

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет транспорту та механічної інженерії
(повне найменування факультету)
Кафедра автомобілів і транспортних технологій
(повне найменування кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ ЗАДНЬОГО МОСТА
АВТОБУСА ВЕЛИКОГО КЛАСУ

Спеціальність: 274 Автомобільний транспорт

Освітня програма: Автомобільний транспорт

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АТм-21
Денис КОВАЛЮК

Керівник:
к.т.н., доцент
Микола ГАНДЗЮК

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
„_____” _____ 2025 р.

к.т.н., доцент
Гарант освітньої програми:
Олег СІТОВСЬКИЙ

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет транспорту та механічної інженерії
Кафедра автомобілів і транспортних технологій
Ступінь вищої освіти: магістр
Галузь знань: 27 Транспорт
Спеціальність: 274 Автомобільний транспорт
Освітня програма: Автомобільний транспорт

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою автомобілів і
транспортних технологій

_____ В. ОНИЩУК
„_____” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Ковалюку Денису Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи:

Забезпечення роботоздатності заднього моста автобуса великого класу.

Керівник роботи: к.т.н., доцент Гандзюк Микола Олександрович

затверджені наказом закладу вищої освіти від 26 листопада 2025 року №499/01-02.

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «09» грудня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: технічні характеристики автобусів VDL Berkhof Ambassador 200; показники діяльності ТОВ «Бест Ленад Груп».

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

1. Аналіз методів і моделей забезпечення роботоздатності вузлів і агрегатів автобуса.

2. Дослідження процесів формування експлуатаційної надійності автобусів.

3. Оптимізація періодичності профілактичних заміні деталей заднього моста автобуса.

4. Формування оптимальних періодичностей попереджувальних заміні деталей і вузлів заднього моста.

Висновки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

Титульний аркуш, мета дослідження, об'єкт дослідження, предмет дослідження, задачі дослідження, основні результати виконаної роботи, висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання «05» лютого 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Аналіз методів і моделей забезпечення роботоздатності вузлів і агрегатів автобуса.	01.09.2025	
2.	Дослідження процесів формування експлуатаційної надійності автобусів.	01.10.2025	
3.	Оптимізація періодичності профілактичних заміन деталей заднього моста автобуса.	01.11.2025	
4.	Формування оптимальних періодичностей попереджувальних заміन деталей і вузлів заднього моста.	20.11.2025	
6.	Висновки.	28.11.2025	
7.	Підготовка презентації.	01.12.2025	
8.	Захист роботи.	Згідно графіка	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Д. КОВАЛЮК

(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

М. ГАНДЗЮК

(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ковалюк Д.О. Назва теми: Забезпечення роботоздатності заднього моста автобуса великого класу. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Автомобільний транспорт» спеціальності «274 Автомобільний транспорт».

Луцький національний технічний університет.

Луцьк, 2025.

Розрахунково-пояснювальна записка складається із вступу, 4 основних розділів, висновків, переліку джерел посилання та включає 83 сторінки основного тексту, 11 таблиць, 35 рисунків, 16 джерел посилання.

Мета роботи полягає у підвищенні працездатності автобусів великого класу шляхом розробки й використання раціональних режимів проведення попереджувальних замін деталей і вузлів заднього моста.

Завдання дослідження:

- аналіз методів і моделей надійності вузлів та агрегатів транспортних засобів і визначення оптимальних періодичностей виконання ТО та попереджувальних замін;
- класифікація та виділення значущих факторів, що впливають на показники надійності заднього моста автобуса великого класу;
- статистичний аналіз відмов деталей заднього моста, оцінювання параметрів розподілу;
- формування критерію оптимізації та розробка розрахункової процедури оцінювання оптимальної періодичності попереджувальних замін для деталей і вузлів заднього моста. Обґрунтування переліку та оптимальних періодичностей попереджувальних замін для деталей і вузлів заднього моста автобуса великого класу VDL Berkhof Ambassador 200;
- формальний опис процесів управління ТО, ремонтом і попереджувальними замінами в АТП.

Об'єкт дослідження: автобуси великого класу, що використовуються в різних режимах експлуатації для перевезення пасажирів та проходять технічне обслуговування і ремонт в умовах автотранспортного підприємства (АТП).

Предметом дослідження є процеси зміни та відновлення технічного стану заднього моста автобусів великого класу в процесі експлуатації.

Наукова новизна:

- запропоновано класифікацію факторів, що впливають на характеристики надійності заднього моста автобуса великого класу, на основі аналізу взаємодії систем «задній міст» - «зовнішнє середовище»;

- отримано експертні оцінки впливу експлуатаційних і конструктивних факторів на рівень надійності заднього моста автобуса та визначено найбільш значущі з них;

- отримано статистичні характеристики відмов деталей і вузлів заднього моста, для опису й аналізу яких використано моделі надійності Вейбулла;

- запропоновано критерій і модель для визначення раціональних режимів попереджувальних заміन деталей заднього моста автобуса, що ґрунтується на статистичних процедурах оцінювання показників надійності, розрахунку функцій відмов деталей заднього моста.

Апробація результатів роботи. Основні результати дослідження були представлені, обговорені та схвалені на V студентській науково-технічній конференції ФТМІ «Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії», 13 листопада 2025 року, м. Луцьк.

За результатами досліджень опубліковано тези: Ковалюк Д. Актуальність розробки методу оцінки ефективності автобусів по комплексу показників технічної і комерційної експлуатації / Д. Ковалюк // Тези V студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії «Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії». Луцьк: ЛНТУ - 2025 р. - С 330 - 332.

Ключові слова: транспортний засіб, автотранспортне підприємство, автобуси великого класу, технічний стан, попереджувальні заміни, періодичності заміни, технічне обслуговування, поточний ремонт, задній міст, модель надійності, фактори впливу.

ANNOTATION

Kovaliuk D.O. Title of the topic: Ensuring the Serviceability of the Rear Axle of a Large-class Bus. Manuscript.

Master's qualification work of the educational program "Automobile Transport" specialty "274 Automobile Transport."

Lutsk National Technical University.

Lutsk, 2025.

The accounting and explanatory note consists of an introduction, 4 main chapters, conclusions, a list of references, and includes 83 pages of main text, 11 tables, 35 figures, and 16 references.

The aim of the work is to improve the operability of large-class buses by developing and applying rational regimes for preventive replacement of parts and assemblies of the rear axle.

Research tasks:

- analysis of methods and reliability models of vehicle units and assemblies, and determination of optimal periodicities of maintenance and preventive replacements;
- classification and identification of significant factors affecting the reliability indicators of the rear axle of a large-class bus;
- statistical analysis of rear axle part failures and estimation of distribution parameters;
- formation of an optimization criterion and development of a calculation procedure for evaluating the optimal periodicity of preventive replacements for rear axle parts and assemblies. Justification of the list and optimal periodicities of preventive replacements for rear axle parts and assemblies of the large-class bus VDL Berkhof Ambassador 200;
- formal description of processes of maintenance, repair, and preventive replacements in a motor transport enterprise.

Object of research: large-class buses used in various operating modes for passenger transportation and undergoing maintenance and repair in the conditions of a motor transport enterprise (MTE).

Subject of research: processes of change and restoration of the technical condition of the rear axle of large-class buses during operation.

Scientific novelty:

- a classification of factors influencing the reliability characteristics of the rear axle of a large-class bus has been proposed, based on the analysis of the interaction of the “rear axle” - “external environment” systems;

- expert assessments of the influence of operational and design factors on the reliability level of the bus rear axle have been obtained, and the most significant ones identified;

- statistical characteristics of failures of rear axle parts and assemblies have been obtained, described and analyzed using Weibull reliability models;

- a criterion and model have been proposed for determining rational regimes of preventive replacement of rear axle parts, based on statistical procedures for evaluating reliability indicators and calculating failure functions of rear axle parts.

Approbation of results: the main results of the research were presented, discussed, and approved at the V Student Scientific and Technical Conference of the Faculty of Transport and Mechanical Engineering “Innovative Technologies in Transport and Mechanical Engineering,” November 13, 2025, Lutsk.

Based on the research results, the following thesis was published: Kovaliuk D. Relevance of developing a method for evaluating the efficiency of buses by a set of technical and commercial operation indicators / D. Kovaliuk // Abstracts of the V Student Scientific and Technical Conference of the Faculty of Transport and Mechanical Engineering “Innovative Technologies in Transport and Mechanical Engineering.” Lutsk: LNTU - 2025. - pp. 330-332.

Keywords: vehicle, motor transport enterprise, large-class buses, technical condition, preventive replacements, replacement periodicities, maintenance, current repair, rear axle, reliability model, influencing factors.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ І МОДЕЛЕЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ ВУЗЛІВ І АГРЕГАТІВ АВТОБУСА.....	15
1.1 Надійність технічних систем і транспортних засобів.....	15
1.2 Показники надійності та методи їх розрахунку для деталей і вузлів автобуса.....	18
1.3 Вибір методів і моделей діагностики.....	26
1.4 Висновки до розділу 1.....	32
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ АВТОБУСІВ.....	34
2.1 Класифікація та оцінювання впливу експлуатаційних факторів на характеристики надійності заднього моста автобуса.....	35
2.2 Статистичний аналіз відмов основних вузлів заднього моста автобусів великого класу.....	45
2.3 Побудова формальної схеми надійності деталей заднього моста автобуса.....	53
2.4 Висновки до розділу 2.....	54
3 ОПТИМІЗАЦІЯ ПЕРІОДИЧНОСТІ ПРОФІЛАКТИЧНИХ ЗАМІН ДЕТАЛЕЙ ЗАДНЬОГО МОСТА АВТОБУСА.....	56
3.1 Формалізований опис причинно-наслідкових взаємозв'язків відмов вузлів заднього моста.....	56
3.2 Методика оптимізації періодичності профілактичних заміन.....	60
3.2.1 Комплексні показники надійності.....	62
3.2.2 Постановка задачі оптимізації періодичностей попереджувальних заміні.....	63
3.3 Висновки до розділу 3.....	66

4	ФОРМУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПЕРІОДИЧНОСТЕЙ ПОПЕРЕДЖУВАЛЬНИХ ЗАМІН ДЕТАЛЕЙ І ВУЗЛІВ ЗАДНЬОГО МОСТА.....	68
4.1	Методика розрахунку оптимальної періодичності на основі функції потоку відмов.....	68
4.2	Опис технологічних процесів управління ТО і ремонтами.....	75
4.3	Висновки до розділу 4.....	79
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	80
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	82

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АТП - автотранспортне підприємство

ТС - транспортні засоби (автомобілі, автобуси та ін.)

ТО - технічне обслуговування

ПР - поточний ремонт

ТОР - технічне обслуговування і ремонт

ЗМ - задній міст

ПЗ - попереджувальні заміни

ЗЧ - запчастини

МН - модель надійності

ЙБР - ймовірність безвідмовної роботи

СКВ - середньоквадратичне відхилення

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Тематиці забезпечення працездатності агрегатів і вузлів різних типів автомобілів присвячено значну кількість наукових праць. Однак і сьогодні існує багато проблем, які не дозволяють у повній мірі використати всі можливості для підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів (ТЗ). До них належать недостатньо обґрунтована узгодженість проведення технічного обслуговування (ТО), ремонтних робіт і попереджувальних заміन (ПЗ), а також відсутність адекватних, доказово обґрунтованих розрахунків періодичності виконання цих робіт, що мають базуватися на модельних оцінках параметрів моделей надійності з урахуванням сумісного впливу показників надійності окремих деталей на характеристики відмов вузла або агрегату.

Нормування регламентних робіт ТО здійснюється заводами-виробниками, однак обґрунтованість установлених ними періодичностей і переліків операцій ТО публічно не підтверджується. Водночас в Україні розроблено систему державних стандартів, що регламентують методи досліджень і обробки інформації, спрямовані на управління надійністю виробів. Найбільш перспективним і ефективним методом управління надійністю в експлуатації є «надійнісно орієнтоване технічне обслуговування» (RCM), яке являє собою методологію виявлення та вибору політики запобігання і (або) попередження відмов, спрямованої на ефективне забезпечення необхідних показників безпеки, готовності та економічної експлуатації виробів.

Розв'язання завдання підвищення експлуатаційної надійності окремих вузлів, агрегатів і автомобіля загалом можливе шляхом створення інтегрованої методики, яка включає моделі оцінювання надійності, сучасні методи розрахунку періодичностей проведення попереджувальних замінів, узгоджених із періодичностями виконання ТО та заснованих на формальних моделях надійності деталей, вузлів і агрегатів.

Таким чином, дослідження, спрямовані на підвищення рівня працездатності заднього моста (ЗМ) автобусів великого класу, є цілком *актуальними*.

Робочою гіпотезою стало твердження про те, що параметри надійності та ефективність експлуатації заднього моста автобусів залежать від режимів технічного обслуговування і ремонтів та можуть бути підвищені завдяки розробці й застосуванню оптимальних режимів попереджувальних заміन деталей заднього моста.

Об'єктом дослідження є автобуси великого класу, що використовуються в різних режимах експлуатації для перевезення пасажирів та проходять технічне обслуговування і ремонт в умовах автотранспортного підприємства (АТП).

Предметом дослідження є процеси зміни та відновлення технічного стану заднього моста автобусів великого класу в процесі експлуатації.

Мета роботи полягає у підвищенні працездатності автобусів великого класу шляхом розробки й використання раціональних режимів проведення попереджувальних заміन деталей і вузлів заднього моста.

Завдання дослідження:

- аналіз методів і моделей надійності вузлів та агрегатів транспортних засобів і визначення оптимальних періодичностей виконання ТО та попереджувальних замін;
- класифікація та виділення значущих факторів, що впливають на показники надійності заднього моста автобуса великого класу;
- статистичний аналіз відмов деталей заднього моста, оцінювання параметрів розподілу;
- формування критерію оптимізації та розробка розрахункової процедури оцінювання оптимальної періодичності попереджувальних замін для деталей і вузлів заднього моста. Обґрунтування переліку та оптимальних періодичностей попереджувальних замін для деталей і вузлів заднього моста автобуса великого класу VDL Berkhof Ambassador 200;
- формальний опис процесів управління ТО, ремонтом і попереджувальними замінами в АТП.

Наукова новизна роботи полягає в такому:

- запропоновано класифікацію факторів, що впливають на характеристики надійності заднього моста автобуса великого класу, на основі аналізу взаємодії систем «задній міст» - «зовнішнє середовище»;
- отримано експертні оцінки впливу експлуатаційних і конструктивних факторів на рівень надійності заднього моста автобуса та визначено найбільш значущі з них;
- отримано статистичні характеристики відмов деталей і вузлів заднього моста, для опису й аналізу яких використано моделі надійності Вейбулла;
- запропоновано критерій і модель для визначення раціональних режимів попереджувальних заміन деталей заднього моста автобуса, що ґрунтується на статистичних процедурах оцінювання показників надійності, розрахунку функцій відмов деталей заднього моста.

Теоретичне значення роботи полягає в розробленні методичного підходу та методики оптимізації періодичностей попереджувальних заміन деталей вузлів і агрегатів автобуса на основі статистичного оцінювання комплексних показників надійності, а також методики планування попереджувальних замін деталей під час проведення планових технічних обслуговувань із використанням прогнозної моделі інтенсивності експлуатації автобусів.

Практичне значення роботи. Запропоновані у роботі теоретичні положення, методичні підходи та моделі є науковою основою для розроблення заходів з підвищення ефективності експлуатації автобусів і рекомендовані для використання під час розроблення та обґрунтування періодичностей попереджувальних замін деталей вузлів і агрегатів автобусів у поєднанні з проведенням технічного обслуговування.

Апробація роботи. Основні результати дослідження були представлені, обговорені та схвалені на V студентській науково-технічній конференції ФТМІ “Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії”, 13 листопада 2025 року, м. Луцьк.

За результатами досліджень опубліковано тези: Ковалюк Д. Актуальність розробки методу оцінки ефективності автобусів по комплексу показників технічної і комерційної експлуатації / Д. Ковалюк // Тези V студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії «Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії». Луцьк: ЛНТУ - 2025 р. - С 330 - 332.

Структура і обсяг роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів із висновками до кожного з них та загальних висновків. Робота містить 83 сторінки машинописного тексту, включає 11 таблиць, 35 рисунків, перелік джерел посилання із 16 джерел.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ І МОДЕЛЕЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ ВУЗЛІВ І АГРЕГАТІВ АВТОБУСА

Проблему підвищення ефективності використання ТЗ можна розв'язати за рахунок вдосконалення системи управління станом ТЗ у процесі експлуатації, з урахуванням індивідуальних можливостей кожного типу ТЗ. Проблема забезпечення надійності вузлів та агрегатів ТЗ під час експлуатації у різних умов наразі остаточно не вирішена. Недостатня опрацьованість цих питань, у свою чергу, часто призводить до відсутності науково обґрунтованих значень оптимальної періодичності контролю параметрів критичного (найбільш підданого впливу тих чи інших конкретних умов експлуатації) агрегата ТЗ, що має найбільший вплив на працездатність, і в кінцевому результаті - до недостатньої обґрунтованості гнучких стратегій технічного обслуговування (ТО) і поточного ремонту (ПР) в цілому.

1.1 Надійність технічних систем і транспортних засобів

Головна причина зниження показників надійності - це знос і старіння елементів агрегата [1, 2, 3, 4]. При цьому умови експлуатації призначаються так, щоб максимально зменшити знос і старіння. Накопичення зносу і старіння приводять до зростання інтенсивності відмов. Існує оптимум, який визначає раціональний момент відмови від експлуатації агрегата та заміни його на новий. Тривала експлуатація, що перевищує раціональні терміни служби агрегата, економічно не вигідна, а для підтримання необхідної надійності агрегатів реалізується комплекс організаційно-технічних заходів, до яких належать періодичні ТО, відновлювальні та профілактичні роботи. Під час проведення ТО здійснюється діагностика агрегатів, яка спрямована на попередження відмов [4, 5].

Відновлювальні роботи для підтримання заданої надійності реалізуються на основі заміни деталей та вузлів, які не відповідають потрібному рівню надійності.

При цьому кількість ремонтів та відновлювальних робіт визначається виходячи з економічної доцільності подальшої експлуатації агрегата.

Крім того, черговий ремонт не дає можливості відновлення до первісних значень показників надійності; термін експлуатації агрегата після кожного ремонту зменшується, що й визначає необхідність прийняття рішень щодо подальшої експлуатації агрегата. Підтримання автомобілів у справному стані обходиться власнику у середньому 22-26 % собівартості. Разом з тим, внесок рівня працездатності у забезпечення приросту обсягу перевезень, прибутку, продуктивності рухомого складу становить 25-27 %. Рівень працездатності автомобіля в цілому складається із надійності окремих вузлів та агрегатів [6, 7]. Одним із важливих вузлів автомобіля є ведучий міст, який бере участь у передачі крутного моменту від двигуна безпосередньо на колеса [8, 9]. Ведучий міст є дороговартісним агрегатом, відмову якого під час руху може призвести до ДТП із тяжкими наслідками, а його ремонт потребує значних фінансових і трудових затрат та простою автомобілів у ремонті.

У процесі експлуатації на автомобіль та його вузли й агрегати впливає багато факторів, під впливом яких у підсумку формується рівень експлуатаційної надійності цих вузлів, агрегатів і автомобіля в цілому [6]. Для підтримання належного рівня працездатності автомобіля в процесі експлуатації проводяться технічне обслуговування (ТО), діагностика стану вузлів і агрегатів, попереджувальні заміни окремих деталей. Режими технічного обслуговування, включаючи періодичності, перелік виконуваних операцій по кожному виду обслуговування, встановлюються заводом-виробником, як правило, без урахування конкретних умов експлуатації автомобілів [4]. З іншого боку, відомо, що коректування режимів ТО залежно від умов експлуатації є основою ефективної роботи технічної служби автотранспортних підприємств та інших власників з підтримання рухомого складу в працездатному стані [4].

Важливим інструментом підвищення рівня надійності вузлів і агрегатів, рівня працездатності автомобіля є врахування впливу умов експлуатації під час обґрунтування режимів технічного обслуговування [4].

Важливою задачею даної роботи є всебічний аналіз факторів, під впливом яких формується рівень надійності та працездатності ведучих мостів автобусів.

Одним із важливих вузлів у трансмісіях транспортних засобів є редуктор заднього моста, який бере участь у передачі крутного моменту від двигуна внутрішнього згоряння, через КПП і карданний вал, безпосередньо на колеса. Задній міст є важливим і дороговартісним агрегатом, від якого значною мірою залежить ефективність експлуатації автомобіля в цілому (рисунок 1.1).

