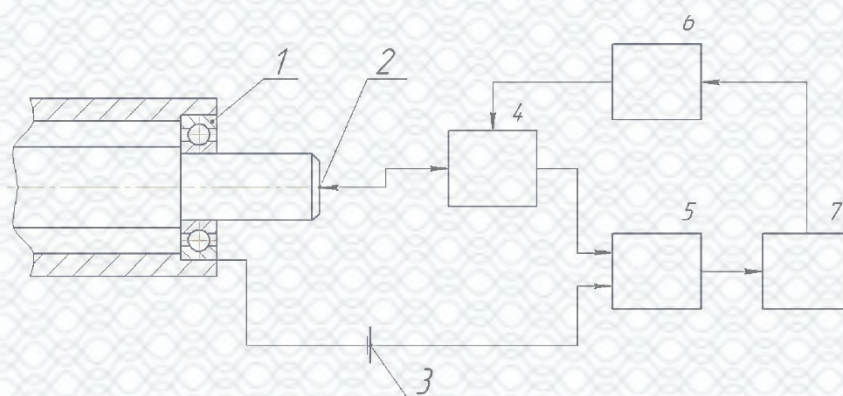
Електричні методи широко застосовуються при діагностиці різних трибоспряжень протягом багатьох десятиліть. Їх сутність полягає у визначенні технічного стану за значеннями параметрів електричних процесів в зоні тертя. В

результаті цього відбувається або електризація зони тертя, або зміна електричних параметрів трибоспряжень.

Об'єкт контролю підключається до засобу визначення технічного стану безпосередньо і дозволяє виміряти характеристики флуктуацій ЕРС або електричних параметрів. Важливим моментом є, те що діагностична інформація надходить безпосередньо з трибоспряжень, що значно розширює динамічний діапазон методу [25].

Одним з часто використовуваних методів оцінки ймовірності мікроконтактування є метод вимірювання нормованого інтегрального часу мікроконтактування, реалізація якого залежить від виміру часу імпульсів низького електричного опору, розподілених в часі [18]. Усереднена за часом оцінка тривалості мікроконтактування повністю характеризує стан мастильної плівки в трибоспряженнях.

Інший підхід до визначення технічного стану підшипників електропараметричними методами полягає в вимірі та оцінці функції опору підшипника. $R(t)$. Визначення реалізації функції $R(t)$ здійснюється вимірюванням миттєвих значень опору підшипника. Для цього застосовують пристрій, структурна схема, якого представлена на рисунку 1.1.



1 - підшипник; 2 - струмозйомники; 3 - джерело напруги; 4 - комутатор; 5 - перетворювач «опір-напруга»; 6 - пристрій управління; 7 - ланцюг подальшого перетворення сигналу

Рисунок 1.1 - Пристрій вимірювання опору підшипника

Пристрій підключається до діагностуємого підшипника через ртутні струмозйомники для забезпечення контакту з обертовим кільцем. Якщо уявити підшипник як еквівалентний опір, то для вимірювання необхідно забезпечити стабільний струм, який проходить через нього. Це забезпечується джерелом стабільного струму. Після чого знімаючи сигнал напруги з підшипника пропорційний опору. Гідність даного методу в тому, що працювати з сигналами напруги набагато простіше, так як із застосуванням аналогово-цифрових перетворювачів можна виконувати цифрову обробку діагностичної інформації.

Електричні методи ефективно використовуються для вирішення таких завдань, як: визначення технічного стану контакту і режиму тертя (вимір трибоекс і триботоків, перехідного опору контактів, інтенсивності екзоемісії, електродних потенціалів при терті); оцінка триботехнічних характеристик матеріалів і мастильних середовищ (вимір роботи виходу електронів з матеріалів деталей, електропровідності граничних шарів, оцінка температурної стійкості матеріалів і мастильних середовищ); моніторинг зношування (магнітний, електромагнітний і фотоелектричний аналіз мастильного середовища, поляризація сполучень тертя) [23].

Стосовно підшипника за допомогою електричних методів також вирішується цілий комплекс діагностичних завдань, проте присутні певні особливості, пов'язані з конструктивом і складністю об'єкта контролю.

Електричні методи визначення технічного стану трибосопрямих є флюктуаційними методами, оскільки про стан підшипника судять по флюктуації параметрів таких величин, як ЕРС, ємність, активний, комплексний або магнітний опір. Такі методи мають ряд незаперечних переваг перед іншими методиками визначення технічного стану. Полягають вони в тому, що інформація про технічний стан трибосопрямих надходить безпосередньо із зони тертя деталей у вигляді електричного сигналу, який добре піддається оцифруванню і подальшим аналізом.

Сигнал, який надійшов із зони тертя, в цьому випадку має частоту в кілька десятків МГц, яку не реально отримати ні яким іншим методом. Крім цього, при

використанні електричного методу, немає необхідності в застосуванні первинного електронного перетворювача, який підключається до трибовузла за допомогою комутації з корпусом вузла і валом. Це дозволяє реалізувати слабоінерційні і чутливі діагностичні методи аналізу технічного стану трибоспряжень, і супроводжується подальшим розвитком цього напрямку [26].

Фізичний принцип електричного методу визначення технічного стану заснований на декількох положеннях. Гідродинамічна плівка мастильного матеріалу є діелектричний матеріал [23]. Під дією мастила поверхневий електричний опір окремої ділянки ланцюга трибоконтракту буде залежати від товщини мастильної плівки і властивостей самого мастила (її питомий опір може складати від 108 до 1022 Ом м). Електроопір в цій області досить високий.

Якщо ж на ділянці відбувається розрив мастильної плівки, іншими словами спостерігається мікроконтактування, то природне значення опору значно зменшується [22]. У момент розриву мастильної плівки електричний опір буде визначатися розміром контактних майданчиків, опором поверхневого шару і залишку мастильного матеріалу, а також опором стягування [23]. Ефект різкого зменшення опору дозволить зробити висновки про стан мастильного шару, величину його руйнування і можливості мікроконтактування. За ймовірністю можливого мікроконтактування обраному часовому проміжку можна буде судити про якість роботи трибовузла. Виконавши таку оцінку на початковому етапі експлуатації трибовузла можна говорити про якість його збирання.

Об'єднати різні фізичні принципи, закладені в основу двох методів в єдиний комплексний підхід можна шляхом виконання аналізу певних математичних моделей, які і будуть описувати електричні та вібромеханічні процеси, що проходять в підшипнику. Базуючись на отриманих даних, можна буде сформулювати єдину теоретичну модель, вихідними параметрами якої будуть тимчасові залежності електричного опору і вібрації. На базі такої моделі розробляється метод визначення технічного стану, який включити в себе і аналіз вібрацій, і аналіз електроопору трибоспряжень [26].

Слід також зазначити, що всі процеси, що відбуваються в зоні тертя окремих деталей підшипника, визначають його стан в певний момент і досить складно описуються за допомогою математичних моделей. Тому, використання жодного з існуючих методів не може в повній мірі гарантувати отримання вичерпної і достовірної інформації про стан об'єкта в певний момент часу [28].

Кожен з існуючих методів в тій чи іншій мірі дозволяє аналізувати складні процеси, що протікають при взаємодії складових частин підшипника. Виходячи з поставленого завдання визначення технічного стану, той чи інший метод може бути більш-менш ефективний. Виходячи з цього, слід зазначити, що використання тільки одного з відомих методів має принципове обмеження, яке неможливо подолати.

У зв'язку з цим, інтенсивно проводяться роботи з пошуку оптимального поєднання діагностичних параметрів, які максимально зможуть дати інформацію про стан об'єкта і побудови на їх основі нових методів та інструментів для визначення технічного стану [14].

Останнім часом, крім спільного використання різних електричних методів визначення технічного стану, широко використовують такі методики, в яких отримуються електричні параметри, добре поєднуються і доповнюються параметрами іншого плану, наприклад, такими як віброакустичні, кінематичні або механічні параметри. У таких випадках комплексне поєднання різних за своєю природою принципів отримання інформації про об'єкт в добавок до оригінальних алгоритмів, розроблених за математичними моделями, гарантує вирішення таких діагностичних завдань, які в принципі не можуть вирішуватися із застосуванням одного діагностичного методу.

З огляду на вищесказане, можна прийти до висновку, що використання тільки одного з методів визначення технічного стану неминуче призведе до зниження вірогідності отриманих результатів.

Тому останнім часом інтенсивно ведуться різні дослідження по створенню комплексного підходу і комплексних методик визначення технічного стану, на основі вже існуючих методів [22]. Для цього буде потрібно провести теоретичні

дослідження можливості отримання діагностичних даних в процесі комплексного вимірювання вібраційних і електричних параметрів трибоспряжень.

Також буде потрібно виконати ряд експериментальних досліджень і порівняти сигнали електричної природи і вібросигнали, одержувані із зони тертя трибовузлів. Це допоможе проаналізувати кореляцію результатів, одержуваних різними методами, і визначити чутливість до факторів, які визначають якість збірки трибовузлів.

Розрізняють декілька підходів побудови методів визначення технічного стану за певними параметрами. Розглянемо головні з них з використанням конкретних прикладів [27].

Перший з таких підходів передбачає застосування різних параметрів визначення технічного стану для пошуку рішень для однієї і тієї ж діагностичної задачі.

Позитивний результат такого підходу досягається шляхом поєднання переваг різних методів, а також компенсації недоліків одних методик за рахунок інших. Подібний принцип використовується і вимірюється апаратурою з компенсаванням, коли одна і та ж величина вимірюється кількома приладами, принцип дії яких заснований на різних фізичних процесах.

Виходячи з цього запропоновано пристрій, в якому одночасно реалізовані електричні та віброакустичні методи. Щоб гарантувати достовірність отриманих результатів про якість поверхонь тертя і наявності на них дефектів зіставляють тимчасову залежність амплітуд імпульсних вібрацій і величину електричного опору (наявності ефекту контактування). Достовірно відомо, що джерелом вібрації може служити дефектна деталь. У той же час наявність дефекту спровокує прорив мастильної плівки і зменшення електричного опору. Зіставивши ці два фактори, можна більш точно судити про стан поверхонь підшипника.

Другий підхід заснований на одночасному застосуванні різних діагностичних параметрів для накопичення вимірювальних результатів, що характеризують досліджуваній об'єкт з різних сторін [15].

Наприклад, якщо провести окремо вимірювання середнього значення провідності, а також амплітудну залежність її флуктуацій, можна отримати інформацію про стан поверхні тертя і використання мастила. Якщо виміряти середній опір підшипника і його ємності можна судити про те, яка товщина плівки мастила і вторинних структур. Отримана додаткова інформація дозволить більш точно судити про стан поверхні досліджуваних деталей.

В основу третього підходу покладено об'єднання параметрів з різних діагностичних методів, що дозволить отримати якісно нову інформацію про досліджуваній об'єкт, яку в принципі не дасть жоден метод, застосований окремо [14]. Наприклад, можна наступним чином поєднувати різні діагностичні параметри і алгоритми:

- електричні діагностичні параметри застосовуються для оцінки режимів змащування в підшипниках при його роботі або налаштування, а за допомогою інших параметрів вирішують діагностичну задачу, яка застосовується для цього режиму мащення;

- застосовуючи електричні параметри, забезпечують управління алгоритмами вимірювання діагностичних параметрів інших видів;

- потрібна інформація про об'єкт виходить за допомогою сумарної обробки результатів за кількома діагностичними параметрами.

Згідно [20], всі перераховані вище факти узагальнюються в формулюваннях стандарту і для підвищення достовірності визначення технічного стану рекомендується:

- а) провести повторні вимірювання для порівняння отриманих результатів і підтвердження обґрунтованості індикації досягнення рівня попередження;

- б) порівняти результати поточних вимірів з попередніми;

- в) зменшити інтервал між вимірами;

- г) провести додаткові виміри в тих же або інших точках;

- д) використовувати більш інформативні методи обробки даних;
- е) використовувати інші методи аналізу для порівняння результатів;
- ж) змінити режим роботи машини або її конфігурацію для отримання додаткової діагностичної інформації;
- з) звернутися до досвіду експлуатації даної машини і досліджувати записи про попередні несправності.

1.2 Аналіз діяльності СТО ТОВ «Джерман-Центр»

1.2.1 Загальна характеристика підприємства

Найменування підприємства: товариство з обмеженою відповідальністю «Джерман-Центр».

Місце знаходження підприємства: м. Вінниця, вул Лебединського, 19.

Товариство здійснює свою діяльність та реалізує права відповідно до Конституції України, Цивільного кодексу України, Господарського кодексу України та інших нормативно-правових актів.

Товариство з обмеженою відповідальністю «Джерман-Центр» (надалі ТОВ) є офіційним дилером компанії- виробника автомобілів Volkswagen AG.

Територія ринкової відповідальності - м. Вінниця та Вінницька область.

Предмет діяльності ТОВ – просування на ринок автомобілів бренду Volkswagen, передпродажна підготовка і продаж автомобілів, гарантійне і післягарантійне обслуговування, поточний ремонт, а також продаж оригінальних запасних частин і аксесуарів.

Мета діяльності – надання автосервісних послуг власникам автомобілів Volkswagen в Вінниці і Вінницькій області з метою одержання прибутку.

Підприємство реалізує ринкову і технічну політику компанії- виробника автомобілів Volkswagen, використовує її технології, сертифіковане виробником обладнання та програмне забезпечення.

Як і всі провідні компанії- виробники автомобілів , Volkswagen AG висуває до своїх дилерів стандартизовані вимоги (так звані дилерські стандарти) відносно технології продажів і сервісу, технічного оснащення, продажів запасних частин, архітектури, дизайну.

В дилерських стандартах чітко позначаються головні функціональні зони, які визначають структуру інтер'єру:

- автосалон і зони обслуговування клієнтів;
- СТО і склад запасних частин;
- адміністрація, зони побутового призначення і службові приміщення.

Зона автосалону повинна знаходитись на передньому плані в дилерському центрі. Центральна вісь між головним входом і рецепцією – основа дилерського центру. Вона визначає загальну картину розташування автомобілів: легкових, позашляховиків, мінівенів.

Презентаційна зона побудована за принципом площі ринку, на якій автомобілі розташовуються по колу передньою частиною до центру. Це забезпечує ефект меж і в той же час місце для реклами та створює атмосферу іміджу.

Зона видачі нового автомобіля клієнту відокремлена від автосалону. Вона організована так, щоб створити святкову і урочисту атмосферу.

Рецепція СТО забезпечує прямий контакт с з ділянкою приймання і огляду автомобілів і цеха СТО через стіни з прозорого скла.

ТОВ «Джерман-Центр» в м. Вінниці відповідає всім вимогам і регламентованим стандартам, які висуваються до дилерських підприємств

1.2.2 Аналіз діяльності підприємства

Основні види діяльності підприємства згідно «Класифікатора видів економічної діяльності (КВЕД-2015)»: оптова та роздрібна торгівля автотранспортними засобами; технічне обслуговування та ремонт

автотранспортних засобів; торгівля деталями та приладдям для автотранспортних засобів.

Основні клієнти СТО ТОВ – приватні і корпоративні власники автомобілів марки Volkswagen різних типів, моделей і комплектацій.

Для своїх клієнтів ТОВ виконує наступний перелік послуг:

- передпродажна підготовка;
- гарантійне обслуговування;
- гарантійний ремонт;
- обслуговування автомобілів протягом післягарантійного періоду;
- прибирально-мийні роботи;
- комп'ютерна діагностика;
- поточний ремонт;
- ремонт двигунів;
- діагностика і ремонт ходової частини;
- розвал-сходження коліс;
- перевірка геометрії кузова;
- шумоізоляція і віброізоляція салону автомобіля;
- тонування скла, розтонування;
- ремонт електрообладнання;
- ремонт інжекторних систем;
- заміна всіх видів технічних рідин;
- рихтувальні роботи;
- фарбувальні роботи;
- лакофарбовий ремонт;
- полірування кузовів автомобілів;
- експрес сервіс;
- заправка і ремонт кондиціонерів;
- підбір запасних частин;

В таблиці 1.1 наведені основні показники виробничо – фінансової діяльності СТО автомобілів «Джерман-Центр».

Таблиця 1.1 – Основні показники виробничо-фінансової діяльності СТО

Показники	Одиниці виміру	2021р.	2022р.	Темп росту, %
1. Обсяг реалізації послуг:	тис. грн.	2764	2769	100,2
в т.ч.: послуги	тис. грн.	2005	1838	91,6
запчастини	тис. грн.	630	682	108,4
інші	тис. грн.	159	160	100,8
2. Вартість нормо-години	грн.	175	195	112,5
3. Товарообіг всього	тис. грн.	742	763	102,89
в т.ч. роздрібний товарообіг	тис. грн.	405	413	102,15
з нього: запчастин	тис. грн.	339	353	104,36
комісійний	тис. грн.	12,7	11,4	90
інший	тис. грн.	0,7	0,3	50
4. Балансовий прибуток	тис. грн.	105,7	105,2	99,54
в т.ч.: від основного виробництва	тис. грн.	63,2	61,8	97,74
від торгівлі	тис. грн.	36,7	38,3	104,64
інший (оренда і т.п.)	тис. грн.	6,8	6,1	88

В обсяг реалізації всіх послуг, включена вартість побутових послуг по ремонту і ТО легкових автомобілів, виконаних на замовлення споживачів, тобто без вартості використаних при ремонті запасних частин і основних матеріалів, за які замовник розраховується окремо.

В роздрібний товарообіг включається вартість проданих запасних частин, автомобільних приладів, обладнання та матеріалів.

При виконанні на СТО одноразових замовлень сторонніх організацій, що розраховуються по безготівковому рахунку, обсяги виконаних робіт не включаються в загальний обсяг реалізації послуг.

Відомості, наведені в таблиці 1.3, дають змогу зробити висновок про те, що на протязі останнього року має місце незначне погіршення деяких показників роботи ТОВ «Джерман-Центр».

Тобто, необхідне проведення ряду організаційно-технічних заходів, направлених на підвищення ефективності роботи СТО, покращення обслуговування, розширення спектру послуг, які надаються.

Одним з важливих показників діяльності СТО є кількість автомобілезаїздів.

Статистика автомобілезаїздів в рік на СТО, визначена за обліковими даними підприємства за останній період часу, наведена в таблиці 1.2 За період приймається календарний рік (2020– 2022 рр.).

Таблиця 1.2 – Показники роботи СТО

Роки	Автомобіле-заїзди на СТО «Джерман-Центр» в рік
2020	2040
2021	2080
2022	2077

Отже можна зробити висновок, що кількість автомобіле-заїздів в рік на СТО зростає з 2020 року лише на 1,78%. Це пояснюється тим, що власники звертаються на СТО частіше, але з метою виконання більш дрібних ремонтних робіт, а складніші роботи виконуються на СТО за меншою ціною послуг.

В свою чергу на ринку нових автомобілів спостерігається стабільність продажів марки Volkswagen, через достатню відомість Volkswagen, довіру до цієї марки, що спричиняє необхідність проходження ТО на сертифікованій станції для збереження гарантії.

1.2.3 Дослідження ринку послуг СТО

Як правило, для збереження гарантії підтримки автомобіля в роботоздатному стані власники автомобілів Volkswagen, як нових так і з певним пробігом, зобов'язані на протязі певних проміжків пробігу проходити технічне обслуговування на СТО «Джерман-Центр». Багато з тих хто проходить ТО на станції технічного обслуговування в гарантійний період, приїздить виконувати ремонт та обслуговування і після закінчення гарантії на автомобіль. Адже тут можна замовити оригінальні запчастини для автомобілів Volkswagen, мастильні матеріали, виконати додаткові роботи.

З метою надання сучасного сервісу, на СТО обладнано зручне місце для відпочинку клієнтів, встановлені автомати з кавою та іншими напоями. На

вулиці обладнана зона відпочинку для клієнтів.

Сторонні СТО не можуть конкурувати з фірмовою СТО по автомобілях марки Volkswagen «Джерман-Центр» тому, що при майже однаковому рівні цін, а в деяких випадках і вище, тут роботи виконуються якісно на сучасному спеціалізованому обладнанні, яке застосовується саме на обслуговування автомобілів марки Volkswagen.

Не значну конкуренцію даному СТО складають малі майстерні в яких ціни на обслуговування і ремонт нижчі, ніж на даній СТО, проте вони не мають такого високого рівня професіоналізму, як тут, більшість обладнання на них застаріла і використовується з порушенням всіх норм експлуатації.

В порівнянні з конкурентами СТО «Джерман-Центр» має такі переваги: потужну матеріально – технічну базу, наявність висококваліфікованих працівників, якісний сервіс, наявність комфортних приміщень для клієнтів, ізольованих від запаху бензину, газу та інших шкідливих випарів.

Ціни на СТО не найнижчі в місті. Це пояснюється спеціалізованістю СТО на автомобілях марки Volkswagen, тим що застосовується дороге обладнання закордонного виробництва і з необхідністю сплати податків.

Потужних конкурентів, спеціалізованих саме на обслуговуванні автомобілів Volkswagen, станція не має. Основними конкурентами є СТО, які обслуговують різні марки автомобілів.

Як відомо, основою для наявності конкурентних переваг є передове технологічне оснащення СТО, висококваліфікований персонал, організація роботи з застосуванням спеціалізації, яка знижує собівартість послуг та підвищує продуктивність праці.

Отже проведемо сегментацію за місцем надання послуг СТО автомобілів в м. Вінниці з технічного обслуговування та ремонту легкових автомобілів. За ознаку сегментації ринку приймаємо класифікацію послуг, яка наводиться нижче.

Визначивши потенційну ємність ринку та дослідивши її розподіл між конкурентами, зводимо дані у таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 – Розподіл потенційної ємності на ринку між СТО та їх категорії

Позначення на рис.1.2	Назва СТО	Частка ринку,%	Категорія СТО
1	СТО «Джерман-Центр»	21	2-4
2	СТО «Вінничина Авто»	13	2-4
3	СТО «RESPECT AUTO»	22	2-4
4	СТО «Мерідіан – Авто»	10	1-2
5	СТО "Автохелп"	20	2-4
6	Дрібні приватні майстерні, гаражі	9	1
7	Вільна частина ринку	5	-

Розподіл робіт з ТО та ремонту автомобілів в залежності від часу виконання та категорії СТО наведено в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Розподіл робіт по ТО та ремонту автомобілів в залежності від часу їх виконання та категорії СТО

Час виконання роботи	Категорія СТО	Види робіт
Більше 8 годин	4	Поновлювальний ремонт кузова. Великі оббивно-арматурні та фарбувальні роботи. Капітальний ремонт.
4-8 годин	3	ТО-2. Дрібні та середні оббивно-арматурні, кузовні та фарбувальні роботи. Середній ремонт агрегатів автомобіля Антикорозійна обробка кузова. Інші види робіт тривалістю 4... 8 годин.
2-4 години	2	ТО-1. Поточний ремонт агрегатів та вузлів, приладів систем запалювання та живлення. Інші види робіт тривалістю 2...4 години.
До 2 годин	1	Загальне та поелементне визначення технічного стану. Змащення. Заміна мастил та експлуатаційних рідин. Регулювання кутів встановлення коліс, гальм, приладів системи запалювання та живлення. Заміна та балансування коліс Шиномонтаж. Дрібний ремонт на базі заміни вузлів. Перевірка та регулювання токсичності двигуна. Мийно-прибиральні та косметичні роботи по кузову. Інші види робіт тривалістю до 2 годин.

1.3 Аналіз стану існуючої виробничо-технічної бази

1.3.1 Огляд існуючої структури виробничо-технічної бази

СТО «Джерман-Центр» складається з ряду одноповерхових приміщень: комерційна мийка автомобілів 18×6 м, лінія технічного контролю 18×6 м,

фарбувально-рихтувальний цех 18×30 м, виробничий корпус 12×30 м, адміністративний корпус 18×6 м, склади 18×9 м, торгова зала автوماгацину 20×24 м, кімнати відпочинку. Будівля виконана з двотаврових металоконструкцій, обшитих рифленою жерстю, утеплена мінеральною ватою, оздоблена вікнами по периметру та вітриною. Перегородки між приміщеннями цегляні, обшиті гіпсокартоном. Дах приміщення виконано на основі двотаврових балок вкритих рифленою жерстю, з ізоляційним матеріалом (гідроізоляційна плівка) та утепленням (мінеральна вата), остаточно дах покритий спеціальною гумою. Станція займається технічним обслуговуванням та ремонтом автомобілів марки Volkswagen. Виконується ТО-1, ТО-2, поточний ремонт, капітальний ремонт агрегатів. СТО надає майже усі види послуг по ремонту автомобілів. СТО налічує у своєму складі 15 робітників. На території СТО розташована також стоянка автомобілів, зовнішня експозиційна площадка автомобілів, зовнішня експозиційна площадка автомобілів бувших у користуванні, тимчасова стоянка автомобілів клієнтів, продані автомобілі та автомобілі готові до видачі, приміщення відпочинку, майданчик для паркування співробітників. Також можливе проведення додаткових робіт на вимогу клієнта, таких як: антикорозійна обробка, тонування скла, встановлення сигналізації, тощо.

