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

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Оцінювання впливу експлуатаційних умов на технічну готовність автомобілів комунального підприємства «Вінницька спеціалізована монтажно-експлуатаційна дільниця з організації дорожнього руху» місто Вінниця»

Виконав: здобувач 2-го курсу, групи 1АТ-24м
спеціальності 274 – Автомобільний транспорт
Освітньо-професійна програма –
Автомобільний транспорт
_____ Тихонов А.Ю.

Керівник: к.т.н., доцент каф. АТМ
_____ Митко М.В.
«01» 12 2025 р.

Опонент: доцент каф. ТАМ
Лозінський Д.О. _____
«05» 12 2025 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри АТМ
_____ к.т.н., доц. Цимбал С.В.
«5» 12 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувача кафедри АТМ
к.т.н., доцент Цимбал С.В.
_____
«25» 09 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Тихонову Андрію Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Оцінювання впливу експлуатаційних умов на технічну готовність автомобілів комунального підприємства «Вінницька спеціалізована монтажно-експлуатаційна дільниця з організації дорожнього руху» місто Вінниця
керівник роботи Митко Микола Васильович, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від «24» вересня 2025 року № 313.

2. Строк подання студентом роботи: 30.11.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Провести комплексний аналіз роботи актуальних експлуатаційних даних комунального підприємства. Визначити якісний та кількісний аналіз спеціалізованих автотранспортних засобів, їхні експлуатаційні витрати та специфічні умови навантаження в місті Вінниця. Встановити основні системи, вузли та агрегати, що лімітують технічну готовність автомобілів в умовах комунального підприємства. Здійснити системний статистичний аналіз відмов та простоїв транспортних засобів з метою отримання ймовірнісних характеристик для точного прогнозування. Вдосконалити математичну модель та методику управління системою ТО та ремонту для забезпечення необхідного рівня технічної готовності парку. Запропонувати методику удосконалення системи (ТО) та ремонту для спеціалізованих автомобілів, із урахуванням фактичного впливу експлуатаційних чинників та закономірностей відмов критичних вузлів, з метою підвищення показника технічної готовності та ефективності використання парку рухомого складу. Науково-обгрунтувати комплекс стратегічних та організаційно-технічних заходів щодо оптимізації ТО та ремонту на рівні підприємства та оцінити їхню економічну ефективність.

4. Зміст текстової частини:

1 Аналіз діяльності та функціонування роботи комунального підприємства «Вінницька спеціалізована монтажно-експлуатаційна дільниця з організації дорожнього руху» місто Вінниця.

2 Методичні основи оцінки впливу експлуатаційних характеристик на технічну готовність автотранспортних засобів.

3 Модель технічної експлуатації автотранспортних засобів з урахуванням їхніх експлуатаційних характеристик.

4 Оцінка економічної ефективності та обгрунтування впровадження моніторингу автотранспортних засобів.

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

1-2 Тема, мета та завдання дослідження.

3 Загальний вигляд автопарку техніки КП «Вінницька СМЕД ОДР», спеціалізова автомобілів середнього та великого класу, які використовуються для роботи.

4-5 Аналіз шляхів підвищення надійності АТЗ на етапі експлуатації та доведення неефективн регламентної системи. Візуалізація U-подібної кривої інтенсивності відмов.

6-7 Представлення цільової функції мінімізації сумарних витрат та системи коригуваль вагових коефіцієнтів, отриманих експертним методом, для адаптації нормативної інтенсивності відм

8-10 Аналіз фактичних експлуатаційних характеристик (дорожні умови, завантажен швидкість) та структури критичних відмов (Т1 – Т3), що підтверджують необхідність динамічн управління ресурсом.

11-12 Сезонний аналіз частоти відмов та оцінка впливу простоїв на коефіцієнт техні готовності. Визначення чотирьох ключових динамічних параметрів для прогностичної моделі.

13-14 Структурна схема системи опосередкованого контролю, заснованої на інтеграції да GNSS-трекерів. Формулювання повної економіко-математичної моделі витрат, де ймовірність відм

15-16 Демонстрація гнучкості моделі на трьох сценаріях експлуатації (критичний, типов легкий) та числовий розрахунок.

17-18 Розрахунок капітальних витрат на впровадження та визначення річної економії.

19 Висновки.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийн
Розв'язання основної задачі	Митко М.В., к.т.н., доцент кафедри АТМ		
Визначення ефективності запропонованих рішень	Бурєнніков Ю.Ю., професор кафедри АТМ		

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент _____ (підпис) Тихонов А.Ю.

Керівник роботи _____ (підпис) Митко М.В.

АНОТАЦІЯ

УДК 656.13.017

Тихонов А. Ю. Оцінювання впливу експлуатаційних умов на технічну готовність автомобілів комунального підприємства «Вінницька спеціалізована монтажно-експлуатаційна дільниця з організації дорожнього руху» місто Вінниця. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 274 – автомобільний транспорт, освітня програма – автомобільний транспорт. Вінниця: ВНТУ, 2025. – 92 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 49 назв; рис.: 28; табл. 21.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено питання щодо оцінювання впливу експлуатаційних умов на технічну готовність автомобілів комунального підприємства «Вінницька спеціалізована монтажно-експлуатаційна дільниця з організації дорожнього руху» місто Вінниця. У розділі 1 обґрунтовано аналіз функціонування роботи комунального підприємства «Вінницька спеціалізована монтажно-експлуатаційна дільниця з організації дорожнього руху» місто Вінниця. В розділі 2 виконано методичні основи оцінки впливу експлуатаційних характеристик на технічну готовність автотранспортних засобів. В розділі 3 виконано модель технічної експлуатації автотранспортних засобів з урахуванням їхніх експлуатаційних характеристик. В розділі 4 наведені результати оцінки економічної ефективності та обґрунтування впровадження моніторингу автотранспортних засобів.

Графічна частина складається з 19 плакатів із результатами моделювання.

Ключові слова: Експлуатаційні умови, технічна готовність автомобілів, система технічного обслуговування та ремонту, автомобільний транспорт, комунальне підприємство, коефіцієнт готовності, надійність.

ABSTRACT

Tikhonov A. Y. Assessment of the impact of operating conditions on the technical readiness of vehicles of the municipal enterprise "Vinnytsia Specialized Assembly and Operation Department for Road Traffic Organization" city of Vinnytsia. Master's qualification work in specialty 274 – road transport, educational program - road transport. Vinnytsia: VNTU, 2025. – 92 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 49 titles; fig.: 28; tabl. 21.

The master's qualification work develops questions on assessing the impact of operating conditions on the technical readiness of vehicles of the municipal enterprise "Vinnytsia Specialized Assembly and Operation Department for Road Traffic Management" Vinnytsia. Section 1 substantiates the analysis of the functioning of the municipal enterprise "Vinnytsia Specialized Assembly and Operation Department for Road Traffic Management" Vinnytsia. Section 2 provides methodological foundations for assessing the impact of operational characteristics on the technical readiness of vehicles. Section 3 provides a model of technical operation of vehicles taking into account their operational characteristics. Section 4 presents the results of the assessment of economic efficiency and justification for the implementation of vehicle monitoring.

The graphic part consists of 19 posters with simulation results.

Keywords: Operating conditions, technical readiness of cars, maintenance and repair system, road transport, municipal enterprise, readiness coefficient, reliability.

ЗМІСТ

ВСТУП 3

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ РОБОТИ КОМУНАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА «ВІННИЦЬКА СПЕЦІАЛІЗОВАНА МОНТАЖНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ДІЛЬНИЦЯ З ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ» МІСТО ВІННИЦЯ 8

1.1 Характеристика та напрям діяльності комунального підприємства «Вінницька спеціалізована монтажно – експлуатаційна дільниця з організації дорожнього руху» місто Вінниця 8

1.2 Аналіз наявної системи експлуатації автотранспортних засобів та оцінка її ефективності 14

1.3 Методологічні основи моніторингу: визначення довговічності та критеріїв оцінки ефективності 19

Висновки до розділу 1 26

РОЗДІЛ 2 МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ТЕХНІЧНУ ГОТОВНІСТЬ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ 27

2.1 Методичні положення оцінки впливу техніко-експлуатаційних факторів на технічну готовність автотранспортних засобів 27

2.2 Аналіз відмов та оцінювання впливу експлуатаційних факторів на технічну готовність АТЗ 48

2.3 Математична модель прогнозування технічної готовності автопарку 53

2.4 Математичне моделювання оптимального міжремонтного пробігу 60

Висновки до розділу 2 63

РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЬ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З УРАХУВАННЯМ ЇХНІХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК 64

3.1 Архітектура інформаційного забезпечення та генерація адаптивних вхідних даних 64
3.2 Практичне налаштування нечітко – множинної моделі (FLS) та верифікація прогнозу ризику 65
3.3 Визначення адаптивного оптимального міжремонтного пробігу та економічне обгрунтування 69
3.4 Методологічні основи контролю та місце адаптивної моделі в системі управління ТЕА 74
Висновки до розділу 3 79
РОЗДІЛ 4 ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ МОНІТОРИНГУ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ 80
4.1 Оцінка резервів підвищення ефективності використання рухомого складу 80
4.2 Визначення очікуваного економічного ефекту від впровадження моніторингу 82
Висновки до розділу 4 85
ВИСНОВКИ 86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 88
ДОДАТОК А 92
ДОДАТОК Б 111

ВСТУП

Актуальність теми. Економічний та інфраструктурний розвиток України вимагає забезпечення безперервної та безпечної організації дорожнього руху, що є критичним елементом функціонування сучасного міста. Комунальне підприємство «Вінницька спеціалізована монтажно-експлуатаційна дільниця з організації дорожнього руху» (КП «СМЕД ОДР») відіграє ключову роль у цьому процесі, експлуатуючи спеціалізований автопарк. В умовах зростаючих вимог до надійності та безпеки інфраструктури, забезпечення високої технічної готовності рухомого складу є основним завданням.

Традиційні методи технічного обслуговування (ТО), засновані виключно на пробігу, виявляються неефективними. Оскільки вони не враховують індивідуальні та нерівномірні умови експлуатації (технічну швидкість, рівень завантаження, інтенсивність роботи обладнання) та фактичний технічний стан кожної машини. Це призводить до надлишкових витрат на передчасні ремонти або до незапланованих відмов критичної техніки, що знижує загальну експлуатаційну якість АТЗ та загрожує безпеці дорожнього руху.

Актуальність вдосконалення методики управління технічною готовністю рухомого складу КП «СМЕД ОДР» обумовлена необхідністю оптимізації витрат на ТО та ремонт через перехід до обслуговування за фактичним станом. Це забезпечить підвищення надійності спеціалізованої техніки шляхом індивідуального коригування міжремонтного пробігу та гарантує безперебійність функціонування міської інфраструктури.

Дане дослідження спрямоване на розв'язання науково-практичної задачі підвищення експлуатаційної якості автотранспортних засобів КП «СМЕД ОДР» шляхом розробки ефективної методики моніторингу техніко-експлуатаційних характеристик. Викладене повністю підтверджує, що робота є актуальним дослідженням, яка спрямована на вирішення важливого народногосподарського завдання щодо підвищення ефективності роботи комунального підприємства та безпеки міського транспорту.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дані дослідження за темою магістерської роботи належать до основних напрямів наукових досліджень кафедри "Автомобілі та транспортний менеджмент" Вінницького національного технічного університету.

Мета і завдання дослідження. Метою магістерської кваліфікаційної роботи є на основі комплексного аналізу впливу експлуатаційних умов на його транспортні засоби розробити та обгрунтувати практичні рекомендації щодо удосконалення системи технічного обслуговування (ТО) та ремонту, спрямовані на підвищення показника технічної готовності автомобілів підприємства.

Для досягнення цієї мети поставлено та вирішено такі основні завдання:

1. Проаналізувати теоретичні основи та існуючі науково-методичні підходи до оцінювання технічної готовності автомобільного транспорту та її залежності від експлуатаційних чинників.

2. Дослідити та систематизувати основні експлуатаційні умови (дорожні, кліматичні, інтенсивність використання, якість ТО та ремонту) комунального підприємства «Вінницька СМЕД ОДР» та визначити їхній вплив на надійність та безвідмовність автомобілів.

3. Здійснити оцінку поточного рівня технічної готовності транспортних засобів комунального підприємства за обраними показниками (наприклад, коефіцієнтом технічної готовності, коефіцієнтом використання).

4. Виявити основні тенденції та закономірності відмов агрегатів і систем автомобілів, що експлуатуються в умовах КП "Вінницької СМЕД ОДР", та визначити критичні вузли, найбільш схильні до впливу експлуатаційних чинників.

5. Розробити та обгрунтувати комплекс практичних заходів (організаційних, технологічних, технічних) та рекомендацій щодо удосконалення системи ТО та ремонту для мінімізації негативного впливу експлуатаційних умов.

6. Визначити очікувану економічну ефективність від впровадження запропонованих рекомендацій на підприємстві.