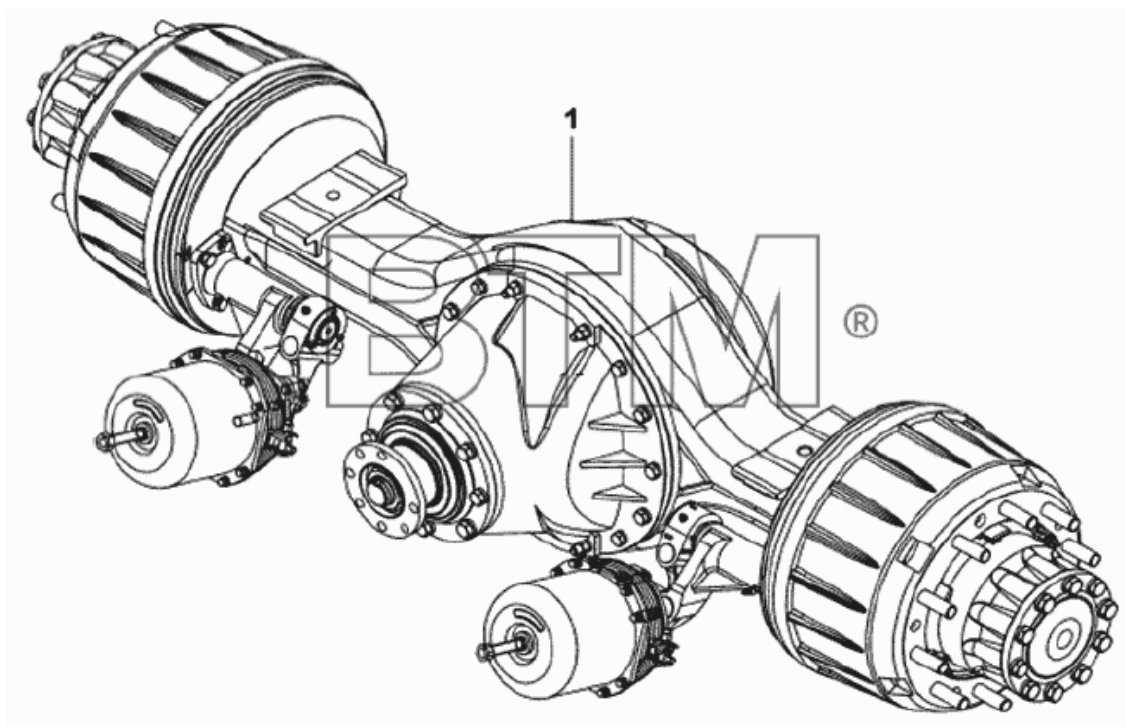


Рисунок 1.1 - Задній міст автобуса

Відмова заднього моста призводить до великих простоїв та економічних втрат, а відмова під час руху може призвести до руйнування заднього моста та ДТП із найтяжчими наслідками. З точки зору забезпечення надійності та ефективності експлуатації редуктора заднього моста (рисунок 1.2) як головного критерію необхідно розглядати ймовірність безвідмовної роботи. Виходячи з цього критерію, потрібно будувати стратегію і тактику технічної експлуатації, обирати перелік параметрів технічного стану, визначати систему підтримання працездатності заднього моста, зокрема визначити основні характеристики такої системи - перелік виконуваних операцій і їх періодичність. Визначення

раціональних режимів підтримання працездатності агрегатів і вузлів автомобіля, як відомо з теорії технічної експлуатації, базується на дослідженні та аналізі показників надійності і процесів зміни технічного стану в реальних умовах експлуатації з урахуванням впливу цих умов, а також методів та характеристик ремонтних і профілактичних впливів на досліджуваний агрегат.

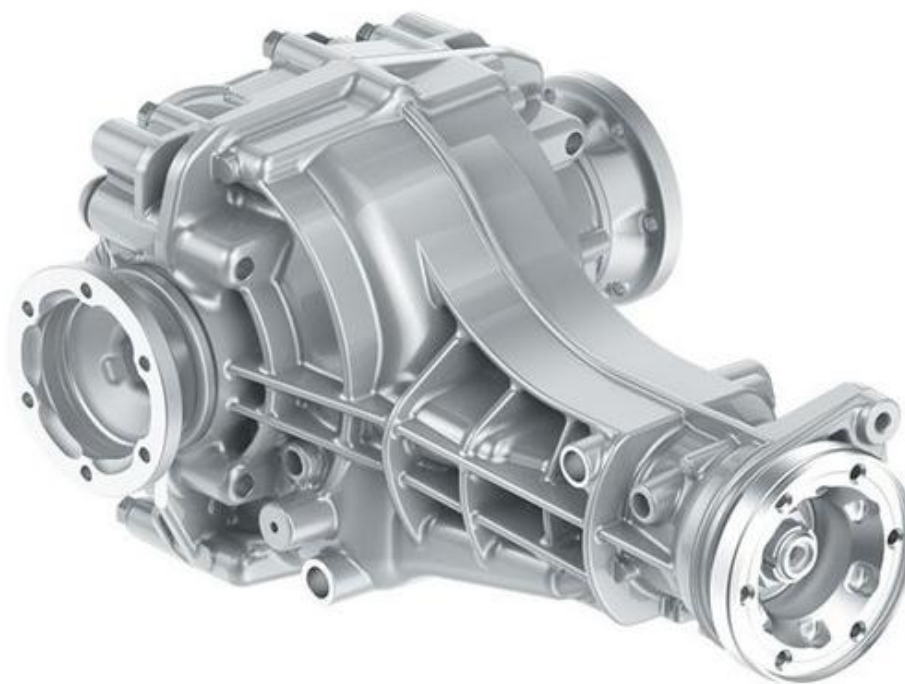


Рисунок 1.2 - Редуктор заднього моста автобуса

Тому на першому етапі дослідження необхідно провести аналіз показників експлуатаційної надійності заднього моста автобуса та умов експлуатації, в яких ця надійність реалізована.

1.2 Показники надійності та методи їх розрахунку для деталей і вузлів автобуса

Проведений аналіз приводить до необхідності використання кількісних показників безвідмовності вузлів, агрегатів та формальних моделей надійності [1, 2, 3, 5, 6].

В загальному випадку, показники надійності визначаються двома способами: статистично - виходячи з наявної статистики напрацювання на відмову деякої кількості $N(t)$ об'єктів до заданого моменту часу t , та теоретично, приймаючи певну аналітичну модель відмов елементів системи.

Далі - ξ - випадкова величина часу напрацювання на відмову;

ξ^i - випадкова величина часу напрацювання на відмову i -го вузла;

ξ^{ji} - випадкова величина часу напрацювання на відмову i -го вузла після j -ї відмови для відновлювальних систем.

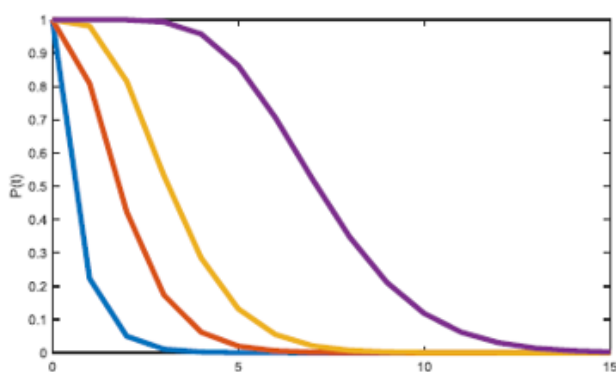
1. *Ймовірність безвідмовної роботи* визначає ймовірність події, яка полягає у відсутності відмов вузла до моменту t . В плані статистичної інтерпретації визначення ймовірності безвідмовної роботи це визначення зводиться до наступного

$$P(t) = \frac{N_p(t)}{N}, \quad (1.1)$$

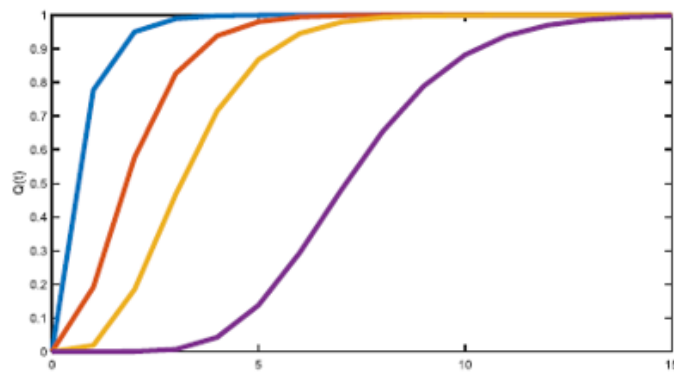
де $N_p(t)$ - кількість справних вузлів на момент t ;

$N=N(0)$ - кількість досліджуваних вузлів.

Природно, що ймовірність безвідмовної роботи будь-якого вузла знижується з плином часу, а сама залежність ймовірності безвідмовної роботи по часу задає спадання його ресурсу (рисунок 1.3а).



а) $P(t)$



б) $Q(t)$

Рисунок 1.3 - Ймовірність безвідмовної роботи і ймовірність відмови

Можна вважати що на початку роботи для справного вузла його ймовірність безвідмовної роботи $P(0)=1$. Звісно, що з часом роботи вузла при $t \rightarrow \infty \Rightarrow P(t) = 0$, тобто ймовірність безвідмовної роботи прагне до нуля.

З одного боку, в визначенні можна говорити про будь-який початковий момент часу (точку початку відліку), вважаючи його нульовим. З іншого боку, можна говорити про ймовірність безвідмовної роботи вузла на деякому заданому інтервалі від t_0 до t .

$$P(t_0, t_0 + t) = P(\xi_1 \geq t_0 + t | \xi_1 \geq t_0) = P(t_0, t_0 + t) / P(0, t) = P(t + t_0) / P(t), \quad (1.2)$$

2. Ймовірність відмови на момент часу t визначається на основі співвідношення

$$Q(t) = \frac{N_0(t)}{N_0} = 1 - P(t), \quad (1.3)$$

де $N_0(t)$ - кількість агрегатів, які відмовили на момент t ;

$N(0)$ - загальна кількість досліджуваних агрегатів.

Залежність ймовірності відмови представляє собою монотонно зростаючу криву (рисунок 1.3б).

Статистична інтерпретація визначень ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності відмови виражається через час напрацювання на відмову всіх досліджуваних об'єктів (рисунок 1.4).

Розглядаючи показники щільності ймовірності відмови та інтенсивності, статистична інтерпретація дещо ускладнена, оскільки необхідно мати статистику відмов на невеликому інтервалі часу. Тому вводяться аналітичні залежності $P(t)$ та $Q(t)$. Причому, оскільки вигляд залежності ймовірності відмови $Q(t)$ має ті ж властивості, що й функція розподілу випадкової величини, то в основному всі теоретичні залежності запозичені з теорії ймовірності.

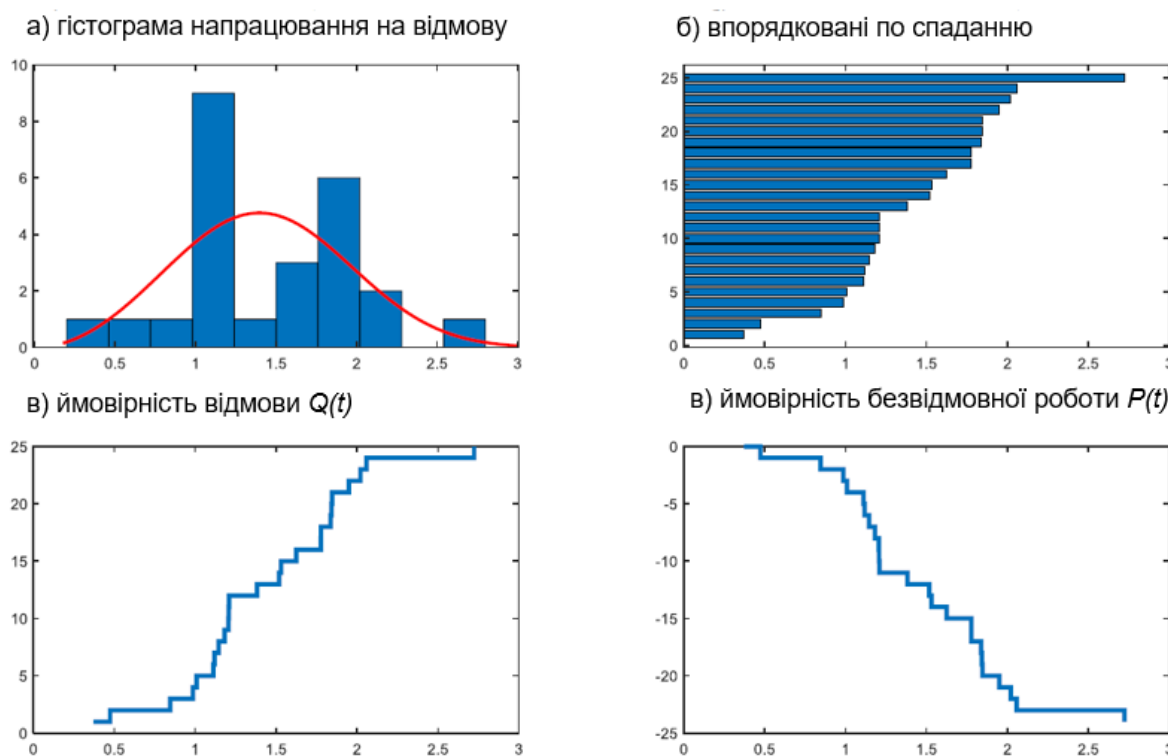


Рисунок 1.4 - Статистична інтерпретація ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності відмови

3. Щільність ймовірності відмови

Аналітично ця характеристика задається як похідна функції ймовірності та узгоджується із щільністю розподілу

$$f(t) = \frac{dQ}{dt}. \quad (1.4)$$

Для надання ймовірності відмови можлива будь-яка функція розподілу випадкової величини $Q(t)=F(t)$. При цьому

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = \frac{dF(t)}{dt}, \quad f(t) = -\frac{dP(t)}{dt}. \quad (1.5)$$

А виходячи із визначень інтеграла і функції щільності

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt, \quad P(t) = \int_t^\infty f(t) dt. \quad (1.6)$$

4. Інтенсивність відмов - визначається на основі

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}, \quad (1.7)$$

де $P(t)$ - імовірність безвідмовної роботи, а $f(t)$ - щільність імовірності.

У результаті можна записати $\lambda t = -\left(\frac{dP(t)}{d(t)} \bigg/ P(t)\right)$ і перейти до інтеграла

$$\int_0^t \frac{dP(\tau)}{P(\tau)} = -\int_0^t \lambda \tau d\tau, \quad \ln P t = -\int_0^t \lambda \tau d\tau. \quad (1.8)$$

У результаті ймовірність безвідмовної роботи та інтенсивність відмов пов'язані співвідношенням

$$P t = \exp\left(-\int_0^t \lambda \tau d\tau\right) \quad (1.9)$$

5. Середнє напрацювання на відмову (рисунок 1.5) визначається на підставі співвідношення

$$T_0 = M \xi, \quad T_0 = \int_0^\infty t \cdot f t dt = \int_0^\infty P t dt. \quad (1.10)$$

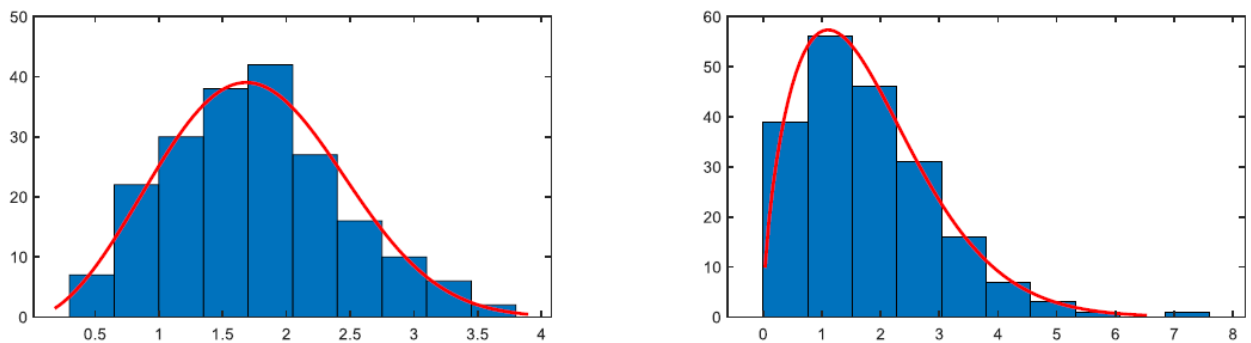


Рисунок 1.5 - Напрацювання на відмову

Цей показник використовують для оцінки надійності невідновлюваних систем і його можна обчислити як

$$T_0 = \int_0^\infty \exp\left(-\int_0^t \lambda \tau d\tau\right) dt. \quad (1.11)$$

Для експоненціального розподілу $T_0 = 1/\lambda$.

Слід зазначити, що для понад 40% різних ситуацій, які визначаються показниками експлуатації транспортних засобів (ТЗ), можливе використання нормального розподілу ймовірностей [10, 11]:

- зазори в зачепленні головної передачі;
- зазори в підшипниках, що визначаються зносом;

- періодичність перших відмов двигуна і ресор;
- зазори між гальмівними колодками і барабаном та інші.

Розподіл Вейбулла [10, 11] також можна використовувати для моделювання відмов значної кількості деталей і вузлів транспортних засобів, а саме:

- шарнірів карданної передачі і рульового приводу;
- руйнування півосей;
- підшипників кочення.

Щільність розподілу Вейбулла є досить гнучкою з точки зору параметризації закону розподілу та записується у вигляді

$$f(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a} \right)^{b-1} \exp \left(- \left(\frac{t}{a} \right)^b \right). \quad (1.12)$$

де a - параметр масштабу;

b - параметр форми.

При значенні b , близькому до 1, розподіл Вейбулла наближається до експоненціального; при $b = 2,5-3,5$ - до нормального. Значення $b < 1$ моделює відмови в період припрацювання. Значення $b > 1$ може бути використане для моделювання напрацювання до відмови, коли транспортний засіб має як період припрацювання, так і період старіння. Двопараметрична функція має досить складний характер (рисунок 1.6).

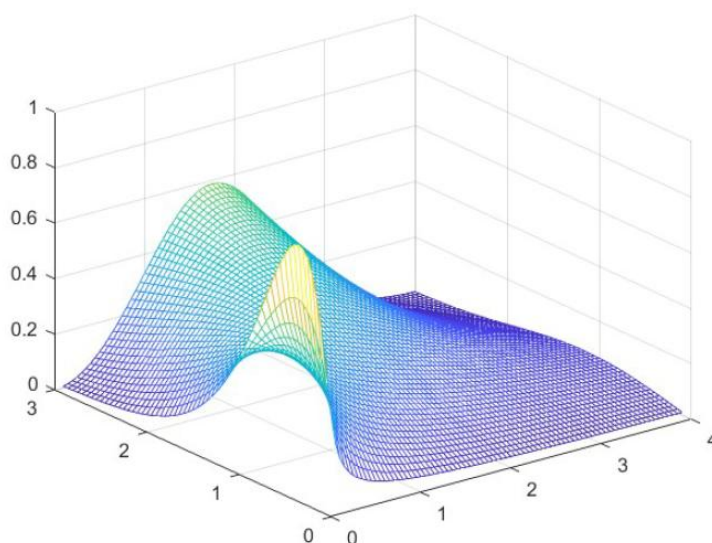


Рисунок 1.6 - Щільність розподілу Вейбулла

Для розподілу Вейбулла (параметри - 1; 1,3; 1,7) залежності інтенсивності відмов λ t від параметрів виглядатимуть інакше (рисунок 1.7).

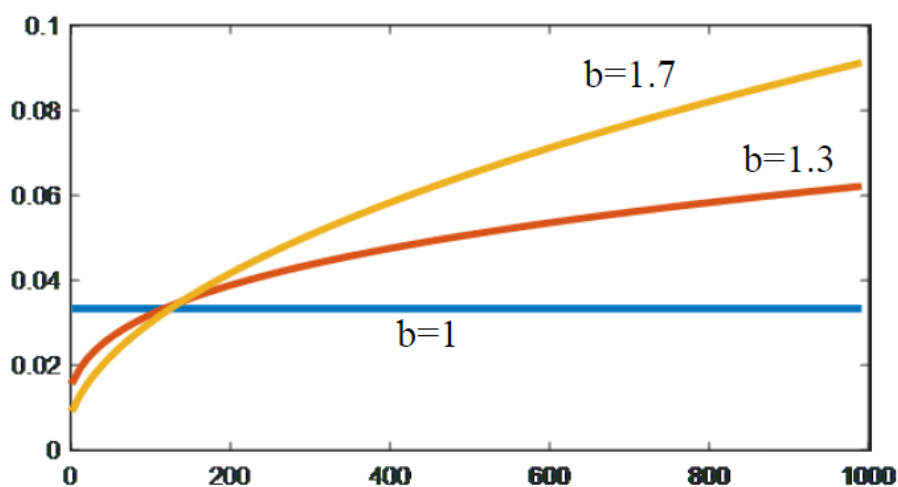


Рисунок 1.7 - Інтенсивність відмов з розподілом Вейбулла

Розподіл Вейбулла також використовують для моделювання поведінки транспортних засобів під час форсованих випробувань на надійність. Крім того, він застосовується для деталей із суттєвою змінністю працездатності протягом строку експлуатації, які, у свою чергу, можуть бути:

- такими, що не лімітують надійність транспортних засобів, і строк їх служби є співставним зі строком експлуатації транспортних засобів;
- такими, що лімітують надійність транспортних засобів і мають строк менший за строк експлуатації транспортних засобів;
- критичними за надійністю, коли строк служби становить від 1 до 20% строку експлуатації транспортних засобів [4, 10, 11].