На території СТО є стоянка автомобілів. У персоналі СТО працюють тільки кваліфіковані робітники, більшість з яких пройшло додаткове навчання на спеціальних курсах компанії для підвищення своєї кваліфікації. Усі керівні посади займають спеціалісти з великим досвідом. В магазині можливий продаж додаткового обладнання такого як автомагнітоли, сигналізації від провідних виробників по найкращих цінах. Всі замовлення можна індивідуально обговорити з майстром, щоб той урахував усі побажання власника автомобіля. На СТО виконують гарантійний ремонт і заміну несправного компонента.

На СТО «Джерман-Центр» також є власний склад мастильних матеріалів від провідних виробників по цінам виробника. СТО «Джерман-Центр» закупає мастила та інші рідини (гальмівна рідина, тосол та ін.) у виробника тому якість їх висока, а ціни помірні. Також є стоянка для автомобілів працівників і

відвідувачів. Також на СТО є широкий вибір запасних частин до автомобілів Volkswagen. Рівень праці на СТО організований на високому рівні. СТО працює за 6-ти денним робочим тижнем.

На СТО встановлено наступне обладнання: шість 3-и тонних двостійкових піднімачів, тест-лінія МАХА, стенд вимірювання геометрії шасі Weissbarth з чотиристійковим 4-х тонним піднімачем Rotary, шиномонтаж та балансування Weissbarth, станція заправки та обслуговування кондиціонерів ВЕНР, мийка на два поста, стійка гідравлічна для обслуговування трансмісії та ходової частини, пневмоінструмент, сканери, мотортестер, стенд для правки колісних дисків LOTUS та для балансування коліс; обладнання для рихтування кузовів легкових автомобілів, набори інструментів.

1.3.2 Аналіз і оцінка стану виробничо-технічної бази і ступеня використання виробничої потужності

В табл. 1.5 наведемо основні техніко-економічні показники для типової СТО та СТО «Джерман-Центр».

Таблиця 1.5 – Техніко-економічні показники для існуючої СТО «Джерман-Центр» і типової СТО

Назва показника	Показники		$\frac{П_i^ф}{П_i^н} \cdot 100\%$
	Існуючої СТО, Пфі	Типової СТО, Пні	
1. Автомобілезайди, тис. в рік	2,1	2	105
2. Площа ділянки, га	0,8	0,6	133
3. Чисельність виробничих робітників, чол.	28	36	78
4. Корисна площа виробничих приміщень, м2	1350	900	150
5. Корисна площа адміністративно - побутових приміщень, м2	162	250	75
6. Число автомобіле-місць на постах, шт.	10	10	100

Аналіз даних таблиці 1.5 свідчить, що:

- територія СТО більша нормативного значення на 33 %. Це свідчить про те, що СТО може розвивати свою виробничо-технічну базу;
- чисельність працюючих ремонтних робітників менша нормативної на 22%, що вказує на необхідність збільшення чисельності персоналу, або підвищені продуктивності праці робітників за рахунок засобів механізації та автоматизації праці. При підвищені продуктивності праці з'явиться можливість обслуговування більшого числа автомобілів;
- корисна площа виробничих приміщень також більша нормативної на 50 %, що дає можливість удосконалення організації виконання робіт ТО і ремонту;
- ВТБ забезпечена постами ТО і ПР на 100 %.

СТО «Джерман-Центр» має такі значення техніко-економічних показників через те, що при її будівництві використовувалась наявна вільна земельна ділянка площею 0,8 га, тобто проектувальники і будівельники «прив'язували» СТО до місцевих умов.

Проаналізувавши стан ВТБ СТО можна зазначити, що вона придатна для виконання якісного ремонту і ТО легкових автомобілів, але необхідно розширити перелік послуг, які надаються, для задоволення потреб існуючих та залучення нових клієнтів, збільшення швидкості обслуговування на обладнанні.

ВТБ на СТО потребує вдосконалення, так як потужності СТО повністю не використовуються, в наявності є головний корпус в якому площа не зовсім раціонально використовується, можна ще додатково встановити підйомники та модернізувати існуючі підйомники, модернізувати обладнання діагностичної і і інших дільниць.

Показниками, що характеризують стаціонарну виробничу базу, є рівні фондооснащеності ВТБ, забезпеченості площами для ТО і ПР, пристосованості приміщень для ТО і ПР сучасних і перспективних моделей автомобілів, прогресивності застосованих будівельних конструкцій.

Для показників, що характеризують стан технологічного обладнання, використовують: структури виробничих фондів, устаткування; рівні фондоозброєності і механоозброєності ремонтних робітників, механізації і

автоматизації виробничих процесів, експлуатаційної технологічності устаткування; коефіцієнт руху основних виробничих фондів.

Більшість автомобілів, що обслуговуються на СТО це сучасні автомобілі Volkswagen, проте обслуговуються і такі автомобілі марки Volkswagen, конструкції яких є застарілими, при модернізації ВТБ, потрібно враховувати тенденції розвитку автомобільного транспорту для того щоб можна було пристосувати СТО до широкого спектру сучасних автомобілів. Наприклад потрібно більше стендів для визначення технічного стану і ремонту, слід встановити комп'ютерний діагностичний стенд, стенд для ультразвукового очищення форсунок.

Рівень праці на СТО організований на високому рівні. СТО працює за 6 денним робочим тижнем.

Персонал на СТО кваліфікований багато працівників мають спеціалізацію для роботи з різноманітним інструментом, не тільки з тим, що працюють зазвичай, тому після вдосконалення ВТБ не потрібно буде додатково проводити перекваліфікацію працюючого персоналу.

Зазначимо, що виходячи з виробничих потреб адміністрація може встановлювати з урахуванням характеру й умов праці максимальну тривалість роботи протягом дня за підсумованим обліком робочого часу не більше 12 годин.

За наявності письмової згоди працівника допускається встановлення більшої тривалості щоденної роботи, якщо характер та умови праці передбачають періоди очікування ситуації, коли працівник повинен негайно стати до виконання роботи, і якщо в нього є можливість відпочивати протягом зміни.

Комплексну оцінку стану ВТБ виконують за такими напрямками: характеристика виробничих приміщень, стан технологічного устаткування, характеристика рівня технології ТО і ПР, рівень організації та управління виробництвом.

У відповідності до матеріалів річної фінансової звітності у 2022 році СТО мало показники подані в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Наявні активи і пасиви СТО

Показник	Значення, тис. грн.
Будинки, споруди та передавальні пристрої	1142
Машини і обладнання	558
Інструмент, прилади, інвентар	492
Запаси (матеріали, паливо, запасні частини та інше)	122
Разом	2314

Визначимо структуру виробничих фондів, які складаються з активної і пасивної частини:

$$C_a = \Phi_{ВТБ}^a / \Phi_{ВТБ}; \quad (1.17)$$

$$C_n = \Phi_{ВТБ}^n / \Phi_{ВТБ}, \quad (1.18)$$

де $\Phi_{ВТБ}^a$ – активна частина фондів ВТБ, грн.;

$\Phi_{ВТБ}^n$ – пасивна частина фондів ВТБ, грн.

Значення $\Phi_{ВТБ}^a$ і $\Phi_{ВТБ}^n$ вибираються з таблиці 1.7.

Згідно з формулами (1.17 і 1.18):

$$C_a = (558 / 2314) \cdot 100\% = 24,11\%; \quad C_n = (1756 / 2314) \cdot 100\% = 75,89\%.$$

Фондоозброєність ремонтних робітників:

$$\Phi O = \frac{\Phi_{ВТБ}}{P_{pp}}, \quad \text{тис.грн./чол}; \quad (1.19)$$

де P_{pp} – чисельність основних і допоміжних ремонтних робітників;

$$\Phi O = 2192 / 15 = 146,13(\text{тис.грн./чол.})$$

Аналіз стану ВТБ показує, що зони і ділянки СТО укомплектовані устаткуванням на 60 – 80 % від нормативу. Частина устаткування є фізично спрацьованим (приблизно 18%), воно підлягає оновленню, модернізації.

Аналіз техніко-експлуатаційних показників СТО показує:

1. Кількість працюючих ремонтних і допоміжних робітників менша нормативної, що вказує на необхідність розширення персоналу, або підвищені продуктивності праці робітників за рахунок засобів механізації та автоматизації праці. При підвищені продуктивності праці з'явиться можливість обслуговування більшого числа автомобілів інших організацій і приватних осіб.

2. ВТБ забезпечена постами ТО і ПР на 100%.

3. ВТБ забезпечена площами виробничо-складських та допоміжних приміщень практично на рівні нормативу, стоянки на 100%, території на 100%, що дає можливість проведенню робіт по підвищенню ефективності використання ВТБ.

4. Підприємство має недостатній рівень фондооснащеності, яка складає 90% від нормативних значень, визначених по нормативним питомим капіталовкладенням.

5. Вартість ВТБ в основних фондах складає 50,0% при нормативних значеннях в 52 – 60%.

6. ОВФ підприємства мають таку структуру:

- інвентар, інструмент – 21,17 %
- машини і обладнання – 24,08 %
- невиробничі фонди – 4,75 %

Таким чином доцільно на підприємстві провести вдосконалення ВТБ з вирішенням таких питань: поліпшити вікову структуру устаткування, збільшити вагу ВТБ в загальній вартості ОВФ за рахунок модернізації обладнання в зоні ТО і ПР, підвищити рівень механізації процесів, вдосконалити діючі засоби праці, розширити номенклатуру обслуговуваних автомобілів.

1.4 Аналіз існуючої системи і організації ТО і ПР

Роботи з технічного обслуговування і ремонту автомобілів можна класифікувати згідно з такими ознаками, як місце втручання на автомобілі, мета роботи, складність роботи і час її виконання.

В залежності від місця втручання на автомобілі це можуть бути роботи:
Контрольно-оглядові роботи.

Перевіряється: наявність сколів, тріщин і місць корозії лако-фарбового покриття кузова, пошкоджень мастики арок коліс і днища; робота дверей, стан елементів передньої і задньої підвісок, їх гумово-металевих шарнірів, втулок і подушок; стан рульових тяги, їх захисних ковпачків, захисних ковпачків, захисних чохлів рульового механізму, приводів коліс, пальців і шарніра тяги перемикачів передач; люфт стану демпфера; герметичність системи охолодження, живлення і гідравлічного приводу гальм, стан шлангів і трубок; герметичність ущільнень вузлів і агрегатів; рівень охолоджувальної рідини; стан натягнення ременів приводу генератора; рівень і щільність електроліту акумулятора; роботу генератора, освітлення, світлову і звукову сигналізацію, контрольні прилади, обігрівач, склоочисники, омивачі, обігрів заднього скла, систему запалення; встановлення моменту запалення; правильність роботи вузлів і деталей гідрокоректора фар; роботу економайзера примусового холостого ходу і пускового ходу карбюратора, терморегулятора повітряного фільтру; наявність сторонніх шумів і стукотів двигуна, зчеплення, коробки передач і валів приводу передніх коліс; вільний хід на важелі вилки виключення зчеплення або хід педалі зчеплення; ефективність роботи передніх гальм; ефективність роботи задніх гальм; рівень масла в коробці передач; регулювання гальма стоянки і вільний хід педалі; працездатність вакуумного підсилювача гальм; працездатність термостата; працездатність регулятора тиску; стан зубчатого ременя приводу механізму газорозподілу; рівень гальмівної рідини.

Регульовальні роботи.

Підтяжка болтів кріплення головки блоку; комп'ютерну визначення технічного стану двигуна (для інжекторних двигунів); підтягти кріплення кришок розподільного валу; підтягти кріплення агрегатів, вузлів і деталей шасі; відрегулювати натягнення зубчатого приводу механізму газорозподілу.

Інші роботи при ТО і ПР.

Очистити і промити деталі системи вентиляції картера; замінити елемент повітряного фільтру, що фільтрує; перевірити зазори в газорозподільному механізмі; відрегулювати роботу холостого ходу з контролем токсичності відпрацьованих газів; замінити масляний фільтр і масло в картері двигуна; замінити масло в коробці передач і картері заднього моста.

Замінити рідину охолодження; зачистити і змастити клеми акумуляторної батареї; відбалансувати колеса і переставити по схемі; відрегулювати кути установки передніх коліс; замінити зубчатий ремінь приводу газорозподільного механізму; замінити свічки запалення; зачистити контактні кільця генератора, перевірити знос і прилягання щіток; очистити і змастити деталі приводу стартера; зачистити контактні кільця генератора, перевірити знос і прилягання щіток; перевірити стан колодок передніх коліс; перевірити стан колодок задніх коліс; замінити гальмівну рідину; відрегулювати напрям світлових пучків фар (при необхідності); промити і продути деталі карбюратора, фільтри карбюратора і паливного насоса.

По потребі відрегулювати рівень пального в поплавцевій камері; замінити фільтр тонкого очищення пального; змастити:

- свердловини замку пробки заливної горловини паливного бака і дверей.
- шліцьові з'єднання карданного валу.

Прочистити дренажні отвори порогів і дверей; змастити петлі дверей; помити систему мащення двигуна.

Типові нормативи трудомісткості на ТО і ремонт наведемо у таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Типові нормативи трудомісткості на ТО і ремонт

Найменування операції	Трудомісткість, нормо-год.	
	Автомобілі малого класу	Автомобілі середнього класу
1	2	3
1. Миття автомобіля	0,25	0,27
2. Регулювання кута запалення	0,07	0,07
3. Перевірка роботи зчеплення	0,16	0,16
4. Перевірка ефективності гальм	0,27	0,27
5. Перевірка системи запалення	0,57	0,1
6. Регулювання зазорів клапанів	0,45	0,6

Продовження таблиці 1.7

1	2	3
7. Перевірка і балансування коліс	0,12	0,12
8. Перевірка і встановлення кутів передніх коліс	0,78	0,8
9. Ремонт електрогенератора	0,3	0,48
10. Зняття і установка картера зчеплення при знятій коробці передач	0,12	0,37
11. Повна антикорозійна обробка	5,1	6,0
13. Усунення середнього перекосу кузова	15	15
- складного	20	20
- нескладного	7,2	7,2
14. Заміна порога	4,0	4,0
15. Заміна крила	6,5	1,0

Організація ТО і ПР приватного транспорту має особливості, які необхідно враховувати при визначенні комплексу робіт по ТО і ПР, а саме:

- ТО і ПР в більшості випадків здійснюється на основі проведення визначення технічного стану, або відповідної заявки власника автомобіля;
- планово-попереджувальна система є, але для власника вона лише частково регламентує періодичність ТО і ремонту;
- перелік робіт по ТО і ПР пропонується власнику на основі діагностичних даних і сервісної книжки.

Потік документів при ТО і ремонті

Основними документами для проходження гарантійного та післягарантійного обслуговування на СТО є:

Запит попереднього узгодження гарантійного ремонту;

Замовлення на ремонт;

Сервісна книжка;

Заява власника.

Режим роботи СТО – однозмінний 8-ми годинний робочий день: понеділок – п'ятниця з 9 до 18, субота з 9 до 17. Обідня перерва 1 година на протязі робочого дня.

Один раз на рік робітники мають право на відпустки протягом 24 календарних днів (як правило – 12 днів в літній період, 12 – в зимовий).

Як у кожного підприємства, що працює в відповідному сегменті ринку є свої конкуренти. Основними конкурентами в сфері автообслуговування для даної СТО є приватні СТО та невеликі приватні майстерні м. Вінниці.

У малих майстерень собівартість ремонту нижча ніж у СТО що розглядається за рахунок відсутності накладних витрат так як у більшості випадків власник у своєму гаражі власними силами.

Так як СТО має висококваліфікованих спеціалістів, сучасне технологічне обладнання, що обумовлює високу якість виконуваних робіт та дозволяє надавати гарантію на виконану роботу, надані послуги.

Присутні також суттєві ознаки для позиціонування наданих послуг:

- скорочення часу, що витрачається на надання послуг;
- очікування споживача шляхом пропонування йому можливостей тимчасового використання іншого транспортного засобу, що є власністю самого підприємства;
- якість надання послуги.

Для поліпшення просування на ринку послуг цього підприємства необхідно застосовувати рекламу його послуг в пресі, на телебаченні, радіо, на вулицях міста, використовуючи плакати. Та основним джерелом реклами має бути авторитет якості надання послуг та обслуговування.

Ціни на послуги на СТО формуються на основі вартості нормо-години і коефіцієнтів:

$$Ц = T \cdot K \cdot B, \text{ грн.} \quad (1.20)$$

де T – нормативна трудомісткість ТО і ПР легкових автомобілів, нормо-годин;

K – коефіцієнт на послугу;

B – вартість нормо-години роботи, грн.

Вартість нормогодини на СТО: $S = 195$ грн. Коефіцієнт на послуги: ТО і ПР вітчизняних автомобілів $K = 0,8$; ТО і ПР іноземних автомобілів $K = 1,0$; консультативні послуги $K = 0,75$.

Для стабільної роботи СТО необхідно розширити перелік послуг що надаються клієнтам, знизити собівартість послуг за рахунок підвищення механізації і зменшення часу виконання робіт. Це реалізується за рахунок вдосконалення виробничо-технічної бази, впровадження нових технологій, відмови від морально застарілого та використанням сучасного обладнання.

1.5 Висновки до розділу 1

В результаті проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. В даний час для визначення технічного стану підшипникових вузлів широко використовуються органолептичні методи визначення технічного стану, а також методи вимірювання геометричних параметрів, які не корелюють з параметрами стану внутрішніх поверхонь і параметрами стану мастильного матеріалу.

2. Технічний стан підшипника кочення може бути охарактеризований прямими, або непрямыми діагностичними параметрами. При цьому непрямі параметри є кращими за рахунок того, що комплексно характеризують стан опори кочення і більш прості в вимірі.

3. Проведений техніко-економічний аналіз діяльності СТО «Джерман-Центр» показав, що площі земельної ділянки, виробничі площі та площі адміністративно-побутових приміщень дають можливість подальшого розвитку підприємства з метою покращення надання послуг обслуговування і ремонту автомобілів індивідуальних власників.

РОЗДІЛ 2 ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПІДШИПНИКА МАТОЧИНИ КОЛЕСА АВТОМОБІЛЯ

2.1 Математичне моделювання процесів в підшипнику

Формулювання методу визначення технічного стану підшипника кочення передбачає теоретичні дослідження і аналіз залежностей характеристик інформативних сигналів від наявності локальних дефектів на поверхнях кочення і стану мастильного матеріалу в трибоспряженнях. Для цього об'єкт визначення технічного стану характеризується рядом властивостей і діючих на нього зовнішніх чинників: навантаженнями і тиском в контакті, жорсткістю (радіальної і осьової), станом мастильного матеріалу в контакті, кінематикою елементів конструкції і т. п. Як було зазначено раніше, об'єкт визначення технічного стану є багатовимірною структурою, яка не дозволяє проводити необхідні експериментальні дослідження, що, в свою чергу, робить необхідним проводити математичне моделювання процесів [10].

Слід зазначити, що більшість робіт по опису вібраційних і електрофлуктуаційних характеристик стосується тільки однорядних підшипників, які не використовуються в маточинних вузлах автомобілів (найпоширенішим типом підшипника в маточинному вузлі є дворядні радіально-наполегливі).

Беручи до уваги чинники впливу геометрії елементів і робочих поверхонь підшипника, умов і режимів роботи, а також передумови створення комплексного методу визначення технічного стану, при математичному моделюванні необхідно врахувати:

- кінематику елементів підшипника;
- властивості параметрів мастильного матеріалу, а також врахувати специфіку забруднення продуктами зносу і елементами ззовні;

- динаміку і зміщення центрів тіл кочення, кутів контакту, статичного переднатяга і т. п.
- мікрогеометричні особливості (наявність і розміри локальних дефектів, їх положення і можливі комбінації) елементів підшипника;
- макрогеометрію доріжок і тіл кочення підшипника.

Складні для опису і моделювання процеси і явища в трибоспряжень підшипника накладають на аналітичний опис ряд обмежень і припущень:

- контактна взаємодія елементів підшипника пружна, формалізується теорією контакту Герца;
- опис шорсткості поверхонь зробимо з урахуванням того, що моделлю одиничної нерівності буде сегмент сфери, опис контакту шорстких поверхонь зробимо з урахуванням наведених характеристик опорної кривої;
- електричний опір трибоспряжень будемо розглядати як сукупність опору стягування і опору мастильної плівки;
- моделювання проводиться без урахування впливу гіроскопічних моментів.

2.1.1 Моделювання вібраційних процесів підшипника

Математична модель дворядних радіально-наполегливих шарикопідшипників подібна моделі підшипникового вузла з двома однорядними, з точки зору конструкції і функціонування [26]. У більшості випадків дворядні радіально-наполегливі шарикопідшипники конструктивно виконані із здвоєними внутрішніми і зовнішніми кільцями, проте більшість підшипників маточин коліс автомобілів мають розділене внутрішнє кільце, що забезпечує простоту створення попереднього натягу за допомогою затяжки гайки осі маточини [19].

Контроль стану і діагностика підшипникових вузлів пов'язана з необхідністю ідентифікації причин виникнення вібраційних процесів, які можна класифікувати як розподілені (макровідхилення) і локальні дефекти [10]. До

розподілених дефектів можна віднести шорсткість, хвилястість поверхонь кочення, невідповідність номінальним значенням макрогеометричних параметрів підшипника кочення. Локальні дефекти, навпаки, включають в себе тріщини, вм'ятини, викликані різного роду деформаціями і зносом елементів кочення.

На рисунку 2.1 проілюстрований розподіл сил, які прикладені до колеса автомобіля. У зв'язку з тим, що кінематика підвіски має складну структуру, підшипник маточин коліс піддається діям бічних сил [52].



Рисунок 2.1 – Схема сил, діючих на колесо і підшипник маточини колеса

У зв'язку з присутністю розвалу колеса підшипник маточини колеса піддається дії сили з складовими: $R_{YA} = R_Y \cos \varphi$ і $R_{YZ} = -R_Y \sin \varphi$.

Згідно [24] радіальні і осьові реакції рядів підшипника розраховуються окремо.

Математичні моделі вібрації підшипників кочення і розрахунок вібраційних параметрів широко вивчені. Велика кількість досліджень було направлено на дослідження і моделювання вібраційних процесів підшипників кочення, зокрема, в роботі [21] була вперше представлена математична модель вібрації підшипника з урахуванням наявності локальних дефектів на доріжках і тілах кочення. Підшипник був змодельований як система з двома ступенями свободи, яка включала особливості девіації навантаження по теорії контактів Герца, але не враховувала інерційні властивості елементів кочення.

В роботі [23] враховувалися ефекти при різних режимах руху тіл кочення (кочення, ковзання, крутіння), зміна радіального зазору при розрахунку вібраційних процесів.

Грунтуючись на попередніх дослідженнях [26], передбачається створити математичну модель, показану на рисунку 2.2, для визначення вібрації дефектного підшипника для подальшого виділення інформативних ознак і параметрів для комплексного визначення технічного стану.

Провівши огляд літератури з моделювання вібраційних процесів [14] можна виділити основні елементи моделей:

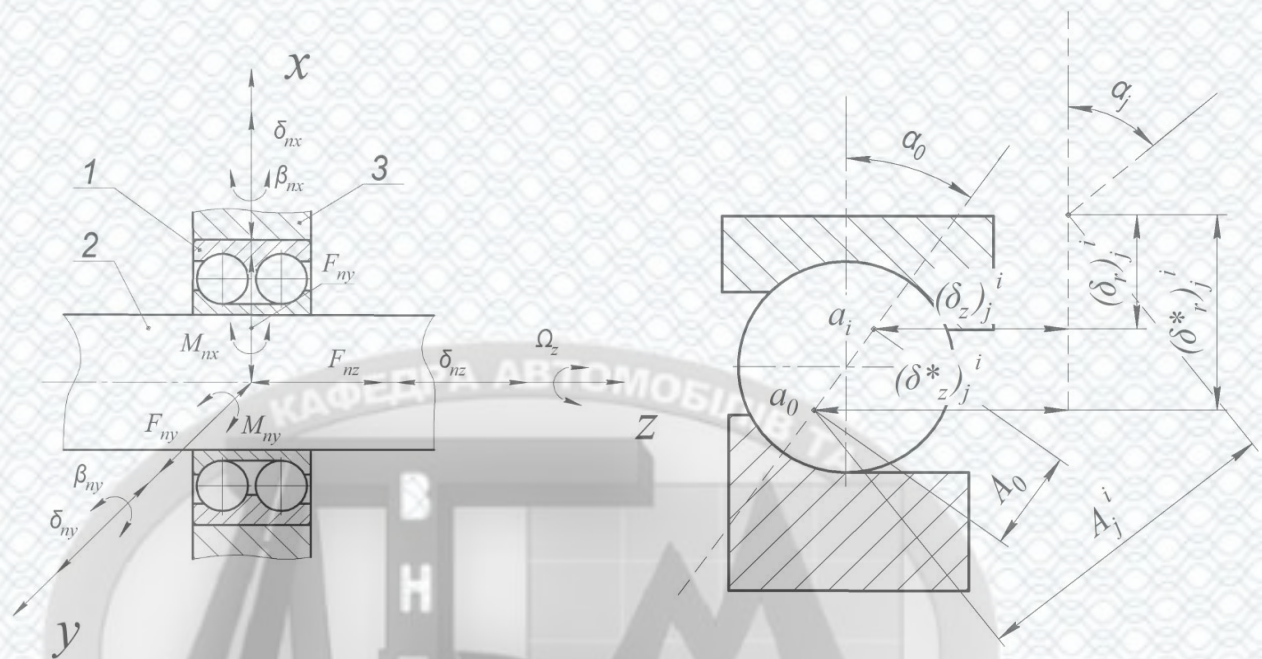
- а) тривимірна модель;
- б) відхилення макрогеометрії підшипника;
- в) гідродинамічні властивості трибоспряжень;
- г) облік впливу сепаратора;
- д) вплив температури;
- е) облік впливу деформації зовнішнього кільця підшипника;
- ж) адекватність моделі підтверджена експериментально.