Об'єкт дослідження – є процес експлуатації та забезпечення технічної готовності автомобільного транспорту комунального підприємства «Вінницька спеціалізована монтажно-експлуатаційна дільниця з організації дорожнього руху».

Предмет дослідження – це закономірності впливу експлуатаційних умов на показники технічної готовності та ефективність системи технічного обслуговування (ТО) і ремонту транспортних засобів КП «Вінницька СМЕД ОДР».

Методи дослідження. Відповідно до мети та завдань, як інструменти дослідження були використані основні положення системного аналізу, методи експертної оцінки, розстановки пріоритетів та методи економічного та статистичного аналізу прогнозування. Це і передбачає в магістерській кваліфікаційній роботі найбільш значних результатів досліджень та виконання таких основних етапів:

– Методичний підхід до комплексної оцінки впливу експлуатаційних умов (дорожні, кліматичні чинники, інтенсивність використання) на технічну готовність автомобільного парку КП «Вінницька СМЕД ОДР» на основі статистичного аналізу облікових даних про пробіг, відмови та простої транспортних засобів.

– Наукове обґрунтування закономірностей відмов та інтенсивності зношування критичних вузлів автомобілів, що експлуатуються в специфічних умовах комунального підприємства міста Вінниця, з використанням кореляційно-регресійного аналізу.

– Розробка алгоритму (або комплексу заходів) удосконалення системи технічного обслуговування (ТО) та ремонту, що дозволяє мінімізувати негативний вплив експлуатаційних чинників та визначати необхідну періодичність ТО для забезпечення високого рівня технічної готовності.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вдосконалено методику комплексної оцінки впливу експлуатаційних чинників (таких як дорожні умови, кліматичні впливи та інтенсивність

використання) на показники технічної готовності транспортних засобів КП «Вінницька СМЕД ОДР», що дозволяє підвищити точність прогнозування часу простою та обґрунтувати необхідні корективи у плановій системі технічного обслуговування (ТО) і ремонту.

2. Запропоновано та науково-обґрунтовано ключові напрями коригування системи ТО та ремонту спеціалізованих автомобілів комунального підприємства, що дозволяють скоротити кількість непланових відмов критичних вузлів, які спричинені специфічними експлуатаційними умовами Вінницького регіону.

3. Вдосконалено математичну модель прогнозування коефіцієнта технічної готовності автомобільного парку, яка, на відміну від існуючих, враховує диференційований вплив окремих експлуатаційних чинників та дозволяє оптимізувати структуру парку за критерієм надійності при плануванні закупівель.

4. Введено поняття «порогового показника чутливості технічної готовності», яке кількісно визначає, наскільки різко змінюється коефіцієнт технічної готовності автомобіля у відповідь на зміну інтенсивності використання в складних експлуатаційних умовах (наприклад, під час зимового чи інтенсивного дорожнього ремонту).

Практична значимість отриманих результатів.

Основні результати магістерської кваліфікаційної роботи мають практичне значення, дають можливість використовувати розроблені методики та обґрунтовані рекомендації для:

1. Визначення реального впливу експлуатаційних чинників на показники технічної готовності автомобільного парку КП «Вінницька СМЕД ОДР».

2. Удосконалення процесу управління системою технічного обслуговування (ТО) та ремонту комунальної спеціалізованої техніки.

Ці результати дозволяють оптимізувати планування ресурсів та робіт з ТО, що сприяє зниженню непередбачених простоїв та забезпеченню необхідного рівня технічної готовності транспортних засобів для виконання завдань з організації дорожнього руху в місті Вінниця та Вінницькій міській об'єднаній

територіальній громаді.

Достовірність теоретичних положень магістерської роботи підтверджується використанням теоретико-методологічних підходів (системний аналіз, теорія надійності та ТО), розробкою наукових і практичних методів, а також удосконаленням математичної моделі. Це дозволило створити новий підхід до прогнозування та оцінювання технічної готовності спеціалізованих автомобілів, який враховує специфічні закономірності відмов та мінливість експлуатаційних навантажень в умовах КП «Вінницька СМЕД ОДР».

Враховуючи технічні, транспортно-дорожні та економічні аспекти, пропозиції щодо постановки завдань наукового дослідження та наукових передумов, які сприяють забезпеченню необхідного рівня технічної готовності парку та його відповідності існуючим вимогам науково-технічного прогресу, мають важливе значення для розвитку комунального підприємства "Вінницька спеціалізована монтажно-експлуатаційна дільниця з організації дорожнього руху".

Апробація результатів роботи. Проміжні результати досліджень магістерської кваліфікаційної роботи доповідались та обговорювались на XVIII міжнародній науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 20-22 жовтня 2025 року, Вінниця, ВНТУ.

Публікації. Митко М.В., Бажан М.Ю., Тихонов А.Ю. Структурно-алгоритмічна модель управління рухом спеціального автотранспорту в умовах міської транспортної мережі. Матеріали XVIII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 20-22 жовтня 2025 року : Збірник наукових праць [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2025. – С. 302 – 305 [24].

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ РОБОТИ КОМУНАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА «ВІННИЦЬКА СПЕЦІАЛІЗОВАНА МОНТАЖНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ДІЛЬНИЦЯ З ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ» МІСТО ВІННИЦЯ

1.1 Характеристика та напрям діяльності комунального підприємства «Вінницька спеціалізована монтажно – експлуатаційна дільниця з організації дорожнього руху» місто Вінниця

1.1.1 Історія створення та основні етапи розвитку комунального підприємства «Вінницька спеціалізована монтажно – експлуатаційна дільниця з організації дорожнього руху» місто Вінниця

Сьогоднішні соціально-економічні реалії в Україні вимагають оновлення підходів до розвитку транспортних систем та активного впровадження сучасних технологій у сфері міського управління. Окрім цього, останні роки військової агресії змусили переглянути пріоритети, цінності та швидкість реалізації програм розвитку всього національного господарства.

Комунальне підприємство «Вінницька спеціалізована монтажно-експлуатаційна дільниця з організації дорожнього руху» (далі – КП «Вінницька СМЕД ОДР») виступає ключовим елементом міської інфраструктури. Його робота безпосередньо спрямована на забезпечення ефективності та безпеки організації дорожнього руху в межах Вінниці. Підприємство входить до структури та підзвітне Департаменту транспорту та міської мобільності Вінницької міської ради.

Становлення підприємства почалося на початку 2000-х років. Тоді, на тлі стрімкого розвитку транспортної мережі, виникла гостра необхідність у формуванні окремої спеціалізованої організації, відповідальної за обслуговування, монтаж та експлуатацію всіх засобів регулювання дорожнього руху: дорожніх знаків, світлофорів і розмітки. Початково ця дільниця працювала як частина комунальних служб, що займалися благоустроєм, а згодом отримала

статус незалежного комунального підприємства.

Сьогодні КП «Вінницька СМЕД ОДР» функціонує як модерна структура, яка гарантує безперебійну цілодобову роботу всіх систем управління дорожнім рухом та займається інтеграцією компонентів інтелектуальних транспортних систем (ІТС).

Ключові сфери роботи підприємства охоплюють такі напрями:

- Обслуговування світлофорних об'єктів: Роботи з монтажу, ремонту та регулярного технічного супроводу світлофорів.
- Регулювання знакового простору: Встановлення нових та своєчасна заміна наявних дорожніх знаків.
- Забезпечення горизонтальної розмітки: Нанесення та оновлення дорожньої розмітки.
- Підтримка інфраструктури: Постійне утримання технічних засобів організації дорожнього руху в належному робочому стані.
- Інноваційний розвиток: Запровадження передових систем для автоматизованого управління транспортними потоками.

Для успішного виконання своїх функцій та поставлених завдань підприємство забезпечене належною матеріально-технічною базою (МТБ). Вона включає:

- Спеціалізований автопарк: Вантажні машини, автовишки (підйомники), а також мобільні ремонтні майстерні.
- Техніка для розмітки: Обладнання для нанесення дорожньої розмітки, зокрема фарбонапилювальні та маркувальні установки / агрегати.
- Електротехнічне оснащення: Комплекс приладів та інструментів, необхідних для обслуговування світлофорних контролерів і систем управління.
- Виробнича інфраструктура: Ремонтні бокси, складські приміщення та інша допоміжна база.

Автопарк підприємства сформований переважно з транспортних засобів марок ГАЗ, ВАЗ, ЗАЗ Lanos, Daewoo, Volkswagen та інших, доповнений спеціальною технікою для виконання висотних і монтажних робіт. Важливо зазначити, що значна частина цього рухомого складу має тривалий термін використання, що створює необхідність планомірної модернізації та оптимізації всієї системи технічного обслуговування.

Організаційна структура КП «Вінницька СМЕД ОДР» включає такі функціональні підрозділи:

- Відділ світлофорного господарства: Займається монтажем та технічним обслуговуванням світлофорних об'єктів.
- Дільниця дорожньої розмітки: Спеціалізується на нанесенні та відновленні горизонтальної розмітки.
- Технічно – ремонтна служба: Забезпечує ремонт та підтримку технічного стану обладнання.
- Служба забезпечення: Відповідає за матеріально-технічне постачання (МТЗ).
- Управлінський апарат: Виконує адміністративно-керівні функції.

У штаті підприємства працює висококопрофесійний персонал: інженери, електромонтери, механіки, слюсарі, водії та майстри. Оскільки кваліфікація кадрів є вирішальним чинником ефективності обслуговування, керівництво регулярно проводить підвищення кваліфікації, інструктажі та внутрішнє навчання [33-36].

КП «Вінницька СМЕД ОДР» виконує важливу соціально-економічну функцію – забезпечення безпеки дорожнього руху у місті Вінниці. Підприємство має достатній технічний і кадровий потенціал. Однак, існує необхідність у вдосконаленні системи управління персоналом та підвищенні рівня кваліфікації ремонтних працівників, що безпосередньо покращить ефективність технічної експлуатації транспортних засобів.

1.1.2 Аналіз рухомого складу підприємства

Рухомий склад КП «Вінницька СМЕД ОДР» складається з автомобілів спеціального, вантажного та легкового призначення. Ця техніка задіяна у виконанні всього комплексу виробничих завдань – від операцій з евакуації до робіт із нанесення дорожньої розмітки.

Парк основних технічних засобів включає:

- Спеціалізована техніка для робіт та евакуації: евакуатор СКС FT2533DC-12AEH3I (з КМУ, повна маса 25 т, вантажопідйомність 15 т, лебідка 7,5 т); автогідропідіймачі (моделі ТК-RM-AGP14K та ТК-33023) для обслуговування світлофорних об'єктів.

- Транспорт для матеріалів та конструкцій: Вантажний ГАЗ-33023 – для перевезення демонтованих елементів та будівельних матеріалів; Renault Dokker Van – для транспортування фарб та інших витратних матеріалів.
- Техніка для розмітки: Машини для нанесення дорожньої розмітки (4 одиниці); Службовий та допоміжний транспорт:
  - Легкові автомобілі (Daewoo Gentra, ВАЗ – 21713, ВАЗ – 21112, ЗАЗ Lanos) – використовуються для службових перевезень, доставки обладнання та комплектуючих.

Основна частина техніки зосереджена на базі підприємства за адресою: м. Вінниця, вул. Ботанічна, 23, та розподілена між профільними службами.

Таблиця 1.1 – Перелік та характеристика колісних транспортних засобів КП «Вінницька СМЕД ОДР» м. Вінниця

№ з/п	Назва транспортного засобу	Шт.	Основне призначення / функції	Підпорядкування
1	*2*	*3*	*4*	*5*
1	**Спеціалізований вантажний автомобіль (евакуатор СКС FT2533DC12AEH3I)** Колісна формула: 6×2; повна маса – 25000 кг; вантажопідйомність – 15000 кг; лебідка DWT 16800 (тягове зусилля 7500 кг); крано-маніпуляторна установка з вильотом 6,13 м.	1	Евакуація тимчасово затриманих транспортних засобів, перевезення МАФів, гаражів, конструкцій та вантажів різної складності.	Відділ з питань перевезення вантажів служби «Архітектурно-будівельний сервіс»
2	**ГАЗ-3302 (бортовий малотонажний автомобіль), ГАЗ-3307 ТВП, ГАЗ-3307**	3	Перевезення демонтованих конструкцій, матеріалів, іншого майна.	Відділ з питань перевезення вантажів
3	**Легкові автомобілі (ВАЗ-210710, ВАЗ-21093, ВАЗ-210994, ВАЗ 210994-20, ВАЗ-21713, ВАЗ-21112)**	12	Перевезення праців-ників підприємства для виконання статутних завдань.	Відділ з питань перевезення вантажів
4	**DAEWOO Gentra, ЗАЗ Lanos, Geely CK Norma, VOLVO S70**	4	Доставка обладнання і виробів для монтажу, ремонту та експлуа-тації технічних засобів регулювання руху (дорожніх знаків, табличок тощо).	Лінійна служба

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
5	**Renault Dokker Van**	1	Перевезення фарби, витратних матеріалів для нанесення дорожньої розмітки.	Лінійна служба
6	**Volkswagen Amarok**	1	Оперативного перевезення бригад та обладнання	Лінійна служба/Служба АСКДР).
7	**Автогідропідіймач гідравлічний ТК-RM-AGP14K**	1	Підйом працівників на висоту для обслуговування світлофорних об'єктів.	Служба АСКДР (автоматизованої системи керування дорожнім рухом)
8	**Автогідропідіймач ТК-33023**	1	Обслуговування світлофорних об'єктів, технічних пристроїв регулювання руху.	Служба АСКДР
9	**Машини для нанесення дорожньої розмітки**	4	Виконання робіт із нанесення горизонтальної дорожньої розмітки.	Лінійна служба
10	**Причіп автомобільний АМС850 "Старконь" (борт 54 см), Причіп ТЦС-04 П/БОРТОВИЙ-В**	4	Транспортування дорожніх знаків, бар'єрних елементів або матеріалів	Лінійній службі або Відділу перевезення вантажів.
	Всього	32		

Темою магістерської кваліфікаційної роботи є: «Оцінювання впливу експлуатаційних умов на технічну готовність автомобілів комунального підприємства «Вінницька спеціалізована монтажно-експлуатаційна дільниця з організації дорожнього руху» місто Вінниця».