Під час розрахунку показників надійності використовують схеми надійності, базовими серед яких є послідовні та паралельні. Для цих схем існують різні методи розрахунку залежно від обраних моделей надійності.

Послідовне з'єднання - це множина елементів схеми, коли відмова будь-якого елемента призводить до відмови системи (рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 - Послідовна схема надійності з N елементів

Для послідовного з'єднання ймовірність безвідмовної роботи визначена для довільного моменту часу. Для фіксованого моменту часу t справедлива формула

$$P_s t = \prod_{i=1}^N P_i(t), \quad (1.13)$$

При цьому ймовірність безвідмовної роботи послідовної системи завжди менша за ймовірність безвідмовної роботи найменш надійного елемента системи.

Паралельне з'єднання - це таке з'єднання множини ланок, коли система відмовляє лише у разі відмови всіх ланок (рисунок 1.9).

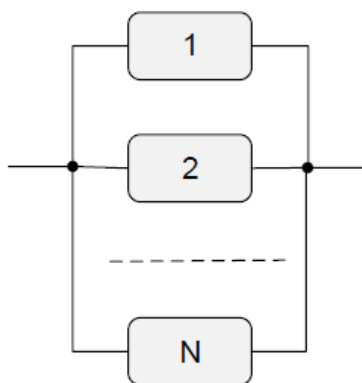


Рисунок 1.9 - Блок-схема паралельного навантаженого резервування.

Для ймовірності безвідмовної роботи паралельного з'єднання повинно виконуватися співвідношення

$$1 - P_s t = \prod_{i=1}^N 1 - P_i(t) \quad \text{або} \quad P_s t = 1 - \prod_{i=1}^N 1 - P_i(t), \quad (1.14)$$

Крім того, ймовірності безвідмовної роботи є функціями часу.

Під час моделювання надійності у вигляді надійнісної схеми, з'єднання вузлів і деталей транспортної системи може бути послідовним, паралельним і комбінованим (рисунок 1.10).

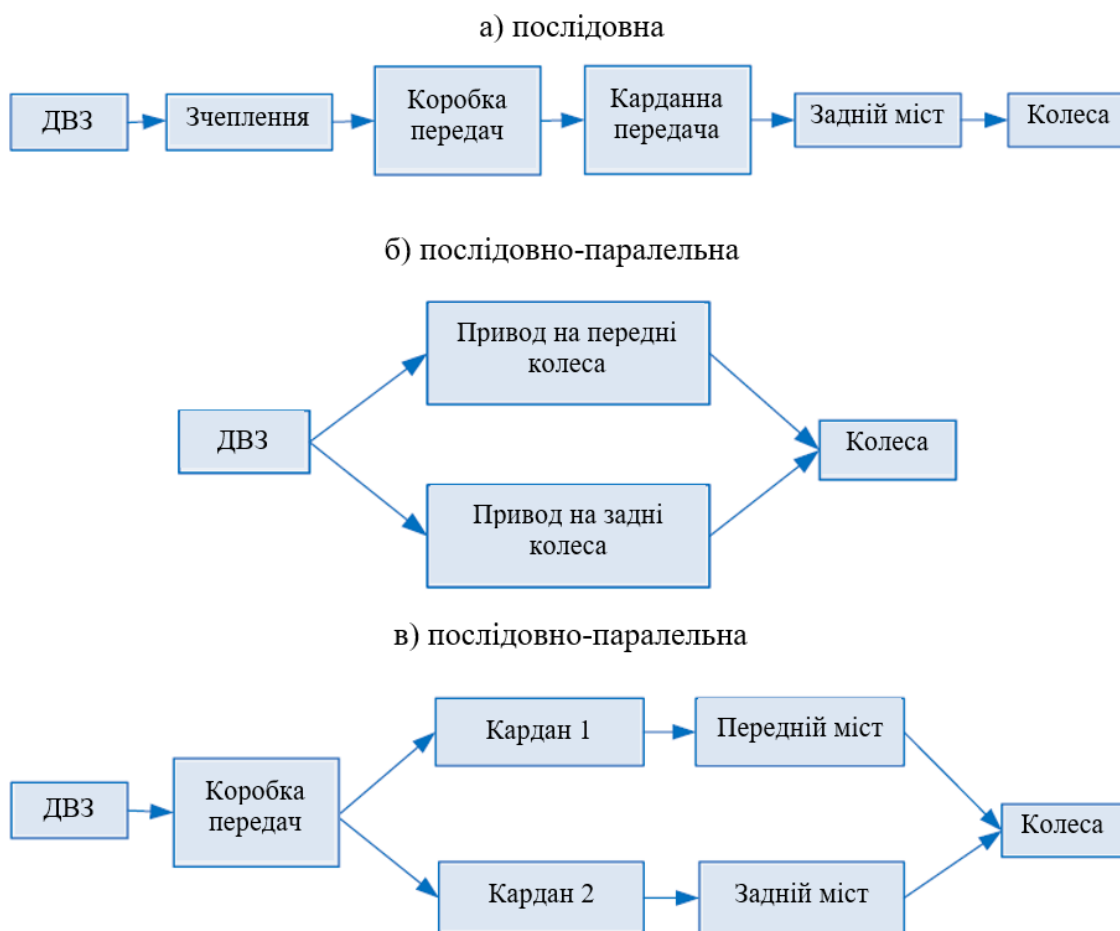


Рисунок 1.10 - Різні схеми надійності транспортних засобів

Методи розрахунку паралельно-послідовних з'єднань ґрунтуються на поетапному виділенні в їхній загальній схемі окремо послідовних і окремо паралельних підсхем, зі заміною їх одним елементом з обчисленими показниками надійності за правилами розрахунку паралельних і послідовних схем.

Тобто на всіх етапах використовуються одні й ті самі формули для розрахунку послідовного або паралельного з'єднання.

1.3 Вибір методів і моделей діагностики

Вибір адекватної моделі діагностики значною мірою визначає сам метод розв'язання поставленої задачі, а також значення точності, що досягається під час такого розв'язання.

Під час формування моделі необхідно ідентифікувати стан автомобіля та віднести його до одного з класів, а саме:

D' - стани, у яких об'єкт є працездатним;

D'' - стани, що відповідають відмовам.

При цьому виконується

$$\bigcup_j D_j = D \quad D_k \cap D_i = 0 \quad \forall i \neq j \quad (1.15)$$

А це означає відсутність таких станів D , які не охоплені запропонованою класифікацією.

До дієвих моделей діагностики можна віднести математичні моделі та граф-моделі.

Математична модель являє собою формальне подання об'єкта, яке використовується для розв'язання відповідного завдання діагностики і може бути оформлене у вигляді алгебраїчних або диференціальних рівнянь, таблиць, емпіричних формул, графіків, матриць та інших засобів і методів, що описують характеристики об'єкта. У загальному випадку процес формування діагнозу можна подати у вигляді лінійної схеми (рисунок 1.11).



Рисунок 1.11 - Процес оцінювання технічного стану

Так, сформовані діагностичні математичні моделі не лише описують зв'язки між діагностичними показниками та станом ТЗ, але й спрямовані на формування конструктивних алгоритмів діагностики [4, 5, 7]. Широкого застосування набули матричні алгоритми. Вони достатньо ефективні для об'єктів з невеликою кількістю діагностичних показників. Найчастіше їх використовують у межах задачі встановлення попереднього діагнозу, оскільки діагностичні пристрої працюють за детерміністичною логікою або жорсткою програмою. Така простота

детерміністичної логіки часто не дає можливості сформулювати достовірний діагноз, оскільки необхідне повне співпадіння діагностичних показників, а певна невідповідність призводить до нерозв'язної ситуації і зумовлює потребу застосування додаткових евристичних правил.

Аналітичні моделі [5, 7] спрямовані на розв'язання оптимізаційних задач та формування залежностей між діагностичними показниками і станами ТЗ в аналітичній формі. Під час розв'язання задач діагностики таких складних об'єктів, як транспортні засоби, математичне моделювання певною мірою ускладнене через складність формування аналітичних залежностей між несправностями у вузлах ТЗ та відповідними їм зовнішніми ознаками. Однак математичне моделювання дає свої результати. Крім того, реалізуються моделі ймовірності відмов, а також широко застосовуються різні закони розподілу відмов і моделі надійності залежно від пробігу ТЗ або часу напрацювання.

Ймовірнісні методи ґрунтуються на понятті ймовірності появи дефектів у вузлах ТЗ для випадків наявності певних значень діагностичних показників. Як правило, для оцінювання ймовірності дефектів застосовують формулу Байєса, яка пов'язує апіорні та апостеріорні ймовірності діагностичних показників і станів транспортного засобу

$$P(A/B) = \frac{P(A)P(B/A)}{\sum P(C)P(B/C)} \quad (1.15)$$

де A - визначає дефект;

B - діагностичний показник;

$P(B/C)$ - оцінка ймовірності окремих дефектів залежно від сукупності ознак для відповідного дефекту.

У результаті з'являється можливість формалізованого процесу ідентифікації дефекту за умов невідповідності діагностичних показників.

Метод граф-моделей [12] ґрунтується на застосуванні теорії графів і теорії відношень. Цей метод дає змогу суттєво зменшити обсяг розрахунків за достатньо адекватної точності розв'язання.

Теорія розпізнавання образів [13] також достатньо ефективно використовується в задачах технічної діагностики. Ця теорія ґрунтується на пошуку вирішальної функції, яка формується на основі ретельного аналізу об'єкта та задовольняє умови:

$f(X) \geq 0$, коли об'єкт належить до однієї групи;

$f(X) < 0$, коли об'єкт належить до іншої групи.

1.3 Методи і моделі забезпечення працездатності транспортних засобів

Завдання забезпечення роботи транспортного засобу в цілому та окремих вузлів і агрегатів є одним з основних завдань будь-якого автотранспортного підприємства.

У загальному випадку має місце така схема зміни стану працездатності транспортного засобу (рисунок 1.12), коли ТЗ переходить із початкового справного стану в несправний, але працездатний, у непрацездатний і граничний стан, у якому подальша експлуатація ТЗ або недоцільна, або неприпустима [1, 2, 5, 6].

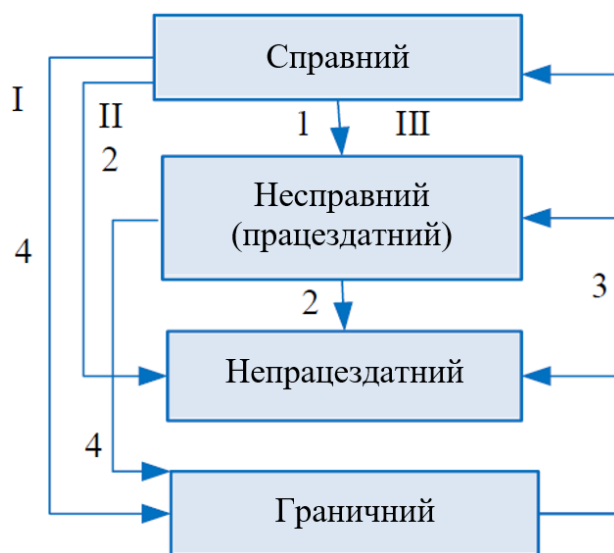


Рисунок 1.12 - Схема основних технічних станів

Із несправного стану ТЗ може перейти у непрацездатний або граничний, а з непрацездатного - у граничний. З точки зору дефектів на рисунку прийнято такі позначення: малозначний дефект (III), значний дефект (II) і критичний дефект (I).

При цьому переходи за схемою пов'язані з пошкодженням (1), відмовою (2), ремонтом (3) або - у разі виникнення критичного дефекту - переходом у граничний стан (4).

Ціллю діагностики є дослідження множини різних станів ТЗ для формування оцінки його стану, яка суттєво впливає на можливу подальшу експлуатацію ТЗ [1, 2, 5, 6].

Оцінки значень діагностичних параметрів за якісними характеристиками можуть бути такими: поточні, номінальні, допустимі та граничні (рисунок 1.13).

Представлена шкала якісних значень діагностованого параметра відповідає перехідному графу станів ТЗ, де:

I - справне;

II - передвідмовне (працездатне, але несправне);

III - непрацездатне.

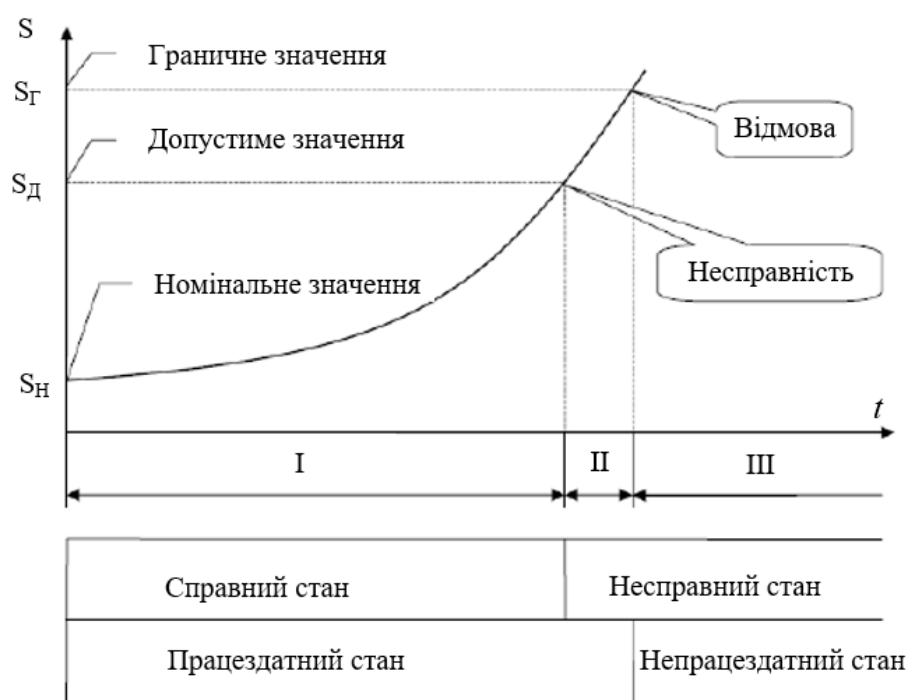
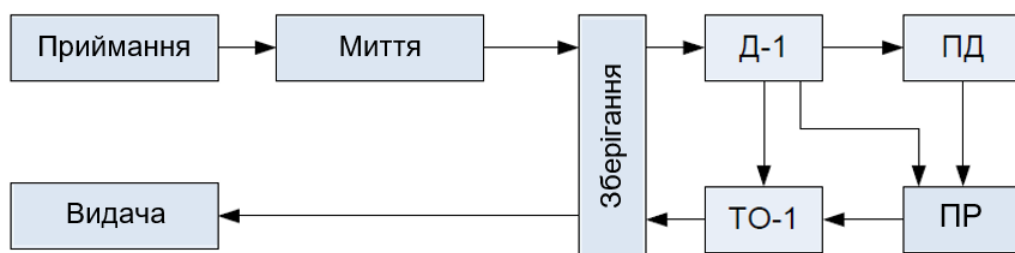


Рисунок 1.13 - Шкала якісних показників

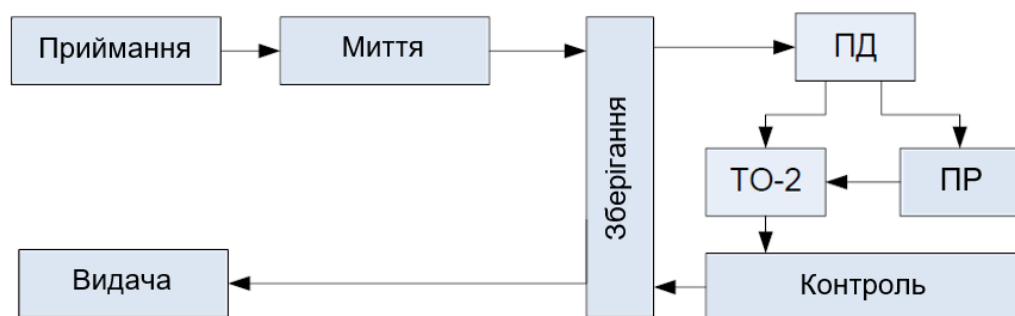
Очевидно, що технічне обслуговування (ТО) найбільш істотно впливає на працездатність ТЗ. Залежно від концентрації підприємств і структури парку ТО-1 може виконуватися як централізовано [4], так і в пересувних ремонтних майстернях (рисунок 1.14).



ПД - поелементна діагностика; Д-1 - загальна діагностика

Рисунок 1.14 - Схема виконання ТО-1

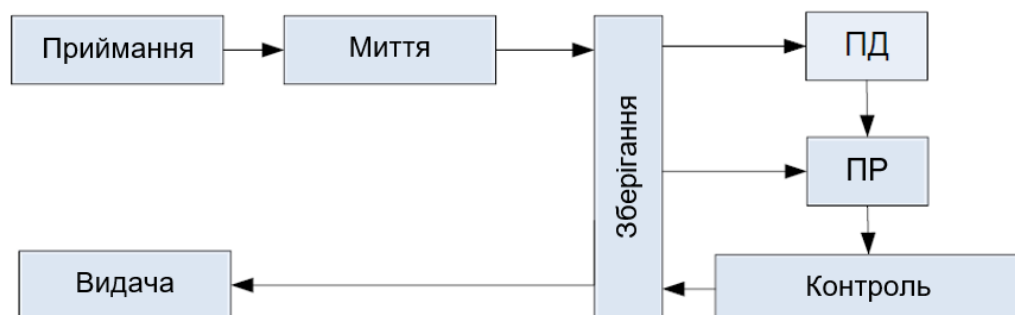
ТО-2 виконується на дільниці, що входить до складу підрозділу ТО. Переважно ТО-2 здійснюється на поточних лініях (рисунок 1.15). Після виконання ТО-2 транспортні засоби прямують на перевірку якості до служби технічного контролю.



ПД - поелементна діагностика

Рисунок 1.15 - Схема виконання ТО-2

Ремонтні роботи виконуються підрозділами ПР. На основі аналізу заявлених робіт разом із діагностичними результатами обирають маршрут обслуговування ТЗ по постах [4], а також строки початку і завершення робіт (рисунок 1.16).



ПД - поелементна діагностика; ПР - поточний ремонт

Рисунок 1.16 - Схема виконання ПР

Після приймання ТЗ проходять мийку. Залежно від характеру несправності транспортний засіб направляють або на поелементну діагностику, де визначають несправні агрегати, або безпосередньо в зону ремонту.

На основі проведеного системного аналізу досліджень у галузі надійності вузлів і агрегатів ТЗ для підвищення працездатності автобусів планується:

- розроблення класифікації факторів та проведення експертизи для виділення значущих факторів, що впливають на характеристики надійності заднього моста автобуса;

- виконання робіт з оцінювання інтенсивності відмов деталей і вузлів заднього моста автобуса для побудови таблиць показників надійності.

Формування моделей підвищення працездатності заднього моста автобуса:

- побудова та розрахунок схеми надійності заднього моста автобуса (використовується під час формування циклів попереджувальних замін);

- формування переліку причинно-наслідкових зв'язків втрати працездатності окремих вузлів заднього моста автобуса, побудова формальної граф-схеми взаємозв'язку параметрів відмов;

- оптимізаційна постановка задачі розрахунку періодичності попереджувальних замін на основі комплексних показників технічної готовності за допомогою функцій, побудованих на основі таблиці показників надійності за моделлю Вейбулла;

- статистичний аналіз даних щодо пробігу автобусного парку;

- формальний опис процесів управління ТО, ремонтом і попереджувальними замінами на автотранспортному підприємстві.

1.4 Висновки до розділу 1

1. Проведено аналіз джерел за темою роботи. Сформульовано основні напрями розвитку за представленою тематикою.