У таблиці 2.1 представлені роботи з даної тематики і відображено зміст елементів моделей.

Таблиця 2.1 – Огляд літератури по моделюванні вібропроцесів

Автор(и) моделі	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж
Санерсон, 1978	-	-	-	-	+	-	+
Гупта, 1979	+	-	+	+	-	-	-
Мэер, Алгрэн, Вейброд, 1980	-	+	-	-	-	+	-
Гоар, 1990	+	-	-	-	-	-	+
Лим, Синг, 1990	+	-	-	-	+	-	+
Су, Лин, Ли, 1993	+	-	+	+	-	-	+
Хендрикс, 1998	+	+	-	-	+	-	+

Схема розглянутого двохрядного радіально-упорного підшипника зображена на рисунку 2.2.



а – загальний вигляд розглянутої системи (1 – радіально-упорний підшипник, 2 – вал, 3 – корпус (поворотний кулак), б – пружна деформація елемента кочення під навантаженням

Рисунок 2.2 – Схема кінематичних параметрів для аналітичної моделі радіально-упорного підшипника

Для побудови математичної моделі вібрації скористаємося рівняннями Лагранжа. Будемо враховувати наступні спрощення: кульки в підшипнику рухаються без прослизання, внутрішнє кільце підшипника жорстко закріплене.

Обчислимо кінетичну і потенційну енергії дврядного радіально-упорного підшипника. Для розрахунку кінетичної енергії приймаються до уваги швидкості зовнішнього кільця і швидкості елементів кочення підшипника. Потенційна енергія складається з двох компонентів: гравітаційного потенціалу зовнішнього кільця і елементів кочення; потенційна енергія контакту, викликана контактною деформацією при взаємодії внутрішнього і зовнішнього кілець і елементів кочення.

Задася трьома ступенями свободи системи, виключивши обертання навколо осей x і y . Три ступені свободи необхідні для опису осьових переміщень зовнішнього кільця щодо вала. Тоді загальну кінетичну енергію можна записати як:

$$T = \frac{m_{зовн} + m_{внутр}}{2} (x_{зовн}^2 + y_{зовн}^2 + z_{зовн}^2) + \frac{1}{2} I_{\theta} \theta_{\theta}^2 + \left\{ \sum_{j=1}^{N_{ш}} \frac{1}{2} m_j (\zeta_j^2 + (\zeta_j \cos \alpha_j)^2 \theta_j^2) + \left[\theta_j \cos \alpha_j \left(1 + \frac{R_{\delta}}{D_{ш}/2} \right) \right]^2 \right\} \quad (2.1)$$

де $x_{зовн}$, $y_{зовн}$, $z_{зовн}$ - переміщення зовнішнього кільця відносно осей x , y і z ;

ζ_j - радіальне переміщення j -го тіла кочення;

θ_j - кутове зміщення j -го тіла кочення;

α_j - кут між віссю контакту і вертикальною віссю для j -го тіла кочення;

$m_{зовн.}$, $m_{вн.}$, m_j - маси зовнішнього, внутрішнього кілець і j -го тіла кочення відповідно;

I_{θ} , θ_{θ} - момент інерції і кут повороту зовнішнього кільця;

$N_{ш}$ - число тіл кочення.

Для знаходження кута між віссю контакту і вертикальною віссю для j -го тіла кочення скористаємося рівнянням [15]:

$$\alpha_j = \alpha_n + \frac{z_{зовн} (-1)^j}{R_{\delta} - r_{ш}} \quad (2.2)$$

де α_n - номінальний кут контакту;

R_{δ} - радіус дорожки кочення;

$r_{ш}$ - радіус тіла кочення;

$(-1)^j$ - оператор для врахування впливу факту наявності пари тіл кочення в кожній кутовій позиції.

Обчислимо потенціальну енергію з врахуванням типу контакту (для радіально упорного шарикопідшипника – точковий) [23]:

$$V = (m_{зовн} + m_s) g y_{вн} + \sum_{j=1}^{N_r} m_j g \zeta_j \cos \alpha \sin \theta_j + \sum_{j=1}^{N_r} \frac{2}{5} k_{вн} \delta_{вн}^2 + \sum_{j=1}^{N_r} \frac{2}{5} k_{зовн} \delta_{зовн}^2 \quad (2.3)$$

де $\delta_{вн.}$, $\delta_{зовн.}$ - контактні деформації внутрішнього і зовнішнього кілець;
 $k_{вн.}$, $k_{зовн.}$ - еквівалентні контактні жорсткості контактів «шарик - внутрішнє кільце» і «шарик - зовнішнє кільце» відповідно.

Еквівалентні контактні жорсткості також з врахуванням типу контакту обчислимо як [26]:

$$\begin{aligned} k_{вн} &= k_{конт.} \sqrt{\delta_{вн}}, \\ k_{зовн} &= k_{конт.} \sqrt{\delta_{зовн}}. \end{aligned} \quad (2.4)$$

Контактні деформації представимо у вигляді:

$$\delta_{вн} = \begin{cases} R + r_{ш} - \beta_j, \text{ якщо } R + r_{ш} > \beta_j \\ 0, \text{ інакше} \end{cases}, \quad (2.5)$$

$$\delta_{зовн} = \begin{cases} \zeta_j + r_{ш} - R, \text{ якщо } R < (\zeta_j + r_{ш}) \\ 0, \text{ інакше} \end{cases}, \quad (2.6)$$

де β_j - переміщення j -го тіла кочення відносно рухомої доріжки, які визначаємо як:

$$\beta_j = \left[\begin{aligned} &x_{зовн}^2 + y_{зовн}^2 + z_{зовн}^2 + \zeta_j^2 - 2\zeta_j x_{зовн} \cos \alpha \cos \theta_j - \\ &- 2\zeta_j y_{зовн} \cos \alpha \sin \theta_j - 2(-1)^j \zeta_j z_{зовн} \sin \alpha_j \end{aligned} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.7)$$

Кутове зміщення тіл кочення запишемо як:

$$\theta_j = (N - 1) \frac{4\pi}{N_{ш}} + \omega_c t, \text{ при } j = 2N, 2N - 1, N < (N_{ш} / 2 + 1) \quad (2.8)$$

Рівняння (2.1) - (2.8) виявляють вплив на значення кута контакту,

викликане аксіальними зсувами зовнішнього кільця, а також різними комбінаціями положення пар тіл кочення.

2.1.2 Моделювання опору підшипника маточини колеса

Використання для визначення технічного стану значень функції електричного опору підшипника дає найбільш достовірну інформацію про його технічний стан. Для їх застосування в якості діагностичних параметрів необхідно провести теоретичні дослідження і знайти зв'язок між функцією опору і конструктивними параметрами підшипника, а також з умовами його роботи.

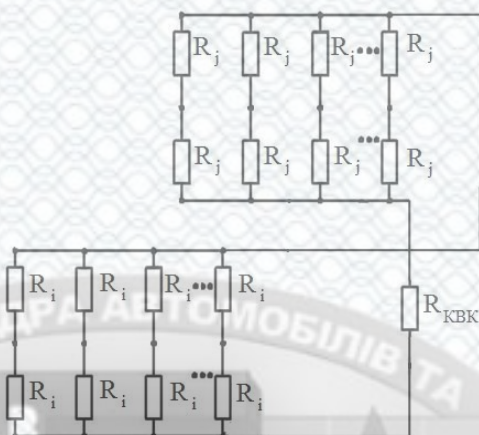
Математична модель опору підшипника базується на положеннях теорій електропровідності контакту двох шорсткуватих тіл і контакту реальних поверхонь. Перша [23] описує залежності опору трибоспрямижень від розміру фактичної площі контакту. Друга теорія визначає вплив закону розподілу матеріалу по висоті шорсткого шару на фактичну площу контакту пари тертя [28]. Однак рівень опрацювання цих теорій не дозволяє досліджувати взаємозв'язок опору підшипника з його внутрішніми параметрами і режимами експлуатації.

Внаслідок складності опису процесів, що відбуваються під час роботи підшипника, при розробці математичної моделі прийняті наступні припущення:

- основними складовими електричного опору підшипника є опір стягування і опір мастильної плівки;
- для опису деформації при контактуванні використовуються формули Герца;
- закон розподілу нерівностей робочих поверхонь - нормальний;
- результати математичного моделювання справедливі при впливі на підшипник статичних навантажень.

При математичному моделюванні електричного опору дворядного підшипника представимо його як суму паралельно з'єднаних опорів контактів по кожному з тіл кочення, як показано на рисунку 2.3. При цьому контакт тіла кочення розглядається як з внутрішнім, так і з зовнішнім кільцем. Узагальнена

структура математичної моделі опору підшипника на прикладі опору трибоспряжень представлена на рисунку 2.4.



R_i , R_j - опір трибоспряження в контакті тіла кочення і доріжки кільця першого і другого рядів підшипника маточини колеса відповідно, $R_{КВК}$ - опір контакту внутрішніх кілець підшипника маточини колеса

Рисунок 2.3 – Скорочена еквівалентна схема підшипника



Рисунок 2.4 - Структура математичної моделі опору підшипника

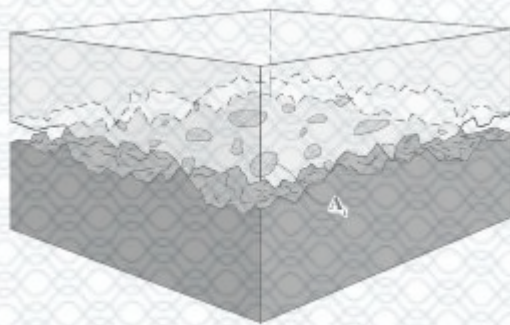
Однак процеси в зоні тертя підшипників кочення дуже складні для формалізації і не вивчені досить, що накладає ряд обмежень і припущень для опису математичної моделі опору.

Експериментальні дослідження, накопичені з теорії розрахунку фактичної площі контакту, дозволяє охарактеризувати головні особливості процесу їх формування, які зводяться до наступного [18]:

- 1) контакт поверхонь дискретний;
- 2) в результаті пластичних і пружних деформацій виникають фактичні плями контакту;
- 3) при збільшенні навантаження в зонах контакту розмір фактичного контакту збільшується тільки через утворення нових плям контакту.

Перший пункт вказує, що модель шорсткого тіла може бути представлена набором вершин з детермінованими параметрами геометрії. Дослідження рельєфу поверхонь різними засобами дають уявлення про форму та розміри цих виступів.

Відповідно до теорії електропровідності шорсткуватих тіл, величина електричного опору контакту двох поверхонь, виготовлених з електропровідних матеріалів, визначається фактичною площею контакту [23]. При розгляді процесу контактування двох шорсткуватих поверхонь розрізняють номінальну, фактичну і контурну площі контакту, представлені на рисунку 2.5.



A_r - фактична площа контакту

Рисунок 2.5 - Схема фрикційного контакту твердих тіл

У підшипниках кочення величина контурної площі контакту визначається розмірами герцевських майданчиків. Фактична площа контакту зазвичай становить від номінальної десяти і соті частки відсотка, а контурна - кілька відсотків [21]. У першому наближенні можна допустити, що в межах фактичної

площі контакту непровідячих плівок і включень немає, і вона вся електропровідна [24]. Тоді електричний опір фрикційного контакту буде визначатися його фактичною площею.

Величина фактичної площі контакту визначається геометричними параметрами робочих поверхонь деталей підшипника (шорсткістю, параметрами макрогеометрії) і механічними властивостями матеріалів, з яких вони виготовлені, які, в свою чергу, залежать від режимів обробки.

Таким чином, основним параметром математичної моделі є фактична площа контакту.

Для моделювання електричного опору необхідно задати параметри елементів кочення, зокрема мікрогеометрію поверхонь, макровідхилення.

Для встановлення режиму тертя підшипника визначаємо розподіл навантаження по тілах кочення з урахуванням товщини плівки.

Обчислюємо опір фрикційних контактів з урахуванням їх режиму тертя.

Головними компонентами електричного опору підшипника R_e , як зазначалося вище, вважаються опір мастильної плівки R_{cm} і опір стягування R_{cn} :

$$R_e = R_{cm} + R_{cn} \quad (2.9)$$

Опір мастильного шару визначається товщиною гідродинамічної плівки, що розділяє робочі поверхні з питомим електричним опором мастильного матеріалу [23]. В умовах змішаного і рідинного мащення опір мастильної плівки буде основною складовою опору фрикційного контакту між тілом кочення і кільцем підшипника:

$$R_{cn} = \frac{\rho_{cm}}{\rho} \frac{h_0}{r_k} \frac{A_r}{A_c - A_r} R_M \quad (2.10)$$

де h_0 - мінімальна товщина мастильної плівки;

$\rho_{см}$ - відносний опір мастильного матеріалу (складає 10^5 - 10^{13} Ом·м для пластичних мастильних матеріалів [23]);

A_c, A_r - контурна площа і площа локальних фактичних площадок;

r_k - радіус контактуючої поверхні.

Фактична площа контакту розраховується відповідно до теорії реального контакту реальних поверхонь і імплементується в систему рівнянь при розрахунку контактної жорсткості пари кочення, з моделюванням дефектів доріжок кочення по (3 - 5).

Тоді загальний опір підшипника, згідно зі схемою буде визначатися як:

$$R_{\Pi} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{OEi}} \right)^{-1} + \left(\sum_{j=1}^n \frac{1}{R_{OEj}} \right)^{-1} + R_{КВК} \quad (2.11)$$

де R_{OEi}, R_{OEj} - опір трибоспряження в контактні тіла кочення з внутрішніми і зовнішніми кільцями першого і другого рядів підшипника маточини колеса відповідно,

$R_{КВК}$ - опір контакту внутрішніх кілець підшипника, який значно менший перших двох доданків, тому ним можна знехтувати при розрахунках.

Для визначення режиму тертя трибоспряжень підшипника, який характеризує стан мастильного матеріалу, критерієм обраний:

$$\lambda = \frac{h_0}{\sqrt{Rg_1^2 + Rg_2^2}}, \quad (2.12)$$

де $R_{q1} R_{q2}$ - середньоквадратичне відхилення профілю доріжок кочення від центральної лінії.

Відомо, що граничний режим тертя здійснюється при $0 < \lambda < 1$, змішаний режим тертя – $1 < \lambda < 3$, а рідинний – $3 < \lambda$.

Площа фактичного контакту A_r визначається по формулі:

$$A_r = \frac{n_a n_b}{n_\delta} A_c \frac{r}{r_{np} + r_{non}} N_1 N_2 K_1 \delta^{m_1}, \quad (2.13)$$

де r_{np}, r_{non} - відповідно радіус скруглення вершин нерівностей в повздовжньому напрямі і радіус скруглення вершин нерівностей в поперечному напрямі;

$r_n = \sqrt{r_{np} \cdot r_{non}}$ - радіус скруглення вершин;

K_1 -коефіцієнт, обліку способу обробки поверхонь;

m_1 - коефіцієнт, обліку структури нерівностей [21];

$N_1 = \frac{b_1 \nu_1 (\nu_1 - 1)}{R_{z1}^{\nu_1}}; N_2 = \frac{b_2 \nu_2 (\nu_2 - 1)}{R_{z2}^{\nu_2}}$ - коефіцієнти, для обліку якості

обробки поверхні, де b_1, ν_1, b_2, ν_2 - параметри, які описують опорну поверхню;

n_a, n_b, n_δ - коефіцієнти із таблиці [23].

Контактна контурна площа розраховується як:

$$A_c = \pi n_a n_b \sqrt[3]{\left(\frac{3F_r}{E \sum \rho}\right)^2}, \quad (2.14)$$

де F_r – радіальне навантаження;

E – приведений модуль пружності;

$\sum \rho$ – сума кривизни тіл в спряженні в точці дотику.

2.2 Комплексування вимірювальної інформації

Критеріями оцінки комплексу можуть бути наступні показники: число каналів вимірювання в складі комплексу, обчислювальні витрати, вартість, ступінь невизначеності типу об'єкта (ентропія) на виході системи розпізнавання, ймовірність правильної ідентифікації, швидкодія. При комплексуванні слід

домагатися мінімізації перших чотирьох показників і досягнення максимумів швидкодії і ймовірності правильної ідентифікації [18].

При використанні в якості критерію ентропії оцінюється ступінь невизначеності фізичної системи, що складається із сукупності розпізнаваних об'єктів. Станами цієї системи є пред'явлення для розпізнавання об'єктів різних типів. Апріорну ентропію даної фізичної системи позначимо $H(\omega)$. З теорії ймовірностей відомо, що для станів об'єктів $\omega=1, N$:

$$H(\omega) = -\sum_{\omega=1}^N P(\omega) \log P(\omega). \quad (2.15)$$

Іншою фізичною системою є сукупність X' каналів вимірювання з станами, що представляють собою поєднання їх вихідних сигналів.

Ці дві фізичні системи залежні. При відборі датчиків використовується оцінка $H(\omega / X')$ - умовна ентропія системи розпізнаваних об'єктів за умови отримання інформації з системи каналів вимірювання X' .

Логарифми в виразі (2.15) і інших формулах розрахунку ентропії можуть бути взяті при будь-якій підставі, так як зміна підстави приводить лише до іншого масштабу виміру.

Згадані вище критерії дають односторонні характеристики комплексу. Для більш повної оцінки можна використовувати величину

$$W(X) = \eta_1 H(\omega / X) + \eta_2 C(X). \quad (2.16)$$

де η_1, η_2 - вагомні множники;

$C(X')$ - вартість засобів розпізнавання, з каналами виміру X .

Розглянемо процедуру комплексування системи розпізнавання по інформаційним характеристикам. Такими характеристиками являються умовна ентропія $H(\omega / X)$ і ймовірність правильної ідентифікації об'єктів $P_{ПР}$.

Нехай для номенклатури розпізнавальних станів $\omega=1, N$ можливо використовувати канали виміру множини $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ з q_i станів. Кількість інформації $I(x_i)$, отриманої з каналу x_i рівна зменшенню ентропії, тобто

$$I(x_i) = H(\omega) - H(\omega / x_i). \quad (2.17)$$

де $H(\omega / x_i)$ - умовна ентропія фізичної системи розпізнаваних об'єктів при умові отримання даних з каналу виміру x_i . Величина

$$H(\omega / x_i) = - \sum_{l=1}^{g_i} P(x_i^{(l)}) \sum_{\omega=1}^N P(\omega / x_i^{(l)}) \log(\omega / x_i^{(l)}). \quad (2.18)$$

де $P(x_i^{(l)})$ - ймовірність того, що з вимірювального каналу x_i знімається сигнал $x_i^{(l)}$.

Вихідними даними для розрахунку інформаційних характеристик каналів являються величини $P(x_i^{(l)}, \omega)$ - ймовірність того, що розпізнається об'єкт типу ω і з вимірювального каналу x_i знімається сигнал $x_i^{(l)}$.

На основі цих даних розраховуються умовні ймовірності $P(\omega, x_i^{(l)})$ належності об'єкта типу ω при знятті з каналу виміру x_i сигналу $x_i^{(l)}$. Величини $P(\omega, x_i^{(l)})$ визначаються із співвідношення:

$$P(x_i^{(l)}, \omega) = P(x_i^{(l)}) P(\omega / x_i^{(l)}), \quad (2.19)$$

отриманого на основі теореми множення ймовірностей.

Із формули (2.19)

$$P(\omega / x_i^{(l)}) = P(x_i^{(l)}, \omega) / P(x_i^{(l)}). \quad (2.20)$$

Величина $P(x_i^{(l)})$ розраховується по формулі:

$$P(x_i^{(l)}) = \sum_{\omega=1}^N P(x_i^{(l)}, \omega). \quad (2.21)$$

В процесі комплексування множина каналів виміру X змінюється. Відібрані канали повинні враховуватися в інформаційних оцінках.

Введемо наступні позначення: $H(\omega/X, x_i)$ - умовна ентропія фізичної системи розпізнавальних об'єктів при умові отримання інформації з виміру множини X і x_i ; $I(x_i/X)$ - кількість інформації з каналу x_i при умові, що раніше була отримана інформація з каналів множини X - склад сигналів з відібраних каналів; $P(X, x_i^{(l)}, \omega)$ - ймовірність того, що розпізнається об'єкт до i з каналів снімається визначений склад сигналів $X, x_i^{(l)}$.

З врахуванням введених позначень співвідношення (2.17)-(2.21) приймають наступний вигляд:

$$I(x_i / X) = H(\omega / X) - H(\omega / Xx_i). \quad (2.22)$$

$$P(Xx_i^{(l)}) = \sum_{\omega=1}^N P(Xx_i^{(l)}, \omega). \quad (2.23)$$

При покроковому відборі каналів з розширенням множини X ентропія $H(\omega/X)$ зменшується. Відбір проводиться до тих пір, поки ентропія $H(\omega/X)$ не стане рівною нулю або зменшиться до деякого зараня заданого малого значення, або ймовірність $P_{ПР}$ досягне допустимого значення.

Комплексні системи визначення технічного стану починаються з виявлення можливого набору каналів [26]. Кожен канал відповідає певному розрізненню фізичною ознакою. Ці ознаки поділяються на інтегральні та локальні. Інтегральні ознаки характеризують об'єкт в цілому; локальні - описують окремі (характерні) параметри об'єкта.

Вихідна сукупність розпізнавальних ознак знаходиться на основі аналізу об'єктів і особливостей постановки конкретного завдання розпізнавання.

Отримані результати визначають сукупність датчиків $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$.

Матеріалом для виконання алгоритму комплексування служать результати статичних досліджень об'єктів [19]. Використовуючи ці дані, розраховуються необхідні інформаційні характеристики.

Застосуємо метод максимуму інформативності для відбору ознак діагностичної системи підшипника. Імовірність правильної ідентифікації повинна бути не менше 0,980. Для визначення значень статистичних ймовірностей були проведені випробування, що складаються в фіксації типу дефекту і ознак, що знімаються з каналів вимірювання.

2.3 Комплексний метод визначення технічного стану підшипника автомобіля

Комплексний метод, заснований на синтезі математичної моделі, яка поєднує в собі залежності параметрів вібраційних і електрофлукуаційних процесів, дозволить поліпшити якість визначення технічного стану, дозволить отримати нову інформацію для проведення прогнозування технічного стану підшипників маточин коліс.

Для вирішення даного завдання передбачається будувати метод визначення технічного стану на основі структурної схеми, зображеної на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Структурна схема методу визначення технічного стану підшипника маточини колеса

Завдання, яке вирішується нейромережею, полягає в кластеризації вхідного вектора діагностичних ознак, тобто розбитті безлічі станів об'єкта на кілька груп з подібними параметрами.

На основі апріорної інформації отримується судження про те, якому технічному стану підшипника відповідає кожна група.

Ранжування параметрів по технічному стану пояснюється в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Діагностичні дефекти підшипника маточини колеса

Тип дефекту	Можливий стан	Інтервали параметрів	Примітки
1	2	3	4
Локальний дефект «впадина»	Присутній	Розмах (Пик-Пик) спектру колової віброприскорення $g_E 0,01 \dots 1$	ДСТУ ISO 13373-2009
	Відсутній	Розмах (Пик-Пик) спектру колової віброприскорення $g_E 1 \dots 10$	
Стан мастильного матеріалу (режим тертя)	Задовільно	$\lambda > 1$	Забезпечення змішаного або рідинного режиму тертя
	Незадовільно	$\lambda < 1$	

Параметри в таблиці 2.2 вибиралися виходячи з рекомендацій ДСТУ ISO 13373-2009, який регламентує вібродіагностичні вимірювання, а також рекомендації [23] про вибір допустимої хвилястості доріжок кочення.