Метою роботи є розробка комплексної методики управління технічною готовністю рухомого складу комунального підприємства «Вінницька СМЕД ОДР». Це досягається шляхом оцінювання та моніторингу фактичного впливу експлуатаційних умов на надійність автотранспортних засобів (АТЗ), що, як наслідок, дозволить оптимізувати систему технічного обслуговування та підвищити безперебійність функціонування спеціалізованої техніки.

Для практичного аналізу спеціалізованих автомобілів середнього та великого класу використовується автопарк КП «Вінницька СМЕД ОДР». Зразки техніки наведено на рисунках 1.1 – 1.3.

Рисунок 1.1 – Спеціалізований вантажний автомобіль великого класу Ford Trucks 2533 (евакуатор СКС FT2533DC-12AEH3I) КП «КП «Вінницька СМЕД ОДР»

Рисунок 1.2 – Автогідропідіймач середнього класу ГАЗ – 33023 (ТК) КП «Вінницька СМЕД ОДР»

Рисунок 1.3 – Спеціалізований автомобіль середнього класу Renault Master (автогідропідіймач COMET HQ JIB, 14 м) КП «Вінницька СМЕД ОДР»

Виробничо-технічна база (ВТБ) включає ремонтно-механічну дільницю, зони технічного обслуговування і поточного ремонту, а також склади для зберігання усіх необхідних матеріалів і компонентів (фарби, дорожніх знаків, світлофорних елементів, запчастин). Зони ТО оснащені оглядовими канавами, підйомниками, діагностичним обладнанням, а також шиномонтажним та зварювальним устаткуванням [33-36].

Отже, КП «Вінницька СМЕД ОДР» володіє комплексною організаційною структурою та сучасною технічною базою, необхідною для успішного виконання завдань з організації дорожнього руху у Вінниці. Це підприємство слугує відмінною практичною платформою для проведення досліджень, спрямованих на вдосконалення технічної експлуатації спеціалізованого автотранспорту.

1.2 Аналіз наявної системи експлуатації автотранспортних засобів та оцінка її ефективності

Система технічної експлуатації (СТЕ) являє собою комплекс інженерно-технічних та організаційних заходів, метою яких є забезпечення ефективного використання автотранспортних засобів (АТЗ). Кінцеві результати цієї діяльності включають високу надійність (зокрема, високий коефіцієнт технічної готовності), паливну економічність, безпеку руху та мінімізацію собівартості технічного обслуговування [18].

Як галузь практичної діяльності, технічна експлуатація автомобілів – це сукупність взаємопов'язаних технічних, економічних, організаційних і соціальних заходів, спрямованих на:

1) Своєчасне забезпечення: Надання службі перевезень або зовнішнім клієнтам необхідної кількості працездатних автомобілів у встановлений час.

2) Підтримання працездатності: Утримання автомобільного парку в належному стані з дотриманням таких умов:

- Раціональне використання ресурсів: Забезпечення мінімальних витрат праці та матеріалів.
- Дотримання безпеки: Виконання нормативних вимог дорожньої та екологічної безпеки.
- Соціальні гарантії: Забезпечення нормативних умов праці для персоналу.

Реалізація цілей ТЕА та забезпечення її ефективності покладається на інженерно-технічну службу (ІТС) підприємства. Таким чином, ТЕА є однією з ключових підсистем автомобільного транспорту, доповнюючи комерційну експлуатацію (службу перевезень) та підсистему загального управління.

Залежно від типу підприємства, підсистема технічної експлуатації (ТЕА) може функціонувати у двох основних формах:

- Виробнича структура підприємства: ТЕА є внутрішнім підрозділом (наприклад, транспортної компанії або комунального підприємства, як у Вашому випадку), який забезпечує працездатність власного автопарку. Головна роль ТЕА тут – гарантувати наявність технічно справних АТЗ для реалізації транспортного процесу. Відносини між ТЕА та службою перевезень (комерційною експлуатацією) будуються на внутрішньогосподарських зв'язках.
- Незалежний господарський суб'єкт (Сервісна система): ТЕА трансформується в автосервіс. Сервісна система – це сукупність засобів і методів надання платних послуг власникам АТЗ, що охоплюють увесь цикл: від придбання до забезпечення працездатності, безпеки та економічності протягом усього терміну служби.

Розвиток автотранспортного комплексу вимагає постійного вдосконалення СТЕ. Це зумовлено низкою об'єктивних чинників:

- Інтенсивний розвиток: Зростання ролі автомобільного транспорту та інтенсивності руху.
- Економія ресурсів: Необхідність мінімізації витрат трудових, матеріальних та паливно-енергетичних ресурсів, необхідних для підтримки транспортного процесу.
- Вимоги до надійності: Забезпечення безперебійної роботи рухомого складу.

Вимоги до надійності АТЗ зростають через збільшення швидкості, потужності двигунів, вантажопідйомності та загальну технологічну й організаційну взаємозалежність транспорту з інфраструктурою [18].

Надійність автомобілів може підвищуватися двома основними шляхами:

1. На етапі виробництва та проектування: Шляхом впровадження прогресивних конструктивних рішень, використання нових матеріалів з вищими експлуатаційними властивостями та вдосконаленням технологічних процесів.

2. На етапі експлуатації: За рахунок удосконалення методів технічного обслуговування та ремонту (наприклад, метод додаткової деталі, ремонтних розмірів) і, що є ключовим для Вашої роботи, забезпечення більш сприятливих умов експлуатації шляхом обґрунтованого визначення оптимальних режимів роботи та навантажень.

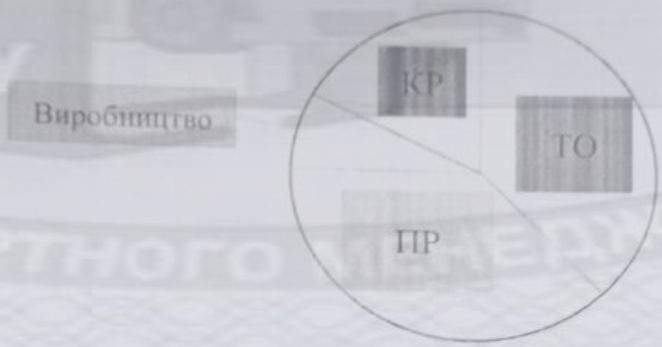

Рисунок 1.4 – Структура трудових витрат за "життєвий цикл" вантажного автомобіля

Таким чином, основна частка матеріальних витрат і трудових ресурсів у процесі експлуатації автомобілів припадає на технічне обслуговування (ТО) та ремонт. З огляду на це, оптимізація даних процесів є одним із ключових завдань даного дослідження для досягнення необхідного рівня експлуатаційної якості рухомого складу.

На сьогодні в системі технічної експлуатації АТЗ можна виокремити кілька основних систем (тактик) обслуговування та ремонту: за напрацюванням (пробігом), за технічним станом, або змішану систему, що поєднує елементи перших двох.

Суть цієї системи [за напрацюванням] полягає у виконанні регламентних профілактичних робіт (ТО, ремонт чи заміна) після досягнення АТЗ певного пробігу, незалежно від його фактичного технічного стану. Це найбільш проста та поширена модель, що гарантує працездатність транспортного засобу з високою ймовірністю ($R = 1 - F$). Головним економічним недоліком цієї тактики є її неефективність, оскільки значна частина потенційного ресурсу агрегатів не використовується. Частота ТО, встановлена для "середньостатистичного" автомобіля, може бути передчасною для конкретного АТЗ, що призводить до додаткових витрат [18, 19]. Всі існуючі традиційні методи визначення необхідності ТО призначені для реалізації саме цієї тактики [10].

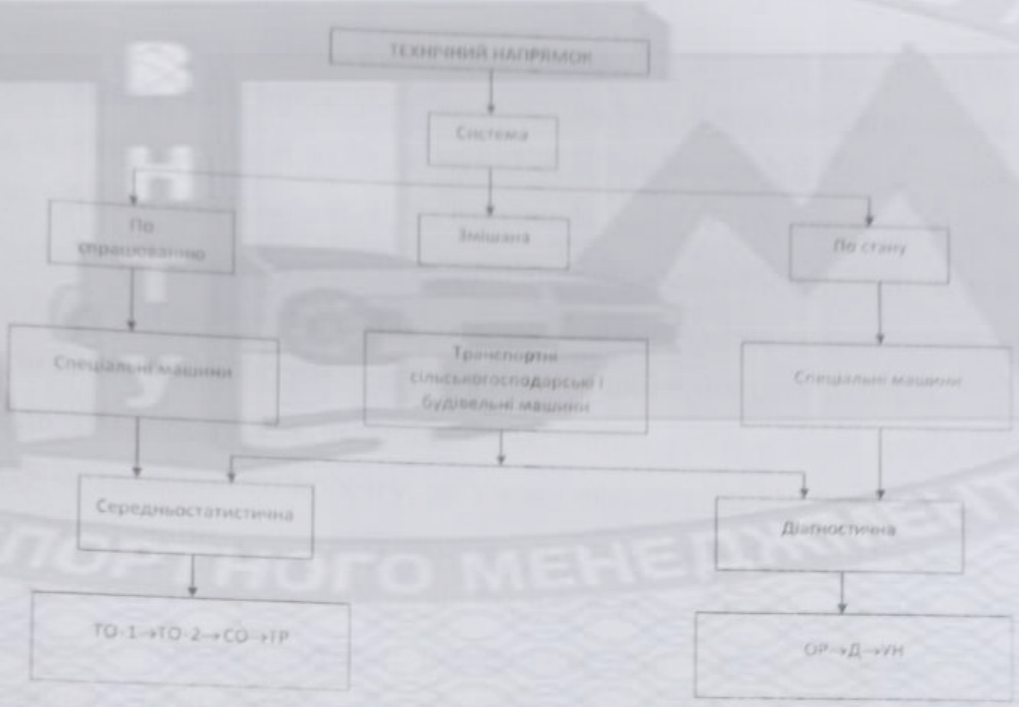

Рисунок 1.5 – Схема організації технічного обслуговування і ремонту автомобілів

Система обслуговування за технічним станом є більш прогресивною. Технічний вплив здійснюється лише тоді, коли контрольований параметр досягає свого критичного, гранично допустимого рівня. Ця тактика дозволяє уникнути "зайвих" ремонтів, що робить її економічно вигіднішою [21].

Найбільш перспективним напрямом вважається саме перехід від планово-запобіжної стратегії до обслуговування за станом. Така стратегія дозволяє адекватно реагувати на незаплановані навантаження та умови експлуатації, зменшуючи загальні витрати на АТЗ [4, 5]. Проте її реалізація вимагає постійного або періодичного вимірювання діагностичних параметрів та значних капіталовкладень у спеціальне контрольно-діагностичне обладнання, що є її основним недоліком [1, 2].

Надійність є комплексною властивістю технічного об'єкта, що визначає його здатність виконувати задані функції, зберігаючи свої характеристики в установлених межах [18, 19]. Вона охоплює безвідмовність, довговічність, ремонтопридатність та збереження. Діюча стратегія технічного обслуговування (ТО) та ремонту, яка базується на планово-запобіжних заходах, є недостатньо гнучкою, що вимагає її удосконалення в напрямку індивідуалізації контролю експлуатаційних характеристик АТЗ.

Дослідженням обліку умов експлуатації, оптимізації міжремонтного пробігу та розробкою засобів діагностики присвячені роботи багатьох провідних українських вчених, зокрема: Лудченка О. А., Дембіцького В. М., Форнальчика Є. Ю., Бідняка М. Н., Біліченка В. В. та Мигаля В. Д. [2, 3, 10, 18, 21, 31]. Традиційно терміни технічного обслуговування (ТО) встановлювалися на основі мінімізації сумарних витрат, пов'язаних із плановими та позаплановими ремонтами, шляхом впровадження принципу кратності планово-запобіжних ремонтів [3].