2. Проведено аналіз основних положень теорії надійності технічних систем і ТЗ. Показано, що основні проблеми полягають у зношуванні та старінні

деталей. Розглянуто теоретичні аспекти теорії надійності. Наведено співвідношення для оцінювання основних показників надійності.

3. Проведено аналіз найбільш застосовуваних методів діагностики. Показано, що об'єднання всієї сукупності методів в єдину послідовність суттєво підвищує імовірність визначення несправності.

4. Проведено аналіз методів забезпечення працездатності ТЗ. Показано, що працездатність може бути суттєво підвищена за рахунок розрахунків характеристик надійності та визначення доцільної періодичності ТО й попереджувальних заміन.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ АВТОБУСІВ

У другому розділі розглядаються питання оцінювання значущості факторів системи «ТЗ - навколишнє середовище» та їх вплив на характеристики надійності заднього моста автобуса, а також наведено результати статистичного аналізу відмов основних деталей і вузлів заднього моста автобусів великого класу.

Задній міст є одним із базових вузлів автомобіля, що передає крутний момент від коробки передач через карданний вал, з'єднуючи задні колеса однією віссю між собою. Диференціал забезпечує можливість обертання задніх коліс з різною швидкістю (рисунок 2.1). Крім того, він є опорою для задньої частини автомобіля. Задній міст кріпиться до кузова або рами за допомогою задньої підвіски.

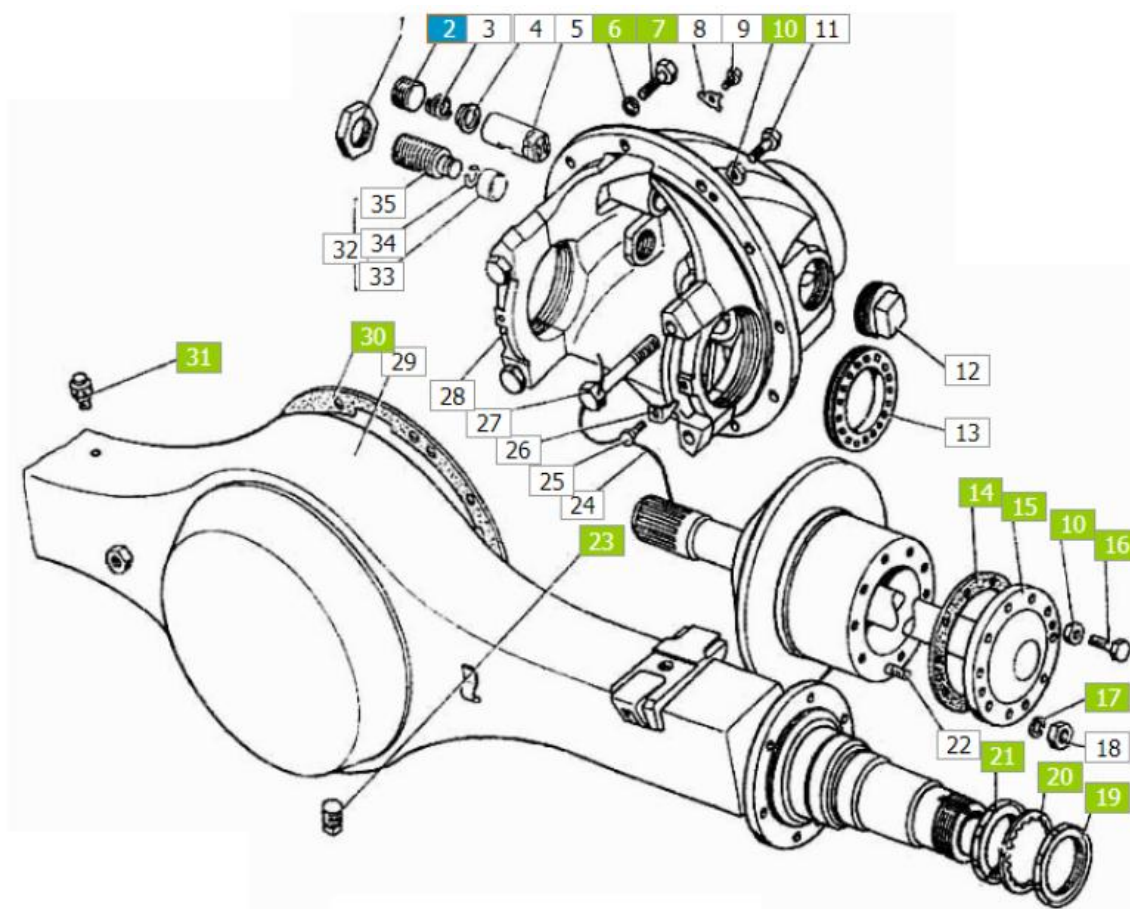


Рисунок 2.1 - Конструктивна схема заднього моста

Основними вузлами заднього моста є:

- півосі;
- штампований кожух (корпус);
- центральний редуктор;
- дві колісні передачі;
- диференціал.

Однак у межах аналізу відмов та збору статистики для проектування схеми надійності використовуватимемо найменш надійні вузли.

2.1 Класифікація та оцінювання впливу експлуатаційних факторів на характеристики надійності заднього моста автобуса

У рамках формалізованого представлення впливу зовнішніх факторів під час експлуатації транспортних засобів на характеристики надійності й відмови в роботі розглядається абстрактна система взаємодії двох об'єктів «Автобус - зовнішні умови» (рисунок 2.2) [4].

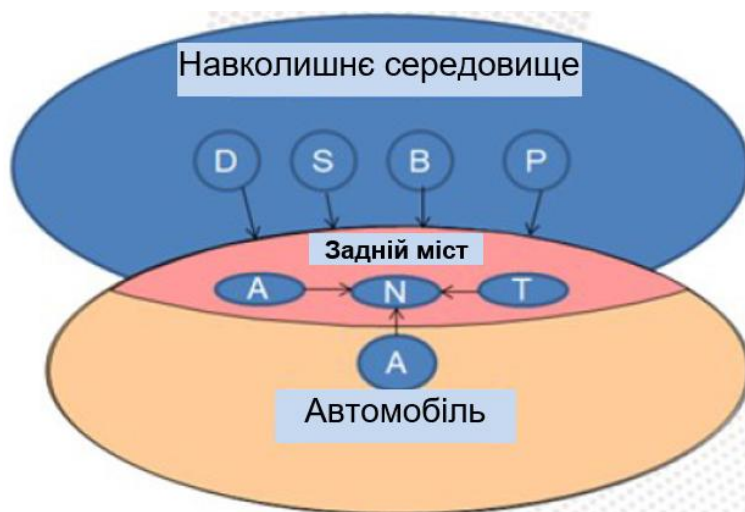


Рисунок 2.2 - Вплив експлуатаційних факторів на надійність заднього моста автобуса

Як показники надійності, що необхідно враховувати у цій взаємодії, доцільно вибрати ймовірність відмови, напрацювання на відмову, коефіцієнт технічної готовності та інші загальноприйняті [1, 2, 3, 5].

У роботі передбачається, що значення показників надійності заднього моста формуються під впливом таких груп факторів:

1. Конструктивні особливості (автомобіль): $A_v = \{A_{v1}, A_{v2}, \dots, A_{vn}\}; a_i \in A_v$
2. Дорога: $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}; r_i \in R$
3. Система ТО і ремонту: $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}; t_i \in T$
4. Навантаження (інтенсивність експлуатації): $BR = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}; b_i \in BR$
5. Кліматичні умови: $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}; s_i \in S$
6. Водій: $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}; p_i \in P$

На основі вивчення практичного досвіду працівників автотранспортних підприємств, розроблено класифікацію із 30 основних експлуатаційних факторів, що суттєво впливають на показники надійності ведучих мостів автобусів.

I. Конструктивні особливості транспортного засобу

1. Конструкція заднього моста
2. Конструкція двигуна
3. Конструкція та характеристики коробки передач
4. Конструкція та характеристики карданного валу
5. Конструкція та характеристики підвіски

II. Система ТО і ремонту

6. Періодичність видів технічного обслуговування
7. Склад операцій за видами обслуговування
8. Якість експлуатаційних матеріалів
9. Якість і регулярність виконання операцій ТО
10. Якість встановлюваних запасних частин
11. Своєчасність постачання запасних частин

III. Кліматичні умови

12. Кліматична зона
13. Сезон експлуатації
14. Наявність опадів
15. Температура повітря

IV. Дорога

16. Якість дорожнього покриття
17. Категорія дороги
18. Мікрорельєф
19. Макрорельєф
20. Звивистість маршрутів
21. Дорожня розмітка
22. Наявність бруду, снігу
23. Інтенсивність транспортних потоків

V. Навантаження (інтенсивність експлуатації)

24. Середня швидкість руху
25. Завантаження автобусів
26. Середньодобові пробіги

VI. Водій

27. Кваліфікація
28. Вік
29. Психофізіологічні якості
30. Мотивація

У сукупності наведені фактори охоплюють різні за природою параметри: прості й складні, залежні та незалежні між собою, керовані, частково керовані та лише враховувані. Наприклад, фактори множин A_v , N , S , D належать до групи враховуваних; множини BR , P - частково керованих; множина T (система ТО та ремонту) - до керованих факторів. Така класифікація є важливою, оскільки дає змогу визначити, на які фактори слід впливати, щоб підвищити рівень експлуатаційної надійності заднього моста.

Основною метою досліджень є підвищення експлуатаційної надійності заднього моста автобусів шляхом коригування режимів їх технічного обслуговування, насамперед періодичностей.

Це завдання може бути вирішено методом визначення оптимальної періодичності за допустимим рівнем безвідмовності. Як критерій доцільно використовувати ймовірність безвідмовної роботи, що пов'язана із середнім напрацюванням до відмови [3, 10, 11]:

$$P_d\{x_i \geq L_{to}\} \geq R_d, \quad (2.1)$$

де: x_i - напрацювання до відмови;

L_{to} - періодичність ТО;

R_d - допустима ймовірність безвідмовної роботи.

Для вузлів, не пов'язаних із безпекою руху, зазвичай приймають $R_d = 0,85-0,90$.

Залежність напрацювання до відмови від умов експлуатації може бути визначена методами регресійного аналізу, аналізу головних компонент, тощо

$$X = f(A, N, T, S, D, BR, P). \quad (2.2)$$

Отримані залежності є інструментом для розробки та ухвалення управлінських рішень у сфері технічної експлуатації автомобілів, зокрема рішень щодо коригування періодичності профілактичних впливів на задній міст автобуса.

Тому нам необхідно:

- формалізувати залежності показників надійності й працездатності заднього моста від умов експлуатації;
- розробити рекомендації щодо коригування періодичності технічного обслуговування;
- розробити рекомендації із планово-попереджувального ремонту задніх мостів автобусів.

Для виділення значущих факторів було проведено експертизу [14]. Послідовність дій подано у вигляді блок-схеми (рисунок 2.3).

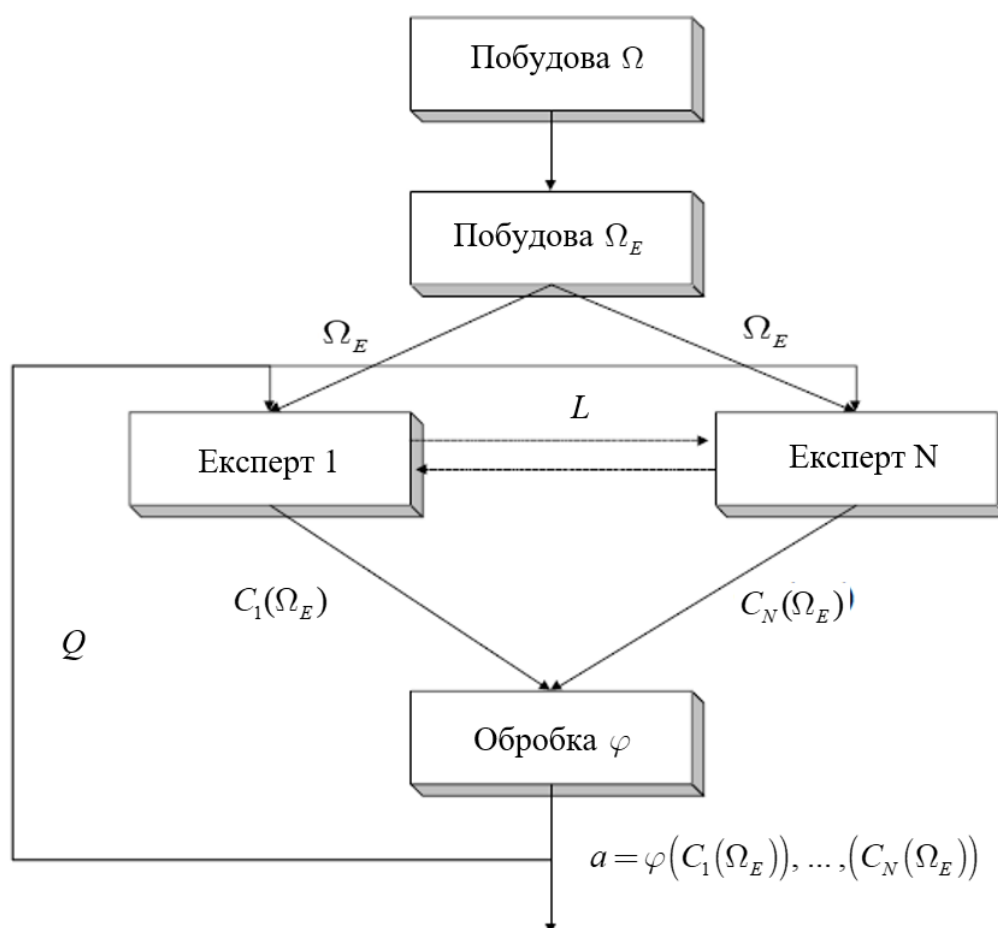


Рисунок 2.3 - Схема проведення експертизи

Параметри експертизи:

Ω - вихідна множина допустимих оцінок;

Ω_E - множина допустимих оцінок експертів;

L - взаємодія між експертами;

Q - зворотний зв'язок;

φ - обробка (відображення $\Omega_{EN} \rightarrow \Omega$).

У ній брали участь 15 експертів - спеціалістів у сфері технічної експлуатації транспортних засобів. Експертиза здійснювалась методом ранжування. Причому розрахунки здійснювалися як за строгим, так і за нестрогим ранжуванням. Для цих методів Ω є множиною усіх перестановок, $\Omega_E = \Omega$, Q = «відсутній», L = «ізолювані».

Форма експертного опитування дещо відрізняється від класичної: експерт не розставляє ранги, а сортує фактори, позначаючи рівнозначні групи кольором. Чим вище на сторінці розташований фактор, тим вищий його ранг (рисунк 2.4).

Наприклад:

.....

27. Водій - Кваліфікація водія;

29. Водій - Психо-фізіологічні якості 2

22. Дорога - Наявність бруду, снігу;

18. Дорога - Мікрорельєф;

19. Дорога-Макрорельєф;

11. ТО - Своєчасність поставок запасних частин

2. Конструкція - Конструкція двигуна;

3. Конструкція - Характеристики коробки передач;

4. Конструкція - Характеристики карданного валу;

.....

Рисунок 2.4 - Форма експертного опитування

Таблиця 2.1 - Ранги факторів

Експерти	Фактори			
	«1»	«2»	«...»	«N»
1	rang_{11}	rang_{12}	...	rang_{1n}
2	rang_{21}	rang_{22}	...	rang_{2n}
...				
N	rang_{N1}	rang_{N2}	...	rang_{Nn}
$\sum \text{rang}$	rang_1	rang_2	...	rang_n

Як наведено нижче, загалом розглядалося 30 факторів. У зв'язку з цим, максимальний ранг дорівнює 30, а мінімальний - 1. Якщо у разі суворого ранжування кожен фактор у кожного є свій індивідуальний ранг, то у разі несуворого ранжування рівнозначним групам призначається ранг, рівний середньо-арифметичному значенню по групі [14].

В результаті проведення експертизи сформовано таблицю результатів опитування всіх експертів (таблиця 2.2). Остання таблиця перетворена у формі

таблиці 2.2, по якій проводилася обробка результатів за допомогою стандартних алгоритмів.

Таблиця 2.2 - Відсортована таблиця факторів

№ фактора	Номер експерта														
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15
Ф1	1	1	1	6	2	2	2	1	1	1	2	1	1	3	2
Ф2	12	12	8	13	12	15	14	12	8	9	8	11	10	12	10
Ф3	11	14	13	11	11	11	9	13	11	12	12	16	12	13	8
Ф4	18	13	12	12	15	16	11	11	14	13	17	13	13	17	13
Ф5	10	15	17	16	17	12	15	15	16	17	14	18	15	15	15
Ф6	16	11	15	17	13	13	13	14	13	16	15	14	16	8	14
Ф7	17	18	18	14	16	17	18	18	18	15	16	12	14	14	17
Ф8	15	16	14	18	14	14	16	16	17	14	13	15	17	16	16
Ф9	3	2	2	2	4	3	2	2	2	3	1	2	3	1	1
Ф10	4	5	3	1	1	1	4	3	3	2	4	6	4	4	6
Ф11	14	9	10	9	10	5	12	9	10	10	10	8	9	11	11
Ф12	19	21	20	15	18	18	17	17	15	19	18	21	19	18	18
Ф13	13	17	16	19	19	20	20	21	19	18	19	17	18	23	19
Ф14	28	26	28	30	28	29	27	23	25	27	26	28	23	26	29
Ф15	21	23	21	22	20	21	22	19	21	20	20	20	25	20	21
Ф16	25	27	26	28	24	27	25	26	28	24	27	26	24	25	23
Ф17	23	24	24	21	25	22	21	24	24	28	23	25	21	22	24
Ф18	5	6	11	10	6	10	10	8	5	6	11	10	11	9	12
Ф19	6	10	7	7	9	8	7	10	12	11	9	9	5	7	9
Ф20	24	25	25	24	27	24	24	28	22	23	25	24	27	24	22
Ф21	27	22	23	26	26	23	28	27	27	26	24	27	26	27	26
Ф22	9	8	9	8	5	7	5	6	9	8	7	7	7	10	7
Ф23	20	19	19	23	23	26	23	22	26	21	22	19	22	19	27
Ф24	26	29	27	25	21	25	26	25	23	25	29	23	29	28	25
Ф25	2	7	6	3	3	4	3	5	6	5	5	4	2	2	3
Ф26	22	20	22	20	22	19	19	20	20	22	21	22	20	21	20
Ф27	7	3	4	4	8	6	6	4	4	7	3	3	8	5	5
Ф28	30	30	30	27	30	30	30	30	29	29	30	29	30	29	30
Ф29	8	4	5	5	7	9	8	7	7	4	6	5	6	6	4
Ф30	29	28	29	29	29	28	29	29	30	30	28	30	28	30	28

Першим кроком всі N факторів упорядковуються у відповідності із значенням рангу $rang_{ij}$.

Причому порядок рангів складається на підставі величин суми рангів.

$$rang_i = \sum_{j=1}^M rang_{ij}. \quad (2.3)$$

Як середній беремо

$$Srang_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n rang_{ij} = \frac{M \cdot m + 1}{2}. \quad (2.4)$$

Для оцінки узгодженості думок експертів використовується коефіцієнт конкордації, що визначається за формулою

$$W = \frac{12 \cdot \sum_{j=1}^M \left(rang_i - \frac{1}{2} M \cdot m + 1 \right)^2}{M^2 \cdot m^3 - m}. \quad (2.5)$$

де n_i - кількість рівнорангових груп, визначених i -м експертом,

t_{ij} - число дробових рангів у кожній j -ій групі, визначених i -м експертом.

В результаті обробки отримали $W = 0,89$, що говорить про досить хорошу узгодженість думок експертів.