В результаті рішення задачі кластеризації виявляється прихована структура даних і виявляються неочевидні закономірності в даних.

Застосування кластерного аналізу в загальному вигляді зводиться до наступних етапів [24]:

- ідентифікація і відбір вхідних векторів для кластеризації;
- визначення простору змінних для ранжирування змінних у вибірці;
- ідентифікація значень міри схожості елементів;

- реалізація методу кластеризації вхідних даних;
- візуалізація отриманих класів.

У роботах [26] показано зв'язок між параметрами дефектів і електричними діагностичними параметрами, отже, за допомогою розробленого методу принципово можливо визначати наявність дефектів в підшипнику.

При підготовці даних для навчання нейронної мережі необхідно звертати увагу на такі суттєві моменти [25]:

1. Кількість спостережень в наборі даних. Слід враховувати той фактор, що чим більше розмірність даних, тим більше часу буде потрібно для навчання мережі.
2. Робота з викидами. Слід визначити наявність викидів і оцінити необхідність їх присутності в вибірці.
3. Навчальна вибірка повинна бути репрезентативною.
4. Навчальна вибірка не повинна містити протиріч, так як нейронна мережа однозначно зіставляє вихідні значення з вхідними.
5. Нейронна мережа працює тільки з числовими вхідними даними, тому важливим етапом при підготовці даних є перетворення і кодування даних. При використанні на вхід нейронної мережі слід подавати значення з того діапазону, на якому вона навчалася. Тому необхідно проводити нормалізацію даних. Метою нормалізації значень є перетворення даних до виду, який найбільш підходить для обробки, тобто дані, що надходять на вхід, повинні мати числовий тип, а їх значення повинні бути розподілені в певному діапазоні.

Кластеризація або природна класифікація - це процес об'єднання в групи об'єктів, що мають схожі ознаки. На відміну від звичайної класифікації, де кількість груп об'єктів фіксована і заздалегідь визначена набором ідеалів, тут ні групи і ні їх кількість заздалегідь не визначені і формуються в процесі роботи системи виходячи з певної міри близькості об'єктів [20].

Для вирішення завдань кластеризації використовуються такі підходи [26]:

- метод нечіткої кластеризації C-середніх (C-means);
- нейронна мережа Кохонена; - генетичний алгоритм.

Найбільш поширеним засобом є самоорганізуючі карти Кохонена (SOM), тому обраний тип мережі - нейросіть Кохонена.

Штучна нейронна мережа Кохонена або самоорганізована карта ознак (SOM) була запропонована фінським дослідником Тойво Кохоненом на початку 1980-х років. Вона являє собою двохшарову мережу, представлену на рисунку 2.7. Кожен нейрон першого шару з'єднаний з усіма нейронами другого шару, які розташовані у вигляді двовимірної решітки [22].



Рисунок 2.7 - Топологія нейронної мережі Кохонена

Нейрони вихідного шару називаються кластерними елементами, їх кількість визначає максимальну кількість груп, на які система може розділити вхідні дані. Збільшуючи кількість нейронів другого шару можна збільшувати деталізацію результатів процесу кластеризації.

Система працює за принципом змагання - нейрони другого шару змагаються один з одним за право найкращим чином поєднуватися з вхідним вектором сигналів, перемагає той елемент-нейрон, чий вектор ваг найближчий до вхідного вектора сигналів. За міру близькості двох векторів можна взяти квадрат евклідової відстані [21].

Для навчання мережі Кохонена використовується змагальний метод [22]. В процесі навчання таких мереж на входи подаються дані, але мережу при цьому підлаштовують не під еталонне значення виходу, а під закономірності у вхідних даних. Починається навчання з обраного випадковим чином вихідного розташування центрів. На кожному кроці навчання з вхідного набору даних випадково вибирається один вектор. Потім проводиться пошук нейрона вихідного шару, для якого відстань між його вектором ваг і вхідним вектором - мінімальна.

За певним правилом проводиться коригування ваг для нейрона-переможця і нейронів з його околиці, яка задається відповідною функцією околиці.

Основний ітераційний алгоритм Кохонена послідовно проходить ряд епох, на кожній з яких обробляється один приклад з навчальної вибірки. Вхідні сигнали послідовно пред'являються мережі, при цьому бажані вихідні сигнали не визначаються. Після пред'явлення достатнього числа вхідних векторів синаптичні ваги мережі стають здатні визначити кластери. Ваги організуються так, що топологічно близькі вузли чутливі до схожих вхідних сигналів.

В результаті роботи алгоритму центр кластера встановлюється в певній позиції, задовільним чином кластеризуються приклади, для яких даний нейрон є "переможцем". В результаті навчання мережі необхідно визначити міру сусідства нейронів, тобто околиця нейрона-переможця, яка представляє собою кілька нейронів, які оточують нейрон-переможець.

Алгоритм навчання мережі Кохонена виглядає наступним чином [21]:

1. Ініціювати матрицю ваг малими випадковими значеннями (на відрізку $[-1, 1]$). Ваговим коефіцієнтам всіх нейронів присвоюються малі випадкові значення і здійснюється їх нормалізація. Вибирається відповідна потенційна функція $f(d)$ і призначається початкове значення коефіцієнта посилення α_0 .
2. Побудувати чергу з елементів вхідного потоку, розташувавши їх у випадковому порядку, позначити їх як необроблені.
3. Вибрати перший необроблений елемент з x черги.
4. Для кожного виходу j обчислити відстань d_j між його вектором ваг і вхідним вектором x .

$$d_j = \rho(\omega_j / x). \quad (2.24)$$

5. Знайти номер вхідного нейрона j тобто з мінімальною відстанню d_j :

$$j_m = \arg \min (d_j). \quad (2.25)$$

6. Обчислити зміну ваг $\Delta W = \{\Delta w_u\}$ для всіх нейронів u вихідного шару

$$\Delta w_u = (\Delta w_u - x)h(u, c, t) \mu \quad (2.26)$$

де c - номер (пара індексів) нейрону переможця j_m – в двомірній решітці другого шару;

u - номер (пара індексів) нейрона з вектором ваг w_u в двохмірній решітці другого шару;

w_u - вектор вагових коефіцієнтів зв'язку вхідного шару і вихідного нейрону номер u ;

x - поточний вектор входів;

$h(u, c, t)$ - значення функції окружності для нейрона в момент часу t ;

μ - коефіцієнт швидкості навчання.

7. Скоректувавши матрицю ваг

$$W = W - \Delta W \quad (2.27)$$

8. Позначити елемент вхідної черги x як оброблюваний.
 9. Якщо в черзі залишаються не оброблені точки, то перехід на п.3.
 10. Якщо критерій зупинки навчання не досягнутий, то перехід на п.2.
 11. Кінець.

В якості критеріїв зупинки процесу навчання зазвичай використовують такі:

- кількість повних циклів навчання обмежена константою, наприклад, кількість циклів дорівнює кількості елементів у вхідному потоці.
- вихід мережі стабілізується, тобто вхідні вектори не переходять між кластерними елементами.
- зміни ваг стають незначними.

Унікальність методу самоорганізованих карт полягає в перетворенні n -мірного простору в двомірне. Маючи таке уявлення даних, можна візуально визначити наявність або відсутність взаємозв'язку у вхідних даних.

Таким чином, карти Кохонена можна відображати:

- в двомірному вигляді, тоді карта розфарбовується відповідно до рівня виходу нейрона;

- в тривимірному вигляді.

В результаті роботи алгоритму отримують карти [20]:

а) Карта входів нейронів.

Ваги нейронів підлаштовуються під значення вхідних змінних і відображають їх внутрішню структуру, рисунок 2.8. На одній з карт виділяють область певного кольору - це означає, що відповідні вхідні приклади мають приблизно однакове значення відповідного входу. Кольоровий розподіл нейронів з цієї області аналізується на інших картах для визначення схожих або відмінних характеристик.

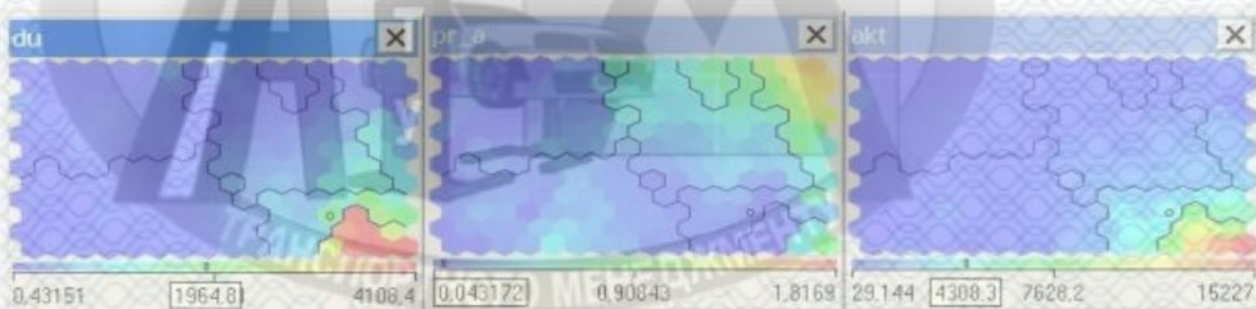


Рисунок 2.8 - Приклад карт входів нейронів

б) Карта виходів нейронів.

На карту виходів нейронів проектується взаємне розташування досліджуваних вхідних даних. Нейрони з однаковими значеннями виходів утворюють кластери - замкнуті області на карті, які включають нейрони з однаковими значеннями виходів.

в) Спеціальні карти.

Це карта кластерів, матриця відстаней, матриця щільності попадання і інші карти, які характеризують кластери, отримані в мережі Кохонена.

Між усіма розглянутими картами існує взаємозв'язок - всі вони є різними розмальовками одних і тих же нейронів. Кожен приклад з навчальної вибірки має одне й те саме розташування на всіх картах.

Отриману карту можна використовувати як засіб візуалізації при аналізі даних. В результаті навчання карта Кохонена класифікує вхідні приклади на кластери (групи схожих прикладів) і візуально відображає багатовимірні вхідні дані на площині нейронів.

Програмне забезпечення, що дозволяє працювати з картами Кохонена, зараз представлена безліччю інструментів. Це можуть бути як інструменти, що включають тільки реалізацію методу самоорганізованих карт, так і нейропакет з цілим набором структур нейронних мереж, серед яких - і карти Кохонена; також даний метод реалізований в деяких універсальних інструментах аналізу даних.

До інструментарію, що включає реалізацію методу карт Кохонена, відносяться MAT LAB Neural Net work Tool box, SoMine, Statistica, NeuroShell, NeuroScalp, Deductor і безліч інших.

Обробка вимірювальної інформації у відповідності з алгоритмом навчання нейромережі при вирішенні задачі визначення технічного стану підшипників буде виглядати наступним чином:

1. Так як зняті з підшипника сигнали являють собою функцію напруги у вигляді кодової комбінації, необхідно перерахувати її в функцію опору $R(t)$ і віброшвидкості $V(t)$.

2. Провести гармонічний аналіз сигналів і визначити наступні параметри, які будуть являтися признаками нейронів сітки:

- математичне очікування (середнє значення) сигналу;

$$m_x(t) = M \{X(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} xP(x,t) dx. \quad (2.28)$$

- дисперсія сигналу опору:

$$X = \frac{1}{T \int_0^T x(t) dt}. \quad (2.29)$$

Дисперсія характеризує середню потужність відхилень випадкового сигналу опору від його середнього значення. Вона являється численною характеристикою ступеня флуктуації сигналу опору.

- середнє квадратичне відхилення (стандартне відхилення):

$$\sigma_x(t) = \sqrt{M \{X^2(t)\} - m_x^2(t)}. \quad (2.30)$$

- кореляційна функція детермінованого сигналу з кінцевою енергією являє собою інтеграл в нескінчених межах від надходження двох копій сигналу, зміщених один відносно одного на час τ :

$$R_x(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)x(t-\tau) dt. \quad (2.31)$$

У випадку періодичного сигналу (сигнал з нескінченною енергією) кореляційна функція визначається як інтегральна функція з усередненням за період:

$$R_x(\tau) = 1/T \int_{-T/2}^{T/2} x(t)x(t-\tau) dt. \quad (2.32)$$

3. Сформувані вектори вхідних признаков.

Навчальна вибірка являє собою сукупність сигналів, знятих з підшипників з відомими дефектами. Число груп дефектів рівне 4, число сигналів в кожній групі рівне 10, тому навчальна вибірка складається із 40 сигналів:

«Сигнал 1» ($\bar{R}_1, \bar{V}_1, D_{1R}(t), D_{1V}(t), \sigma_{1R}(t), \sigma_{1V}(t), R_{1R}(\tau), R_{1V}(\tau)$);

«Сигнал 2» ($\bar{R}_2, \bar{V}_2, D_{2R}(t), D_{2V}(t), \sigma_{2R}(t), \sigma_{2V}(t), R_{2R}(\tau), R_{2V}(\tau)$);

«Сигнал 3» ($\bar{R}_3, \bar{V}_3, D_{3R}(t), D_{3V}(t), \sigma_{3R}(t), \sigma_{3V}(t), R_{3R}(\tau), R_{3V}(\tau)$);

...

«Сигнал 40» ($\bar{R}_{40}, \bar{V}_{40}, D_{40R}(t), D_{40V}(t), \sigma_{40R}(t), \sigma_{40V}(t), R_{40R}(\tau), R_{40V}(\tau)$).

Таким чином, вхідний шар нейромережі складається із 5 нейронів, на які потрапляє по 40 значень признаков (по числу поданих сигналів): Число кластерів рівне чотирьом, відповідно, вихідний шар складається із п'яти нейронів:

«Дефект зовнішнього кільця» (1 , 0 , 0 , 0 , 0);

«Дефект внутрішнього кільця» (0 , 1 , 0 , 0 , 0);

«Хвилястість» (0 , 0 , 1 , 0 , 0);

«Дефект мастила» (0 , 0 , 0 , 1 , 0);

«Справний стан» (0 , 0 , 0 , 0 , 1).

4. Подати вектори на вхід мережі.

5. Задати час навчання мережі (число епох), значення похибки, вибрати форму виводу результатів.

6. Отримати і проаналізувати результати.

7. Провести валідацію мережі. Для цього на вхід навчальної мережі подається сигнал відомої категорії і визначається, до якої групи його віднесла мережа. У випадку отримання незадовільних результатів навчання повторюють.

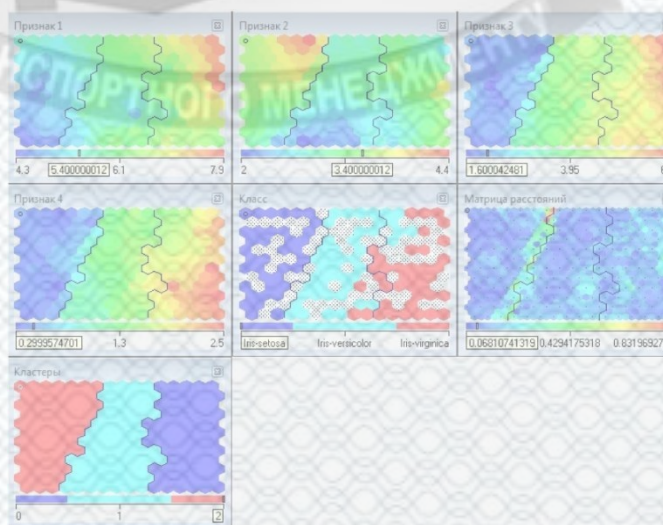


Рисунок 2.9 - Приклад результатів кластеризації

2.4 Оцінка точності розпізнавання дефектів підшипника

Пошук найбільш простих процедур прийняття рішень з точки зору продуктивності і швидкості перебудови на виконання нових технологічних операцій привів до розробки геометричних методів розпізнавання [21]. Ці

методи засновані на обчисленні деякої функції, яка визначає міру близькості невідомого об'єкта до кожного з еталонів.

Вони впливають з байєсівського підходу з урахуванням обмежень, які накладаються на параметри об'єктів, що класифікуються реальними умовами виробництва наявністю малої дисперсії значень ознак і, як правило, однакових значень ймовірностей появи деталей, крім того, незалежністю ознак об'єктів, якщо вони обчислюються як спектральні інваріанти. В результаті вирішальне правило при класифікації вироджується в визначенні середньоквадратичної відстані між значеннями ознак пропонованої для класифікації деталі і значеннями цих ознак у еталона. Розглянемо цей підхід більш докладно. Нехай потрібно класифікувати N типів об'єктів при наявності n попередньо обчислених ознак. Будується таблиця розмірами $n \times N$.

На перетині i -го рядка і j -го стовпця записують значення m_{ij} (Середнє значення i -ї ознаки для j -ї деталі). Шляхом експерименту визначають середньоквадратичне відхилення кожної ознаки.

На робочому етапі обчислюють ознаки невідомого об'єкта Y у y ($1, 2, \dots, n$). Використовуючи деяку попередньо прийняту метрику, в просторі ознак визначають відстань між невідомим об'єктом і еталонними. Якщо невідомий об'єкт найближчий до об'єкта з номером j , виноситься рішення про те, що в полі зору розпізнання знаходиться деталь j -го типу.

Достатність обраних ознак може бути оцінена на основі критерію Фішера [14], який може служити одновимірним критерієм достатності j -ї ознаки для поділу класів об'єктів k і l :

$$\Phi_F = \left(m_k^j - m_l^j \right)^2 / \left(\sigma_k^{(j)^2} + \sigma_l^{(j)^2} \right), \quad (2.33)$$

де m_k^j, m_l^j - середнє значення j -го признаку;

$\sigma_k^{(j)^2}, \sigma_l^{(j)^2}$ - дисперсія значення j -го признаку.

Якщо дисперсії значень признаков однакові у різних об'єктів і не залежать від номеру признаку $\sigma_k^{(j)^2} = \sigma^2 (k = 1, N, j = 1, n)$, то в цьому випадку критерій Фішера вироджується:

$$\Phi_F = |m_k^j - m_i^j|. \quad (2.34)$$

Задаючи деяке порогове значення, можливо припустити, що j -й признак достатній для розділення класів k і l , якщо виконується умова $\Phi_F \geq \Delta$.

Похибка запропонованого методу визначення технічного стану підшипника обумовлена:

- похибкою діагностичних моделей (комітет дерев рішень), апроксимуючих залежність ймовірності граничного і рідинного режиму тертя від гістограми розподілу логарифму сигналу опору, зумовленого недосконалістю алгоритму навчання;
- кінцівкою навчальної вибірки і похибкою засобів вимірювання опору.

Похибку діагностичних моделей слід оцінювати безпосередньо за результатами експериментальних досліджень на безперервній основі контролю на навчальній вибірці. В даному розділі визначимо точність і достовірність рівняння розрахунку вібрації і опору трибоспряжень з урахуванням похибки вимірювання опору, в рамках прийняття фізичних припущень.

Оскільки функції впливу не можуть бути виражені алгебраїчними функціями, оцінку відхилень параметрів, зробимо з використанням методу статистичних випробувань. У таблиці 2.3 представлені результати розпізнавання приналежності 960 вибірок комплексних векторів, що поєднують в собі параметри електрофлуктуаційних і вібраційних процесів до певних груп дефектності. Встановлено забезпечення безпомилкового співвідношення груп дефектності з точністю 98%, при довірчій ймовірності 0,95 і вікні вимірювання 10 с.

Таблиця 2.3 – Результати розпізнання стану підшипника маточини колеса

Тимчасове вікно, с	Ймовірність безпомилкової класифікації			
	Без дефекту	Локальний дефект «впадина»	Хвилястість	Дефект мащення
1	100%	88%	79%	81%
5	100%	98%	94%	98%
10	100%	100%	98%	100%

На рисунку 2.10 наведені результати класифікації досліджуваних зразків.

На діаграмі добре ілюстровані області, згруповані в чіткі розмежуючі класи, що вказує на ефективність вибору оцінок процесів вібрації і опору. В подальших дослідженнях планується використання генетичних алгоритмів для вибору оцінок з метою максимізації чуттєвості.

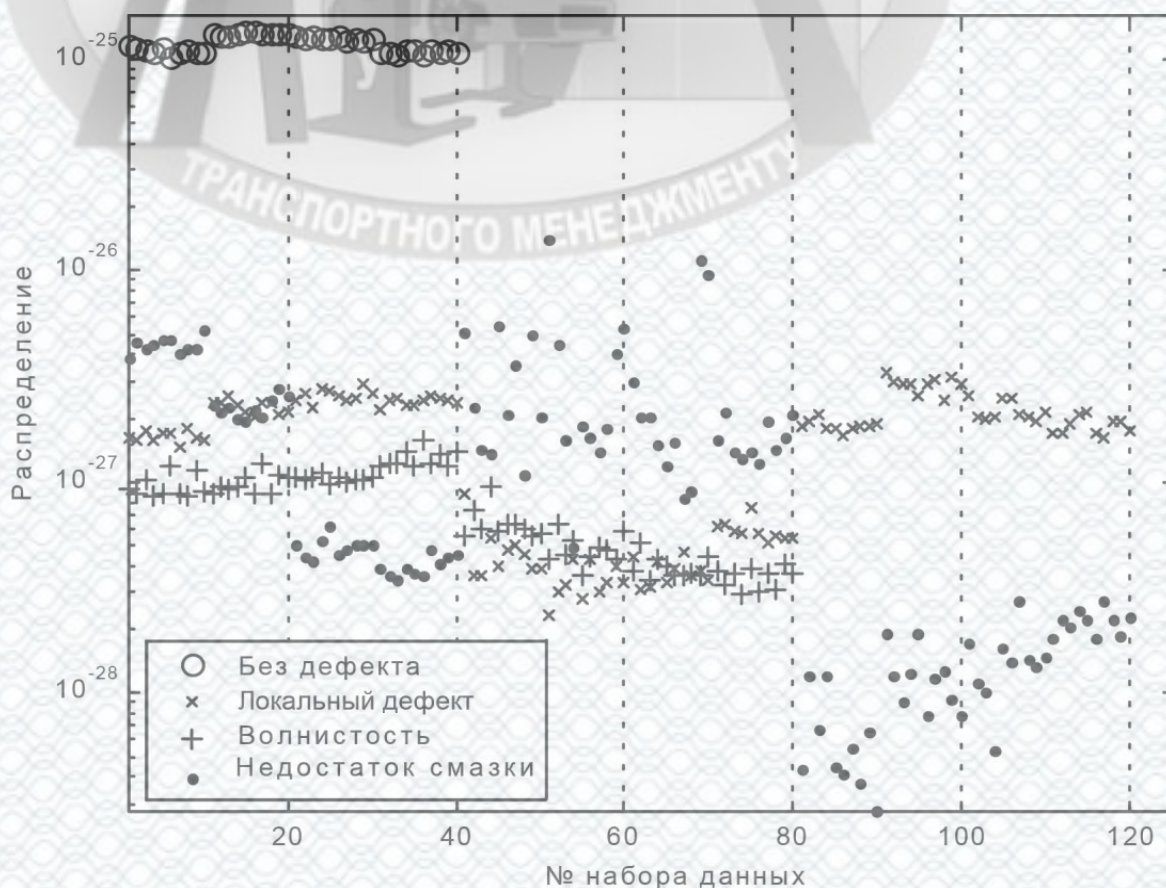


Рисунок 2.10 – Результати класифікації

2.5 Висновки до розділу 2

1. Розроблені математичні моделі вібраційних процесів та опору підшипника маточини колеса автомобіля. Встановлено, що середній опір підшипника і параметри вібрації об'єктивно і комплексно характеризують якість підшипника.
2. Розроблено комплексний метод визначення технічного стану підшипників маточини колеса на основі алгоритмічного навчання із застосуванням нейронних мереж, заснований на комплексному вібраційному і електрорезисторному принципі отримання діагностичної інформації.
3. Запропоновано комплексний вектор-параметр, що поєднує в собі інформацію вібраційних і електрорезистивних процесів в зоні тертя.



РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПІДШИПНИКІВ МАТОЧИН КОЛІС В УМОВАХ СТО ТОВ «ДЖЕРМАН-ЦЕНТР»

Розроблений метод контролю стану підшипникового вузла оснований на даних, отриманих в ході математичного моделювання та наявної апріорної інформації, а також на підставі проведеного аналізу фізичних процесів і явищ в зоні тертя підшипника кочення.

За результатами проведених досліджень можна виділити наступні положення методу контролю:

- так як термін служби підшипника кочення залежить від режиму мащення, то можна використовувати режими мащення як якісний показник стану підшипникового вузла, в свою чергу режим мащення так само залежить від стану якості контактуючих поверхонь;

- в ході теоретичних досліджень електричний опір зони тертя підшипника кочення розглядався, як функція від частоти обертання внутрішнього кільця, радіального навантаження, середнього арифметичного значення шорсткості контактуючих поверхонь, при цьому, залежність електричного опору від шорсткості контактуючих поверхонь, при незмінному значенні навантаження і частоти обертання дозволяє використовувати опір для винесення судження про якість контактуючих поверхонь, на тій підставі, що при незмінних швидкісних і силових параметрах електричний опір зони тертя переважно визначається опором мастильного матеріалу і залежить від його товщини, яку можна розрахувати, знаючи параметри діагностуємих підшипників кочення та умови їх роботи.