Головним недоліком більшості класичних робіт є їхня концентрація на розрахунку оптимального пробігу, де умови експлуатації (наприклад, дорожні та кліматичні [10]) приймалися детермінованою та постійною величиною. Це значне спрощення, оскільки детальний облік змінних експлуатаційних факторів раніше був неможливий через відсутність необхідних технічних засобів моніторингу.

Завдання оптимізації системи обслуговування АТЗ зводиться до вибору оптимального періоду ТО, що забезпечує мінімум витрат на експлуатацію при дотриманні норм безпеки; при цьому застосовують поелементний або загальний підхід, де останній розглядає АТЗ як єдину систему.

Наприклад, розглядаючи АТЗ як єдину систему, у [18, 19] зазначено, що велика кількість ймовірних відмов АТЗ у період експлуатації V включає в себе багато випадкових $Wв$ і поступових відмов $Wп$. При цьому $Wп \subseteq W$, $Wв \subseteq W$, $W = Wв \cup Wп$. Важливо зазначити, що розподіл випадкових відмов в основному залежить від якості та програми ремонту АТЗ і має експоненціальний характер кривої. На розподіл поступових відмов відзначено вплив умов експлуатації, причому для автомобілів такі відмови мають нормальний закон розподілу [18]. Можна припустити, що на характер і кількість випадкових відмов фактори умов експлуатації впливають несуттєво.

Для обліку економічної складової обслуговування АТЗ розроблено низку цільових функцій [1, 2], мінімізація яких дозволяє визначати оптимальний міжремонтний період на основі вартості ремонтів та закону розподілу напрацювання до відмови [10, 18, 22]. Класичні вирази для цієї функції є малопридатними для практичного застосування, оскільки на практиці дуже важко оцінити середнє напрацювання до відмови (L_P) та його залежність від умов експлуатації [32]. Чинна планово-запобіжна система (ПЗР) намагається компенсувати цю невизначеність, ставлячи АТЗ на плановий ремонт превентив -

но – до початку їхнього масового виходу з ладу.

Така статистика дозволяє побудувати графік потоку відмов $\omega(l)$ для пробігу АТЗ до величини L_P. Тоді для практичних розрахунків найбільш зручно використовувати цільову функцію у вигляді, запропонованому в [1, 2]. Передбачається, що функція $\omega(l)$ має відображати вплив місцевих умов експлуатації на показники надійності АТЗ. Але, як показує практика, навіть якщо АТЗ експлуатуються в одному АТП, але на різних маршрутах, вони мають суттєву різницю в статистиці непланових відмов через різницю в умовах експлуатації.

Якщо параметри закону розподілу залежать від умов експлуатації, виникає необхідність постійного контролю за його характеристиками та розробки ефективних методів контролю їхньої зміни.

1.3 Методологічні основи моніторингу: визначення довговічності та критеріїв оцінки ефективності

Технічна готовність і довговічність АТЗ можуть бути достовірно оцінені лише шляхом порівняння з однотипними об'єктами однакового призначення (наприклад, некоректно порівнювати фургон і самоскид).

Для всебічної оцінки ефективності експлуатації необхідний комплексний моніторинг експлуатаційних властивостей. Основними з них є: динаміка, економічність, надійність, прохідність, стійкість, легкість керування, місткість, маневреність та інші. Ключове значення для методології моніторингу також мають довговічність, зручність обслуговування, безпека та запас ходу між ТО / ремонтами.

1.3.1 Завдання моніторингу експлуатаційних властивостей АТЗ

Технічна готовність будь-якого об'єкта (автомобіля, агрегату, матеріалу) постійно змінюється в процесі експлуатації внаслідок зносу його складових елементів. Наприклад, витрата пального залежить не лише від конструкції, але й від поточного зносу циліндропоршневої групи чи системи живлення.

Тому для ефективної технічної експлуатації важливо розглядати поняття

якості, надійності та технічного стану комплексно, оцінюючи їхній взаємозв'язок за такою логічною схемою:

Технічний стан → Працездатність → Надійність → Технічна готовність → Цілі (транспорту).

Технічна готовність – це сукупність властивостей, що визначають ступінь придатності АТЗ чи обладнання до виконання заданих функцій за призначенням.

Технічна готовність складається з властивостей (наприклад, економічність, надійність) (табл. 1.2). Кожна властивість характеризується одним або кількома параметрами, які, у свою чергу, мають кількісні значення, що називаються показниками.

Ланцюжки аналізу якості мають різний напрямок залежно від мети:

- При оцінці та випробуванні: Оцінка йде від виміряного до загального: Показники → Параметри → Властивості → Технічна готовність.
- При заявленні вимог: Вимоги йдуть від загального до конкретного: Технічна готовність → Властивості → Параметри → Показники.

Таблиця 1.2 – Логічна структура поняття технічної готовності

Технічна готовність	Властивість	Параметр	Показник (для КП «ВСМЕД ОДР»)
Надійність	Безвідмовність	Напрацювання на відмову (середнє)	9 тис. км
Ефективність	Операційна ефективність	Коефіцієнт технічної готовності ($\alpha_т$)	0,85 – 0,9
Економічність	Паливна економічність	Середня витрата пального	12 л/100 км
Динамічність	Прискорення	Час розгону до 80 км/год	12 с
Довговічність	Технічний ресурс	Сумарний пробіг до капітального ремонту	400 тис. км

Як видно з таблиці 1.2, технічна готовність розгортається через ієрархію: «Властивость → Параметр → Показник». Наприклад, параметром паливної економічності є контрольна витрата пального, кількісне значення якої може становити 12 л/100 км.

Основні техніко-експлуатаційні властивості автомобілів, що закладаються при проектуванні та реалізуються в експлуатації [18, 19, 22], включають: вантажопідйомність, динамічність, місткість, маневреність, безпечність,

продуктивність та надійність.

У даній роботі для розробки системи оцінки доцільності проведення експлуатаційно-технічних заходів (ТО/ПР) буде проведено моніторинг наступних ключових властивостей: паливна економічність, динамічність (середня швидкість), продуктивність та безвідмовність.

Усі відомі методи планування періодичності технічного обслуговування (ТО) агрегатів і вузлів можна класифікувати на три основні групи [10, 17, 32]:

1. Прості методи (візуальні): грунтуються на зміні зовнішнього вигляду об'єкта (методи аналогій та співставлень);
2. Статистичні методи: базуються на допустимому рівні ймовірності безвідмовної роботи (техніко-економічний, економіко-ймовірнісний та метод статистичних випробувань);
3. Діагностичні методи: використовують допустиме значення та закономірність зміни фактичного технічного параметра об'єкта.

Аналіз показує, що більшість існуючих методів визначення періодичності ТО (ТО та ПР) призначені для реалізації планово-запобіжної тактики за напрацюванням (пробігом) для середньостатистичного автомобіля.

Найбільш перепективним методом, що вимагає подальшого розвитку, є метод статистичних випробувань. Цей метод може бути використаний для комп'ютерного моделювання та планування оптимальної періодичності ТО індивідуально для кожного автомобіля.

Крім того, метод статистичних випробувань дає змогу оптимізувати періодичність діагностування технічного стану окремих елементів, що є важливим для скорочення непродуктивних простоїв АТЗ у ТО та поточному ремонті (ПР).

1.3.2 Аналіз існуючих методів визначення технічної довговічності та вибір існуючих параметрів, що впливають на граничний стан АТЗ

Аналіз експлуатаційної надійності АТЗ показує, що в певних умовах експлуатації кожна модель має обмежену кількість деталей, які частіше за інші виходять з ладу. Ці елементи, що значною мірою визначають матеріальні та

трудові витрати на підтримання автомобіля у працездатному стані, отримали назву «критичних» за надійністю.

Згідно з чинними стандартами [2, 3], надійність визначається як властивість об'єкта зберігати в часі здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах. Надійність характеризується такими основними показниками [21]:

- Безвідмовність – властивість виконувати покладені функції без перерв.
- Ремонтопридатність – пристосованість до попередження, виявлення та усунення відмов (через ТО та ремонт).
- Довговічність – властивість зберігати працездатність у процесі тривалої експлуатації.
- Збереженість – властивість зберігати експлуатаційні показники протягом та після встановленого терміну зберігання.

Теорія надійності, яка встановлює кількісні характеристики [32], ефективно застосовується до великосерійних об'єктів, що експлуатуються у статистично однорідних умовах. Відмови розглядаються як результат взаємодії фізичної системи (автомобіля) з навколишнім середовищем та іншими об'єктами [21].

Показники надійності трактуються по-різному на різних етапах [17, 32]:

- На стадії проектування – як характеристики імітаційних моделей.
- На стадіях випробувань та експлуатації – як статистичні оцінки відповідних характеристик.

Стабільність надійності гарантується дотриманням регламентованих способів зберігання, штатних режимів експлуатації та вдосконаленням системи ТО та ремонту.

Відмови нерідко виникають раніше, ніж встановлено ресурсом виробника, через особливості конструкції та, що важливіше, через умови експлуатації. Хоча експлуатаційні фактори є стохастичними (випадковими), їх можна класифікувати за характером впливу, щоб знизити наслідки [5]. Імовірність відмови залежить від кількісного та якісного складу "шкідливих" факторів, які змушують агрегати працювати в нехарактерних умовах.

Основний шлях отримання моделі – це проведення випробувань, обчислення статистичних оцінок та їхня апроксимація. Досвід показує, що зміна інтенсивності відмов більшості об'єктів описується U – подібною кривою (крива інтенсивності зношування).

Підвищення експлуатаційної надійності може бути здійснене [4, 21, 32] за двома основними напрямками:

1. Удосконалення організаційно-технічного забезпечення на основі існуючих знань.

2. Ефективне використання нової інформації про стан автомобілів (за допомогою інформаційних систем та технологій [10, 32]) та створення на цій базі нових моделей контролю й управління.

Таблиця 1.3 – Виявлення моментів зміни характеру залежності інтенсивності відмов

Ділянка	Назва періоду	Характеристика
I	Період припрацювання	Підвищена інтенсивність відмов
II	Період нормальної експлуатації	Інтенсивність відмов майже постійна (випадкові відмови)
III	Період інтенсивного зношування	Інтенсивність відмов зростає

Аналіз надійності показує, що автомобільні двигуни є одними з найменш довговічних агрегатів. Вони мають відносно невелике середнє напрацювання на відмову, велику кількість відмов та спричиняють понад третину часу простою [4].

Приклад впливу умов експлуатації: Середня технічна швидкість може змінюватися від 66 км/год до 20 км/год залежно від маршруту. В умовах інтенсивного міського руху швидкість руху може бути на 50 – 52% менша, при цьому середня частота обертання колінчастого валу більша на 130 – 136% [10, 21].

Управління швидкісним режимом наразі зосереджено на безпеці та мінімізації витрати палива. Однак управління навантажувально-швидкісним режимом руху містить значні резерви підвищення експлуатаційної надійності, і його дослідження є актуальною задачею.

1.3.3. Огляд інформаційних технологій та систем моніторингу, що використовуються в технічній експлуатації АТЗ

В умовах переходу від планово-запобіжної системи (ПЗС) до обслуговування за фактичним станом (Condition-Based Maintenance, CBM) ключове значення набувають інформаційні технології, здатні забезпечити індивідуалізований та безперервний контроль експлуатаційних характеристик

кожного автотранспортного засобу (АТЗ). Сучасні технології моніторингу являють собою технологічний міст, що дає змогу подолати головний недолік ПЗС – детермінованість та ігнорування фактичних умов експлуатації.

1. Збір даних та моніторинг умов експлуатації.

Збір достовірних даних є наріжним каменем ефективної технічної експлуатації. Цей процес здійснюється за допомогою двох основних груп бортових систем:

А. Системи глобального позиціонування та телематики (GPS/GNSS)

Телематичні системи, що грунтуються на використанні GPS та/або ГЛОНАСС, дозволяють фіксувати не лише місцезнаходження АТЗ, але й ключові зовнішні експлуатаційні фактори.

- Фактичний пробіг та маршрут: На відміну від одометра, що може бути змінений, телематика надає точні дані про пройдений шлях, що є основою для коректного розрахунку міжремонтного ресурсу.
- Умови руху: Система фіксує середню технічну швидкість та профілі навантаження (рух по місту, рух по трасі, гірська місцевість). Як було зазначено в 1.3.2, інтенсивний міський рух суттєво змінює частоту обертання колінчастого валу, прискорюючи зношування агрегатів.
- Час роботи (мотогодини): Для спеціальної техніки та вантажівок телематика дозволяє обліковувати не лише пробіг, але й фактичний час роботи двигуна (мотогодини) на холостому ходу, що є критично важливим для оцінки зносу.