Для більш детального аналізу в роботі сформовано таблицю статистичних оцінок основних факторів: середнє, дисперсія, коефіцієнт варіації (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 - Оцінка статистичних параметрів експертами

№ фактора	Описувальна статистика (Prior_Per_3)							
	Кількість оцінок експертів	Середнє	Медіана	Мінімум	Максимум	Дисперсія	Статистичне відхилення	Коефіцієнт варіації
Ф1	15	1.73	1	1	6	1.78	1.33	76.99
Ф2	15	11.07	12	8	15	4.78	2.19	19.76
Ф3	15	11.8	12	8	16	3.74	1.93	16.4
Ф4	15	13.87	13	11	18	4.98	2.23	16.09
Ф5	15	15.13	15	10	18	4.12	2.03	13.42
Ф6	15	13.87	14	8	17	5.12	2.26	16.32
Ф7	15	16.13	17	12	18	3.7	1.92	11.92
Ф8	15	15.4	16	13	18	1.97	1.4	9.12
Ф9	15	2.2	2	1	4	0.74	0.86	39.18
Ф10	15	3.4	4	1	6	2.69	1.64	48.2

Продовження таблиці 2.3

№ фактора	Описувальна статистика (Prior_Per_3)							
	Кількість оцінок експертів	Середнє	Медіана	Мінімум	Максимум	Дисперсія	Статистичне відхилення	Коефіцієнт варіації
Ф11	15	9.8	10	5	14	3.89	1.97	20.11
Ф12	15	18.2	18	15	21	3.17	1.78	9.78
Ф13	15	18.53	19	13	23	5.27	2.29	12.38
Ф14	15	26.87	27	23	30	4.27	2.07	7.69
Ф15	15	21.07	21	19	25	2.21	1.49	7.06
Ф16	15	25.67	26	23	28	2.38	1.54	6.01
Ф17	15	23.4	24	21	28	3.54	1.88	8.04
Ф18	15	8.67	10	5	12	5.95	2.44	28.15
Ф19	15	8.4	9	5	12	3.69	1.92	22.86
Ф20	15	24.53	24	22	28	2.98	1.73	7.04
Ф21	15	25.67	26	22	28	3.24	1.8	7.01
Ф22	15	7.47	7	5	10	2.12	1.46	19.52
Ф23	15	22.07	22	19	27	7.21	2.69	12.17
Ф24	15	25.73	25	21	29	5.64	2.37	9.23
Ф25	15	4.0	4	2	7	2.57	1.6	40.09
Ф26	15	20.67	20	19	22	1.24	1.11	5.38
Ф27	15	5.13	5	3	8	3.12	1.77	34.43
Ф28	15	29.53	30	27	30	0.7	0.83	2.82
Ф29	15	6.07	6	4	9	2.5	1.58	26.04
Ф30	15	28.93	29	28	30	0.64	0.8	2.76

Використовуючи дані таблиці 2.3 ми маємо можливість відсортувати фактори за різними критеріям, наприклад по середньому значенню (таблиця 2.4). Це дасть змогу усі 30 факторів розставити у чіткій послідовності: від фактора, що має найбільший вплив (найбільш значимий) на рівень експлуатаційної надійності заднього моста, до фактора, вплив якого найменший (найменш значимий).

Таблиця 2.4 - Впорядкована таблиця оцінок експертів

Фактор	Середнє	Медіана	Мінімум	Максимум	Дисперсія	Середньоквадратичне відхилення	Коефіцієнт варіації
1	1,73	1	1	6	1,78	1,33	76,99
9	2,20	2	1	4	0,74	0,86	39,18
10	3,40	4	1	6	2,69	1,64	48,20
25	4,00	4	2	7	2,57	1,60	40,09
27	5,13	5	3	8	3,12	1,77	34,43
29	6,07	6	4	9	2,50	1,58	26,04
22	7,47	7	5	10	2,12	1,46	19,52
19	8,40	9	5	12	3,69	1,92	22,86
18	8,67	10	5	12	5,95	2,44	28,15
11	9,80	10	5	14	3,89	1,97	20,11
2	11,07	12	8	15	4,78	2,19	19,76
3	11,80	12	8	16	3,74	1,93	16,40
4	13,87	13	11	18	4,98	2,23	16,09
6	13,87	14	8	17	5,12	2,26	16,32
5	15,13	15	10	18	4,12	2,03	13,42
8	15,40	16	13	18	1,97	1,40	9,12
7	16,13	17	12	18	3,70	1,92	11,92
12	18,20	18	15	21	3,17	1,78	9,78
13	18,53	19	13	23	5,27	2,29	12,38
26	20,67	20	19	22	1,24	1,11	5,38
15	21,07	21	19	25	2,21	1,49	7,06
23	22,07	22	19	27	7,21	2,69	12,17
17	23,40	24	21	28	3,54	1,88	8,04
20	24,53	24	22	28	2,98	1,73	7,04
16	25,67	26	23	28	2,38	1,54	6,01
21	25,67	26	22	28	3,24	1,80	7,01
24	25,73	25	21	29	5,64	2,37	9,23
14	26,87	27	23	30	4,27	2,07	7,69
30	28,93	29	28	30	0,64	0,80	2,76
28	29,53	30	27	30	0,70	0,83	2,82

Таким чином, в результаті обробки результатів одержали наступну, впорядковану за значимістю, таблицю факторів (таблиця 2.5).

Таблиця 2.5 - Впорядкована таблиця факторів

1. Конструкція - Конструкція заднього моста;
9. ТО - Якість та регулярність виконання операцій ТО;
10. ТО - Якість встановлюваних запасних частин;
25. Експлуатація - Завантаження автобусів;
27. Водій - Кваліфікація водія;
29. Водій - Психо-фізіологічні якості
22. Дорога - Наявність бруду, снігу;
18. Дорога - Мікрорельєф;
19. Дорога - Макрорельєф;
11. ТО - Своєчасність поставок запасних частин
2. Конструкція - Конструкція двигуна;
3. Конструкція - Характеристики коробки передач;
4. Конструкція - Характеристики карданного валу;
5. Конструкція - Характеристики підвіски.
6. ТО - Періодичності видів технічного обслуговування;
7. ТО - Склад операцій з видів обслуговування;
8. ТО - Якість експлуатаційних матеріалів;
12. Клімат - Кліматична зона;
13. Клімат - сезон експлуатації;
14. Клімат - Наявність опадів;
15. Клімат - температура повітря
16. Дорога - якість дорожнього покриття;
17. Дорога - Категорія дороги;
20. Дорога - Звивистість маршрутів;
21. Дорога - Дорожня розмітка;
23. Дорога - Інтенсивність транспортних потоків;
24. Експлуатація - Середня швидкість руху;
26. Експлуатація - Середньодобові пробіги;
28. Водій - Вік;
30. Водій - Мотивація водія.

Як видно з таблиці, після конструкції заднього моста, на яку в процесі експлуатації вплинути неможливо, йде фактор якості та регулярності виконання операцій ТО, що говорить про актуальність досліджень, спрямованих на формування раціональної періодичності попереджувальних заміन.

2.2 Статистичний аналіз відмов основних вузлів заднього моста автобусів великого класу

Для оцінки показників надійності найважливішим джерелом є статистичні дані, отримані в результаті спостережень у процесі експлуатації автобусів. Для оцінювання показників надійності необхідно:

- вибрати план випробувань;
- визначити характеристики плану випробувань;
- здійснити збирання статистичної інформації;
- здійснити обробку статистичної інформації.

Виходячи з умов експлуатації, спостереження проводилися за планом NMT, за яким задається тривалість випробувань T , кількість об'єктів спостереження N . У процесі спостережень фіксуються значення напрацювання між відмовами заднього моста протягом часу T . Для нашого дослідження було визначено:

- вид об'єкта спостережень - відновлюваний;
- період спостережень - 3 роки (2021-2023);
- кількість підконтрольних автобусів - 14 одиниць;
- спостережуваний параметр - напрацювання між відмовами деталей заднього моста.

Дані за три роки експлуатації автобусів були надані відділом технічної експлуатації ТОВ "Бест Ленад Груп".

Аналіз даних обліку ремонтних робіт по задньому мосту підконтрольної групи автобусів показав, що за період спостережень сталося 22 відмови. Такий обсяг вибірки забезпечує для оцінки середнього напрацювання на відмову заднього моста рівень довірчої імовірності $q = 0,9$ та граничну відносну похибку $e = 0,1$. Водночас кількість відмов за окремими вузлами та деталями буде меншою, ніж по задньому мосту загалом. Відповідно, для оцінки напрацювання на відмову кожної деталі q та e матимуть свої значення. Так, для сапуна можуть $e = 0,1$, $q = 0,8$; для сальників - $e = 0,15$, $q = 0,8$; для інших деталей - $e = 0,2$, $q = 0,8$. Для розв'язання задачі визначення раціональних періодичностей заміни деталей заднього моста за економіко-ймовірнісним критерієм такі показники оцінювання є прийнятними.

Далі в рамках досліджень відділом технічної експлуатації ТОВ "Бест Ленад Груп" були надані дані по статистиці відмов вузлів і агрегатів 8 (вісьми) автобусів VDL Berkhof Ambassador 200 за три (2021-2023) роки експлуатації. Загальний пробіг підконтрольної групи автобусів за три роки експлуатації склав 3780000 км.

Також за період 2021-2023 років було зібрано інформацію про відмови ведучого моста автобусів та виконані роботи з їх усунення. Результати були оформлені у вигляді таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Вибірка за ремонтом редуктора заднього моста серед 8 автобусів VDL Berkhof Ambassador 200 за 2021-2023 роки

Пробіг і державні реєстраційні номери:	1 - AC 9597 EP 2 - AC 4337 HM 3- AC 0131 HO 4 - AC 9781 HM 5 - AC 4143 HM 6 - AC 8733 EX 7 - AC 2114 EX 8 - AC 2117 EX
0-100 тис. км: Заміна сапуна (AC 9597 EP), Заміна сапуна (AC 8733 EX); 100-200 тис. км: Заміна сальників задньої ступиці/півосі (AC 9597 EP), Заміна сапуна (AC 0131 HO), Заміна сальників задньої ступиці/півосі (AC 8733 EX), Заміна сапуна (AC 2117 EX); 200-300 тис. км: Заміна сапуна (AC 4337 HM), Заміна сальників задньої ступиці/півосі (AC 0131 HO), Заміна сапуна (AC 2114 EX), Заміна сальників задньої ступиці/півосі (AC 2117 EX); 300-400 тис. км: Заміна ведучої та веденої шестерні (AC 9597 EP), Заміна сальників задньої ступиці/півосі (AC 4337 HM), Заміна сапуна AC 9781 HM), Заміна сапуна (AC 4143 HM), Заміна сальників задньої ступиці/півосі (AC 2117 EX); 400-500 тис. км: Заміна шестерні півосі заднього моста (AC 9597 EP), Заміна сальників задньої ступиці/півосі (AC 9781 HM), Заміна сальників задньої ступиці/півосі (AC 4143 HM), Заміна сателіта диференціала (AC 8733 EX), Заміна підшипника ведучої шестерні (AC 2117 EX); 500-600 тис. км: Заміна редуктора в зборі (AC 9597 EP), Заміна ведучої та веденої шестерні (AC 4337 HM), Заміна сателіта диференціала(AC 2117 EX); 600-700 тис. км: Заміна ведучої та веденої шестерні (AC 0131 HO).	

Аналіз отриманих даних щодо відмов (таблиця 2.7) проводився в пакетах Statistica та MatLab.

Таблиця 2.7 - Таблиця статистичних показників відмов елементів заднього моста

Елементи заднього моста	Описувальна статистика (Розп_Вейб_2)						Статистичне відхилення	Коефіцієнт варіації
	Кількість відмов	Середнє значення	Довірча межа -95,000%	Довірча межа 95,000%	Мінімум	Максимум		
Сапун	7	92,890	82,528	103,252	12,388	201,932	46,261	49,802
Сальник	5	165,108	138,299	191,917	18,273	383,573	92,327	55,918
Пара шестерень	3	285,814	221,196	350,432	9,609	633,398	156,543	54,771
Сателіт	4	228,295	193,351	263,240	32,527	473,341	101,764	44,559
Шестерня півосі	2	378,552	312,733	444,371	80,348	645,888	144,595	38,197
Редуктор	1	541,899	353,427	730,371	121,792	1157,88	311,888	57,555

З таблиці видно, що коефіцієнт варіації для агрегатів заднього моста коливається в районі 50 %.

Відсоткове співвідношення відмов аналізованих вузлів має вигляд:

- заміна сапуна - 32%;
- заміна сальників задньої маточини/напівосі - 23 %;
- заміна ведучої та веденої шестерні - 13 %;
- заміна сателіта диференціала - 18%;
- заміна шестерні півосі заднього моста - 9%;
- заміна редуктора в зборі - 5%.

Графічно це представлено у вигляді діаграм (рисунок 2.5 та 2.6).

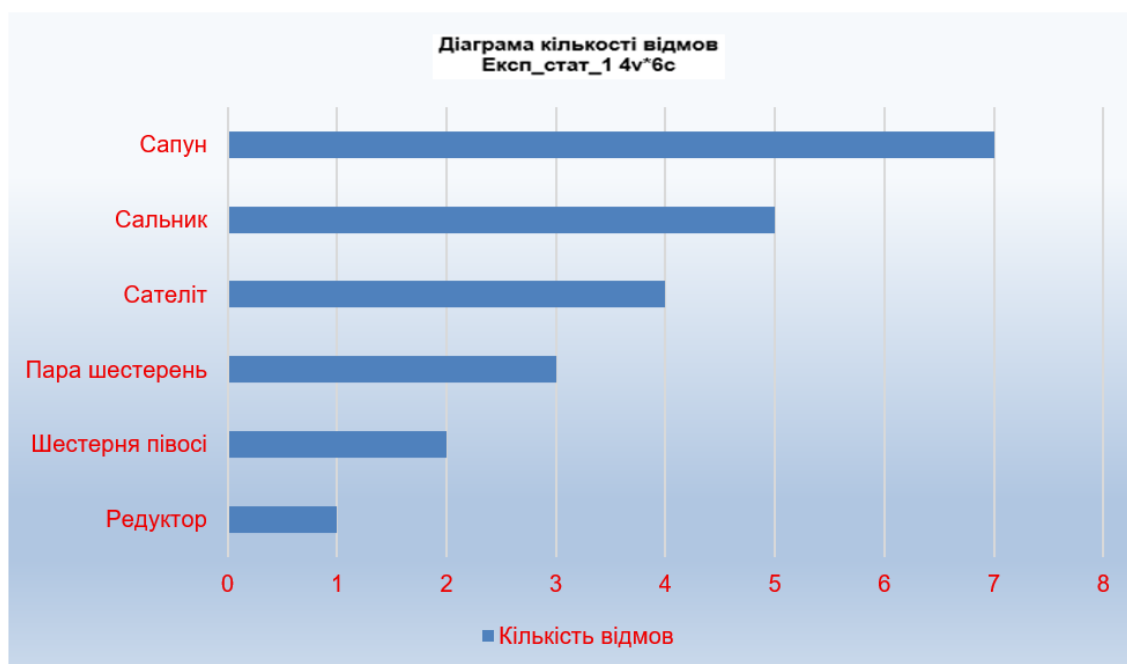


Рисунок 2.5 - Абсолютний розподіл відмов по вузлах заднього моста

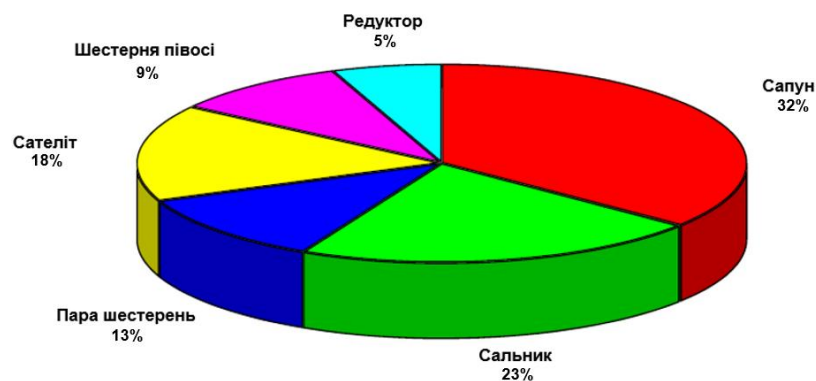


Рисунок 2.6 - Відносний розподіл відмов по вузлах заднього моста

Більш детальне представлення результатів досліджень виражається у формуванні параметрів моделей надійності для кожного вузла (рисунок 2.7), що формується на основі пошуку відповідного розподілу ймовірностей для напрацювань на відмову кожного вузла заднього моста.

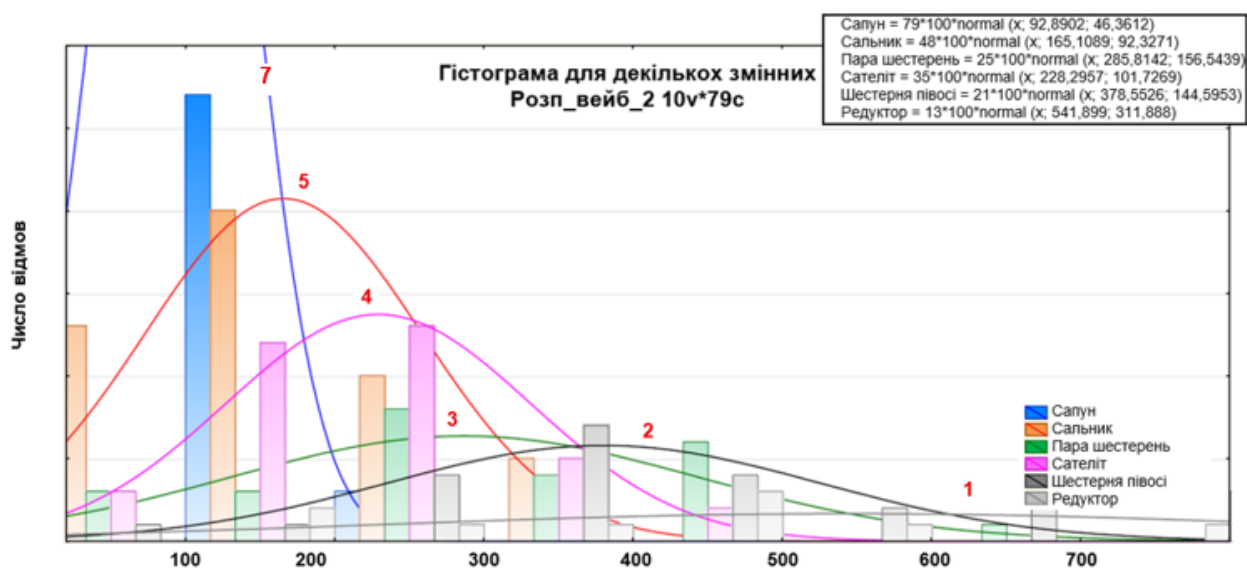


Рисунок 2.7 - Спільна гістограма відмов для всіх деталей та вузлів заднього моста

Далі для кожного вузла проведено статистичний аналіз на відповідність розподілам. Виходячи з проведеного аналізу можна констатувати, що розподіл відмов відповідає моделі Вейбулла.

Будуємо гістограми для напрацювання на відмову по кожному вузлу заднього моста (рисунок 2.8).

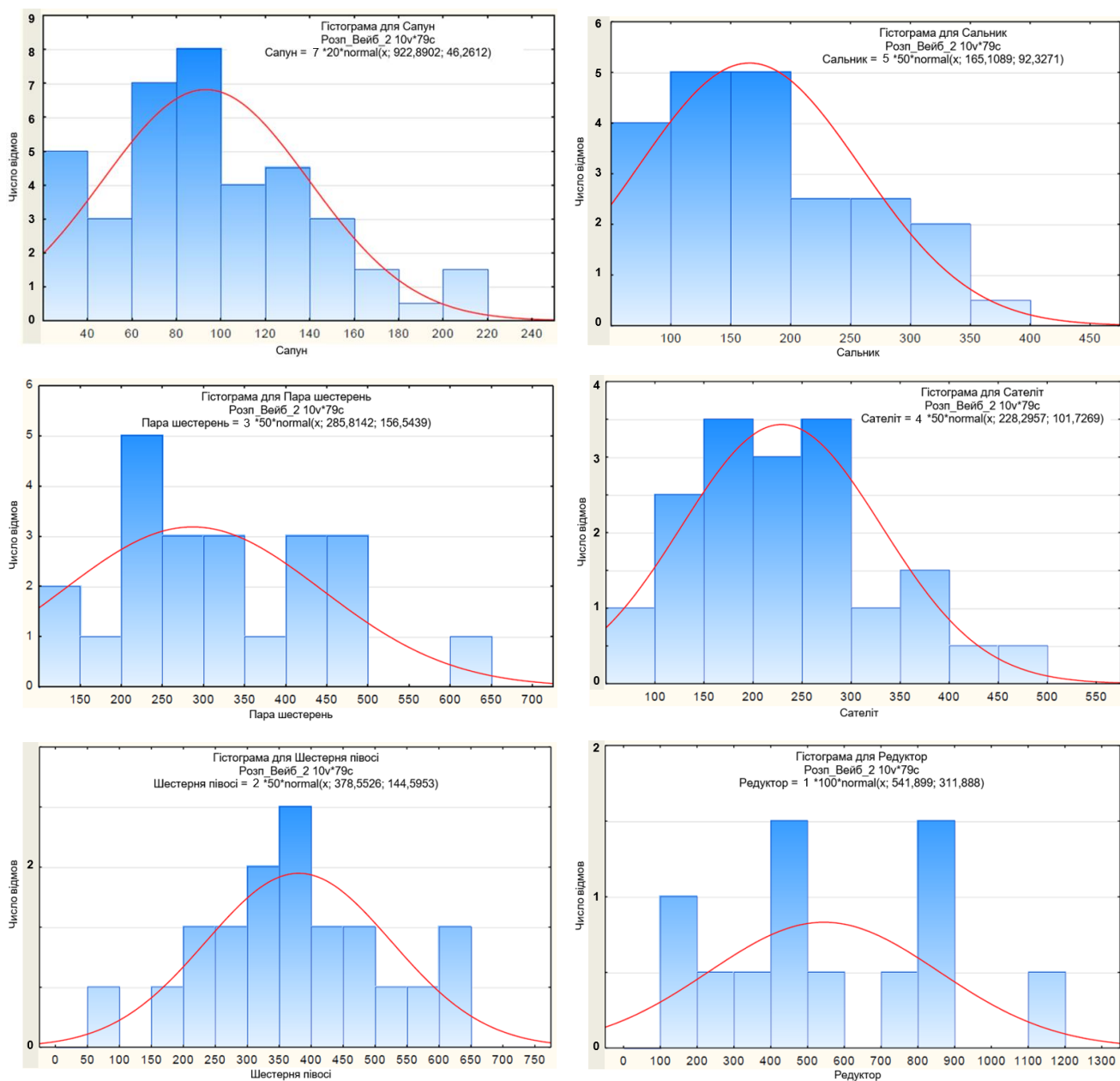


Рисунок 2.8 - Гістограми для напрацювання на відмову вузлів заднього моста

Далі за наявною зібраною в рамках проведених досліджень статистичної інформації для окремих деталей і вузлів була сформована таблиця для параметрів моделі надійності Вейбулла (таблиця 2.8).