При розробці методу контролю вирішуються наступні завдання:

- 1) експериментальне дослідження працездатності принципу визначення технічного стану;

- 2) розробка методу і засобів визначення технічного стану для визначення технічного стану вузла в цілому і визначення дефектного підшипника зокрема.

3.1 Експериментальне дослідження працездатності принципу визначення технічного стану

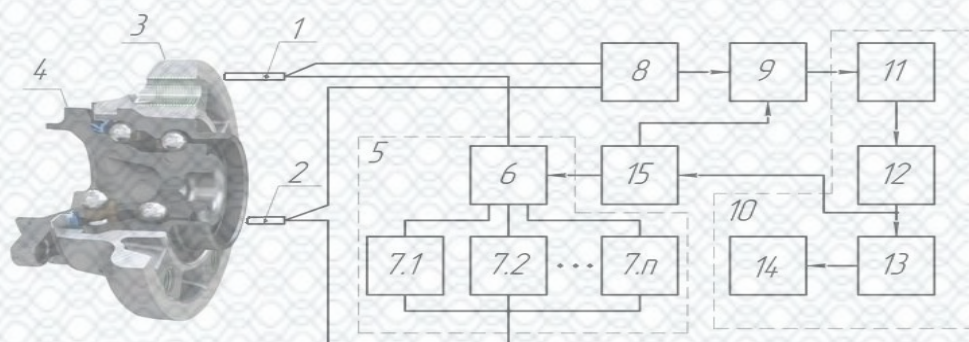
Метод визначення технічного стану, що розробляється в роботі, націлений на застосування в умовах автосервісного виробництва. Об'єктом визначення технічного стану є, в рамках даних експериментальних досліджень, дворядні радіальноупорні підшипники задньої маточини легкових автомобілів Volkswagen.

Для вимірювання використовуваних в математичній моделі параметрів електричного опору підшипника необхідно здійснювати оцінку тимчасової функції опору $R(t)$.

Особливості вимірювання миттєвих значень опору підшипника є причиною заміни дійсної, неперервної функції зміни опору в часі, вимірюваної - дискретною в часі функцією $R(t)$, період дискретизації якої визначається, з одного боку, з умови забезпечення необхідної точності оцінки опору підшипника, а з іншого боку - можливістю відновлення функції $R(t)$ по миттєвим значенням опору R_i .

Під час вимірювання опору підшипник, в залежності від завдання визначення технічного стану і вимірюваного параметру (опір, провідність), може бути включений, або в ланцюг джерела струму або в ланцюг джерела напруги.

Для вимірювання опору підшипника запропоновано пристрій (рис. 3.1).



1,2 – струмозійомники, 3 – зовнішнє кільце підшипника, 4 – внутрішнє кільце підшипника, 5 – джерело електричної енергії, 6 – комутатор, 7 – джерело струму, 8 – диференційний підсилювач, 9 – підсилювач зі змінним коефіцієнтом підсилення, 10 – блок вимірювання діагностичного параметру,

11 – УВХ, 12 – АЦП, 13 – дешифратор, 14 – лічильний пристрій, 15 – пристрій управління

Рисунок 3.1 – Пристрій виміру опору трибоспряження підшипника маточини

колеса

Струмознімачі виконані з можливістю електричного контакту з кільцями діагностуемого підшипника. Зокрема, були обрані ртутні струмозйомники Mercotak 205 з питомим опором порядку 1 МОм, граничною частотою 200 МГц і максимальною частотою обертання 1000 об / хв, що є оптимальними показниками для експериментальних досліджень.

Так само в схемі використані джерела електричної енергії, що складається з комутуючого пристрою і стабільних джерел струму, налаштованих на різні номінали струму відповідно до вимірюваних діапазонів. Диференціальний підсилювач, який нормує підсилювач зі змінним коефіцієнтом посилення і блок вимірювання діагностичного параметра.

Закріплення струмозйомника проводиться на обертовому зовнішньому кільці підшипника за допомогою потужного магніту і гнучкого електропровідного валу.

Схема також дозволяє реєструвати і загальний рівень електричних шумів підшипника. Виготовлений макет вимірювача опору, зображеного на рисунку 2.7, працює в діапазоні опорів від 41 кОм до 1 МОм і в частотному діапазоні до 1 МГц.

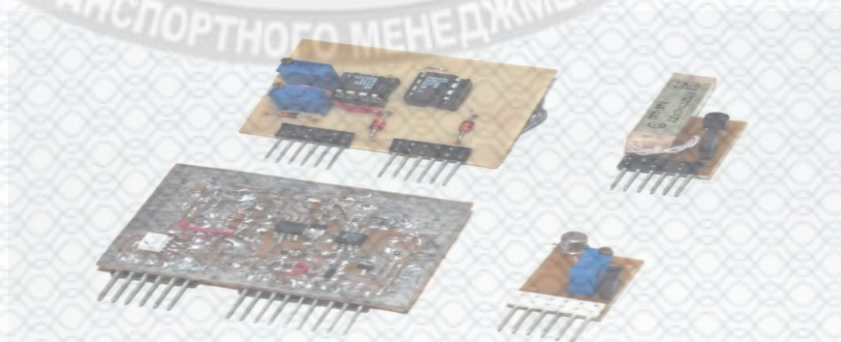


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд модуля вимірювання опору в SMD виконанні

Вимірювання опору таким способом знижує вхідний опір модуля, покращує захист від перешкод за рахунок зменшення на низькому вхідному опорі перешкод і впливу термо ЕРС трибоспряжень. Для поліпшення метрологічних характеристик передбачено кілька стабільних джерел струму. Вибір елементної бази стабілізатора струму дозволяє забезпечити стабільність вихідного струму при високій частоті зміни опору плечової мостової схеми.

Диференціальний підсилювач, побудований на планарній елементній базі володіє широким динамічним діапазоном (сотні МГц), а також високими імпульсними характеристиками. Дана конструкція забезпечує мінімальні ефекти впливу на параметри процесів трибоспряжень. Аналогово-цифровий перетворювач оцифровує сигнали і посилає сигнал далі в комп'ютер. Для цього використовується цифровий модуль для реєстрації сигналів AD USB-4001, який має такі характеристики:

- інтерфейс USB 2.0 (не вимагає зовнішнього живлення);
- частота дискретизації 100 МГц (100 Мвиб / с) в реальному часі, смуга пропускання 40 МГц.
- 23 функції вимірювання, самоперевірка;
- середня форма сигналу, інтенсивність, інвертування, емуляція електронного люмінофора, додавання, віднімання, множення, ділення, X-Y графік;
- підтримка Labview \ VB \ VC \ Delphi \ C ++ Builder;
- каналів: 2;
- імпеданс: 1 МОм, 25пФ;
- вертикальний дозвіл: 12 біт;
- діапазони: 10 мВ-12 В;
- точність по постійному струму: $\pm 3\%$;
- смуга пропускання: до 40 МГц;
- частота дискретизації (вибірок в секунду): 100 МГц (100 Мвиб / с) в одноканальному режимі, 50 Мвиб / с при двоканальному режимі.

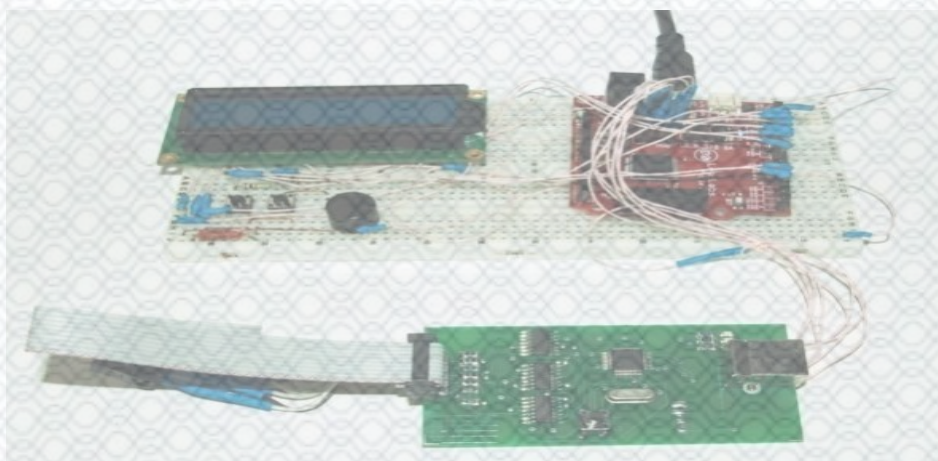


Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд макета модуля

3.2 Механічна частина пристрою визначення технічного стану

Пропонований стенд дозволить спростити процес визначення технічного стану вузла і підвищити точність визначення технічного стану. Це досягається за рахунок інтелектуалізації аналізу діагностичних параметрів, одержуваних одночасно з вузла. Ними є параметри вібраційних процесів, що протікають в вузлі, і електрофлуктуаційні параметри, зокрема електричний опір, трибоспряжень підшипника.

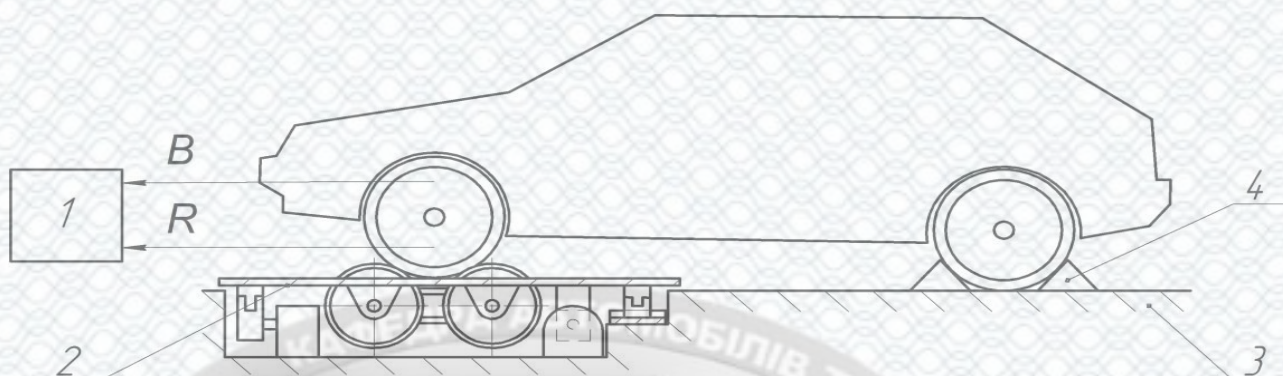
Таким чином, використання принципу комплексування діагностичних параметрів, за рахунок чого досягається поєднання переваг і компенсація недоліків окремих методів, допоможе найбільш достовірно оцінювати технічний стан підшипника. А використання системи розпізнавання дефектів на основі нейромережових технологій з отриманої діагностичної інформації дозволяє вирішувати пряму задачу визначення технічного стану. Виникає можливість застосування такої системи як для доексплуатаційного, так і поточного контролю (в тому числі експрес-контролю).

Стенд містить підставу, на якому закріплений рухомий стіл, опорами якого є підшипники кочення поступального руху, що пересувається у взаємно перпендикулярних напрямках, пневмоциліндри для кожної осі переміщення рухомого столу і напрямні, згідно корисної моделі, конструкція рухомого стола містить опорно-бігові барабани з електроприводом для установки досліджуваної осі транспортного засобу і містить електронний діагностичний блок, який аналізує інформацію, що надходить з датчиків каналу вимірювання вібрації і електричних параметрів трибоспряжень діагностованого підшипника, який зображено на рисунках 3.4, 3.5.

Автомобіль встановлюють на опорно-бігові барабани, закріплюють упорами. Після чого запускається електродвигун і опорно-бігові барабани передають крутний момент колесу автомобіля.

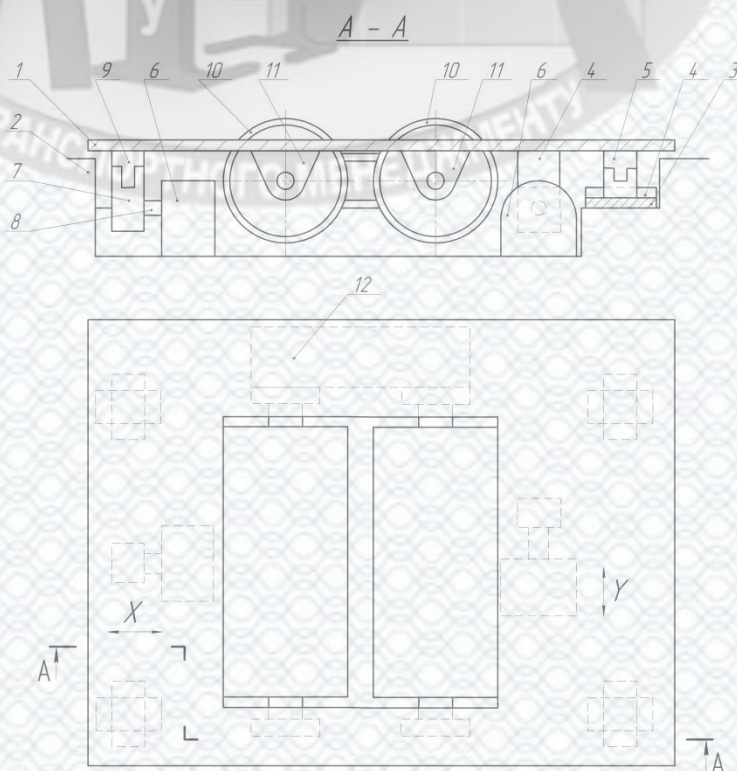
Так як опорні барабани забезпечують рівномірне обертання діагностуємого вузла, а пневмоциліндри, що забезпечують аксіальний рух столу

з біговими опуклими барабанами, що дає можливість піддавати вузол навантаженням, які можуть виникнути в період експлуатації.



1 – блок збору і аналізу інформації, 2 – рухома опора з біговими барабанами, 3 – основа, 4 – колісні упори

Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд стану визначення технічного стану підшипника маточини колеса



1 – стіл, 2 – основа, 3-5,9 – елементи зубчатої рейки, 6-8 – елементи пневмоциліндра, 10 – опорно-бігові барабани, 11 – стійка, 12 - електропривід

Рисунок 3.5 – Рухомий стіл з біговими барабанами

3.3 Експериментальні дослідження працездатності методу

Експериментальні дослідження проводились з метою визначення працездатності методу, для оцінки впливу характеристик реальних дефектів на параметри вібраційних і електрофлуктуаційних процесів.

Основними завданнями експериментальних досліджень були:

- синтез схем проведення експериментальних досліджень;
- вибір експериментального обладнання та проведення необхідної модернізації;
- експериментальні дослідження підшипника для виявлення ефективності інформативних ознак вібраційних і електрофлуктуаційних параметрів в трибоспряженнях.

Експериментальна установка представлена на рисунку 2.16. За основу установки прийнятий гальмівний стенд СТМ-3500.



Рисунок 3.6 – Експериментальна установка

Автомобіль встановлюють на опорно-бігові барабани, закріплюють упорами. Після чого запускається електродвигун і опорно-бігові барабани передають крутний момент колесу автомобіля.

Блок збору діагностичної інформації збирає дані з вібродатчика ДН-3 з магнітною підставкою, встановленою на маточині колеса, і з перетворювача опору трибоспряжень підшипника, який підключений до зовнішнього і внутрішнього кілець підшипника з використанням ртутного струмозйомника. Це

дозволяє здійснювати паралельні вимірювання діагностичних параметрів, що позитивно впливає на достовірність визначення технічного стану .

Вирішальний пристрій в цьому блоці побудовано на основі штучної нейронної мережі, навченої на сигналах, отриманих за допомогою математичної моделі вузла маточини колеса.

Була зібрана база експериментальних зразків підшипників маточини колеса для проведення визначення технічного стану. Зокрема, було використано 4 групи підшипників по п'ять зразків в кожній. Характеристики зразків представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики експериментальних зразків

№ зразка	Наявність лок. деф.	Наявність хвилястості	Пошкодження ущільнення	Параметри дефекту	Примітка
1	2	3	4	5	6
1	-	-	-	-	новий з мастилом
2	-	-	-	-	новий з мастилом
3	-	-	-	-	новий з мастилом
4	-	-	-	-	новий з мастилом
5	-	-	-	-	новий з мастилом
6	+	-	+	a=31 мкм b=42 мкм h=20 мкм	Лок. деф. Виду «впадина», наявність пошкоджень ущільнення
7	+	-	-	a=11 мкм b=38 мкм h=15 мкм	Лок. деф. Виду «впадина», наявність корозії
8	+	+	-	a=22 мкм b=12 мкм h=21 мкм	Лок. деф. Виду «впадина», наявність абразивного зносу
9	+	-	-	a=51 мкм b=13 мкм h=5 мкм	Лок. деф. Виду «впадина», втомне викришування
10	+	+	-	a=20 мкм b=42 мкм h=3 мкм	Лок. деф. Виду «впадина», наявність абразивного зносу

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
11	-	+	-	$H_{\max} - 10,9$ мкм	пошкодження при збиранні
12	-	+	+	$H_{\max} - 40,1$ мкм	наявність абразивного зносу
13	-	+	-	$H_{\max} - 19$ мкм	наявність абразивного зношування бринелювання
14	-	+	-	$H_{\max} - 20$ мкм	наявність абр. зносу
15	-	+	-	$H_{\max} - 12,1$ мкм	Наявність абразивного зносу
16	-	-	+		наявність пошкодження ущільнення, наявність абразивного зносу
17	-	-	+		присутність пошкоджень ущільнення, наявність абразивного зносу
18	-	-	+		присутність пошкодження ущільнення, наявність абразивного зносу
19	-	-	+		присутність пошкодження ущільнення, наявність абразивного зносу
20	-	-	+		присутність пошкодження ущільнення, наявність абразивного зносу

Перший етап експериментів проводився з установкою на автомобіль нового підшипника. Результати вимірювань представлені на рисунку 3.7.

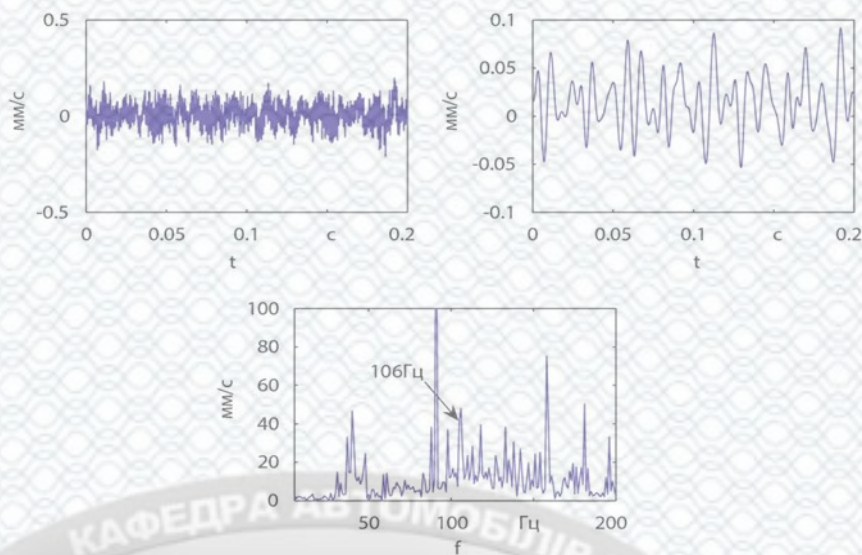


Рисунок 3.7 – Експериментальні залежності віброшвидкості нового підшипника маточини колеса

На графіках зображені значення гармонік основних резонансних частот підшипника (частота проходження кульок через зону навантаження, частота обертання сепаратора).

Одночасно з цим складався масив вектор-параметрів, що характеризують оцінки вібрацій для подальшої кластеризації і розпізнавання.

Далі установлювався підшипник маточини колеса з завчасно відомими дефектами, проводилось вимірювання опору і віброшвидкості.

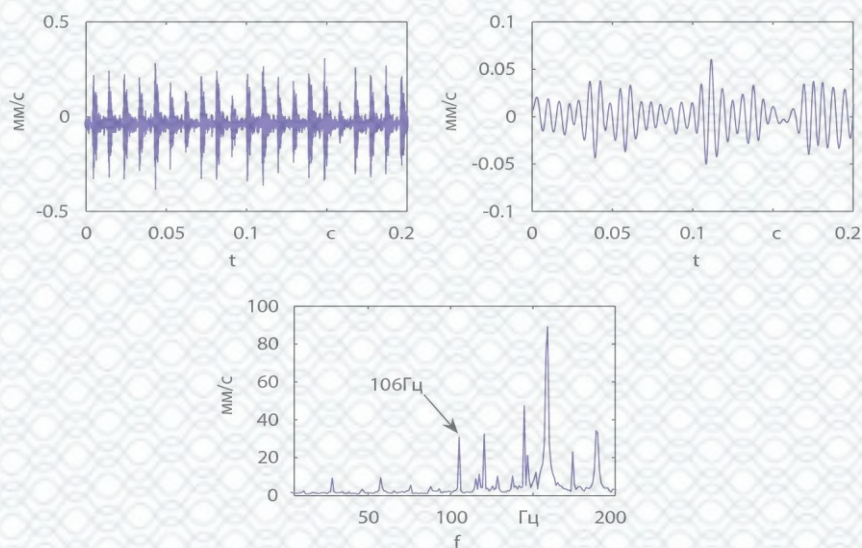


Рисунок 3.8 – Експериментальні залежності віброшвидкості з локальним дефектом на зовнішньому кільці

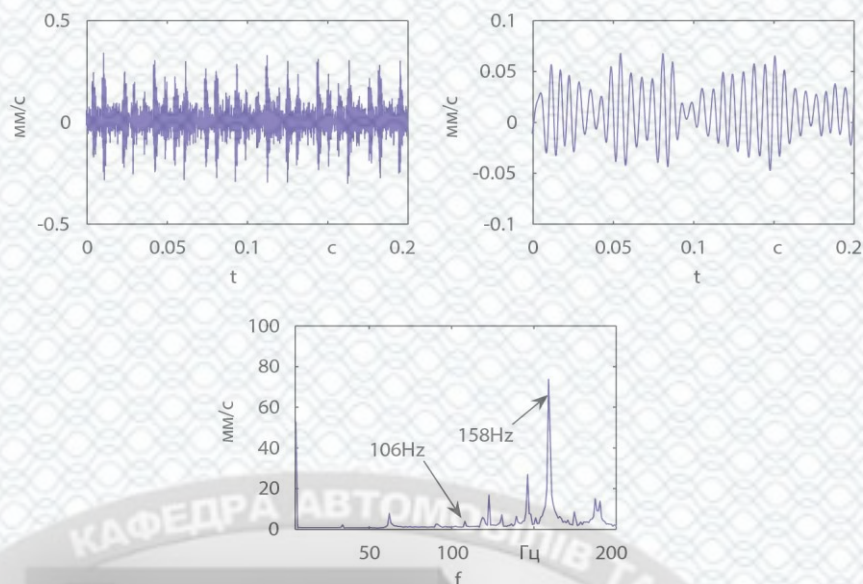


Рисунок 3.9 – Експериментальні залежності віброшвидкості хвилястості доріжки кочення

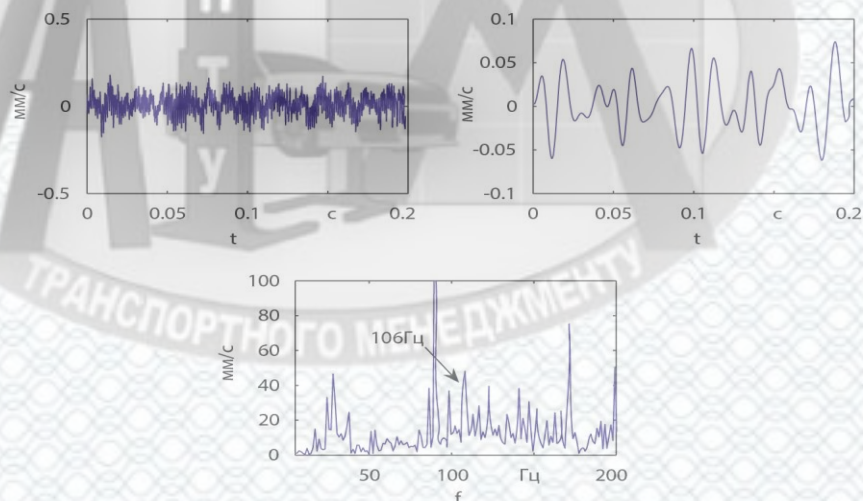
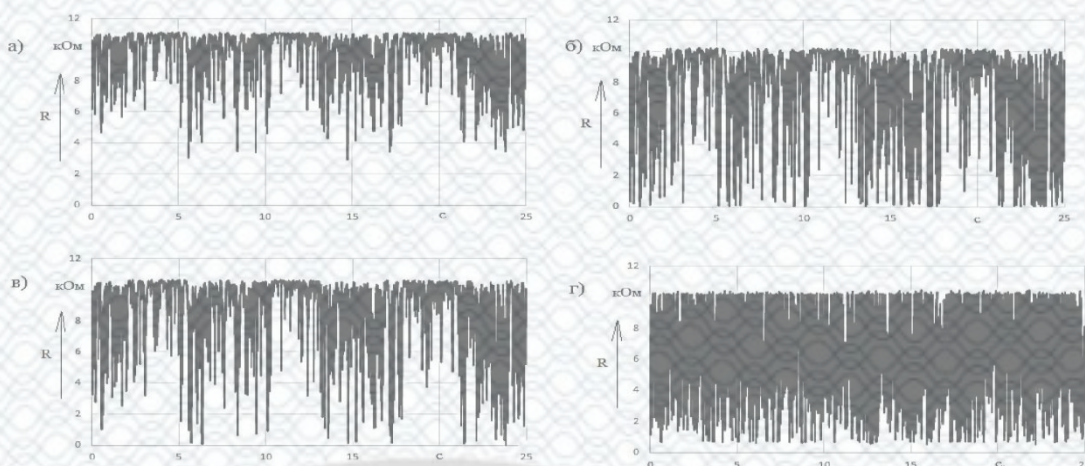


Рисунок 3.10 – Експериментальні залежності віброшвидкості з недостатньою кількістю мастильного матеріалу

Порівнюючи експериментальні дані з теоретичними залежностями, можна переконатися, що в низькочастотному діапазоні спостерігається повна відповідність частот вищих гармонік. Однак в більш високочастотній області спостерігається підйом рівня. Аналіз показав, що наслідком цього є вібрації які передаються в трибовузол від зовнішніх джерел.