Б. Бортові системи діагностики та шина CAN

CAN-шина (Controller Area Network) та стандарти OBD (On-Board Diagnostics) є основним джерелом внутрішньої технічної інформації. Вони дозволяють отримувати дані в режимі реального часу про фактичний технічний стан основних вузлів.

- Параметри роботи двигуна: Отримання інформації про навантаження на двигун (відсоткове співвідношення), температуру робочих рідин, тиск масла та тиск палива. Ці дані дозволяють оцінювати напруженість роботи агрегатів.
- Коди несправностей (DTC): Діагностичні коди несправностей фіксуються одразу після їхнього виникнення. Це дозволяє перейти від ліквідації наслідків поломки до предиктивної діагностики (прогнозування відмови).

• Моніторинг паливної економічності: Точна фіксація витрати пального (з CAN-шини або додаткових датчиків) дозволяє використовувати її як інтегральний показник технічного стану. Необґрунтоване зростання витрати палива часто є першою ознакою погіршення стану циліндропоршневої групи або паливної системи.

2. Інформаційні системи управління технічною експлуатацією

Зібрані дані потребують систематизації, зберігання та аналізу. Для цього застосовуються спеціалізовані інформаційні системи.

А. Системи управління автопарком (FMS – Fleet Management Systems)

FMS є інтегрованими платформами, що об'єднують телематичні та діагностичні дані з обліковою інформацією.

• Індивідуалізація планування ТО: FMS використовують агреговані дані, щоб перерахувати періодичність ТО не за середньостатистичним пробігом (як у ПЗС), а з урахуванням коефіцієнтів корекції, що базуються на реальних умовах експлуатації (наприклад, суворі кліматичні умови, високий відсоток роботи двигуна під навантаженням).

• Оцінка ефективності ТО: Системи дозволяють порівняти заплановані витрати на ТО з фактичними витратами, викликаними позаплановими ремонтами, тим самим оцінюючи техніко-економічну ефективність стратегії обслуговування.

Б. Методологія використання Big Data та штучного інтелекту

Найбільш перспективний напрямок розвитку технічної експлуатації пов'язаний з обробкою великих даних (Big Data) та застосуванням машинного навчання (ML).

• Створення індивідуальних профілів надійності: Аналіз статистичних даних з тисяч однотипних АТЗ, що експлуатуються в різних умовах, дозволяє створити точні моделі зносу для кожної конкретної моделі та кожного індивідуального водія/маршруту.

• Прогноз відмов (Predictive Maintenance): Замість того, щоб чекати, поки діагностичний параметр досягне граничного значення (як у CBM), моделі ML можуть виявляти аномалії у зміні параметрів (наприклад, мінімальне, але стійке зростання температури масла) і прогнозувати відмову задовго до її настання.

Сучасні інформаційні технології створили необхідну інфраструктуру для збору та передачі даних, яка усуває головну проблему класичних моделей –

неможливість обліку змінних експлуатаційних факторів. Однак для перетворення цих необроблених даних на ефективні управлінські рішення необхідна нова методологічна база, яка б інтегрувала технічні та економічні показники. Саме розробці такої інтегрованої методики присвячено дане дослідження.

Висновки до розділу 1

1. Аналіз структури та діяльності КП «Вінницька СМЕД ОДР» підтвердив, що підприємство має комплексний парк спеціалізованої техніки (автовишки, евакуатори, розміточні машини), який є ключовим для забезпечення безпеки дорожнього руху Вінниці. Водночас, значний термін використання частини рухомого складу та специфічні умови експлуатації створюють критичну необхідність у модернізації та оптимізації системи технічного обслуговування.

2. Розгляд існуючих стратегій ТО показав, що чинна планово-запобіжна система (ПЗС), заснована виключно на пробігу, є неефективною для цього типу спеціалізованої техніки. Головний недолік полягає в тому, що ПЗР та більшість класичних моделей приймають умови експлуатації як детерміновані та постійні, ігноруючи індивідуальну дію факторів та фактичний технічний стан АТЗ.

3. Критичний аналіз класичних критеріїв оптимізації підтвердив, що традиційні цільові функції, які намагаються мінімізувати сумарні витрати, малопридатні для практичного застосування. Це зумовлено складністю достовірної оцінки середнього напрацювання до відмови та його залежності від мінливих умов. Натомість, новітні інформаційні технології (телематика, CAN-шина) надають необхідну інфраструктуру для переходу до помашинного моніторингу, що дозволяє виявити найбільш вагомі експлуатаційні фактори (пробіг, швидкість, навантаження) та індивідуалізувати оцінку.

4. Обґрунтовано методологічні основи комплексного моніторингу техніко-експлуатаційних властивостей як єдиного перспективного шляху для визначення фактичного технічного стану АТЗ. Контроль за зміною індивідуальних характеристик дозволить індивідуально коригувати міжремонтний пробіг і, як наслідок, мінімізувати сумарні витрати на обслуговування, що забезпечить підвищення експлуатаційної якості.

РОЗДІЛ 2
МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ТЕХНІЧНУ ГОТОВНІСТЬ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

2.1 Методичні положення оцінки впливу техніко-експлуатаційних факторів на технічну готовність автотранспортних засобів

Технічна готовність автотранспортних засобів (АТЗ) визначається як здатність автомобілів виконувати завдання за призначенням у заданих умовах експлуатації, що безпосередньо залежить від впливу різноманітних техніко-експлуатаційних факторів. До таких факторів відносяться умови дорожнього покриття, рельєф місцевості, інтенсивність руху, кліматичні умови та навантаження на транспортний засіб.

Комплексна оцінка технічної готовності передбачає використання інтегральних показників, які дозволяють врахувати взаємодію всіх факторів і визначити їхній вплив на силові агрегати, ходову частину, систему управління та електрообладнання АТЗ. Такий підхід дозволяє формувати моделі прогнозування технічного стану і визначати оптимальні строки проведення обслуговування та ремонтів.

Надійність автотранспортного засобу визначається сукупністю його властивостей зберігати працездатний стан у заданих умовах експлуатації протягом встановленого часу або пробігу. Для автомобілів КП «Вінницька СМЕД ОДР» рівень надійності значною мірою залежить від комплексу техніко-експлуатаційних факторів, зумовлених специфікою міської роботи: рухомий склад виконує короткочасні та часті поїздки, працює у щільному трафіку з великою кількістю циклів «розгін – гальмування».

Експлуатація та відновлення робочих характеристик є невіддільною частиною життєвого циклу АТЗ. Функціональна залежність ресурсу та витрат формалізована в літературі [18, 19, 32]:

$$\begin{cases} H_B = \Psi_B(E_B, O_P); \quad H_E = \Psi_E(H_B, O_E, \Lambda_P); \\ E_E + E_P = \Psi_P(H_B, X_E, \Lambda_P) \end{cases}, \tag{2.1}$$

де, H_B – надійність АТЗ під час виготовлення;

Ψ_B, Ψ_E, Ψ_P – позначення функціональної залежності відповідно під час виготовлення, експлуатації та ремонту;

E_B – витрати на виготовлення;

O_P – закладені робочі властивості;

H_E – рівень надійності в процесі експлуатації;

O_E – характеристика умов експлуатації;

Λ_P – параметр системи ремонту;

E_E – витрати на експлуатацію;

E_P – витрати на ремонт.

Як видно з (2.1), витрати під час експлуатації та ремонту значною мірою залежать від умов експлуатації АТЗ. Це зумовлює необхідність мінімізації сумарних витрат на обслуговування, що є цільовою функцією.

Методологічним підґрунтям даного дослідження є положення теорії надійності автомобільного транспорту (Лудченко, Форнальчик, Дембіцький), а також розробки сучасних наукових підходів [10, 18, 19, 21, 22, 26, 31], які присвячені корекції нормативів ТО/Р залежно від умов експлуатації.

Традиційні методики оптимізації ТО використовують параметри закону розподілу напрацювання до відмови, розраховані для середньостатистичного АТЗ. Проте на АТЗ діє розподіл навантажень із певною щільністю ймовірності, що спричиняє суттєвий розкид параметрів напрацювання до відмови.

Використання традиційних цільових функцій мінімізації сумарних витрат на обслуговування ($[B_{ПР} + R] \to MIN$) не є ефективним, оскільки витрати значною мірою залежать від характеристики умов експлуатації (O_E).

Такий підхід дає змогу сформулювати цільову функцію, спрямовану на мінімізацію сумарних витрат на обслуговування:

$$[B_{ПР} + R] \to MIN, \tag{2.2}$$

де $B_{ПР}$ – витрати на планові заходи з технічного обслуговування (ТО) та ремонту (ПР);

R – ресурси та збитки, задіяні на ліквідацію наслідків непланових ремонтів (НПР).

Збільшення міжремонтного пробігу L_P призводить до збільшення R (ризик відмов), але може зменшувати $B_{ПР}$ (частоту планових втручань), і навпаки.

Оскільки реальні умови експлуатації є індивідуальними та постійно змінюються, ключовим параметром, що підлягає контролю, є середнє напрацювання до відмови (L_{CP}), яке необхідно фіксувати для кожного АТЗ окремо.

Надійність розглядається як функція коригувальних коефіцієнтів, що відображають ступінь відхилення фактичних умов експлуатації від нормативних (базових). Ключові техніко-експлуатаційні фактори згруповані таким чином:

- Дорожні умови (K_d): стан покриття, рельєф, інтенсивність руху.
- Режим роботи двигуна та трансмісії (K_r): часті пуски/зупинки, низькі середні швидкості.
- Експлуатаційне навантаження ($K_н$): нерівномірне завантаження, спецобладнання.
- Кліматичні умови (K_{cl}): волога, реагенти, температурні коливання.
- Організаційні фактори (K_{org}): періодичність ТО, своєчасність діагностики.

Із розгляду загальної математичної моделі надійності виходить, що вплив експлуатаційних факторів на надійність описується через систему коригувальних коефіцієнтів, де фактична інтенсивність відмов (λ_f) визначається шляхом множення нормативної інтенсивності ($\lambda_н$) на добуток усіх експлуатаційних коефіцієнтів:

$$\lambda_f = \lambda_н \cdot K_d \cdot K_r \cdot K_н \cdot K_{cl} \cdot K_{org}, \qquad (2.3)$$

де λ_f – фактична інтенсивність відмов; $\lambda_н$ – нормативна інтенсивність;

K_d, K_r, $K_н$, K_{cl}, K_{org} – коригувальні коефіцієнти.

Для подальшого оцінювання технічної готовності використовується стандартна формула:

$$K_{TT} = \frac{T_{II} - T_{IIP}}{T_{II}}, \qquad (2.4)$$

де T_{II} – тривалість циклу роботи;

T_{IIP} – сумарний час простоїв через відмови та проведення ремонтів.

Оскільки кожен коригувальний коефіцієнт збільшує розрахункову інтенсивність відмов, саме їх визначення і є центральною задачею оцінювання впливу умов експлуатації.

Задача мінімізації витрат на засоби контролю умов експлуатації призводить до необхідності виявлення експлуатаційних факторів, що суттєво впливають на нерівномірність розподілу навантажень на АТЗ.

Першочерговим завданням є ідентифікація найбільш вагомих факторів серед усіх перелічених (K_a, K_r, K_n, K_{cl}, K_{org}). Це вимагає застосування методу експертних оцінок для ранжування їхнього впливу на технічний стан АТЗ.

2.1.1. Ідентифікація вагомих експлуатаційних факторів методом експертних оцінок

Задача мінімізації витрат на засоби контролю умов експлуатації призводить до необхідності виявлення експлуатаційних факторів, що суттєво впливають на нерівномірність розподілу навантажень на АТЗ. Першочерговим завданням є ідентифікація найбільш вагомих факторів серед усіх перелічених (K_a, K_r, K_n, K_{cl}, K_{org}).

Для оцінки суттєвості впливу експлуатаційних факторів на технічний стан спеціалізованих АТЗ застосовано метод експертних оцінок [2-5, 10, 18, 19, 21, 25-28, 32]. Метод передбачає анкетування фахівців у сфері, що розглядається, з метою виділення та присвоєння рангів значущості факторів, які суттєво

впливають на зношування АТЗ. Ранжування передбачає надання експертами оцінки ступеня впливу експлуатаційних факторів на зношування АТЗ загалом у порядку зниження їхньої суттєвості впливу.

За допомогою методу ранжування були проаналізовані думки двадцяти одного експерта, що дало можливість визначити значущість семи найбільш вагомих факторів (таблиця 2.1).

Розрахунок суми рангів (W_t) за кожним фактором впливу, визначеним опитаними експертами, здійснювався за виразом:

$$W_t = \sum_{\varphi=1}^{Q} R_{\varphi t}, \tag{2.5}$$

де W_t – сума рангів;

t – порядковий номер фактору впливу;

Q – кількість опитаних експертів;

φ – порядковий номер експерта;

$R_{\varphi t}$ – ранг, присвоєний експертом φ фактору впливу з номером t.