Таблиця 2.8 - Параметри надійності вузлів заднього моста

	Відсоток	Середнє	Статистичне відхилення	Коефіцієнт варіації	<i>a</i>	<i>b</i>
Сапун	31,63	85,02	52,29	61,50	107,79	1,75
Сальник	22,93	161,37	95,87	59,41	175,62	1,85
Пара шестерень	13,40	346,35	129,37	37,35	338,63	2,04
Сателіт	17,84	228,63	116,91	51,13	243,51	1,93
Шестерня півосі	9,50	298,91	121,71	40,72	406,50	2,16
Редуктор	4,70	694,53	203,60	29,31	675,32	1,84

У результаті аналізу були визначені середні ресурси вузлів $t_{сер} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_0} t_i$,

де t_i - час пробігу автомобіля.

Під час спостережень за автобусами великого класу марки VDL Berkhof Ambassador 200 було встановлено, що задній міст автобуса, внаслідок свого розташування, сильно забруднюється, що ускладнює контроль, навіть візуальний, за його технічним станом. Характерною несправністю, яка виникає на відносно невеликому пробігу, є вихід з ладу сапуна, що надалі призводить до підвищення тиску і температури масла в редукторі, виходу з ладу гумових ущільнень (сальників), витоку масла, підвищеного зносу і, врешті-решт, виходу з ладу редуктора в цілому.

Наступний аналіз проведено для виявлення статистики відмов різних агрегатів ведучого моста. Найменш надійними вузлами і деталями виявилися: сапун, сальники задньої маточини/півосі, ведуча і ведена шестерні, сателіт диференціала, шестерня півосі заднього моста, редуктор у зборі.

На підприємстві запроваджено двоступеневу систему технічного обслуговування заднього моста з періодичністю:

ТО-1 - кожні 20000 км; ТО-2 - кожні 60000 км.

Крім того, регламентом передбачено щоденний контроль стану автобуса, який здійснюється механіком при випуску на лінію.

Під час щоденного огляду ведучого моста проводиться візуальний контроль:

- кріплення моста;
- цілісності та працездатності сапуна;
- сальника фланця хвостовика редуктора;

- наявності масляних слідів на півосях.

Усі ці роботи також входять до складу операцій ТО-1. Крім того, при ТО-1 проводиться зовнішня оцінка люфту редуктора заднього моста.

При ТО-2 виконуються:

- зняття редуктора заднього моста;
- оцінка цілісності диференціала;
- діагностика люфту між ведучою і веденою шестернями;
- за потреби - регулювання зазорів;
- заміна масла в редукторі.

У разі виявлення механічних пошкоджень шестерень, підшипників - проводиться повне розбирання редуктора і заміна необхідних елементів.

Крім того, наведені дані свідчать про те, що редуктор заднього моста автобуса VDL Berkhof Ambassador 200 є досить надійним.

І що більш важливо - серйозні проблеми з наявністю, точніше - відсутністю у вільному продажу запасних частин (ведучих або ведених шестерень, редуктора в зборі тощо). Термін поставки запасних частин з Нідерландів може складати місяць і більше. Увесь цей час автобус простоює, а автотранспортне підприємство зазнає значних збитків.

Саме через ці дві суттєві проблеми постало питання про підвищення надійності, профілактику та додаткову діагностику редуктора у даній моделі автобуса. З іншого боку, це вимагає ретельнішої розробки стратегії системи управління запасами.

Саме тому необхідно:

- визначити залежність показників надійності та працездатності заднього моста автобусів від умов експлуатації;
- розробити рекомендацій щодо коригування періодичності технічного обслуговування;
- розробити рекомендації щодо проведення планово-попереджувального ремонту задніх мостів автобусів.

2.3 Побудова формальної схеми надійності деталей заднього моста автобуса

Для оцінки надійності заднього моста (ЗМ) у першу чергу необхідно побудувати блок-схему надійності, яка відображає вплив відмов елементів на працездатність системи в цілому. Окрім основних ідентифікаторів, блок-схема елементів може містити значення різних параметрів елементів, наприклад ймовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов, тощо [1, 2, 3, 6]. Формалізована схема надійності, що складається з основних шести вузлів, у силу конструктивних особливостей заднього моста матиме послідовну структуру (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 - Послідовна схема надійності ЗМ

У детермінованому представленні послідовної схеми надійності для ймовірності безвідмовної роботи справедливе співвідношення у вигляді добутку ймовірностей безвідмовної роботи всіх її елементів:

$$P_s = \prod_{i=1}^N P_i. \quad (2.6)$$

У цьому співвідношенні передбачається, що ймовірність безвідмовної роботи визначена для довільно заданого моменту часу. Для фіксованого моменту часу t справедлива рівність:

$$P_s(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t). \quad (2.7)$$

Для детермінованого варіанта наведені співвідношення дозволяють зробити такі твердження:

Очевидно, що $0 \leq P \leq 1$. Можна показати, що ймовірність безвідмовної роботи послідовної системи менша за ймовірність безвідмовної роботи будь-якого її компонента.

Як було зазначено вище, для окремих деталей заднього моста у рамках статистичних досліджень були отримані параметри a та b моделі надійності Вейбулла, для якої ймовірність безвідмовної роботи задається співвідношенням

$$P(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{a_i}\right)^{b_i}\right]. \quad (2.8)$$

де a_i, b_i - параметри моделі надійності Вейбулла i -го елемента послідовної схеми надійності.

Для ймовірності безвідмовної роботи системи за моделлю Вейбулла буде справедливе співвідношення

$$P_s(t) = \prod_{i=1}^N \exp\left[-\left(\frac{t}{a_i}\right)^{b_i}\right] = \exp\left[-\sum_{i=1}^N \left(\frac{t}{a_i}\right)^{b_i}\right]. \quad (2.9)$$

яке дозволяє зробити висновок: якщо елементи системи з послідовним з'єднанням задаються моделями надійності Вейбулла.

2.4 Висновки до розділу 2

1. Розроблено класифікацію факторів, що впливають на характеристики надійності заднього моста автобуса. Запропоновано методику формування анкет для ранжування факторів. Проведено експертизу щодо значущості окремих факторів. Виконано обробку результатів експертизи та виділено сукупність найбільш значущих факторів, які впливають на надійність деталей і вузлів заднього моста автобуса.

2. Проведено аналіз статистики відмов різних деталей і вузлів ведучого моста. За три роки спостережень зафіксовано всього 8 відмов. Найменш надійними вузлами виявилися: сапун, сальники задньої ступиці/півосі, ведуча та ведена шестерні, сателіт диференціала, шестерня півосі заднього моста, редуктор у зборі. На ці позиції припадає 98,6 % усіх відмов. Визначено характеристики законів розподілу напрацювання на відмову для різних вузлів і деталей заднього моста.

3. На основі зібраної статистичної інформації для окремих деталей і вузлів заднього моста сформовано таблицю даних, що лімітують надійність заднього моста автобуса, а також показників розподілу відмов за моделями надійності Вейбулла.

3 ОПТИМІЗАЦІЯ ПЕРІОДИЧНОСТІ ПРОФІЛАКТИЧНИХ ЗАМІН ДЕТАЛЕЙ ЗАДНЬОГО МОСТА АВТОБУСА

У третьому розділі розглядаються питання побудови моделі надійності заднього моста автобуса великого класу, запропоновано критерії та методику розрахунку оптимальної періодичності профілактичних заміन деталей і вузлів заднього моста.

3.1 Формалізований опис причинно-наслідкових взаємозв'язків відмов вузлів заднього моста

Визначення раціональних режимів підтримання працездатності агрегатів і вузлів автобуса, як відомо з теорії технічної експлуатації, базується на дослідженні та аналізі показників надійності й процесів зміни технічного стану в реальних умовах експлуатації, з урахуванням впливу цих умов, а також методів і характеристик ремонтних та профілактичних впливів на досліджуваний агрегат [1, 2, 3, 6].

Для швидкої та правильної діагностики складного об'єкта на основі використання різних засобів і інструментів діагностування необхідно мати точну й об'ємну інформацію про функціональні зв'язки потенційних несправностей і їх діагностичні ознаки. Крім того, для прийняття рішень необхідний і достатній досвід.

Для оцінки технічного стану заднього моста найбільш інформативними параметрами є: рівень масла в картері моста, справність сапуна, температура масла, рівень шуму та його характеристики (високі, низькі частоти, стуки, гул, скрегіт тощо). У більшості розглянутих випадків, при інтенсивній експлуатації в нашій кліматичній зоні, за температури атмосферного повітря вище 0°C, відбувається забруднення сапуна редуктора заднього моста, при цьому одночасно підвищується тиск і температура трансмісійного масла, що спричиняє передчасний вихід з ладу гумових ущільнень (сальників). Це призводить до витоку мастила.

Нестача або повна відсутність трансмісійного мастила в редукторі заднього моста насамперед призводить до критичного зносу ведучої та веденої шестерні, що спричиняє перегрів і ослаблення металів, руйнування шестерень і повне руйнування агрегата (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 - Руйнування ведучої та веденої шестерні редуктора заднього моста

Також було розглянуто експлуатацію редуктора заднього моста в зимових кліматичних умовах, коли температура атмосферного повітря нижча за 0°C . Оскільки картер редуктора є однією з найнижчих точок автобуса до поверхні дороги, температура масла досягає робочих значень лише під час безперервного руху автобуса (наприклад рух по трасі). При експлуатації автобуса в міському циклі температура трансмісійного масла не може досягти робочої через швидке охолодження при частих зупинках (наприклад посадка/висадка пасажирів, тощо).

При експлуатації автобуса за різних кліматичних умов необхідно розробити додаткові методичні рекомендації з огляду, профілактики та обслуговування редуктора заднього моста в різних кліматичних умовах.

У загальному випадку для окремих агрегатів кількість діагностичних параметрів невелика. Наприклад, для перевірки дизеля необхідні три параметри

(сила тяги на колесах, їх співвідношення, витрата палива), а для перевірки трансмісії - два параметри (момент трансмісії та момент, що передається зчепленням). Для перевірки працездатності заднього моста найбільш значущими параметрами є допустимий люфт на фланці ведучої шестерні та запотівання/витік сальника фланця редуктора/сальників півосей.

Для моделювання системи взаємодії між діагностичними показниками та несправностями конкретного агрегата автобуса може бути використана модель [15], представлена графом $G = (V, E)$, де

$V = \{v_i\}$ - вершини графа v_i представляють діагностичні параметри, доступні для перевірки;

$E = \{e_{ij}\}$ - дуги - взаємозв'язки між діагностичними параметрами v_i та v_j .

Наявність інцидентної вихідної дуги з вершини, що відповідає даному показнику, свідчить про непрацездатний стан агрегата. Для реалізації механізму пошуку несправностей за наведеним графом здійснено перехід від одиничних показників деталей до агрегованих. В основному предметом такого діагностування є вже достатньо вивчені агрегати, для яких діагностичні показники апробовані, а нормативи відпрацьовані [3, 5].

На прикладі заднього моста наведемо неформальний опис до формального представлення. Аббревіатури в дужках - це скорочення позначення процесів у вузлах і агрегатах заднього моста. У зв'язку з погодними/кліматичними умовами на заході України, де експлуатуються автобуси, у редукторі заднього моста відбувається забруднення/обледеніння сапуна (З. Сап), який у цьому агрегаті служить для балансу атмосферного тиску. Через це відбувається підвищення тиску (Тиск) і температури трансмісійного масла (Темп). Відповідно, через підвищення тиску деформуються гумові ущільнення агрегата (Деф), а через підвищення температури трансмісійного масла присадки масла перестають максимально виконувати свої функції та підвищується текучість (Тек), що позначається на змащуванні деталей тертя і призводить до їх критичного зносу (Знос).

Таким чином, для даного прикладу фрагмент граф-моделі може бути представлений у вигляді (рисунок 3.2)

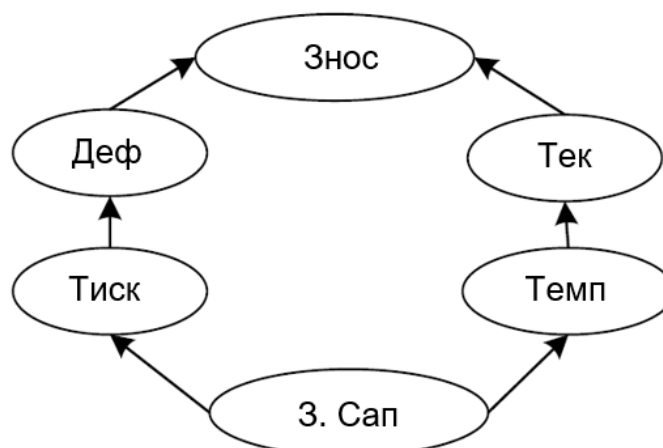


Рисунок 3.2 - Схема граф-моделі параметрів заднього моста

З іншого боку, для опису результатів поелементного аналізу взаємозв'язку між діагностичними показниками та несправностями у рамках дещо спрощеного попереднього прикладу вони можуть бути представлені у вигляді діагностичної матриці (таблиця 3.1).

У якості несправностей виступають: знос головної пари шестерень, сапун, диференціал, сальники.

У якості діагностичних показників - шум, тиск і температура.

Таблиця 3.1 - Діагностична матриця

	«шум»	«тиск»	«температура»
«знос головної пари шестерень»			
«сапун»			
«диференціал»			
«сальники»			

Для кожної несправності кожного агрегата відповідає певна кількість діагностичних ознак. Для невеликої кількості діагностичних показників (близько трьох-чотирьох) завдання ідентифікації може бути вирішене експертним шляхом на основі простого перебору. При формуванні сукупності показників необхідно, щоб їх контроль міг бути виконаний у реальних умовах функціонування агрегата

та у спорядженому стані, при малих швидкостях та при досить високих швидкостях, тощо. Встановлення невідповідності діагностичних показників передбаченим обмеженням дає можливість їх відхилення [3, 5].

Нехай $S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\}$ - сукупність діагностичних показників агрегата, і заданий перелік несправностей можна виявити за допомогою M різних сукупностей параметрів: $S^1, S^2, \dots, S^M, S^i \subseteq S$. Нехай $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ - сукупність потенційних несправностей. Кожній діагностичній ознаці s_j відповідає певна сукупність несправностей X_j , які можна ідентифікувати при детальному аналізі діагностичної матриці.

Так, для перевірки працездатності заднього моста можна навести приклад дещо іншого характеру з двома параметрами: допустимий люфт на фланці ведучої шестерні та запотівання/витік сальника фланця редуктора/сальників півосей. Припустимо, що в результаті діагностичного обстеження конкретного автобуса та його заднього моста було встановлено, що в задньому мосту присутні шуми, хоча люфт фланця ведучої шестерні перебуває в межах допустимих значень. Цей результат явно вказує на знос головної пари редуктора заднього моста.

Характерним для даного прикладу є не лише наявність певної сукупності діагностичних ознак, але й відсутність деяких із них.

3.2 Методика оптимізації періодичності профілактичних замінів

При організації технічного обслуговування (ТО) та поточного ремонту (ПР) доцільним є розподіл усього автобусного парку на групи, для яких встановлюються дещо різні періоди проведення ТО та самі роботи.

Так, в умовах експлуатації контроль за працездатністю заднього моста, зокрема редуктора заднього моста, здійснюється шляхом щоденного огляду механіком при випуску автомобілів на лінію. Автобуси VDL Berkhof Ambassador 200 проходять ТО-1, ТО-2 та поточний ремонт у ремонтній зоні. Регламентом передбачено проведення ТО-1 заднього моста при пробігу 20000 км, ТО-2 - при пробігу 60000 км.

Під час огляду заднього моста механіком при випуску увага приділяється кріпленню заднього моста та цілісності гумового ущільнення (сальника) на фланці хвостовика редуктора заднього моста, наявності масляних слідів на півосях і гальмівних барабанах.

При проходженні пасажирським транспортним засобом ТО-1 спеціалісти ремонтної зони здійснюють огляд кріплення заднього моста на напівресорах, сайлентблоків у реактивних тягах, оцінюють чистоту та працездатність сапуна редуктора заднього моста. Також при ТО-1 передбачена зовнішня оцінка люфту редуктора заднього моста.

При ТО-2 спеціалісти ремонтної зони виконують зняття редуктора заднього моста, вимірювання люфту між ведучою та веденою шестернею, оцінюють цілісність диференціала (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 - Процес регулювання редуктора заднього моста

При виявленні механічних пошкоджень шестерень, підшипників, диференціала проводиться повне розбирання редуктора та заміна необхідних елементів. Якщо за результатами дефектування агрегата потрібна лише регулювання, здійснюється підбір регулювальних шайб за товщиною.

3.2.1 Комплексні показники надійності

Для прийняття рішень щодо реалізації профілактичних заміन можна використовувати вартісні критерії та критерії технічної готовності [1, 4, 7].

Так, коефіцієнт технічної готовності K_{TG} визначає ймовірність такої події, що вузол буде у працездатному стані в довільний момент часу.

За заданих значень середнього напрацювання T_O , а також середнього часу відновлення вузла T_B , цей коефіцієнт задається як

$$K_{TG} = \frac{\sum_{i=1}^N T_{O,i}}{\sum_{i=1}^N T_{O,i} + \sum_{i=1}^N T_{B,i}}, \quad (3.1)$$

де $T_{B,i}$ - час відновлення i -го вузла;

$T_{O,i}$ - напрацювання на відмову i -го вузла;

$N=N(0)$ - кількість досліджуваних вузлів.

Коефіцієнт оперативної готовності - $K_{OG}(t_0, t_1)$ задає ймовірність події, яка полягає в тому, що вузол буде працездатним у довільний момент часу, за винятком планових періодів, коли вузол не передбачається використовувати [4].

$$K_{OG}(t_0, t_1) = K_{TG} P(t_0, t_1), \quad (3.2)$$

де $P(t_0, t_1)$ визначає ймовірність безвідмовної роботи вузла в інтервалі часу $(t_0; t_1)$;

t_0 - час, з якого виникає необхідність використання вузла за призначенням;

t_1 - час, з якого використання вузла за безпосереднім призначенням завершується.

K_{OG} визначають для періоду очікування роботи, що передує моменту t .

Коефіцієнт технічного використання визначає відношення математичного сподівання напрацювання вузла на певному інтервалі часу до суми середніх

напрацювань непланових відновлень на цьому ж інтервалі експлуатації та профілактичних робіт [4]

$$K_{TB} = \frac{T_O}{T_O + T_B + T_{II}}, \quad (3.3)$$

Цей показник, на відміну від коефіцієнта технічної готовності, враховує не лише тривалість ремонту вузла, але й простої, пов'язані з профілактичним обслуговуванням T_{II} та технічними оглядами [4].