Для підтвердження можливості визначення технічного стану підшипника за параметрами тимчасової функції електричного опору проведені дослідження його опору.



а) новий підшипник; б) підшипник з дефектом зовнішнього кільця; в) підшипник з хвилястістю; г) підшипник з недостатньою кількістю мастила

Рисунок 3.11 – Експериментальні залежності опору підшипника маточини колеса

Наявність значної кількості рівнів низького опору до 0,3 кОм характеризує присутність в зоні тертя переважаючих пластичних деформацій з руйнуванням поверхневих шарів і інших структур «третього тіла». Наявність зони високого опору (вище 4 кОм) свідчить про входження трибоспряжень в режим рідинного тертя в деякі інтервали часу.

Отже методика визначення технічного стану підшипника маточини колеса автомобіля включає в себе наступні етапи:

1. Автомобіль встановлюється на опорно-бігові барабани стенду, закріплюється упорами.
2. По схемі на маточину колеса встановлюють вібраційні датчики ДН-3 і струмозйомники на відповідні місця.
3. Проводиться ініціалізація програмного забезпечення визначення технічного стану з вибором конкретного автомобіля і уточненням використовуваних датчиків, режимів виміру.
- 4 Проводиться запуск електродвигуна і опорно-бігові барабани передають крутний момент колесу автомобіля з постійною швидкістю 100 об/хв.

5 Програмне забезпечення переводиться в режим збору інформації для подальшого аналізу.

6 Блок збору діагностичної інформації збирає дані з вібродатчика ДН-3 з магнітною підставкою, встановленою на маточині колеса, і з перетворювача опору трибоспрями підшипника, який підключений до зовнішнього і внутрішнього кілець підшипника з використанням ртутного струмозйомника. Це дозволяє здійснювати паралельні вимірювання діагностичних параметрів, що позитивно впливає на достовірність визначення технічного стану. Тривалість збору інформації 10 секунд.

7 Після збору даних програмне забезпечення переводиться в режим аналізу даних із використанням класифікатора на основі штучної нейронної мережі завчасно навченої для конкретного типу підшипника маточини колеса.

8 Програмне забезпечення робить висновок про стан підшипника маточини колеса і пропонує рекомендації по подальшому його обслуговуванню.

3.4 Висновки до розділу 3

1 Під час проведеної роботи був розроблений метод і засоби визначення технічного стану підшипників маточин коліс автомобілів. Отримувані сигнали являють собою сукупність детермінованої і випадкової складової, яка визначається зміною стану параметрів підшипників кочення - радіальне навантаження, частота обертання, шорсткість робочих поверхонь, обсяг мастильного шару.

2. Розроблені в рамках створення методу визначення технічного стану алгоритми дозволяють здійснювати як усереднену комплексну оцінку технічного стану підшипника за критерієм товщини мастильної плівки в зонах тертя, так і визначення наявності локального дефекту.

3. Розроблено методику визначення технічного стану підшипника автомобіля.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Головна задача охорони праці – мінімізація імовірності виникнення захворювань та виробничого травматизму під час забезпечення нормованих показників умов праці.

Незадовільний рівень охорони праці може стати причиною соціально-економічних проблем працівників та членів їх сімей. Саме тому соціально-економічна важливість охорони праці полягає у: підвищенні продуктивності праці, зростанні сукупного національного продукту, скороченні виплат за лікарняними і виплат компенсацій за важкі умови праці та інше.

У цьому розділі проводиться аналіз небезпечних, шкідливих та уражаючих для працівника і оточуючого середовища чинників, що утворюються при проведенні підвищення ефективності визначення технічного стану підшипників маточин коліс в умовах станції технічного обслуговування автомобілів. В ньому розглядаються, в тому числі, технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, технічні рішення з безпеки при проведенні підвищення ефективності, безпека в надзвичайних ситуаціях.

В процесі підвищення ефективності даного процесу на працюючих діють ті або інші небезпечні і шкідливі виробничі фактори (НШВФ) фізичної та психофізіологічної груп відповідно до [1].

Фізичні НШВФ: підвищена або понижена температура повітря робочої зони, підвищений рівень шуму на робочому місці, підвищений рівень статичної електрики, недостатність або відсутність природного освітлення, недостатня освітленість робочої зони, підвищена яскравість світла, пряма або відбита блискучість.

Психофізіологічні небезпечні і шкідливі виробничі фактори: нервово-психічні перевантаження: розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці.

4.1 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

4.1.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони

Під мікрокліматом виробничих приміщень розуміють клімат внутрішнього середовища цих приміщень, що визначається діючими на організм людини поєднаннями температури, вологості та швидкості руху повітря, а також інтенсивності теплового випромінювання.

Коли з технічних чи економічних міркувань оптимальні норми не забезпечуються, то встановлюються допустимі величини параметрів мікроклімату.

Визначаємо для приміщення, в якому проводяться роботи з підвищення ефективності визначення технічного стану підшипників маточин коліс в умовах станції технічного обслуговування автомобілів, категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – легка Іа.

Відповідно до [2] допустимі параметри мікроклімату у робочій зоні для теплового та холодного періодів року приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Нормовані допустимі показники мікроклімату [2]

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С для робочих місць		Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
		постійних	непостійних		
Холодний	Іа	21-25	18-26	75	≤0,1
Теплий	Іа	22-28	20-30	55 при 28°С	0,1-0,2

Перепад температури повітря за висотою робочої зони допускається до 3°С. При опроміненні менше 25% поверхні тіла працівника, нормована інтенсивність теплового опромінення складає 100 Вт/м².

Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій (ГДК), що використовуються при проектуванні виробничих приміщень (будівель), обладнання, технологічних

процесів, вентиляцій, з метою контролю за якістю виробничого середовища. ГДК шкідливих речовин, що утворюються у даному виробничому приміщенні наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – ГДК шкідливих речовин в повітрі робочої зони

Назва речовини	Параметр	Значення	Клас небезпеки
Бензин	ГДК, мг/м ³	100	4
Пил нетоксичний	ГДК, мг/м ³	0,15	4
Іони n ⁺ , n ⁻	число іонів в 1 см ³ повітря	50000	–

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату та чистоти повітря робочої зони передбачено:

- 1) у приміщенні має бути встановлена система опалення для холодного і кондиціонування для теплого періодів року;
- 2) для підвищення вологості повітря слід розташовувати місткості з водою за типом акваріумів поблизу опалювальних приладів або використовувати зволожувачі;
- 3) припливно-витяжна система вентиляції, а при несприятливих погодних умовах кондиціонування.

4.1.2 Виробниче освітлення

Для забезпечення раціональних гігієнічних умов на робочих місцях великі вимоги висуваються щодо кількісних та якісних параметрів освітлення.

З точки зору задач зорової роботи в приміщенні, в якому проводяться роботи з підвищення ефективності визначення технічного стану підшипників маточин коліс в умовах станції технічного обслуговування автомобілів, відповідно до [5] знаходимо, що вони відносяться до III розряду зорових робіт. Приймаємо контраст об'єкта з фоном – великий та характеристику фону – середню, яким відповідає підрозряд 2.

Нормовані значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) та мінімальні значення освітленості при штучному освітленні приведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Нормовані значення КПО і мінімальні освітленості при штучному освітленні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізн., мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фону	Освітленість при штучному освітленні, лк			КПО, %	
						комбіноване		загальне	Природне освітлення (бокове)	Суміщене освітлення (бокове)
						всього	у т. ч. від загального			
Високої точності	0,3-0,5	III	г	великий	середній	400	200	200	2	1,2

Оскільки приміщення розташоване в місті Вінниця (2-га група забезпеченості природним світлом), а вікна розташовані за азимутом 135°, то за таких умов КПО розраховується за виразом [5]

$$e_N = e_n m_N [\%], \quad (4.1)$$

де e_n – табличне значення КПО, %;

m_N – коефіцієнт світлового клімату;

N – номер групи забезпеченості природним світлом.

За відомими значеннями одержимо нормовані значення КПО для бокового та суміщеного освітлення:

$$e_{N.b} = 2 \cdot 0,85 = 1,7 (\%);$$

$$e_{N.c} = 1,2 \cdot 0,85 = 1,02 (\%).$$

Для встановлення нормативних значень параметрів освітлення запропоновано:

1) за недостатнього природного освітлення у світлий час доби доповнення штучним завдяки використанню газорозрядних ламп з утворенням системи суміщеного освітлення;

2) застосування штучного освітлення в темний час доби.

4.1.3 Виробничі віброакустичні коливання

Встановлено, що приміщення, в якому проводиться робота з підвищення ефективності визначення технічного стану підшипників маточин коліс в умовах станції технічного обслуговування автомобілів може мати робочі місця із шумом та вібрацією, що створюється двигунами вентиляційної системи.

З метою попередження травмування працюючих від дії шуму та вібрації вони підлягає нормуванню. Основним нормативом з питань виробничого шуму, що діє на території України, є [6], у відповідності з яким нормовані рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні шуму на робочих місцях у виробничих приміщеннях не мають бути більшими ніж значення, які наведено у таблиці 4.4. Норми виробничих вібрацій наведено в таблиці 4.5 для 1-ї категорії (транспортна).

Таблиця 4.4 – Допустимі рівні звукового тиску і еквівалентні рівні звуку

Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах з середньо-геометричними частотами, Гц									Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Таблиця 4.5 – Допустимі рівні віброприскорення [6]

Гранично допустимі рівні віброприскорення, дБ, в октавних смугах з середньо-геометричними частотами, Гц						Коректовані рівні віброприскорення, дБА
2	4	8	16	31,5	63	
68	65	65	71	77	83	62

З метою встановлення нормованих параметрів віброакустичних коливань у приміщенні передбачено:

- 1) завчасне проведення профілактичного ремонту;
- 2) проведення перевірки рівнів шуму та вібрації.

4.1.4 Виробничі випромінювання

Аналіз умов праці показав, що приміщення, в якому проводиться робота з підвищення ефективності визначення технічного стану підшипників маточин коліс в умовах станції технічного обслуговування автомобілів може містити електромагнітні випромінювання.

Гранично допустимі рівні електромагнітних полів показані у таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Гранично допустимі рівні електромагнітних полів (безперервне випромінювання, амплітудна або кутова модуляція)

Номер діапазону	Метричний розподіл діапазонів	Частоти	Довжина хвиль, λ	ГДР, В/м
5	Кілометрові хвилі (низькі частоти, НЧ)	30-300 кГц	10-1 км	25
6	Гептаметрові хвилі (середні частоти, СЧ)	0,3-3 МГц	1-0,1 км	15
7	Декаметрові хвилі (високі частоти, ВЧ)	3-30 МГц	100-10 м	$3 \cdot \lg \lambda$
8	Метрові хвилі (дуже високі частоти, ДВЧ)	30-300 МГц	10-1 м	3

Для гарантування захисту і досягнення нормативних рівнів випромінювань потрібно використовувати екранування робочого місця і скорочення часу опромінення за рахунок перерв на відпочинок.

4.2 Технічні рішення з безпеки при визначенні технічного стану підшипників маточин коліс в умовах СТО

4.2.1 Безпека щодо організації робочих місць

Конструкція робочого місця, його розміри та взаємне розташування його

елементів мають відповідати антропометричним, психофізіологічним та фізіологічним характеристикам працівника, а також характеру праці [7].

Конструкція робочого столу повинна забезпечувати можливість оптимального розміщення на робочій поверхні обладнання, що використовується, з урахуванням його кількості, розмірів, конструктивних особливостей та характеру роботи, яка виконується.

У випадку розміщення робочих місць у приміщеннях з джерелами небезпечних та шкідливих виробничих чинників, вони зобов'язані розміщатись в повністю відокремлених кабінетах з природним освітленням та організованим повітрообміном. Площа, на якій розташовується одне робоче місце для обслуговуючого персоналу, повинна становити не менше $6,0 \text{ м}^2$, об'єм приміщення – не менше як 20 м^3 , висота – не менше $3,2 \text{ м}$ [8].

Інтер'єр приміщень потрібно оздоблювати дифузно-віддзеркалювальними матеріалами з коефіцієнтом відбиття: стелі $0,7-0,8$; стін $0,4-0,5$; підлоги $0,2-0,3$. Поверхня підлоги повинна бути рівною, не слизькою, без вибоїн, мати антистатичні властивості, зручною для вологого прибирання. Не дозволяється застосовувати під час оздоблення інтер'єру полімерні матеріали, що виділяють у повітря шкідливі хімічні речовини.

4.2.2 Електробезпека

Основними причинами ураження електричним струмом в цьому приміщенні можуть бути: робота під напругою при ремонтних роботах, несправність електрообладнання, випадковий дотик до струмоведучих частин чи металевих частин, що опинилися під напругою. У відповідності до [8] дане приміщення належить до приміщень із підвищеною небезпекою ураження електричним струмом через наявність значної (більше 75 %) вологості.

Через це безпека експлуатації електрообладнання повинна гарантуватись рядом заходів, що включають використання ізоляції струмовідних елементів, захисного заземлення, захисних блокувань та ін.

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Відповідно до [1] приміщення, в якому проводиться робота з підвищення ефективності визначення технічного стану підшипників маточин коліс в умовах станції технічного обслуговування автомобілів, відноситься до категорії пожежної небезпеки А, що характеризується наявністю легкозаймистих рідин з температурою спалаху не більше 28 °С, які застосовуються при проведенні підвищення ефективності. Дане приміщення відноситься до 2-го ступеня вогнестійкості, в якому приміщення знаходяться в будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону із застосуванням листових і плитних негорючих матеріалів.

Мінімальні межі вогнестійкості конструкцій розглядуваного приміщення наведені в таблиці 4.7 і являють собою час, протягом якого конструкції затримують поширення вогню, оцінюється межею вогнестійкості. Межа вогнестійкості конструкції визначається часом в хвилинах від початку сприймання вогню до утворення в конструкціях наскрізних тріщин або отворів, підвищення температури на поверхні, що не обігрівається вище допустимої, руйнування конструкції.

Таблиця 4.7 – Мінімальні межі вогнестійкості приміщення [1]

Ступінь вогне-	Стіни				Колони	Східчасті майданчики	Плити та інші несучі конструкції	Елементи покриття	
	Несучі та східчасті клітки	Самонесучі	Зовнішні несучі	Перегородки				Плити, прогони	Балки ферми
2	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	EI 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	REI 15 M0	R 30 M0

Примітка. R – втрати несучої здатності; E – втрати цілісності; I – втрати теплоізолявальної спроможності; M – показник здатності будівельної конструкції поширювати вогонь (межа поширення вогню); M0 – межа поширення вогню дорівнює 0 см.

В таблиці 4.8 наведено протипожежні норми проектування будівель і споруд. Для попередження поширенню пожежі з одної споруди на іншу між ними влаштовують протипожежні розриви, що залежать від ступеня вогнестійкості будівлі.

Ширина евакуаційного виходу (дверей) із приміщень визначається в залежності від загальної кількості людей, які евакуюються через цей вихід і кількості людей на 1 м ширини виходу (дверей). Найбільша допустима кількість поверхів споруди, найбільша допустима площа підлоги між протипожежними стінами приймається в залежності від категорії пожежної небезпеки та ступеня вогнестійкості.

Таблиця 4.8 – Протипожежні норми проектування будівель і споруд [1]

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорія пожежної небезпеки	Ступінь вогнестійкості	Відстань, м, для щільності людського потоку в загальному проході, осіб/м ²			Кількість людей на 1 м ширини евакуаційного виходу	Відстань між будівлями та спорудами, м, при ступені їх вогнестійкості			Найбільша кількість поверхів	Максимально допустима площа поверху, м ² , для числа поверхів		
			до 1	2-3	4-5		I,II	III	IV,V		1	2	3 і більше
до 15	A	2	40	25	15	45	9	9	12	6	н.о.	–	–

Примітка: н.о. – не обмежується

Вибір видів та кількості первинних засобів пожежегасіння виконується з врахуванням властивостей фізико-хімічних та пожежонебезпечних горючих речовин, їхньої взаємодії з вогнегасними речовинами, а також розмірів та площ виробничих приміщень, установок та відкритих майданчиків.

Встановлюємо, що приміщення, де проводиться робота з підвищення ефективності, має бути оснащено двома вогнегасниками, пожежним щитом, а також ємністю з піском [1].

4.4 Висновки до розділу 4

Під час виконання даного розділу було опрацьовано такі питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, технічні рішення з безпеки при проведенні підвищення ефективності визначення технічного стану підшипників маточин коліс в умовах станції технічного обслуговування автомобілів, безпека в надзвичайних ситуаціях.

РОЗДІЛ 5

**РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ
МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПІДШИПНИКІВ
МАТОЧИН КОЛІС В УМОВАХ СТОА ТОВ «ДЖЕРМАН-ЦЕНТР»**

Економічна ефективність застосування методу визначення технічного стану підшипників маточин коліс автомобілів в магістерській кваліфікаційній роботі розраховувалася на прикладі легкових автомобілів Volkswagen.

Річний економічний ефект від впровадження методики і методу визначення технічного стану підшипника формується за рахунок зменшення витрат на позаплановий ремонт автомобілів Volkswagen за системою технічного обслуговування і ремонту на основі регламентованої періодичності профілактичних технічних впливів, а також групування операцій *ТО*:

$$E_P = \sum E_{EK} + \sum E_{ТО} - \sum B_{BTC}, \quad (5.1)$$

де E_{EK} - економія за рахунок зниження витрат на позаплановий ремонт, грн./рік;

$E_{ТО}$ - економія за рахунок групування операцій *ТО*, грн./рік;

B_{BTC} - витрати на визначення технічного стану автомобіля, грн./рік.

В магістерській кваліфікаційній роботі річний економічний ефект визначався на основі значень собівартості 1 нормо-години.

Економія за рахунок зниження витрат на позаплановий ремонт E_{EK} може бути визначена наступним чином:

$$E_{EK} = \Delta Z_P + \Delta Z_{зч} + \Delta V_{ДОД}, \quad (5.2)$$

де ΔZ_P - зменшення витрат на проведення ремонтів при збільшенні періодичності виконання профілактичних технічних впливів, грн.;

$\Delta Z_{зч}$ - зменшення витрат на запасні частини при проведенні технічного обслуговування і ремонтів, грн.;

$\Delta V_{дод}$ - економія за рахунок виконання додаткового обсягу робіт за рахунок скорочення часу виконання $ТО$ і $Р$, грн.

Економія засобів за рахунок технічного обслуговування і ремонту машин може бути визначена по залежності:

$$\Delta Z_P = C_{нг} \cdot n \cdot \Delta t \quad (5.3)$$

де $C_{нг}$ - заробітня плата з надбавками для ремонтників на 1 нормо- годину роботи діагноста;

n - число ремонтного персоналу для винання робіт по $ТО$ і $Р$ (приймаємо $n = 2$ чол.);

Δt - збільшення напрацювання автомобілів за рахунок впровадження методики визначення технічного стану. Приймаємо по оцінці експертів в середньому 10 % від напрацювання машин до впровадження методики визначення технічного стану. При середньому значенні напрацювання, наприклад,

$$\Delta Z_P = 150 \cdot 2 \cdot 56 = 16800 \text{ грн. / рік}$$

Річна економія за рахунок зниження витрат на запасні частини може бути визначена по формулі

$$\Delta Z_{зч} = Z_P \cdot \Delta t \quad (5.4)$$

Тоді річна економія за рахунок зниження витрат на запасні частини [24]:

$$\Delta Z_{зч} = 540 \cdot 46 = 24840 \text{ грн. / рік}$$

Економія $\Delta V_{\text{ДОД}}$ за рахунок виконання додаткового об'єму робіт за рахунок скорочення часу виконання ТО і Р складе 12219 грн., основується на данні і нормативи сервісного підприємства.

$$E_{\text{ЕК}} = 16800 + 24840 + 12219 = 53859 \text{ грн./рік}$$

Економія за рахунок групування операцій ТО, грн./рік;

$$E_{\text{ТО}} = B_{\text{нг}} \cdot T \cdot \Delta \quad (5.5)$$

де $B_{\text{нг}}$ - вартість 1 нормо- години роботи ТО;

T – загальна річна трудомісткість операцій ТО ($T = 13422,5$ люд.год);

Δ - коефіцієнт зниження витрат за рахунок впровадження методики визначення технічного стану. Приймаємо по оцінці експертів в середньому 1 %.

$$E_{\text{ТО}} = 450 \cdot 13422,5 \cdot 0,01 = 60399 \text{ грн}$$

Витрати на визначення технічного стану автомобілів в першому наближенні можливо визначити по залежності

$$B_{\text{ВТС}} = C_{\text{Д}} \cdot N_{\text{а}}^{\text{о}} + Z_{\text{ПЛ}} + Z_{\text{ЕН}}, \quad (5.6)$$

де $C_{\text{Д}}$ - вартість діагностичного обладнання, грн.;

$N_{\text{а}}^{\text{о}}$ - норма амортизації діагностичного обладнання. Приймаємо 10% рік;

$Z_{\text{ПЛ}}$ - заробітня плата оператора діагностичного обладнання, грн./рік;

$Z_{\text{ЕН}}$ - затрати на енергоресурси при виконання технічної визначення технічного стану, грн./рік.

Придбання одного комплекту діагностичного обладнання з врахуванням вартості комп'ютера складає приблизно $C_{\text{Д}} = 146$ тис. грн. Норма амортизації

комплекту діагностичного обладнання при терміні роботи приблизно 5 років рівне 10 %.

Річна заробітна плата одного оператора діагностичного обладнання повинна бути не нижча середньої. Тоді при нормальному режимі роботи (в одну зміну тривалістю 8 год/зміну) і погодинній тарифній ставці з нарахуваннями, рівною 450 грн./год величина $Z_{пл}$ складає 18000 грн.

Витрати на енергоресурси при виконанні операцій визначення технічного стану складають 6000 грн.

В результаті витрати на визначення технічного стану відповідно

$$B_{BTC} = 146000 \cdot 0,1 + 18000 \cdot 2 + 6000 = 56600 \text{ грн. / рік}$$

Тоді річний економічний ефект від впровадження методики визначення технічного стану підшипника маточини колеса складає:

$$E_p = 53859 + 60399 - 56600 = 57658 \text{ грн}$$

Висновки до розділу 5

1. Визначено економічний ефект впровадження методики визначення технічного стану підшипника маточини колеса на СТО ТОВ «Джерман-Центр» місто Вінниця, який складе 57658 грн / рік.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз діагностичних операцій по контролю технічного стану підшипників маточин коліс автомобілів, показав актуальність розробки комплексного методу визначення технічного стану, який поєднує в собі переваги вібраційного і електрофлукуаційного принципів отримання інформації про стан трибоспряжень.

2. Обрані параметри, які є оцінками вібраційних і електрофлукуаційних процесів для створення вектор-параметра, який подається на вхід класифікатора, що дозволяє враховувати спільні варіації параметрів.

3. Визначено межі дефектності підшипника для запропонованого методу.