У результаті проведених обчислень може бути отримане значення коефіцієнта конкордації. Значущість коефіцієнта конкордації повинна бути перевірена за критерієм χ^2 [18, 19, 32]:

$$\chi^2 = Q \cdot (t_{max} - 1) \cdot W, \tag{2.6}$$

де χ^2 – оператор критерію;

t_{max} – кількість відібраних факторів впливу ($t_{max} = 7$);

W – коефіцієнт конкордації.

Величину, отриману за формулою (2.6), порівнюють зі значенням для п'ятивідсоткового рівня значущості ($\chi^2_{0.05}$ = 12,59, при кількість ступенів свободи – шість). Отримане значення χ^2 = 177,5 значно перевищує критичне табличне значення. Маємо: 177,5 > 12,59, що, згідно з використаною методикою, підтверджує високий рівень узгодженості відповідей експертів та достовірність отриманих результатів.

Для ефективного використання результатів ранжування необхідно розрахувати коефіцієнти важливості кожного фактору з метою виявлення найвагоміших. Оскільки найбільш важливим факторам експерти присвоюють найменші ранги, значення сумарного рангу W_i, (розрахованого по (2.5)) для них буде менше.

Ваговий коефіцієнт розраховуємо за формулою [4-6, 18, 21, 25-28]:

$$\beta_i = \frac{R_{max} - W_i}{R_{max} - R_{min}}, \qquad (2.7)$$

де β_i – коефіцієнт важливості;

R_{max} та R_{min} – відповідно максимальна та мінімальна суми рангів, які можливі.

Результати ранжування експлуатаційних факторів експертами представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Ранжування експлуатаційних факторів експертами

Фактори\ Експерти	Е 1	Е 2	Е 3	Е 4	Е 5	Е 6	Е 7	Е 8	Е 9	Е 10	Е 11	Е 12	Е 13	Е 14	Е 15	Е 16	Е 17	Е 18	Е 19	Е 20	Е 21
1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*	*17*	*18*	*19*	*20*	*21*	*22*
Пробіг (інтенсивність використання)	1	1	1	2	2	2,5	1	2	2	1	2,5	1,5	3	2	1	1	2,5	1	1	3	1,5
Завантаженість АТЗ (перевезення вантажів/ вага)	3	3	2	3	1	2,5	5	1	4	2	2,5	4	2	3	4	2	2,5	3,5	3	2	3
Швидкість руху	2	2	3	1	4	8	7	4	1	5	4	1,5	5	8	7	5	4	3,5	5,5	1	1,5
Якість дорожнього покриття	4	4	5	4	3	1	2	3	3	3	1	5	1	1	2	3	1	2	4	5	5
Кваліфікація експлуатуючого персоналу	5	7	6	7	7	6	6	6	8	7	7	8	7	6	6	7	7	7	7	7	7
Кваліфікація обслуговуючого персоналу	6	6	7	6	6	5	3	7	6	6	6	6	8	5	3	6	6	6	4	8	8
Складність маршруту (інтенсивність маневрування)	7	5	4	5	5	4	4	5	5	4	5	3	4	4	5	4	5	5	5,5	4	4

Для порівняльного аналізу результати предетавлено також у вигляді відносної величини впливу (α_i):

$$\alpha_i = \frac{\beta_i}{\beta_{max}}, \qquad (2.8)$$

де β_{max} – ваговий коефіцієнт найбільш вагомого фактору (пробігу АТЗ).

Таблиця 2.2 – Вагові коефіцієнти факторів, отримані експертним методом

Фактори	Коефіцієнти вагомості, β_i	Відносна величина впливу, α_i
Пробіг АТЗ	0,2139	1
Якість дорожнього покриття	0,1837	0,848
Завантаженість АТЗ	0,1798	0,833
Швидкість руху	0,1476	0,675
Складність маршруту (інтенсивність маневрування)	0,1185	0,579
Кваліфікація обслуговуючого персоналу	0,0896	0,439
Кваліфікація експлуатуючого персоналу	0,0669	0,33

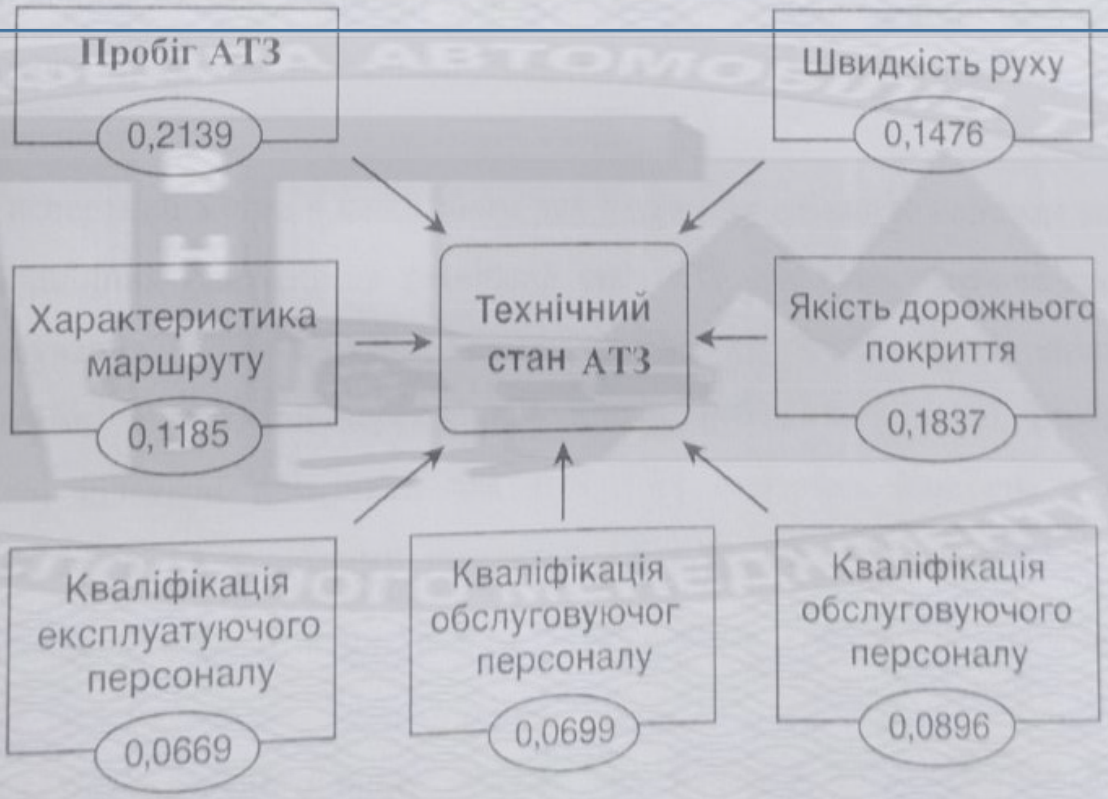

Рисунок 2.1 – Розподіл вагових коефіцієнтів факторів впливу експлуатаційних умов на технічний стан АТЗ

У процесі аналізу має бути враховано той факт, що фактори впливу були сформульовані експертами як ті, що мають найбільший вплив на технічний стан АТЗ. Судячи з цього, недооцінювати вплив працівників та інших факторів на процес зносу АТЗ не можна, проте його суттєвість значно нижча.

Зокрема, високі вагові коефіцієнти для якості дорожнього покриття (α_1 = 0,848) та завантаженості АТЗ (α_2 = 0,833) прямо вказують на їхній вирішальний вплив на ходову частину, підвіску, колеса та рульове управління, де акумулюється основна частина експлуатаційних навантажень. Швидкість руху (α_3 = 0,675), також корелює зі збільшенням динамічних навантажень та інтенсивністю зношування гальмівної системи і трансмісії. Ці результати підтверджують необхідність індивідуалізованого підходу до корекції нормативів ТО / Р.

Із застосуванням експертного методу проведено оцінку суттєвості впливу експлуатаційних факторів на технічний стан АТЗ в АТП. За результатами застосування експертного методу виділено основні експлуатаційні фактори, що суттєво впливають на технічний стан АТЗ. Ключові експлуатаційні фактори для подальшого дослідження: пробіг, якість доріг, швидкість руху та рівень завантаженості.

Експертний метод є необхідним для первинної оцінки важливості впливу експлуатаційних факторів на технічний стан АТЗ. Оскільки існуюча система обслуговування АТЗ враховує лише пробіг, якісні експертні оцінки є недостатніми для точної корекції нормативів. Виходячи з цього, необхідно розробити кількісні показники для виділених ключових факторів, а саме: дорожніх умов ($K_д$), режиму швидкості ($K_ш$) та завантаженості ($K_н$), щоб перевести їх у формат коригувальних коефіцієнтів у формулі інтенсивності відмов (2.3).

Для математичного опису впливу цих факторів на статистику відмов необхідно зібрати вихідні дані про параметри відібраних факторів та інформацію про позапланові ремонти, що є завданням наступного підрозділу.

2.1.2. Розробка кількісного інтегрального показника дорожніх умов ($К_Д$)

Із застосуванням експертного методу (підпункту 2.1.1) встановлено, що ключовими факторами, які суттєво впливають на технічний стан вантажних і легкових АТЗ на маршрутах, є пробіг, якість доріг, швидкість руху та рівень завантаженості.

Для математичного опису впливу цих виділених експлуатаційних факторів на статистику відмов АТЗ необхідний кількісний інтегральний показник (КІП) дорожніх умов ($K_д$).

Об'єкт дослідження: Вибрано функціональну систему силового приводу (двигун та агрегати трансмісії), режими роботи яких взаємопов'язані. Параметри їхніх режимів залежать від опору руху (дорожніх умов) і швидкості руху АТЗ.

Властивості, що досліджуються: технічна швидкість руху, параметри режимів роботи двигуна та ступінь їхньої нестаціонарності.

Дані для дослідження збираються шляхом аналізу поточної документації КП «Вінницька СМЕД ОДР» та розрахунку коефіцієнтів для відсутніх величин, щоб максимально відобразити реальні режими роботи АТЗ.

Аналіз літературних джерел та застосування методів типізації дозволили виявити значущі фактори дорожніх умов, які доцільно об'єднати у групи за механізмом впливу: технічна категорія дороги, рельєф місцевості, стан покриття дороги та умови руху АТЗ.

Критерії оцінки груп вагомих дорожніх факторів представлені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Критерії оцінки вагомих дорожніх факторів за впливом на реалізацію досліджуваних властивостей АТЗ

Найменування груп важливих факторів дорожніх умов	Критерії оцінки важливих факторів за впливом на реалізацію експлуатаційних властивостей АТЗ	
	Технічна швидкість	Параметри режимів роботи двигуна
Технічна категорія дороги	1. Опір руху 2. Обмеження за умовами безпеки	1. Опір руху
Рельєф місцевості	1. Опір руху 2. Обмеження за умовами безпеки	1. Опір руху
Стан покриття дороги	1. Опір руху 2. Обмеження за плавністю ходу	1. Опір руху
Умови руху	1. Режим руху 2. Насиченість перешкодами	1. Режим руху

Аналіз таблиці 2.3 показує, що перші три групи (ТКД, рельєф, стан покриття) мають спільні критерії впливу, узагальненим вимірювачем яких є коефіцієнт сумарного опору дороги. Умови руху оцінюються окремо.

На основі об'єктивності та нормативної бази прийнято наступну типізацію груп вагомих дорожніх факторів (таблиця 2.4). Кількість типів факторів є мінімальною і задовольняє умові однорідності всередині груп, але відмінності між ними:

Таблиця 2.4 – Типізація груп важливих дорожніх факторів

Групи вагомих дорожніх факторів	Типи факторів				
	I	II	III	IV	V
Технічна категорія дороги	I ТКД	II ТКД	III ТКД	IV ТКД	V ТКД
Рельєф місцевості	Рівнинний	Слабо-горбистий	Горбистий	Гористий	Гірський
Стан покриття:					
- за рівністю	Рівне	Мало вибоїн	Середньо вибоїн	З вибоїнами	-
- за погодними умовами	Сухе	Мокре	Вкрите снігом	-	-

Для кількісної оцінки впливу нерівності покриття на опір руху (коефіцієнт опору коченню f) використовується величина умовного нахилу (i_y), співмірна з f.

Середня величина коефіцієнта опору коченню f_i для різних типів покриття визначається з урахуванням ступеня рівності:

$$f_i = f_П + i_y, \qquad (2.9)$$

де $f_П$ – табличне значення коефіцієнта опору коченню;

i_y – величина умовного ухилу, що відображає ступінь нерівності покриття, яка розраховується за формулою (2.10):

$$i_y = \frac{\sum_{i=1}^{n} h_i}{L} \cdot 100\%, \qquad (2.10)$$

де h_i – висота i-ої нерівності;

n – число нерівностей на довжині L.