3.2.2 Постановка задачі оптимізації періодичностей попереджувальних замін

Очевидно, що раціонально обрана періодичність обслуговування, а також реалізація механізмів попереджувальних замін деталей і вузлів суттєво може впливати на зменшення кількості та часу непланових ремонтів $T_{НЕПЛАН}$. Реальний сумарний час непланових ремонтів при цьому за рахунок попереджувальних замін скоротиться на величину $\Delta T_{НЕПЛАН}^{ПЗ}$ і буде дорівнювати

$$T_{НЕПЛАН}^{ПЗР} = T_{НЕПЛАН} - \Delta T_{НЕПЛАН}^{ПЗ}, \quad (3.4)$$

де $T_{НЕПЛАН}^{ПЗР}$ - реальний час непланових ремонтів, скорочений завдяки попереджувальним замінам;

$T_{НЕПЛАН}$ - час непланових ремонтів без попереджувальних замін;

$\Delta T_{НЕПЛАН}^{ПЗ}$ - скорочення часу планових ТО за рахунок попереджувальних замін.

Однак проведення попереджувальних замін у рамках планових ТО збільшить час його виконання $T_{ПЛАН}$ на величину $\Delta T_{ПЛАН}^{ПЗ}$, тобто реальний час $\Delta T_{ПЛАН}^{ПЗР}$ буде дорівнювати

$$T_{ПЛАН}^{ПЗР} = T_{ПЛАН} + \Delta T_{ПЛАН}^{ПЗ}, \quad (3.5)$$

де $T_{ПЛАН}^{ПЗР}$ - реальний час планових ТО з попереджувальними замінами;

$T_{ПЛАН}$ - час планових ТО без попереджувальних замін;

$\Delta T_{ПЛАН}^{ПЗ}$ - збільшення часу планового ТО за рахунок виконання попереджувальних замін.

При порівнянні приросту часу планових ТО $\Delta T_{ПЛАН}^{ПЗ}$ і скорочення непланових ремонтів $\Delta T_{НЕПЛАН}^{ПЗ}$ слід враховувати їх суттєву різницю $T_{НЕПЛАН}^{ПЗ} \gg \Delta T_{ПЛАН}^{ПЗ}$, що визначає необхідність підготовки автобусів до непланових ремонтів. Це потребує миття, діагностики несправності, замовлення необхідних деталей і вузлів, тощо.

Ремонти непланового характеру вимагають відповідної підготовки транспортного засобу (миття, контроль технічного стану, приймання, тощо). У випадку планових ТО ці операції вже передбачені регламентом. Підготовка виробництва робіт виконується заздалегідь. Крім того, самі транспортні засоби за планом прибувають на ТО, а не як у випадку відмови на лінії, що потребує або транспортування ТЗ у парк, або виїзду ремонтної бригади та доставки відповідних запчастин.

Нормативний час загальних робіт з ТО з урахуванням попереджувальних замін буде дорівнювати

$$T^{ПЗР} = T_{ПЛАН}^{ПЗР} + T_{НЕПЛАН}^{ПЗР}. \quad (3.6)$$

У цілому задача полягає в оцінці можливості підвищення коефіцієнта технічної готовності автобуса за рахунок реалізації механізму попереджувальних замін.

З урахуванням виконання попереджувальних замін коефіцієнт буде дорівнювати

$$K_{ТГ} = \frac{T_o}{T_o + T^{ПЗР}}. \quad (3.7)$$

Таким чином, періодичність попереджувальних замін впливає як на планові ТО, так і на непланові ремонти. При скороченні періодичності - збільшується час планових ТО, але при цьому скорочується час непланових ремонтів.

Крім того, інтерес викликає вартісний критерій ефективності реалізації попереджувальних замін. Очевидно, що при скороченні періоду

попереджувальних замін - зростають витрати на планові ТО, але при цьому зменшуються втрати від непланових ремонтів.

Таким чином, у роботі ставиться задача розрахунку оптимальної періодичності з метою зниження загальних витрат на підтримання працездатності автобусного парку з урахуванням витрат, пов'язаних із простоєм автобусів.

Сумарні витрати $C_{УВ}$, пов'язані з реалізацією непланових ремонтів для усунення відмов без попереджувальних замін, дорівнюють

$$C_{УВ} = C_{ДЕТ} + C_{ТР} + C_{ВИТР} + C_{ЗП} + C_{ПРОСТ} \quad (3.8)$$

де $C_{ДЕТ}$ - ціна деталей і вузлів;

$C_{ТР}$ - витрати на транспортування до місця непланового ремонту необхідних деталей, вузлів і обладнання;

$C_{ВИТР}$ - ціна витратних матеріалів, необхідних при виконанні ремонтних робіт;

$C_{ЗП}$ - витрати, пов'язані з оплатою праці на виконання ремонту;

$C_{ПРОСТ}$ - витрати, пов'язані з простоєм автобуса.

Сумарні витрати $C_{ПЗ}$ при реалізації попереджувальних замін у рамках планових ТО дорівнюють

$$C_{ПЗ} = C_{ДЕТ} + C_{ВИТР} + C_{ЗП} \quad (3.9)$$

де $C_{ДЕТ}$ - ціна деталей і вузлів при плановому ТО (та ж сама);

$C_{ВИТР}$ - ціна витратних матеріалів, необхідних при виконанні ремонтних робіт (може бути нижчою за рахунок їх виконання в обладнаній зоні);

$C_{ЗП}$ - витрати, пов'язані з оплатою праці на виконання ремонту (також можуть бути меншими завдяки відсутності необхідності виїзду ремонтних бригад та роботі в комфортних умовах).

При цьому витрати, пов'язані з транспортуванням до місця непланового ремонту та простоєм автобуса, відсутні.

Таким чином, формальна постановка задачі оптимізації зводиться до вигляду

$$C(t) = C_{УВ}(t) + C_{ПЗ}(t) \rightarrow \min \quad (3.9)$$

де мінімум береться за інтервалом реалізації попереджувальних замін.

Наведені витрати природним чином залежать від інтенсивності відмов відповідних вузлів або агрегатів, для яких передбачаються попереджувальні заміни.

Інформаційною основою для розв'язання задачі прогнозування є:

- нормативні напрацювання деталі або комплекту деталей до першої та наступних замін;
- вартість запасних частин (за всією номенклатурою);
- пробіги кожного з автобусів від початку експлуатації, після останнього ТО, після заміни конкретних деталей або комплекту деталей, для яких передбачається виконання ПР;
- середньодобові пробіги для кожної моделі автобуса;
- нормативна трудомісткість проведення ТО-2 і ПР за всією номенклатурою технічних впливів та для всіх моделей автобусів.

На підставі отриманої інформації складаються довгострокові прогнози щодо деталей і вузлів, необхідних для підтримання парку автобусів у працездатному стані.

3.3 Висновки до розділу 3

1. Запропоновано послідовну модель надійності заднього моста автобуса, до якої включені найменш надійні деталі та вузли, що підтверджено статистикою відмов, отриманою в результаті експлуатації автобусів на автотранспортному підприємстві. Показано, що при знайдених параметрах моделі надійності Вейбулла її можна з достатньою адекватністю використати для розрахунку показників надійності деталей заднього моста.

2. Розглянуто можливі критерії для розв'язання задачі оптимізації періодичностей попереджувальних замін деталей заднього моста. Запропоновано оптимізаційну постановку задачі розрахунку періодичності попереджувальних замін на основі комплексних показників технічної готовності та вартісного критерію.

3. Сформульовано модель для визначення оптимальних періодичностей проведення попереджувальних заміन деталей і вузлів заднього моста автобуса на основі мінімуму витрат на підтримання працездатності заднього моста залежно від періодичності попереджувальних заміन.

4 ФОРМУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПЕРІОДИЧНОСТЕЙ ПОПЕРЕДЖУВАЛЬНИХ ЗАМІН ДЕТАЛЕЙ І ВУЗЛІВ ЗАДНЬОГО МОСТА

4.1 Методика розрахунку оптимальної періодичності на основі функції потоку відмов

На основі отриманих показників розподілу Вейбулла спрогнозовано базу даних потоку відмов вузлів і деталей заднього моста (рисунок 4.1).

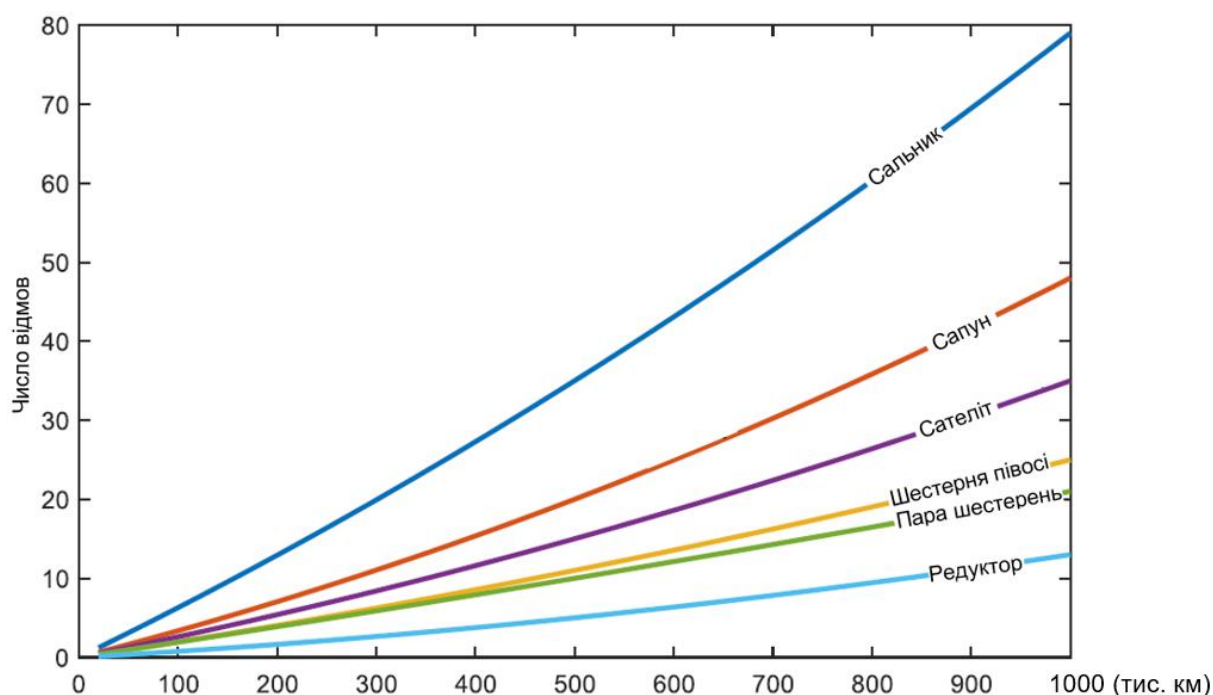


Рисунок 4.1 - Потік відмов вузлів заднього моста

Для побудови прогнозу використовувався метод регресійного аналізу. Отримане рівняння регресії має вигляд

$$Y = 106,19 + 1,2086N \quad (4.1)$$

Для пошуку оптимальної періодичності пропонується використовувати функцію, яка описує потік відмов і представляє математичне очікування кількості відмов V_t на часовому інтервалі $(0; t)$ - $H(t) = M(V_t)$.

У даному випадку йдеться про процес із відновленням. Передбачається, що на інтервалі $(0; t)$ кількість відновлень дорівнює кількості відмов. У зв'язку з цим $H(t)$ відображає також середню кількість відновлень.

Середню кількість відмов на часовому інтервалі $(t_1; t_2)$ можна подати як середню різницю

$$M(V_{t_2} - V_{t_1}) = M(V_{t_2}) - M(V_{t_1}) = H(t_2) - H(t_1). \quad (4.2)$$

Величина V_t є дискретною. У зв'язку з цим для її математичного сподівання справедливо

$$H(t) = \sum_{n=0}^{\infty} n \cdot P\{V_t = n\}. \quad (4.3)$$

Але

$$P\{V_t = n\} = P\{V_t \geq n\} - P\{V_t \geq n+1\} = F_n(t) - F_{n+1}(t), \text{ де } F_n(t) = P\{V_t \geq n\}. \quad (4.4)$$

Тоді

$$H(t) = \sum_{n=0}^{\infty} n F_n(t) - \sum_{n=0}^{\infty} n F_{n+1}(t). \quad (4.5)$$

Далі знайдемо середню кількість відмов на інтервалі $(t_1; t_2)$ відносно тривалості цього інтервалу. Вона рівна $\frac{H(t_2) - H(t_1)}{t_2 - t_1}$, а границя цього відношення

$$\text{визначає інтенсивність відмов } \omega(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{H(t + \Delta t) - H(t)}{\Delta t} = \frac{dH(t)}{dt}.$$

У результаті загальні витрати для довільного інтервалу попереджувальних замін визначаються за співвідношенням

$$W = N \cdot Z_{io} + H \cdot dTO \cdot Z_{io} + Z_{av}. \quad (4.6)$$

де Z_{io} - включає ціну вузла ($C_{ДЕТ}$) разом із ціною витратних матеріалів ($C_{ВИТР}$), необхідних при виконанні ремонтних робіт, а також оплату праці ($C_{ЗП}$);

Z_{av} - включає витрати на транспортування ТЗ до місця непланового ремонту ($C_{ТР}$), а також витрати, пов'язані з простоєм автобуса ($C_{ПРОСТ}$);

dTO - визначає період попереджувальних замін;

N - кількість циклів попереджувальних замін на інтервалі життєвого циклу транспортного засобу.

При цьому середня кількість відмов за використання стратегії з попереджувальними замінами суттєво менша, але витрати на їх реалізацію - більші.

На підставі запропонованої методики попереджувальних замін на основі вартісного критерію в роботі проведено розрахунок циклів ТО для значень, представлених інженерним складом підприємства за часовими та фінансовими ресурсами для виконання всіх необхідних робіт як з реалізації попереджувальних замін, так і робіт у випадку аварійних ситуацій (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 - Таблиця показників

	C_d (грн)	$P_{дн}$ (дні)	$P_{РБ}$ (осіб)	$T_{Оч}$ (дні)	$Z_{то}$ (грн)	$Z_{ав}$ (грн)
Сапун	1900	1	1	1	300	500
Сальник	2950	1	2	1	1600	3000
Пара шестерень	41400	2	3	7	9500	7800
Сателіт	11200	2	3	21	8400	18000
Шестерні півосі	27800	1	2	14	7800	14000
Редуктор	120000	2	2	70	21500	24000

У таблиці сформовано такий список показників:

C_d - вартість вузла (грн);

$P_{дн}$ - час ремонтних робіт (дні);

$P_{РБ}$ - склад робочої бригади (осіб);

$T_{Оч}$ - час доставки вузла (дні);

$Z_{то}$ - витрати на планові роботи (грн);

$Z_{ав}$ - витрати на аварійні роботи (грн).

Дані розраховувалися, виходячи із середньої заробітної плати 1000 грн/день, простою автобуса - 15000 грн/день та транспортування автобуса у випадку відмови на лінії - 2000-3000 грн.

На основі показників цієї таблиці отримано залежності критерію вартості від періодичності попереджувальних замін для всіх основних вузлів заднього моста (рисунки 4.2-4.4), у результаті чого визначено раціональні періодичності попереджувальних замін (рисунок 4.5).

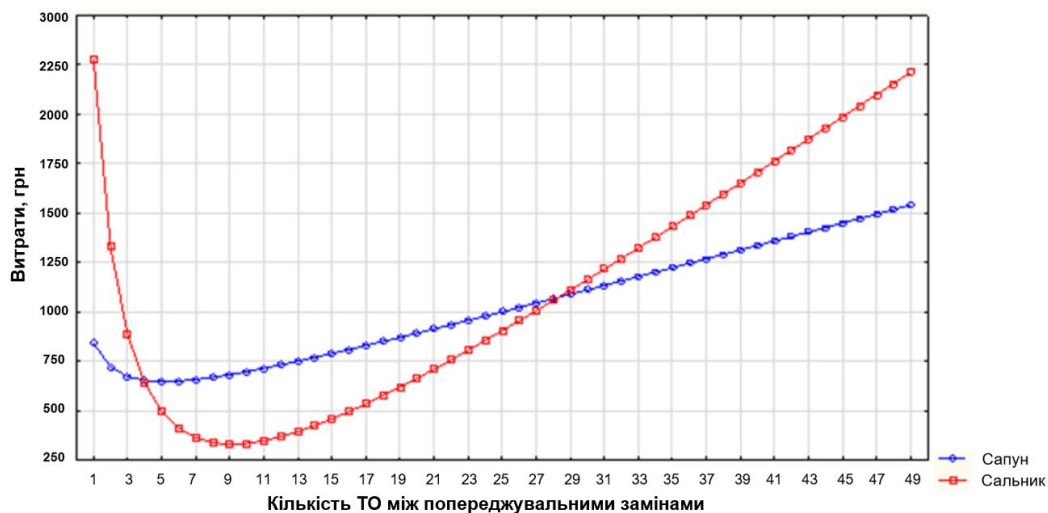


Рисунок 4.2 - Критерій вартості для сапуна і сальника редуктора ведучого моста

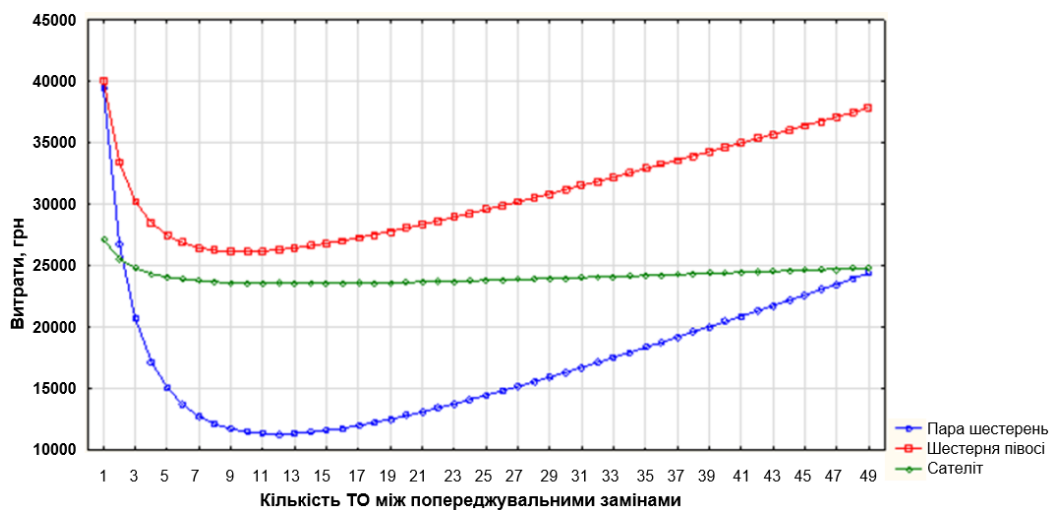


Рисунок 4.3 - Критерій вартості для головної пари шестерень, шестерні півосі та сателітів редуктора ведучого моста

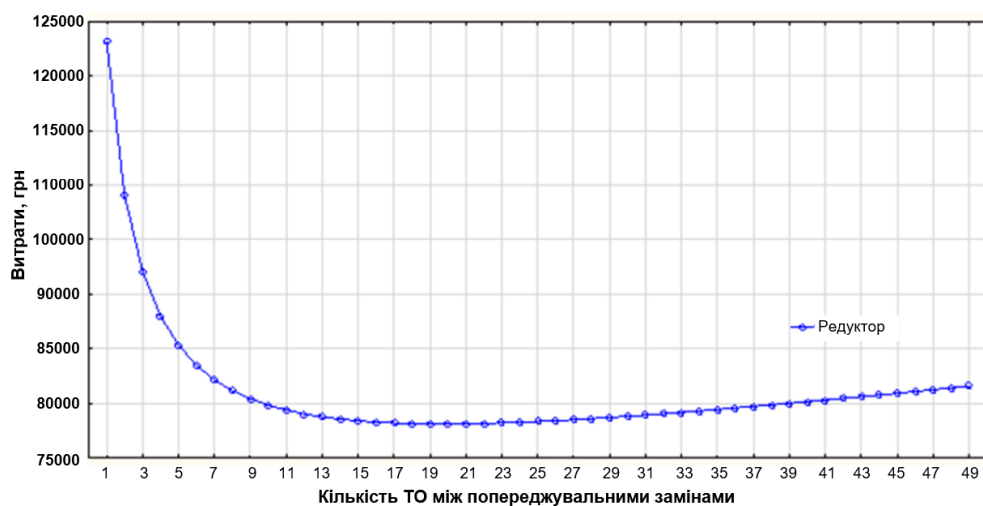


Рисунок 4.4 - Критерій вартості для редуктора ведучого моста

Таким чином, у роботі виконано дослідження щодо вибору раціональної періодичності попереджувальних заміन деталей і вузлів заднього моста автобусів великого класу та запропоновано періодичності попереджувальних заміन (рисунок 4.5), зокрема:

- заміна сапуна - 100 тис. км;
- заміна сальників - 180 тис. км;
- заміна головної пари шестерень - 240 тис. км;
- заміна шестерні півосі - 260 тис. км;
- заміна редуктора в зборі - 400 тис. км.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Сапун																																																		
Сальник																																																		
Пара шестерень																																																		
Сателіт																																																		
Шестерня півосі																																																		
Редуктор																																																		

Рисунок 4.5 - Графік проведення попереджувальних замін

Знайдені значення періодичностей дозволяють більш раціонально вирішувати завдання управління запасами основних вузлів і агрегатів заднього моста автобусів великого класу.