4. Розроблено методику, пристрій визначення технічного стану та програмне забезпечення для визначення технічного стану підшипника автомобіля.

5. Розроблений метод визначення технічного стану підшипника автомобіля дозволяє комплексно оцінювати технічний стан вузла без його демонтажу, що дозволяє отримати економічний ефект за рахунок паралелізації і інтелектуалізації діагностичної операції.

6. Річний економічний ефект від впровадження методики визначення технічного стану підшипника маточини колеса на СТО ТОВ «Джерман-Центр» складе 57658 грн / рік.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Березюк О. В. Охорона праці. Підсумкова державна атестація спеціалістів, магістрів в галузях електроніки, радіотехніки, радіоелектронних апаратів та зв'язку : навчальний посібник / О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 104 с.
2. Бондаренко Є. А. Освітлення виробничих приміщень : довідник / Є. А. Бондаренко, В. О. Дрончак. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 61 с.
3. Волков В. П., Грицук І. В., Волков Ю. В. та ін. Інформаційні системи моніторингу технічного стану автомобілів. Харків, 2018.
4. Гунько І. В. Гуцаленко О. В. Транспорт – актуальні проблеми та сьогодення. Техніка, енергетика, транспорт АПК. Вінниця, 2015. Випуск 2 (90). С. 98-103.
5. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
6. ДСН 3.3.6-037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
7. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.
8. ДСТУ 9118:2021. Технічна діагностика. Діагностування технічного стану матеріалів конструкцій. Загальні вимоги. [Чинний від 2022-01-07]. Вид. офіц. Київ, 2021.
9. Канарчук В. Є., Курніков І. П. Виробничі системи на транспорті. Київ : Вища школа, 1997. 359 с.
10. Коваленко В. М., Щуріхін В. К. Діагностика і технологія ремонту автомобілів. Київ : Літера ЛТД, 2017. 224 с.
11. Кукурудзяк Ю. Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Технологія ТО і ПР. Вінниця : ВНТУ, 2022. 225 с.
12. НАПБ Б.03.001-2004. Типові норми належності вогнегасників.

13. Огневий В.О., Францішко М.О. Методика визначення технічного стану підшипників маточин коліс автомобілів // Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2024)», Вінниця, 2024. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2024>
14. Heiβing, В. Chassis Handbook: Fundamentals, Driving Dynamics, Components, Mechatronics, Perspectives [Текст] / В. Heiβing, М. Ersoy. – Fachbuch: Teubner Verlag. – 2011. – 591 P.
15. Power the Future Report: Bearings with brains make intelligent machines. SKF Insight introduction 2014. [Електронний ресурс].– Режим доступу: <http://www.skf.com/m/news-and-media>.
16. NSK. General Cataloge. [Електронний ресурс].– Режим доступу: <http://www.nsk.com/>.
17. SKF. General Cataloge 4000E. 20154. [Електронний ресурс].– Режим доступу: <http://www.skf.com/cat>.
18. Castejon C, Lara O., Garcia-Prada J.C. Automated diagnosis of rolling bearings using MRA and neural networks [Текст] // Mechanical systems and Signal Processing-2010.-N24.-P.289- 299.
19. Н. Prashad, Diagnosis of rolling-element bearings failure by localized electrical current between track surfaces of races and rolling-elements - Journal of tribology, 2002
20. T. Denton Advanced Automotive Fault Diagnosis, 2nd Ed. BA, MSAE, MITRE, Open University, 2006
21. J.Erjavec Automotive Technology. A Systems Approach. 2010
22. Kohonen, T. Learning Vector Quantization, Neural Networks, 1 (suppl 1), 303.
23. A. Bradly Quality control of chasis systems // Automotive testing technology international – 2012
24. К. С. Gryllias, С. Yiakopoulos, I. Antoniadis Automated diagnostic approaches for defective rolling element using vibration pattern recognition//

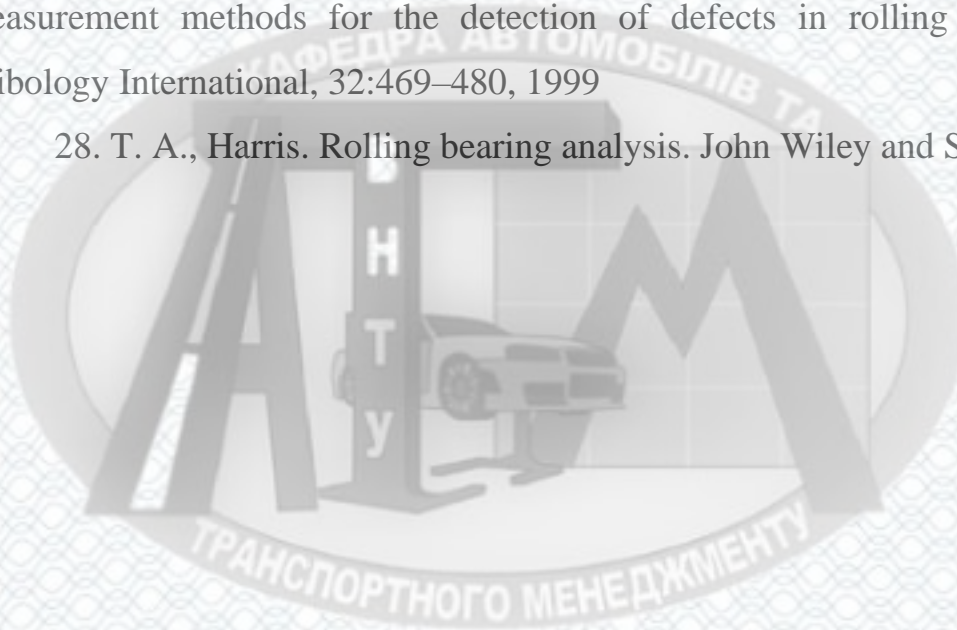
Proceedings of the 4th World Congress on Engineering Asset Management, Athens, Greece 28 - 30 September 2009

25. S.P. Harsha. Nonlinear dynamic analysis of rolling element bearings due to cage run-out and number of balls. *Journal of Sound and Vibration*, 289:360–381, 2006.

26. P.D. McFadden and J.D. Smith. The vibration produced by multiple point defect in a rolling element bearing. *Journal of Sound and Vibration*, 98:263–273, 1985

27. N. Tandon and A. Choudhury. A review of vibration and acoustic measurement methods for the detection of defects in rolling element bearings. *Tribology International*, 32:469–480, 1999

28. T. A., Harris. *Rolling bearing analysis*. John Wiley and Sons, 2001



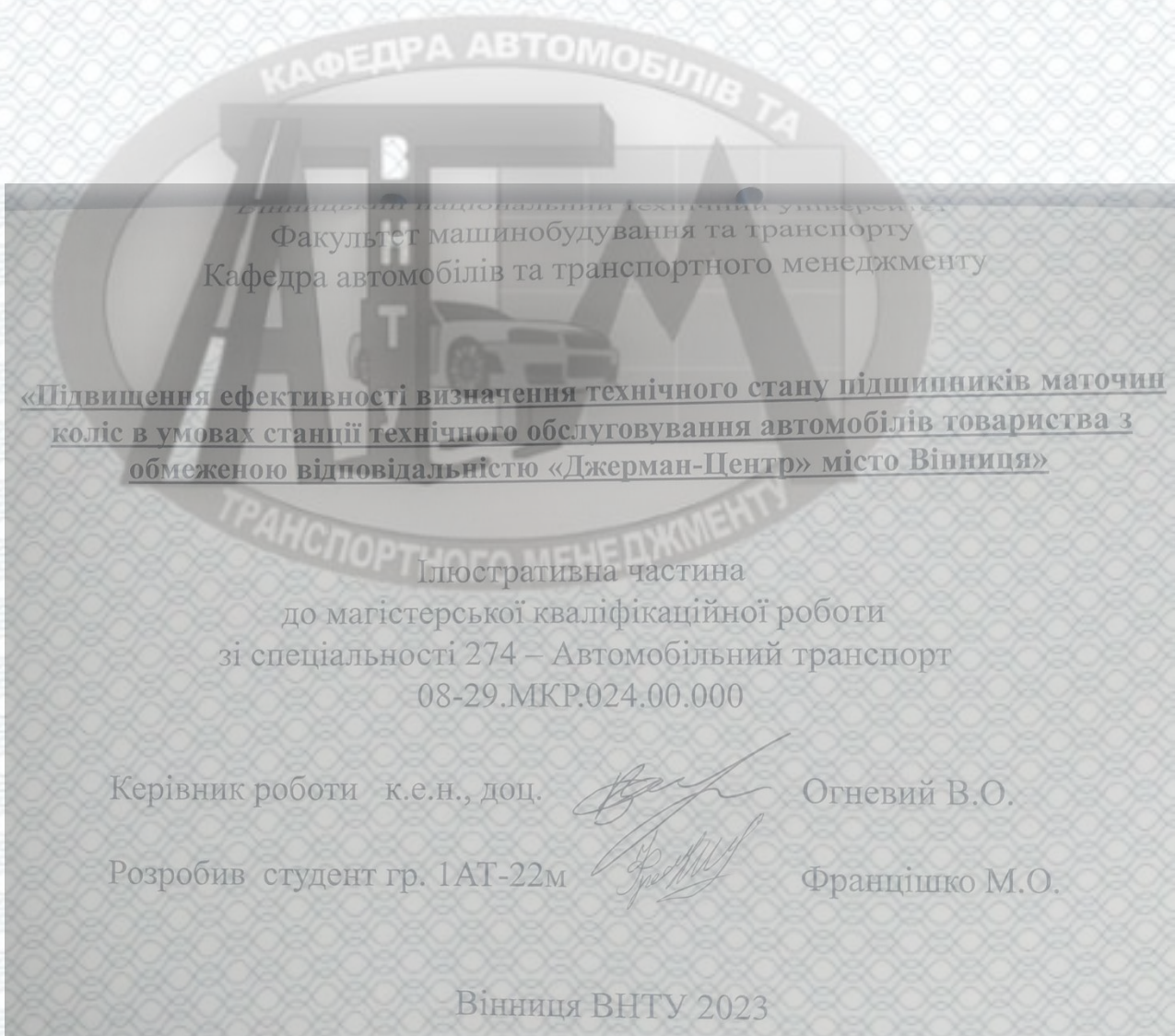


ДОДАТКИ

Додаток А

Ілюстративна частина

Підвищення ефективності визначення технічного стану підшипників маточин коліс в умовах станції технічного обслуговування автомобілів товариства з обмеженою відповідальністю «Джерман-Центр» місто Вінниця



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

«Підвищення ефективності визначення технічного стану підшипників маточин коліс в умовах станції технічного обслуговування автомобілів товариства з обмеженою відповідальністю «Джерман-Центр» місто Вінниця»

Ілюстративна частина
до магістерської кваліфікаційної роботи
зі спеціальності 274 – Автомобільний транспорт
08-29.МКР.024.00.000

Керівник роботи к.е.н., доц.

Огневий В.О.

Розробив студент гр. 1АТ-22м

Францішко М.О.

Вінниця ВНТУ 2023

Метою дослідження є підвищення ефективності експлуатації автотранспортних засобів за рахунок вдосконалення методики визначення технічного стану підшипників маточин коліс автомобіля, на основі оцінки технічного стану підшипника по комплексному параметру в умовах станції технічного обслуговування.

Відповідно до поставленої мети в роботі вирішуються наступні **завдання**:

- удосконалення математичної моделі вібраційних процесів і електричного опору в трибоспряженнях двохрядного підшипника маточини колеса з можливістю моделювання локальних дефектів, і стану мастильного шару;
- розробка комплексного діагностичного параметра;
- розробка алгоритму визначення технічного стану підшипника із застосуванням комплексного діагностичного параметра;
- удосконалення пристрою визначення технічного стану підшипників маточин коліс і методики визначення технічного стану підшипника для автосервісного підприємства.

Об'єкт дослідження є процес визначення технічного стану підшипникового вузла маточин коліс легкового автомобіля.

Предмет дослідження – є закономірності, що характеризують процес визначення технічного стану підшипникового вузла із застосуванням комплексного параметра, що враховує характеристики електрофлуктуаційних і вібраційних процесів трибоспряжень.

Наукова новизна отриманих результатів:

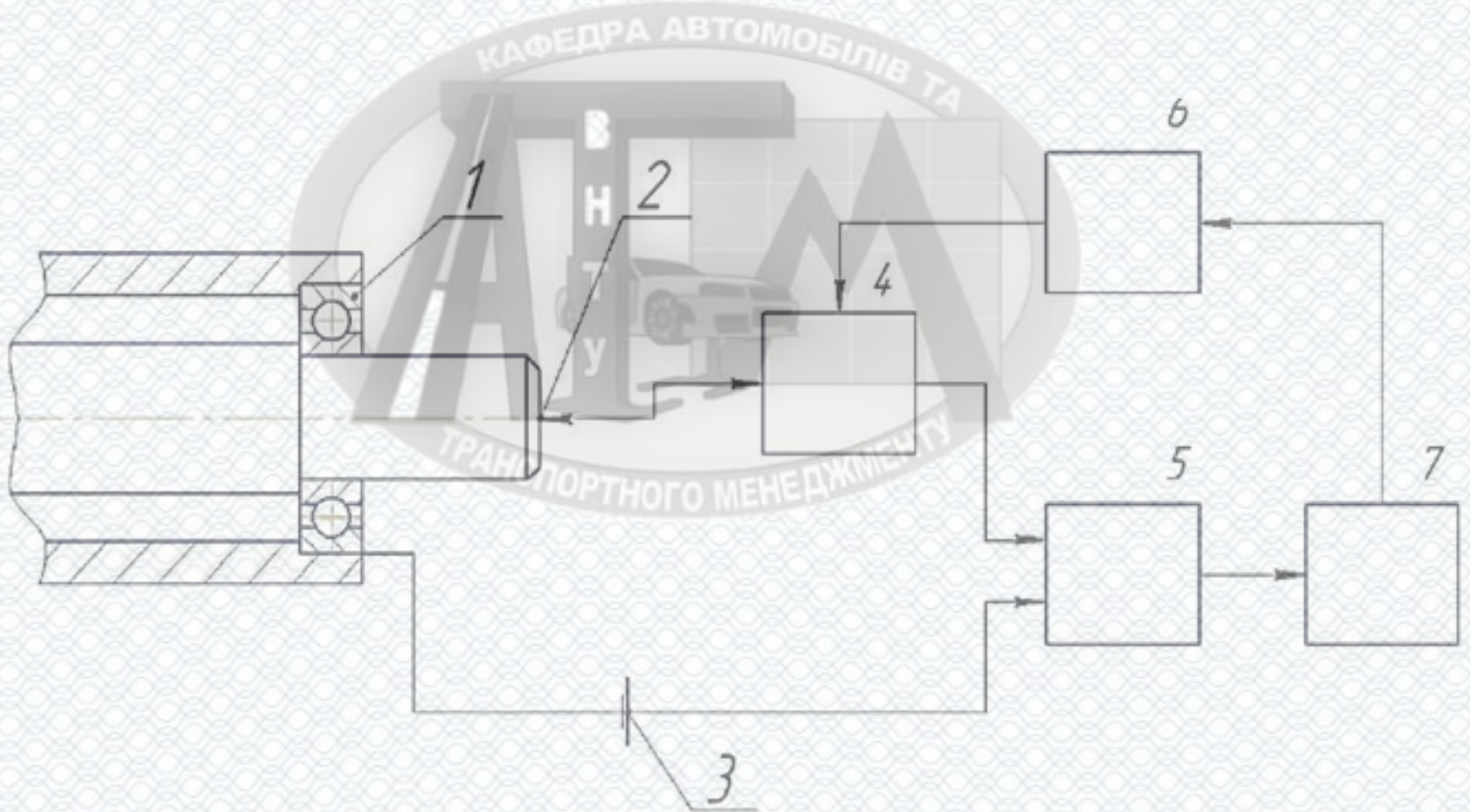
3

- удосконалено математичну модель електрофлуктуаційних і вібраційних процесів в трибоспряженнях підшипника маточини колеса автомобіля, які базуються на залежностях провідності і механічної взаємодії контактуючих тіл, що відрізняються можливістю параметризації локальних дефектів і станом мастильного шару;
- набув подальшого розвитку метод комплексного визначення технічного стану підшипника із застосуванням комплексного параметра, що враховує характеристики електрофлуктуаційних і вібраційних процесів підшипника.

Практичне значення одержаних результатів.

Удосконалена методика визначення технічного стану підшипників маточин коліс автомобіля для використання на підприємствах автосервісу. Розроблено пристрій визначення технічного стану підшипників маточин коліс автомобілів, що дозволяє визначати наявність локальних дефектів, а також стан мастильного матеріалу підшипника автомобіля.

Пристрій вимірювання опору підшипника



1 - підшипник; 2 - струмозійомники; 3 - джерело напруги; 4 - комутатор; 5 - перетворювач «опір-напруга»; 6 - пристрій управління; 7 - ланцюг подальшого перетворення сигналу

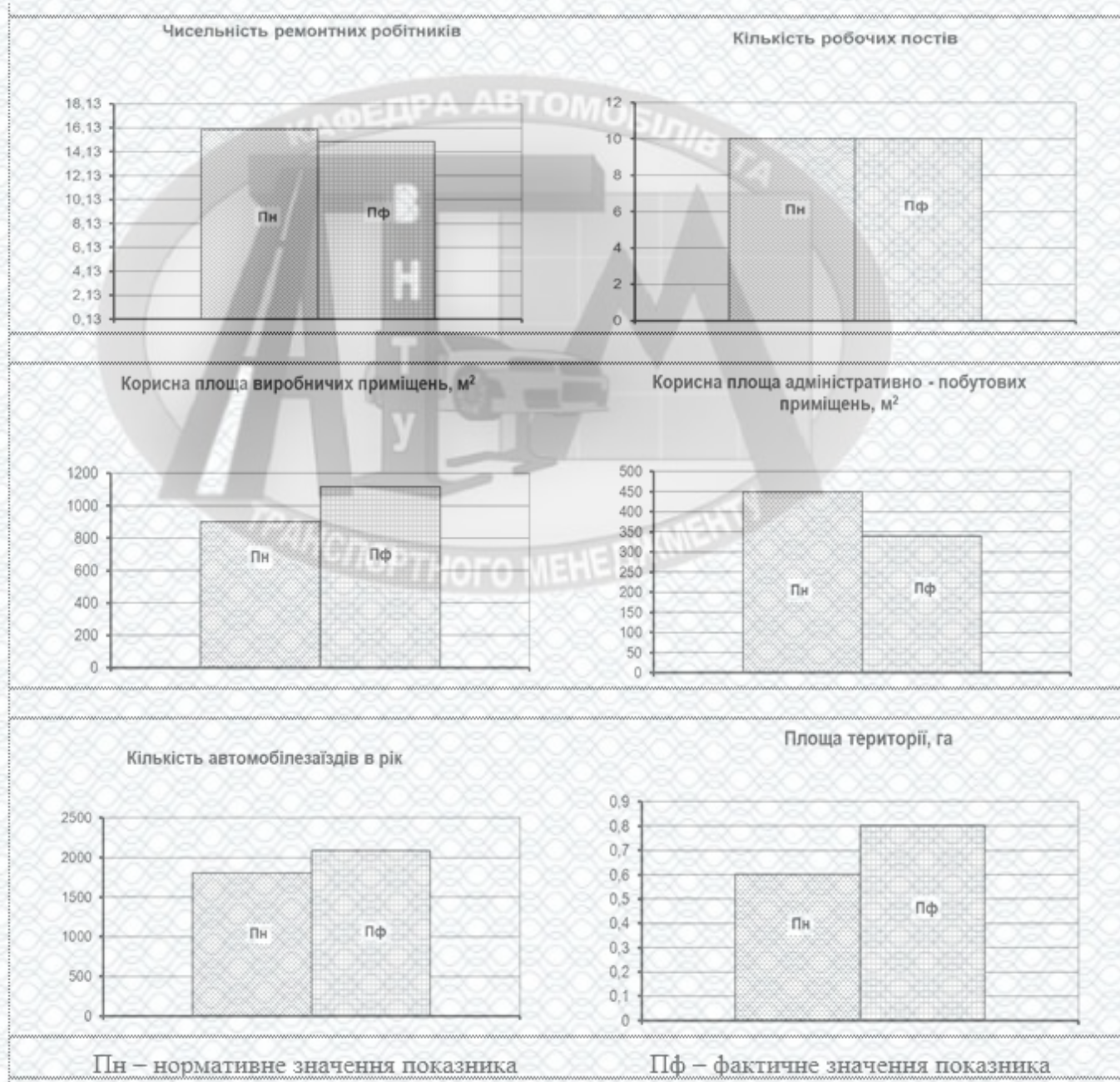
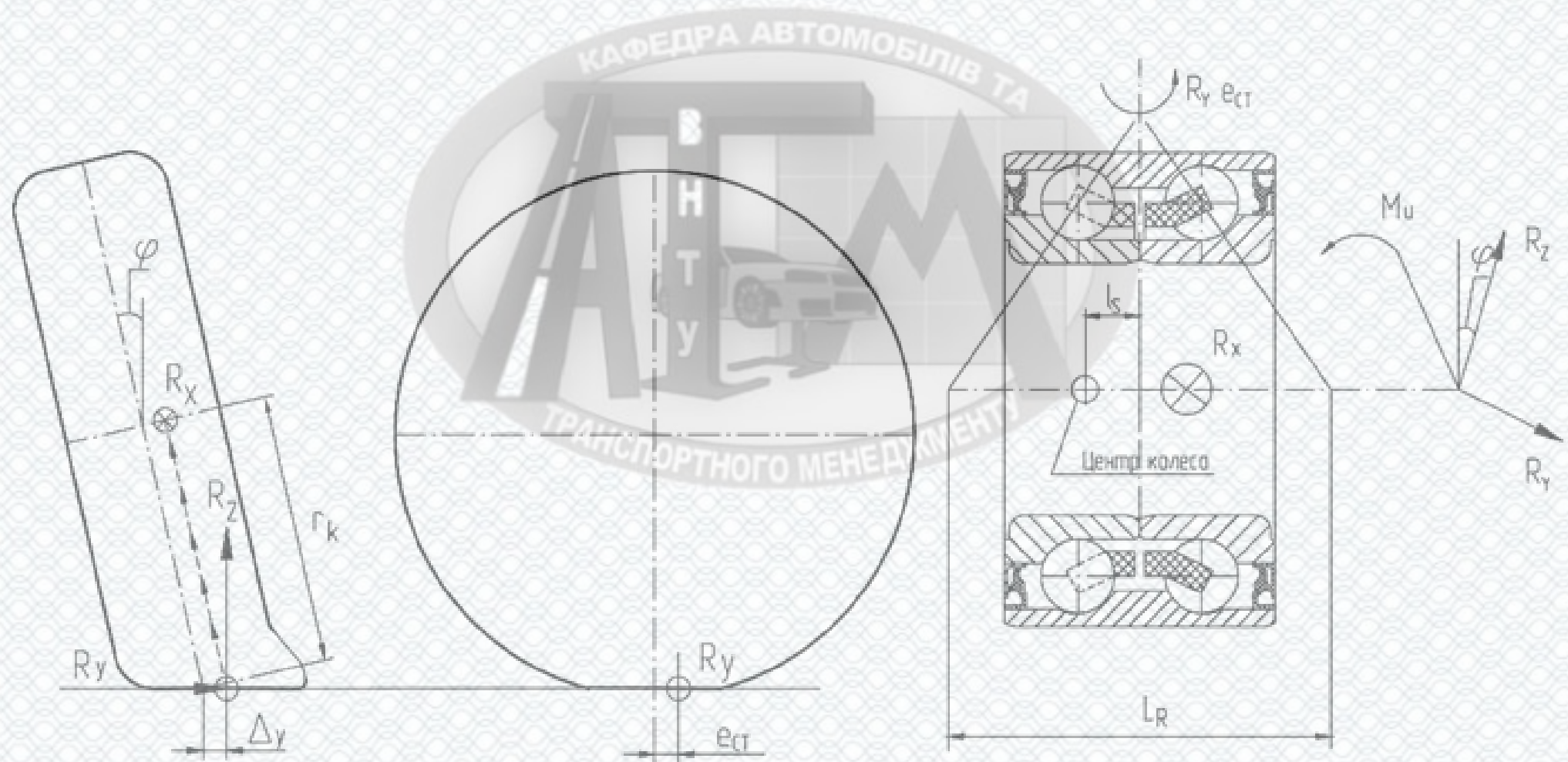