Для перевірки справедливості виразів (2.9) та (2.10) опрацьовано результати досліджень [3, 18, 19, 22] впливу рівності покриття на швидкість руху автомобіля (таблиця 2.5 та рисунок 2.2). Залежності $V_{CP} = \varphi(f_i)$ близькі до лінійних, що підтверджує справедливість перевірених виразів.

Таблиця 2.5 – Вплив сумарного коефіцієнта опору коченню та ступеня рівності дорожнього покриття на швидкість руху АТЗ

Номер ділянки	f	i_y	f_i	V_{CP}, км/год, (Вантажних автомобілів)
1	0,015	0,0003	0,0153	54,3
2	0,015	0,0012	0,0162	54,8
3	0,020	0,0011	0,0211	48,4
4	0,030	0,0028	0,0328	43,3
5	0,039	0,0056	0,0446	28,1
6	0,033	0,0122	0,0452	28,1

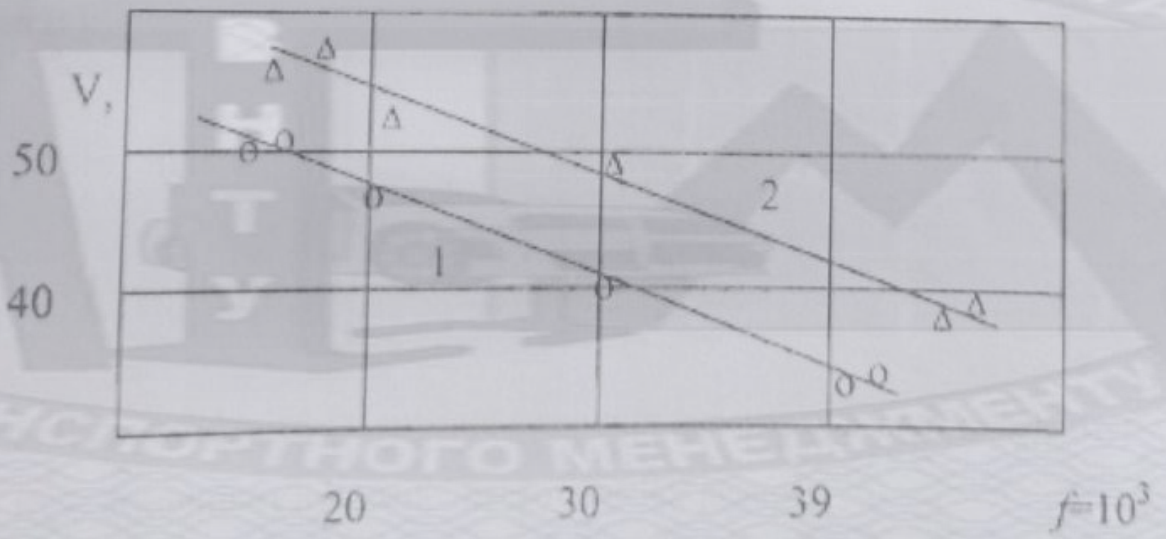

Рисунок 2.2 – Залежність середньої технічної швидкості руху АТЗ від сумарної величини коефіцієнта опору коченню та ступеня рівності дорожнього покриття

1 – вантажні автомобілі; 2 – легкові автомобілі

Дані, представлені у таблиці 2.5 та візуалізовані на рисунку 2.2, чітко демонструють зворотну лінійну залежність між сумарною величиною коефіцієнта опору коченню (f_i) та середньою технічною швидкістю руху (V_{CP}) АТЗ. Зі зростанням нерівності покриття (i, відповідно, зі збільшенням i_y та f_i) швидкість руху автомобіля суттєво знижується, оскільки потужність двигуна витрачається на подолання збільшеного опору руху. Це підтверджує можливість використання величини умовного нахилу (i_y) як надійного кількісного вимірника нерівності дорожнього покриття.

Встановивши, що f_i є достовірним інтегральним вимірником впливу дорожніх умов, ми можемо переходити до кодування поєднань значущих факторів дорожніх умов та формування коефіцієнтів зведення K_ψ і K_n, які будуть відображати зміну навантажувального режиму силового приводу.

Застосування методу елімінування при аналізі рівняння потужного балансу автомобіля дає змогу констатувати пропорційну залежність між вимірниками властивостей дорожніх умов і параметрами досліджуваних властивостей. Ця залежність дозволяє визначити коефіцієнти зведення як відношення до еталонних значень (дорога першої технічної категорії, рівнинний рельєф, сухе і рівне покриття):

$$K_\psi = \frac{\psi_i}{\psi_{ет}}, \tag{2.11}$$

$$K_n = \frac{n_i}{n_{ет}}, \tag{2.12}$$

де K_ψ – коефіцієнт відносної величини навантажувального режиму;

K_n – коефіцієнт відносної частоти зміни режиму;

$\psi_{ет}$, $n_{ет}$ – еталонні значення вимірників.

Значення K_ψ та K_n з погіршенням дорожніх умов збільшуються. Фрагменти систематизації та значень КІП ($K_Д$) для різних доріг, розроблені за єдиними принципами, наведені в таблицях 2.6 та 2.7.

Таблиця 2.6 – Фрагмент систематизації та значень КП доріг III технічної категорії

Технічна категорія доріг	Тип рельєфу місцевості	Стан покриття доріг				
		по погодних ознаках	рівне	мало-горбисте	середньо-горбисте	горбисте
III	Рівнинний	Суха	2,148	3,209	5,031	8,720
		Мокра	3,092	4,198	6,241	10,420
		Покрита снігом	3,985	5,330	7,430	11,700
	Слабо-горбистий	Суха	2,405	3,661	5,760	9,560
		Мокра	3,740	4,835	6,510	11,190
		Покрита снігом	4,560	6,090	8,250	12,730
	Горбистий	Суха	3,255	4,290	6,830	11,320
		Мокра	4,550	6,185	8,290	12,350
		Покрита снігом	5,696	7,360	9,940	14,850
	Гористий	Суха	4,096	8,100	8,440	13,400
		Мокра	6,440	7,762	10,420	15,770
		Покрита снігом	7,920	9,162	12,060	17,560
	Гірський	Суха	5,650	6,762	9,460	14,600
		Мокра	7,080	9,038	11,820	17,300
		Покрита снігом	8,240	11,040	13,800	20,090

Таблиця 2.7 – Фрагмент систематизації та значень КП грунтових доріг

Технічна категорія доріг	Тип рельєфу місцевості	Стан покриття доріг				
		по погодних ознаках	рівне	мало-горбисте	середньо-горбисте	горбисте
III	Рівнинний	Суха	4,73	6,83	9,55	16,24
		Мокра	9,55	12,49	16,24	23,63
		Покрита снігом	7,33	9,54	12,81	19,47
	Слабо-горбистий	Суха	5,69	7,21	9,68	17,76
		Мокра	9,68	13,67	17,76	26,47
		Покрита снігом	8,03	9,72	13,86	19,62
	Горбистий	Суха	6,55	8,10	10,52	19,34
		Мокра	10,52	14,94	19,34	28,59
		Покрита снігом	8,56	10,55	15,55	15,13
	Гористий	Суха	7,24	8,98	11,45	20,64
		Мокра	11,45	15,86	20,64	20,11
		Покрита снігом	9,61	11,28	16,09	24,89
	Гірський	Суха	7,37	9,03	11,77	20,70
		Мокра	11,77	16,08	20,70	30,26
		Покрита снігом	9,72	11,60	16,93	25,03

Значення КІП розглянутих доріг розроблені за єдиними принципами, що забезпечує порівнянність результатів експериментальних досліджень у межах кожної з виділених груп дорожніх умов.

Кар'єрні дороги мають усі необхідні характеристики для систематизації і можуть бути оцінені значеннями КІП. При цьому важливо враховувати:

- План, профіль та види покриттів автомобільних кар'єрних доріг повинні відповідати ДСТУ доріг, але правила безпеки [4, 18, 19, 25, 28, 29] накладають низку обмежень на ухили.
- Систематизацію кар'єрних доріг необхідно здійснювати окремо на підйомах і спусках, оскільки вони можуть мати різні поздовжні ухили (на підйом, як правило, – завантаженим автомобілем, на спуск – незавантаженим).
- Систематизацію складено для значень виняткових нахилів i_{max}, з урахуванням зміни середніх значень нахилу i_{cp}. Область від'ємних значень $K_д$ на спусках кар'єрних доріг відповідає режимам примусового холостого ходу двигуна.

Режими роботи силових агрегатів АТЗ на перевальних гірських дорогах формуються за аналогічними принципами, але за вихідний елемент при формуванні системних ланок прийнята технічна категорія дороги з удосконаленим покриттям.

У реальній експлуатації на реалізацію досліджуваних властивостей АТЗ суттєвий вплив можуть чинити умови руху (насиченість перешкодами), які не мають спільних вимірників з іншими групами дорожніх факторів.

Тому для комплексної оцінки дорожніх умов розроблено структурну формулу КІП умов ($К_Д$), яка враховує цей чинник:

$$К_Д = К_\psi \cdot К_n \cdot К_П , \qquad (2.13)$$

де $К_П$ – коефіцієнт зведення за умовами руху (насиченість перешкодами).

Для формування коефіцієнта зведення за умовами руху $К_П$ необхідно розв'язати задачу типізації. На цей час використовується типізація умов руху АТЗ, розроблена в ДерждорНДІ [13, 14, 25], наведена в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Типологія умов руху АТЗ

Номер типу	Найменування типу
1	У великих містах (з населенням понад 100 000 осіб)
2	У малих містах та приміській зоні
3	За межами міст та приміської зони (міжміські дороги)

Ця типізація отримана на основі аналізу реалізації параметра потоку відмов агрегатів і систем АТЗ у різних умовах руху. Однак, запропонований вимірник умов руху може використовуватися лише при русі АТЗ дорогами вищих технічних категорій з рівним, сухим асфальтобетонним покриттям у рівнинному типі рельєфу.

При формуванні ж вимірника потенційних властивостей умов руху необхідно вибрати функціональну властивість АТЗ, яка однозначно змінюється при зміні рівня перешкодонасиченості на маршруті руху.

При оцінці умов руху неприпустимо використовувати зовнішні фактори, які вже відображені в коефіцієнтах зведення дорожніх умов K_ψ і K_n (ТКД, рельєф, покриття, погодна ознака) та інших інтегральних показниках (ваговий стан АТЗ, кліматичні фактори).

З урахуванням вище перелічених вимог, для кількісної оцінки умов руху застосовується коефіцієнт перешкодонасиченості ($П_і$), який слугує основою для $K_П$. Формула визначення потенційних властивостей умов руху автомобілів набуває вигляду:

$$П_і = \frac{V_{max} \cdot \alpha_{пр}}{V_i \cdot \omega_i}, \qquad (2.14)$$

де $П_і$ – коефіцієнт перешкодонасиченості *і*-ої характерної ділянки маршруту руху;

V_{max} – максимальна швидкість АТЗ з нормованим навантаженням на еталонній дорозі (І ТКД, рівнинний рельєф, сухе, рівне покриття);

$\alpha_{пр}$ – коефіцієнт коригування V_{max} (враховує зменшення швидкості на дорогах зі складним поздовжнім профілем);

V_i – фактична швидкість руху АТЗ з нормованим навантаженням по i-й характерній ділянці маршруту;

ω_i – коефіцієнт зведення фактичної швидкості на i-й ділянці маршруту руху за станом покриття дороги, рівності дороги та погодних умов.

Таким чином, розроблений кількісний інтегральний показник дорожніх умов $К_д$ дозволяє кількісно оцінити вплив дорожнього середовища на навантаження АТЗ. Це закладає основу для подальшого кількісного опису впливу інших ключових експлуатаційних факторів – зокрема, режиму швидкості та рівня завантаженості – на технічний стан рухомого складу.

2.1.3. Типізація умов руху та формування коефіцієнта ($К_п$)

Для кількісної оцінки умов руху застосовується коефіцієнт зведення за умовами руху $К_п$, який базується на рівні насиченості перешкодами. Аналіз результатів досліджень реалізації показників швидкісних властивостей АТЗ на маршрутах із різним рівнем насиченості дозволив зіставити отриману типізацію з характерними умовами руху автомобілів, було виділено шість основних типів умов руху:

1 тип – міжміські дороги I–II ТКД у рівнинному, слабогорбистому та горбистому рельєфі з інтенсивністю до 900 авт/год; дороги III–IV ТКД та під'їзні/сільськогосподарські дороги I–III категорій при добовій інтенсивності до 200 автомобілів.

2 тип – міжміські дороги II–IV ТКД у гористому та гірському рельєфі; дороги, віднесені до першого типу (за винятком I ТКД), у випадках більш інтенсивного руху.

3 тип – приміські дороги; селищні дороги та вулиці невеликих міст (до 100 тис. мешканців); у великих містах – дороги загальноміського значення безперервного руху інтенсивністю в одному напрямку до 3500 авт/год.