Оцінка ефективності впровадження запропонованих режимів попереджувальних замін деталей і вузлів заднього моста може бути здійснена на основі оцінки підвищення рівня працездатності заднього моста. Основним показником рівня працездатності є коефіцієнт технічної готовності (K_{TG}), який визначається як відношення часу перебування автомобіля у справному стані до загального часу перебування автомобіля в експлуатації

$$K_{TG} = AD_E / AD_E + AD_P, \quad (4.1)$$

де AD_E - число автомобіле-днів у справному стані;

AD_P - число автомобіле-днів у ТО та ремонті.

Відзначимо, що для нашого випадку для одного автобуса $AD_E + AD_P = 365$.

Загальна тривалість простоїв у ремонті з усунення відмов i -ї деталі за період спостережень до впровадження системи попереджувальних замін (СПЗ) AD_P^i

визначається як добуток кількості відмов N^i на сумарну величину простоїв у ремонті $P_{дн}^i$ та в очікуванні ремонту $T_{оч}^i$

$$AD_P^i = N^i \cdot P_{дн}^i + T_{оч}^i \quad (4.2)$$

Загальна тривалість простоїв у ремонті після впровадження системи попереджувальних заміन (СПЗ) визначається як сума простоїв при виконанні ПЗ $AD_{ПЗ}^i$ та простоїв при усуненні раптових відмов $AD_{РПЗ}^i$

$$AD_{ПЗР}^i = AD_{ПЗ}^i + AD_{РПЗ}^i, \quad (4.3)$$

де $AD_{ПЗР}^i$ - загальна тривалість простоїв у ремонті після впровадження системи попереджувальних замін (СПЗ);

$AD_{ПЗ}^i$ - простоїв при виконанні попереджувальних замін;

$AD_{РПЗ}^i$ - простоїв при усуненні раптових відмов.

Тривалість простоїв при проведенні ПЗ визначається як добуток їх кількості за період спостережень на величину нормативного простою при проведенні однієї ПЗ

$$AD_{ПЗ}^i = L_{заг} / l_{ПЗ}^i \cdot P_{дн}^i. \quad (4.4)$$

Тривалість простоїв при усуненні раптових відмов $AD_{РПЗ}^i$ визначається як добуток кількості цих відмов на величину нормативного простою при усуненні однієї відмови. Кількість раптових відмов при функціонуванні СПЗ можна визначити, виходячи з їх загальної кількості та ймовірності відмови у розглядуваному періоді спостережень. Ми встановлювали періодичність ПЗ з урахуванням забезпечення ймовірності безвідмовної роботи 0,9, тобто ймовірність відмови становить $P_{вдм} = 0,1$. Таким чином

$$AD_{РПЗ}^i = 0,1 \cdot N^i \cdot P_{дн}^i. \quad (4.5)$$

Підставляючи отримані вирази у формулу 4.3, отримаємо:

$$AD_{ПЗР}^i = L_{заг} / l_{ПЗ}^i \cdot P_{дн}^i + 0,1 \cdot N^i \cdot P_{дн}^i \quad (4.6)$$

Впровадження СПЗ природним чином призводить до скорочення часу перебування автобусів у ремонті та відповідного підвищення основного показника рівня працездатності - коефіцієнта технічної готовності. Власне,

величина збільшення $K_{ТГ(кориг)}$ внаслідок впровадження СПЗ і є показником підвищення рівня працездатності агрегата, для якого ця система розроблялася, у нашому випадку - для заднього моста. Скорочення тривалості простоїв у ТО та ремонті призводить до відповідного збільшення тривалості перебування автобусів у технічно справному стані, тобто

$$K_{ТГ(кориг)}^i = \frac{N^i \cdot P_{дн}^i + T_{Оч}^i - АД_{ПЗ}^i + АД_{РПЗ}^i}{АД_{Е}^i + АД_{Р}^i} = \frac{N^i \cdot P_{дн}^i + T_{Оч}^i - L_{ЗАГ} / l_{ПЗ}^i \cdot P_{дн}^i + 0,1 \cdot N^i \cdot P_{дн}^i}{365 \cdot 3 \cdot 14} \quad (4.7)$$

Вихідні дані та результати розрахунків коефіцієнта технічної готовності наведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Розрахунок зміни коефіцієнта технічної готовності ($K_{ТГ}$)

Деталь, вузол	N^i	$P_{дн}$	$T_{Оч}$	$АД_{Р}^i$	$l_{ПЗ}^i$	$АД_{РПЗ}^i$	$АД_{ПЗ}^i$	$АД_{ПЗР}^i$	$АД_{кориг}$	$K_{ТГ(кориг)}^i$
Сапун	7	1	1	158	80	7,9	75,6	83,5	74,5	0,005
Сальник	5	1	1	96	100	4,8	42,0	46,8	49,2	0,003
Пара шестерень	3	2	7	225	240	5	63	68	157	0,010
Сателіт	4	2	21	805	200	7	75,6	82,6	722,4	0,047
Шестерні півосі	2	1	14	315	300	2,1	29,1	31,2	283,8	0,019
Редуктор	1	2	70	936	360	2,6	37,8	40,4	895,6	0,058
Всього	22			2535		29,4	323,1	352,5	2182,5	0,142

У таблиці наведено показники:

N^i - загальна кількість відмов i -ї деталі;

$P_{дн}$ - час усунення відмови (дні);

$T_{Оч}$ - час очікування доставки деталі/вузла (дні).

Враховуючи, що 1 день роботи автобуса на лінії приносить дохід 15000 грн, загальний дохід ТОВ «Бест Ленад Груп» від роботи 8 автобусів VDL Berkhof Ambassador 200 за рік становитиме 39600000 грн (кожен автобус виходить на лінію в середньому 330 з 365 днів на рік).

Впровадження системи попереджувальних замін для деталей і вузлів заднього моста дозволяє підвищити рівень працездатності автобусів на 14,2%, при цьому час перебування 8 автобусів на лінії може бути збільшено на 376 автоднів

на рік. Приймаючи, що 1 день роботи автобуса на лінії приносить дохід 15000 грн, отримаємо збільшення річного доходу підприємства на 5640000 грн/рік.

4.2 Опис технологічних процесів управління ТО і ремонтами

Формальний опис технологічних процесів (ТП) управління технічним обслуговуванням (ТО) і ремонтом виконано для конкретного підприємства, але може розглядатися як типовий проєкт забезпечення функцій управління ТО, ремонтом і попереджувальними замінами.

Основний результат ТП - якісне та своєчасне виконання ТО і ремонту автобусів.

Основними функціями ТП є (рисунок 4.6):

1. - Відкриття замовлення;
2. - Приймання техніки в ремонт;
3. - Розбирання;
4. - Дефектування;
5. - Видача запчастин зі складу дільниці;
6. - Формування заявки на придбання запчастин;
7. - Рішення щодо способу задоволення заявки;
8. - Комплектація зі складу;
9. - Виготовлення запчастин;
10. - Ремонт вузлів і агрегатів;
11. - Субпідрядні роботи;
12. - Комплектація та переміщення запчастин;
13. - Виконання ремонтних робіт;
14. - Підписання акта виконаних робіт;
15. - Списання запчастин, повернення невикористаних запчастин;
16. - Повернення техніки замовнику;
17. - Закриття замовлення.

Результатом функції 1 «Відкриття замовлення» є сформовані документи на виконання робіт з ремонту. Вхідні документи містять: дату заявки, заявника, марку техніки, необхідний ремонт та інші дані.

Результат функції 2 - прийнятий транспортний засіб. Вихідні документи містять: акт приймання з реквізитами - номер акта, дата, прийнятий ТЗ, необхідний ремонт.

І так далі відповідно до назв процесу.

Основні функції технологічного процесу (ТП):

1. - Реєстрація переліку обслуговуваних транспортних засобів.
2. - Реєстрація даних про виконані ТО і ремонти.
3. - Формування звітів про поточний стан і історію ремонту обслуговуваних ТЗ.

Основний результат ТП - виконані протягом місяця замовлення на ремонт.

До основних функцій ТП також належать:

1. Формування заявок на дільниці.
2. Формування плану номенклатури на місяць.
3. Контроль виконання планів номенклатури.
4. Порядок виконання та схема технологічного процесу.

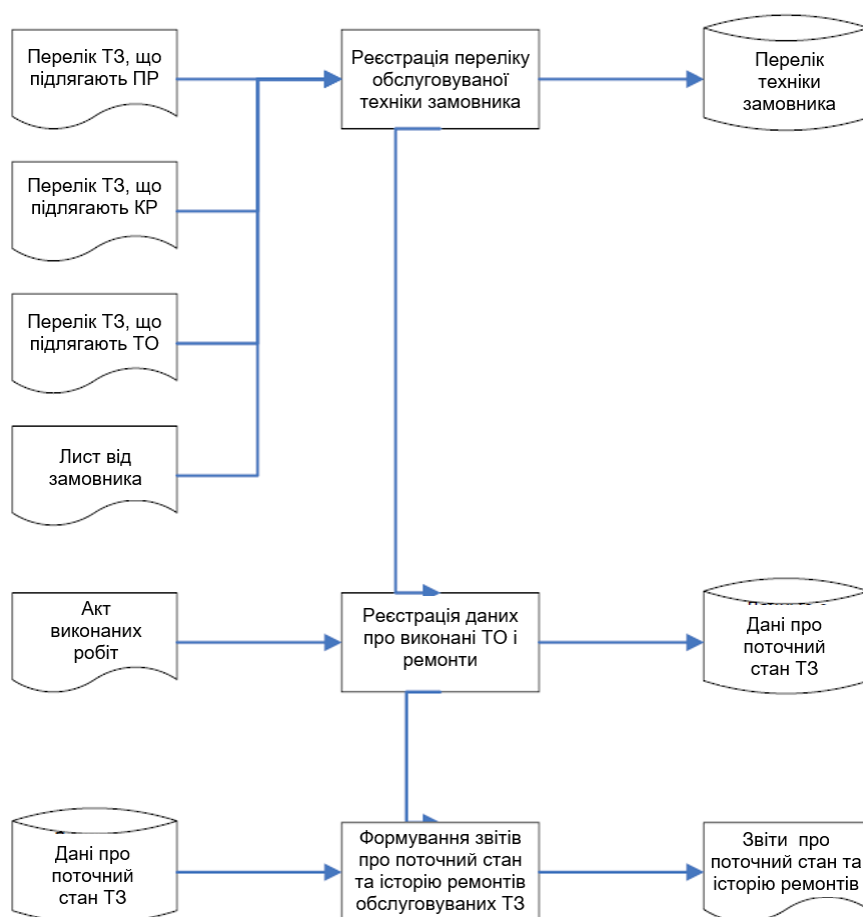


Рисунок 4.7 - Схема процесу супроводу даних про поточний стан та історію ремонту

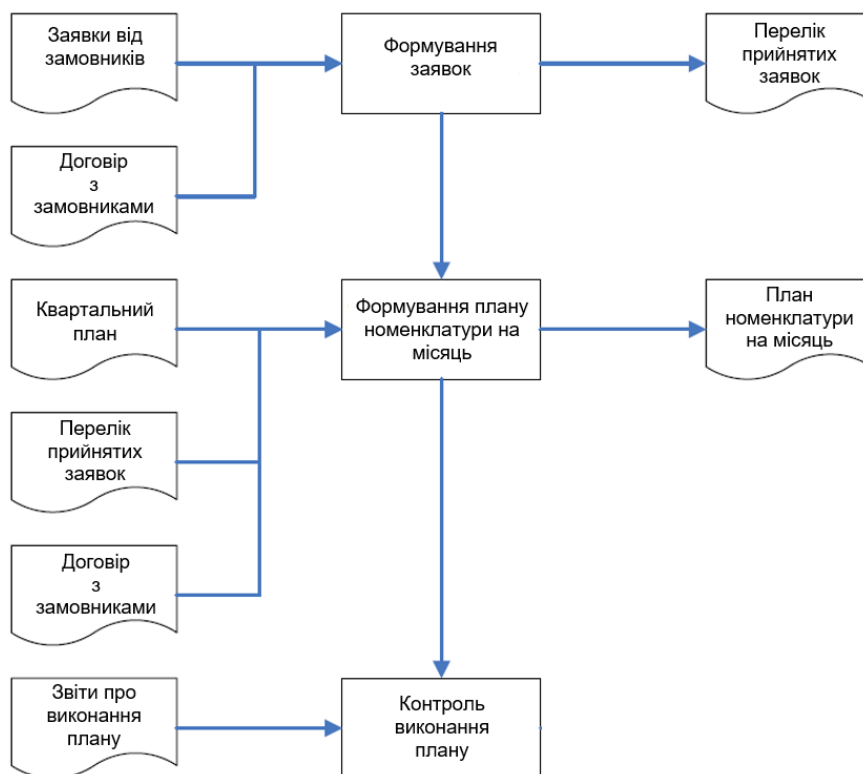


Рисунок 4.8 - Схема процесу контролю виконання основних замовлень

Результат функції 1 - перелік заявок на виконання ТО, ТР і КР. Заявки можуть бути підтвердженням запланованих робіт.

Результат функції 2 - план номенклатури, затверджений на місяць.

Результат функції 3 - звіт про виконання місячного номенклатурного плану.

4.3 Висновки до розділу 4

1. На основі статистичного аналізу загального пробігу автобусів автотранспортного підприємства отримано прогноз пробігу з використанням методів регресійного аналізу.

2. За даними статистики відмов основних вузлів заднього моста сформовано базу даних функцій потоку відмов, яка дала змогу за запропонованою методикою розрахувати раціональні періодичності попереджувальних замін для основних деталей заднього моста автобусів великого класу: - сапуна - 100 тис. км; сальників - 180 тис. км; головної пари шестерень - 240 тис. км; шестерні півосі - 260 тис. км; редуктора в зборі - 400 тис. км.

Виходячи з різниці витрат на обслуговування кожного вузла заднього моста отримано зниження витрат на підтримання працездатності у розмірі 136000 грн на один автобус у рік.

3. Виконано формальний опис технологічних процесів реєстрації та обліку виконання ремонтних робіт; супроводу даних про поточний стан та історію ремонту автобусів; контролю виконання замовлень з ТО та ремонту. Опис виконано для конкретного підприємства, але може розглядатися як типовий проєкт забезпечення функцій управління ТО, ремонтом і попереджувальними замінами.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У магістерській роботі розв'язано важливе наукове та практичне завдання, пов'язане з обґрунтуванням режимів планово-попереджувальних заміन деталей заднього моста автобуса, що дозволяє підвищити ефективність експлуатації автобусів.

2. Проведено аналіз джерел за тематикою. Наведено основні положення теорії надійності технічних систем і ТЗ, співвідношення для оцінки основних показників надійності ТЗ, таких як: ймовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов, середня напрацювання на відмову тощо. Розглянуто основні моделі надійності, зокрема Вейбулла. Проведено аналіз найбільш уживаних методів забезпечення працездатності автомобілів. Показано, що працездатність може бути суттєво підвищена за рахунок розрахунків характеристик надійності та пошуку доцільної періодичності ТО і попереджувальних заміні окремих деталей і вузлів автомобілів.

3. Розроблено класифікацію факторів, що впливають на характеристики надійності заднього моста автобуса. Проведено експертизу, виконано обробку результатів і виділено сукупність найбільш значущих факторів, що впливають на інтенсивність відмов деталей і вузлів заднього моста автобуса. За ступенем впливу на надійність заднього моста найважливішими є: конструкція заднього моста; якість і регулярність виконання операцій ТО; якість встановлюваних запасних частин; інтенсивність експлуатації автобусів.

4. Виконано дослідження та проведено аналіз щодо виявлення статистики відмов різних вузлів і деталей ведучого моста. Для окремих деталей і вузлів сформовано таблицю ресурсів, що лімітують надійність заднього моста автобуса, а саме: середній ресурс до першої відмови, довірчий інтервал, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнт варіації, параметри розподілу відмов за моделлю надійності Вейбулла. Доведено, що за знайдених параметрів моделі надійності Вейбулла вона може бути з достатньою адекватністю використана для розрахунку показників надійності заднього моста.

Запропоновано оптимізаційну постановку задачі розрахунку періодичності попереджувальних замін на основі комплексних показників надійності та цінового критерію. На основі розрахунку функцій відмов виконано розрахунки й обґрунтовано перелік операцій попереджувальних замін, для кожної операції запропоновано оптимальну періодичність, узгоджену з періодичністю ТО, зокрема: - заміна сапуна - 100 тис. км; заміна сальників - 180 тис. км; заміна головної пари шестерень - 240 тис. км; заміна шестерні півосі - 260 тис. км; заміна редуктора в зборі - 400 тис. км.

5. Впровадження системи попереджувальних замін для деталей і вузлів ЗМ дозволяє підвищити рівень працездатності автобусів на 14,2 %, при цьому час перебування автобусів на лінії може бути збільшено на 376 автоднів на рік, у результаті чого додатковий річний дохід становитиме 5640000 грн. Зниження витрат на підтримання працездатності заднього моста при переході на рекомендовані періодичності попереджувальних замін деталей і вузлів становить 952000 грн за весь життєвий цикл одного автобуса (сім років), або 136000 грн на рік на один автобус.

6. Для АТП виконано формальний опис процесів управління ТО і ремонтом, який може розглядатися як типовий проєкт забезпечення функцій управління ТО, ремонтом і попереджувальними замінами з можливістю використання запропонованих у роботі розрахункових методів формування періодичності ТО і попереджувальних замін.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Васілевський О. М. В19 Нормування показників надійності технічних засобів : навчальний посібник / О. М. Васілевський, О. Г. Ігнатенко. - Вінниця : ВНТУ, 2013. - 160 с.
2. Веселовська Н.Р., Худолій О.І. Надійність технологічних систем та обґрунтування інженерних рішень. Навчальний посібник. Вінниця.2014. - с.
3. Д. П. Рубан, і Л. В. Крайник «Методологія прогностичної оцінки ресурсної довговічності автобусів» Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, № 2 (11), Луцьк, 2018.
4. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Технологія: Підручник. - К.: Вища шк., 2017. - 527 с.: іл.
5. Біліченко, В. В. Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів: навчальний посібник / Біліченко В. В., Крещенецький В. Л., Кукурудзяк Ю. Ю., Цимбал С. В. - Вінниця: ВНТУ, 2012. - 118 с.
6. Іванов Г. О. Надійність технологічних систем: курс лекцій / Г. О. Іванов, В. І. Гавриш, П. М. Полянський, О. В. Гольдшмідт. - Миколаїв: МНАУ, 2015. - 40 с.
7. Ремонт автомобілів: Навчальний посібник/ Упор. В.Я. Чабанний. - Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2007. - 720 с.
8. Кисликов В. Ф., Лущик В. В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. - 6-те вид. - К.: Либідь, 2006. - 400 с.
9. Будова автомобіля: Навчальний посібник / А. І. Панченко, А. А. Волошина, О. В. Болтянський, І. І. Мілаєва, І. А. Панченко, А. А. Волошин. - Мелітополь: ВПЦ «Люкс», 2021. - 247 с.
10. Огірко О. І., Галайко Н. В. Теорія ймовірностей та математична статистика: навчальний посібник / О. І. Огірко, Н. В. Галайко. - Львів: ЛьвДУВС, 2017. - 292 с.
11. Турчин В.М. Теорія ймовірностей і математична статистика. Основні поняття, приклади, задачі: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. - Дніпропетровськ: ІМА-прес, 2014. 556 с.

12. Кузьменко І. М. Теорія графів: навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 71 с.
13. Довбиш А. С. Основи теорії розпізнавання образів: навч. посіб.: у 2 ч. / А. С. Довбиш, І. В. Шелехов. - Суми: Сумський державний університет, 2015. - Ч. 1. - 109 с.
14. Інженерно-транспортна експертиза: навч. посібник / [О. О. Лобашов, В. В. Сабадаш, І. О. Ткаченко та ін.]; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. - Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. - 340 с.
15. Бурлака С., Митко М., Борисюк Д. Аналіз моделей діагностики для визначення технічного стану транспортних засобів. Вісник Хмельницького національного університету, №6, Т.1, 2024. С. 39-42.
16. Ковалюк Д. Актуальність розробки методу оцінки ефективності автобусів по комплексу показників технічної і комерційної експлуатації / Д. Ковалюк // Тези V студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії «Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії». Луцьк: ЛНТУ - 2025 р. - С 330 - 332.