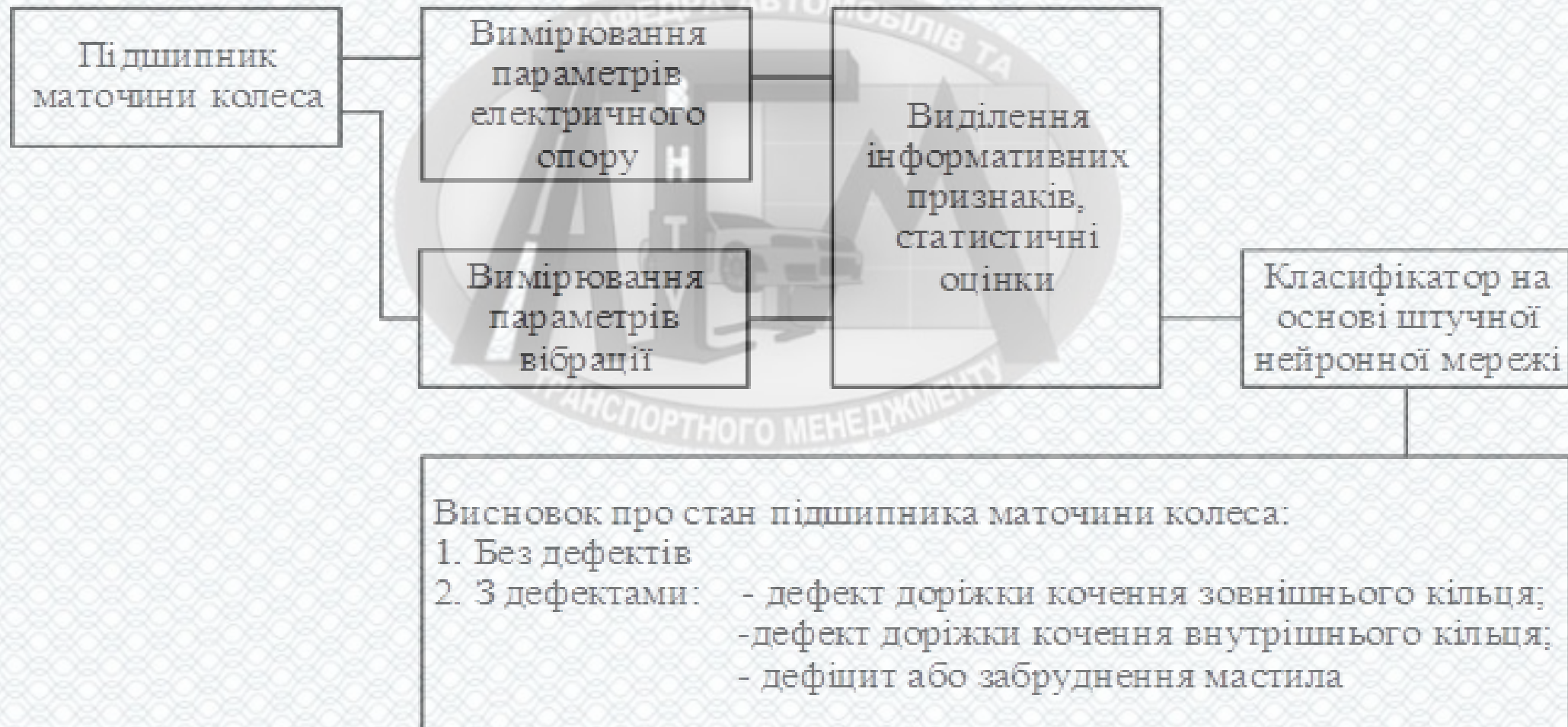
Схема сил, діючих на колесо і підшипник маточини колеса

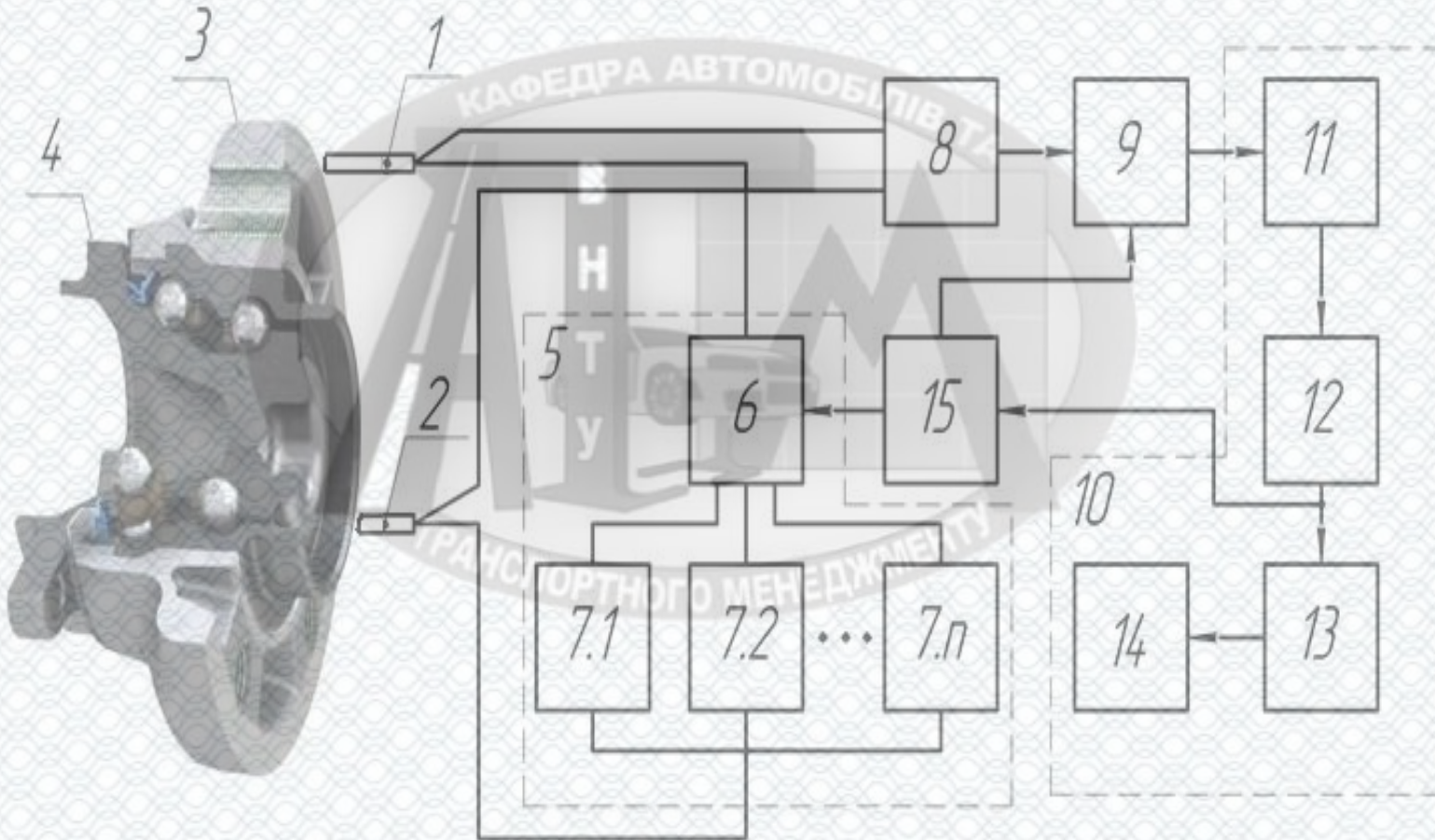


Структура математичної моделі опору підшипника



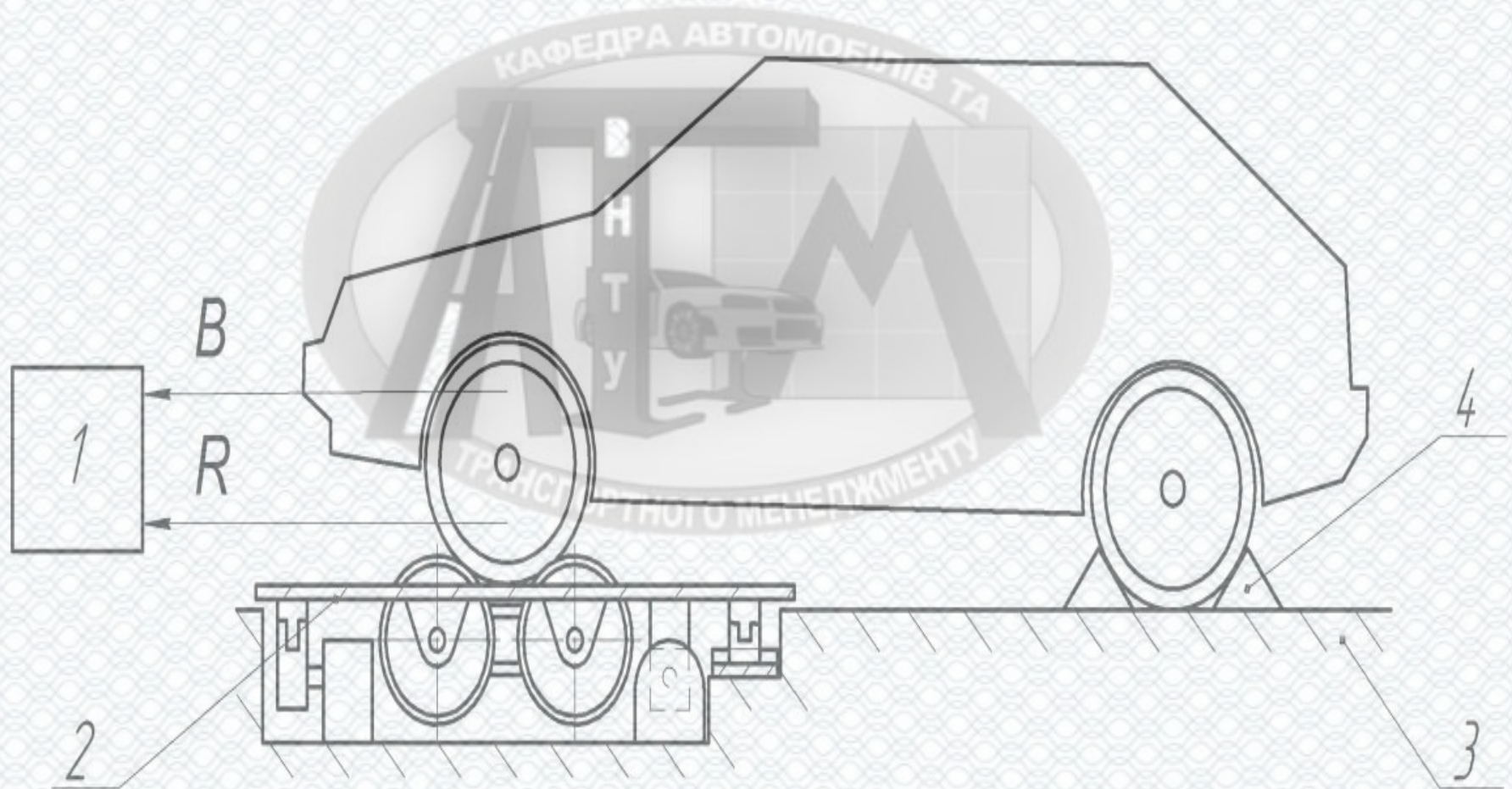
Структурна схема методу визначення технічного стану підшипника маточини колеса





1,2 – струмозйомники, 3 – зовнішнє кільце підшипника, 4 – внутрішнє кільце підшипника, 5 – джерело електричної енергії, 6 – комутатор, 7 – джерело струму, 8 – диференційний підсилювач, 9 – підсилювач зі змінним коефіцієнтом підсилення, 10 – блок вимірювання діагностичного параметру, 11 – УВХ, 12 – АЦП, 13 – дешифратор, 14 – лічильний пристрій, 15 – пристрій управління

Зовнішній вигляд стенду визначення технічного стану підшипника маточини колеса

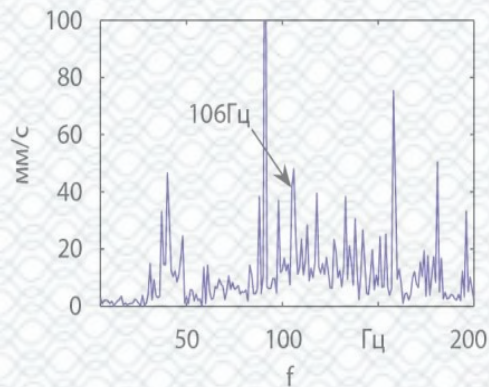
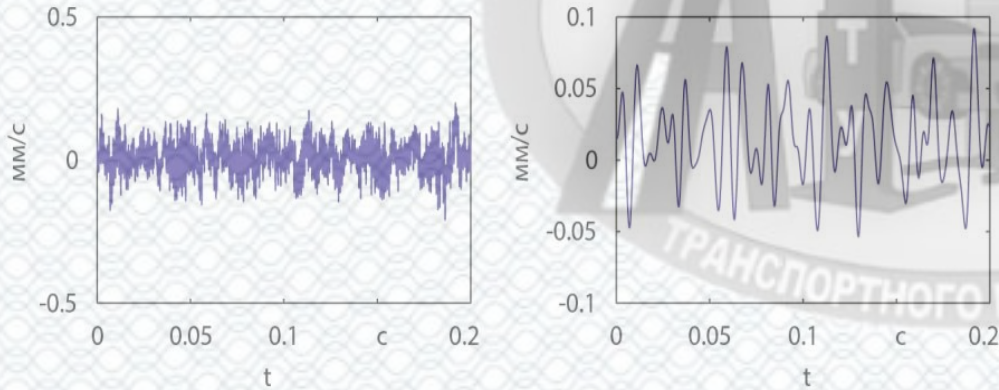


1 – блок збору і аналізу інформації, 2 – рухома опора з біговими барабанами,
3 – основа, 4 – колісні упори

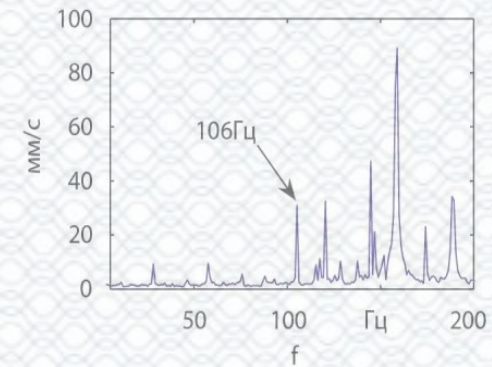
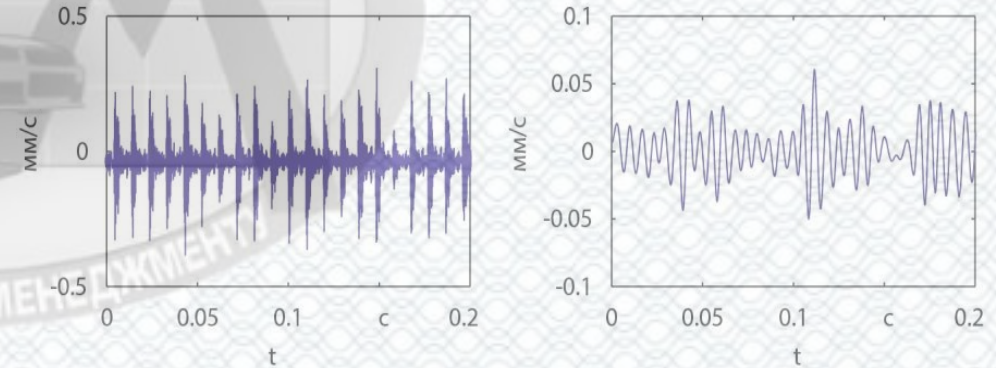
Експериментальна установка



**Експериментальні залежності
віброшвидкості
нового підшипника маточини
колеса**

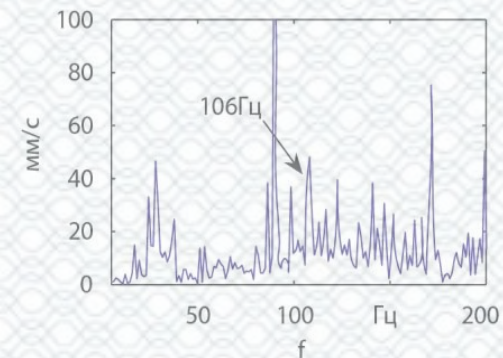
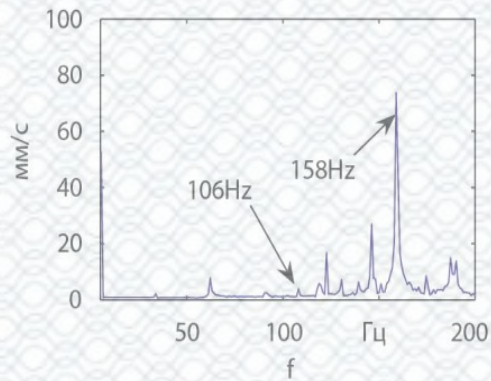
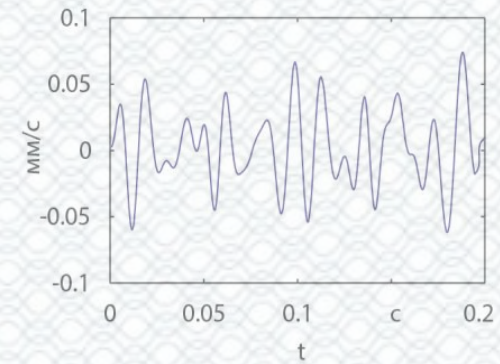
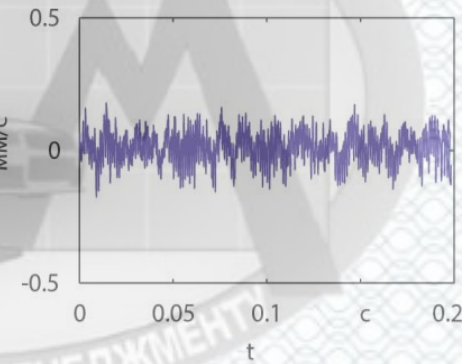
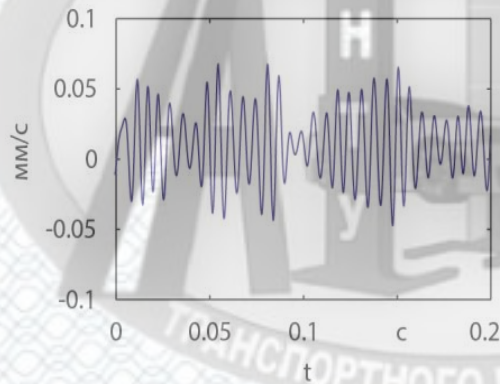
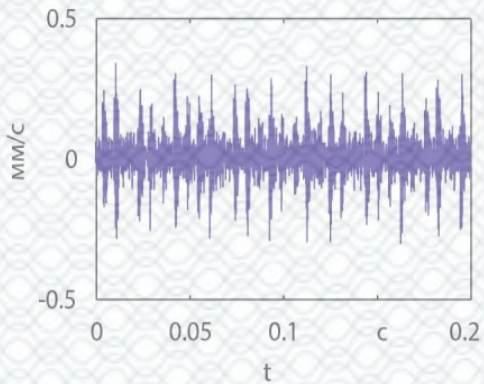


**Експериментальні залежності
віброшвидкості
з локальним дефектом на
зовнішньому кільці**

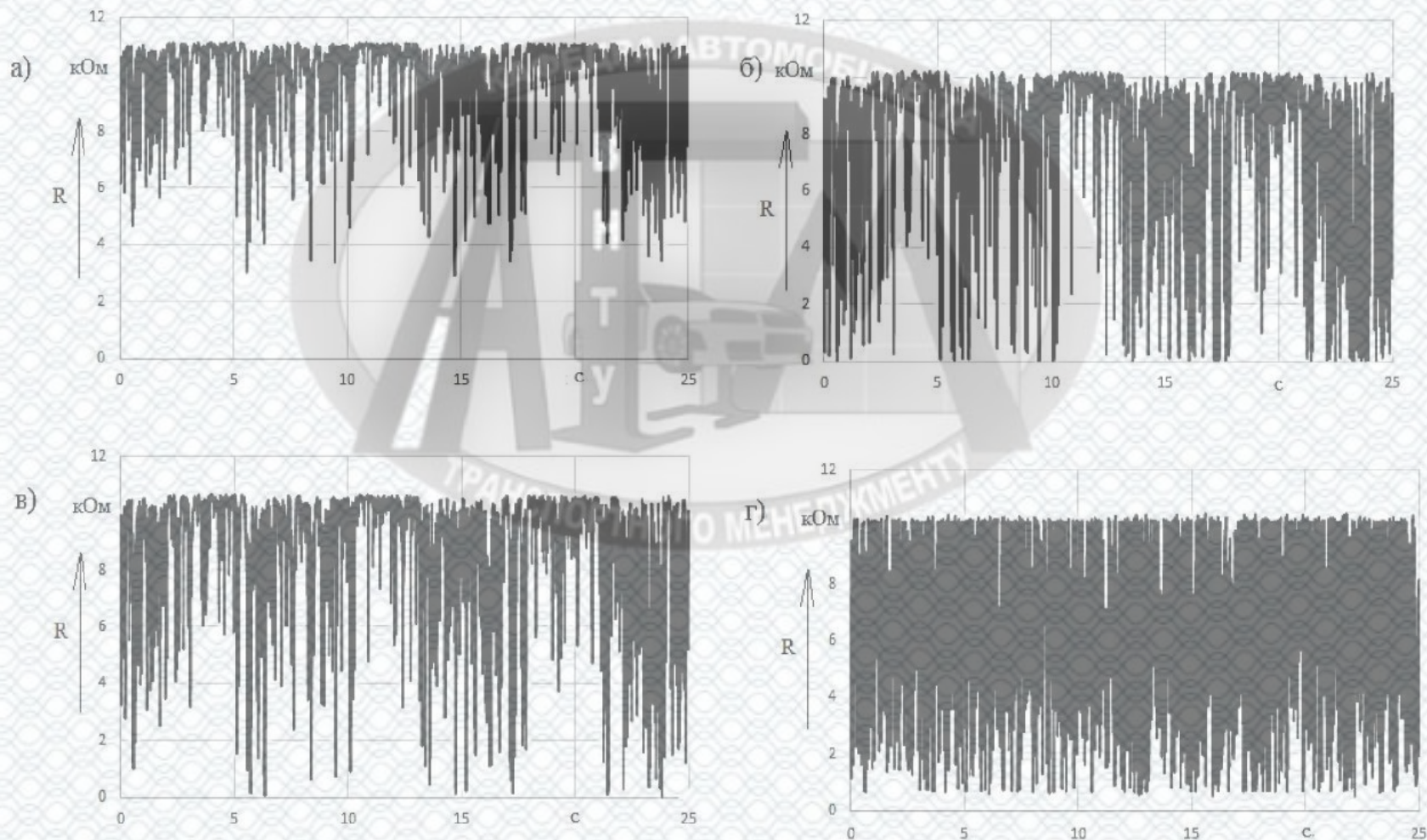


Експериментальні залежності віброшвидкості з недостатньою кількістю мастильного матеріалу

Експериментальні залежності віброшвидкості хвилястості доріжки кочення



Експериментальні залежності опору підшипника маточини колеса



а) новий підшипник; б) підшипник з дефектом зовнішнього кільця;
в) підшипник з хвилястістю; г) підшипник з недостатньою кількістю мастила

Економічний ефект від впровадження методики визначення технічного стану підшипників маточин коліс в умовах СТОа ТОВ «Джерман-Центр»

№	Показник	Од. вим.	Значення
1	Економія за рахунок зниження затрат на позаплановий ремонт, E_{EK}	грн./рік	53859
2	Зменшення витрат на проведення ремонтів при збільшенні періодичності виконання профілактичних технічних впливів, ΔZ_p	грн./рік	16800
3	Зменшення витрат на запасні частини при проведенні технічного обслуговування і ремонтів, $\Delta Z_{зч}$	грн./рік	24840
4	Економія за рахунок виконання додаткового обсягу робіт за рахунок скорочення часу виконання ТО і Р, $\Delta V_{дод}$	грн./рік	12219
5	Економія за рахунок групування операцій ТО, $E_{ТО}$	грн./рік	60399
6	Витрати на визначення технічного стану автомобілів $B_{ВТС}$,	грн./рік	56600
7	Річний економічний ефект, E_P	грн./рік	57658

Додаток Б

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Підвищення ефективності визначення технічного стану підшипників маточин коліс в умовах станції технічного обслуговування автомобілів товариства з обмеженою відповідальністю «Джерман-Центр» місто Вінниця

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра автомобілів та транспортного менеджменту
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

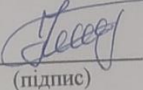
Оригінальність 82 % Схожість 18 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

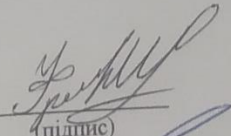
1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

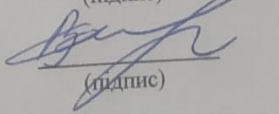
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.

3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку  Цимбал О.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи  Францішко М.О.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи  Огневий В.О.
(підпис) (прізвище, ініціали)