4 тип – у великих містах – дороги загальноміського значення безперервного руху інтенсивністю в одному напрямку більше 3500 авт/год, а також вулиці та дороги районного значення з інтенсивністю руху до 1000 авт/год.

5 тип – у великих містах – вулиці та дороги загальноміського призначення регульованого руху інтенсивністю до 2000 авт/год в одному напрямку.

6 тип – вулиці та дороги районного значення великих міст з інтенсивністю руху більше 1000 авт/год в одному напрямку; міські вулиці та дороги, віднесені до п'ятого типу, у випадках вищої інтенсивності руху.

З урахуванням принципу однозначності обліку факторів, для кількісної оцінки умов руху застосовується коефіцієнт перешкодонасиченості ($П_і$), який слугує основою для $К_П$. Значення $К_П$ розраховуються на основі типізації умов руху та інтервалів вар'ювання $П_{іz}$, як показано в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 демонструє, як коефіцієнт $К_П$ зростає зі збільшенням перешкодонасиченості.

Таблиця 2.9 – Типи умов руху АТЗ

Номер типу	1	2	3	4	5	6
Інтервал $П_{іz}$	1,00 – 1,46	1,46 – 1,86	1,86 – 2,20	2,20 – 2,52	2,52 – 2,82	2,82 – 3,10
Середина $П_{іzср}$	1,24	1,67	2,06	2,37	2,68	2,96
Коефіцієнт приведення $К_П$	1,00	1,41	2,03	3,19	4,71	6,40

На основі аналізу фактичних умов експлуатації рухомого складу АТП (КП «Вінницька СМЕД ОДР»), для подальших розрахунків прийнято коефіцієнт дорожніх умов $К_П = 4,71$. Згідно з таблицею 2.9, це значення відповідає 5-му типу умов руху, де інтервал коефіцієнта перешкодонасиченості складає 2,52 – 2,82.

Таким чином, розроблений кількісний інтегральний показник (КІП) дорожніх умов $К_д$ (формула 2.13) кількісно оцінює вплив дорожнього середовища. Однак, для коректного моделювання залишкового ресурсу необхідно також врахувати інші ключові експлуатаційні фактори та їхній вплив на статистику відмов.

2.1.4 Аналіз ключових експлуатаційних факторів та моделювання потоку відмов

Дані для моделювання збираються шляхом аналізу документації АТП. Облік основних техніко-економічних показників дозволяє визначити суттєвість впливу експлуатаційних характеристик та відібрати фактори з максимальним впливом (див. рис. 2.1). До ключових факторів, що впливають на надійність, окрім дорожніх умов ($К_Д$), відносяться технічна швидкість (V_{TEX}) та завантаженість (M).

Технічна швидкість (V_{TEX}, км/год) – це середня швидкість руху АТЗ на маршруті без урахування часу їхньої стоянки для планових робіт [18, 19].

Технічна швидкість (V_{TEX}, км/год) – це середня швидкість руху АТЗ на маршруті без урахування часу їхньої стоянки для планових робіт. Вона визначається як відношення пробігу (N_l) до часу перебування в русі (N_t):

$$V_{TEX} = \frac{N_l}{(N_t)}, \tag{2.15}$$

де V_{TEX} – середня технічна швидкість;

N_l – пробіг АТЗ;

(N_t) – час перебування в русі.

Враховуючи, що $N_l = \Sigma N \cdot l_м$, а $(N_t) = \Sigma N \cdot t_x$, де N – кількість АТЗ, $l_м$ – пробіг на маршруті; t_x – час перебування автомобіля в русі, вираз для технічної швидкості перетворюється:

$$V_{\text{ТЕХ}} = \frac{\Sigma N \cdot l_м}{\Sigma N \cdot t_x}, \tag{2.16}$$

Проаналізовані показники за період з 2022 по 2025 рік, які є математичною основою опосередкованого контролю експлуатаційних характеристик, наведені в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Значення основних експлуатаційних характеристик АТЗ

Рік	Коефіцієнт дорожніх умов	Технічна швидкість, V_{TEX} (км/год)	Завантаженість АТЗ, М (кг)
2022	4,71	21,2	4872
2023	4,71	21,3	4837
2024	4,71	21,3	4857
2025	4,71	21,4	4828

Обраний період спостережень дає можливість дослідити зміну статистики відмов АТЗ відповідно до змін умов експлуатації. Суттєве коливання значень основних експлуатаційних характеристик протягом цього періоду підкреслює необхідність їхнього числового відображення для подальшого математичного опису.

Для оцінки ступеня впливу пробігу на технічний стан АТЗ проаналізовано характер розподілу фактичних відмов (емпірична основа), як показано на рис. 2.3.

Загальна функція потоку відмов $\omega(l)$ залежно від пробігу l записується у вигляді суми функцій розподілу випадкових $\omega_B(l)$ та поступових $\omega_П(l)$ відмов:

$$\omega(l) = \omega_B(l) + \omega_П(l), \tag{2.17}$$

де $\omega(l)$ – функція розподілу відмов за пробігом l;

l – пробіг автотранспортного засобу;

$\omega_B(l)$ – функція розподілу випадкових відмов;

$\omega_П(l)$ – функція розподілу поступових відмов.

Виділивши відмови, які можна віднести до випадкових ($\omega_B(l)$) і поступових ($\omega_П(l)$), та застосувавши метод найменших квадратів (МНК), було здійснено підбір функцій, які найбільш точно описують розподіл відмов. Підбір кривої виконано за допомогою програмного забезпечення для статистичного аналізу (наприклад, MS Excel Solver) з використанням модуля «Множинна регресія» [31].

Найбільшу достовірність отримано для експоненційного типу графіка:

$$y = c + \exp\cdot(b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \ldots), \tag{2.18}$$

Отримані емпіричні вирази для функцій набули вигляду:

- Функція розподілу випадкових відмов ($\omega_B(l)$):

$$\omega_B(l) = -9{,}9774 + e^{(3{,}76238 - l \cdot 0{,}02887)} \tag{2.19}$$

- Функція розподілу поступових відмов ($\omega_П(l)$):

$$\omega_П(l) = -32{,}464 + e^{(3{,}76238 - l \cdot 0{,}02887)} \tag{2.20}$$

Скоригований коефіцієнт детермінації R^2 для виразів (2.19) та (2.20) становить відповідно 0,84027 та 0,99886, що вказує на високу достовірність отриманих результатів.

Графіки загального потоку відмов (формула 2.17) та його складових, побудовані на основі емпіричних виразів, наведені на рис. 2.3.

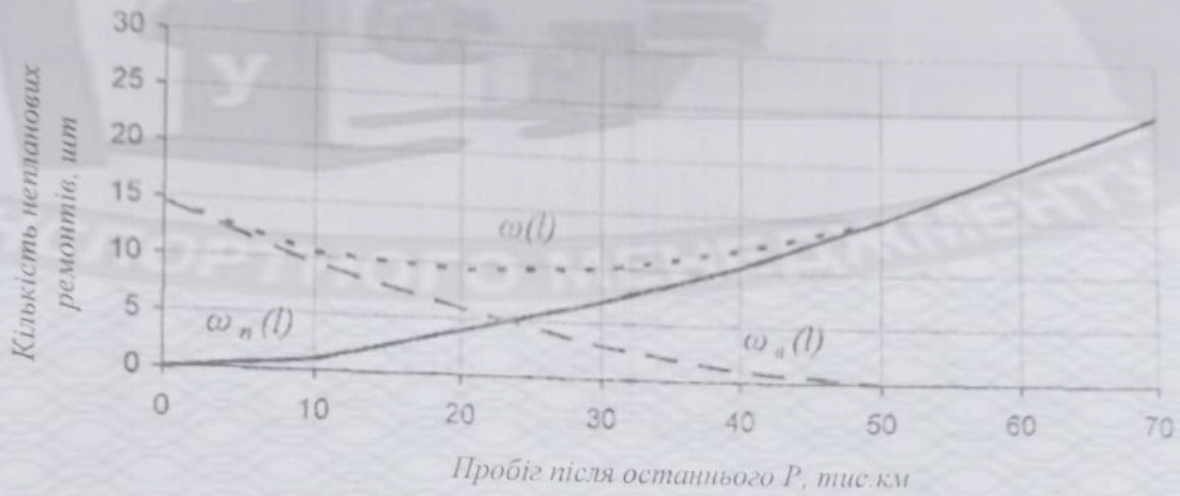

Рисунок 2.3 – Теоретичні криві потоків відмов

Для відображення статистики відмов АТЗ вводиться величина, що відповідає кількості позапланових ремонтів $P_{НР.t}$, яка припадає на один цикл проведення відновлювальних операцій в обсязі ПР-1 (L_P = 60 000):

$$P_{НР.t} = \frac{Ф_в}{L_{заг}} \cdot L_P \,, \qquad (2.21)$$

де $P_{НР.t}$ – кількість позапланових ремонтів, що припадає на один цикл проведення відновлювальних операцій;

$Ф_в$ – кількість автомобілів, у яких зафіксовано відмову;

$L_{заг}$ – загальний пробіг АТЗ за розглянутий період;

L_p – одиниця пробігу, до якої приводиться значення величини (у роботі прийнято L_p = 60 000 км).

Аналіз звітів дозволив виділити типи відмов, статистика появи яких залежить від експлуатаційних характеристик: **Т1** (відмова трансмісії), **Т2** (відмова двигунів), **Т3** (відмова електрообладнання). На їхню частку припадає **94%** всіх причин позапланових ремонтів.

Це підтверджується відносною оцінкою статистики відмов на рис. 2.4.

Рисунок 2.4 – Відносна оцінка статистики відмов автомобілів за причинами:

1 – відмова трансмісії – 21,8%;

2 – відмова двигунів – 55,6%;

3 – відмова електрообладнання – 12,2%;

4 – відмова паливної системи – 4,1%;

5 – інші відмови – 6,3%.

Зведення досліджуваних даних згідно з прийнятими позначеннями та способом приведення величини (2.21) представлено у таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Значення статистики відмов автотранспортних засобів

Рік	T1	T2	T3	$P_{HP.t}$
2022	0,08447	0,30953	0,053	0,49478
2023	0,06254	0,22821	0,04656	0,400122
2024	0,08717	0,34979	0,04443	0,552639
2025	0,11766	0,386	0,08608	0,679916

Отже, у підрозділі 2.1 було розроблено математичний інструментарій для кількісного обліку ключових експлуатаційних факторів ($К_Д$, V_{TEX}, M) та побудовано теоретичну модель потоку відмов $\omega(l)$, що дозволяє прогнозувати статистику позапланових ремонтів ($P_{HP.t}$).

Ця модель є основою для розрахунку конкретних показників надійності (зокрема, ймовірностей планового та непланового ремонту) з урахуванням індивідуальних умов експлуатації кожного АТЗ. Саме цим завданням і буде присвячено наступний підрозділ 2.2.

2.2. Аналіз відмов та оцінювання впливу експлуатаційних факторів на технічну готовність АТЗ

Основною метою даного підрозділу є статистичний аналіз наявних експлуатаційних даних та показників надійності автопарку комунального підприємства «Вінницька СМЕД ОДР» за період 2022 – 2025 рр. Результати цього аналізу є емпіричною базою для обґрунтування необхідності розробки прогностичної моделі.

Традиційні підходи до планування технічного обслуговування (ТО) базуються на фіксованих міжремонтних пробігах, які не враховують індивідуальні та динамічні умови експлуатації. Однак, надійність та технічна готовність комунальних автомобілів, які працюють у циклічному режимі з частими змінами швидкості, навантаження та дорожніх умов, мають сильну нелінійну залежність від таких факторів, як фактичний пробіг (L), завантаженість (M), режим швидкості (V) та коефіцієнт дорожніх умов (Ψ).

Саме тому, у рамках цього розділу проводиться:

1. Детальний статистичний огляд структури та сезонності позапланових відмов автопарку.
2. Кількісне оцінювання кореляційного впливу ключових експлуатаційних факторів на частоту відмов.

Отримані висновки дозволять перейти до наступного етапу – розробки математичної моделі прогнозування $K_{т.г.}$ (Розділ 2.3), яка зможе адаптивно оцінювати ризик відмови, замість використання усереднених нормативних показників.

2.2.1. Статистичний аналіз відмов автопарку за 2022 – 2025 рр.

Проведений аналіз позапланових відмов за період 2022 – 2025 рр. дозволив визначити найбільш уразливі функціональні системи автомобілів КП «Вінницька СМЕД ОДР», які вносять найбільший вклад у зниження технічної готовності. Проаналізовано структуру позапланових відмов, що дає змогу ідентифікувати найбільш критичні агрегати, чутливі до умов експлуатації.

Таблиця 2.12 – Розподіл кількості відмов по системах та критичних агрегатах (за даними КП «Вінницька СМЕД ОДР», 2022 – 2025 рр.)

Агрегат / Система	Кількість відмов (од.)	Частка від загальної кількості відмов, %
Ходова частина та підвіска	125	31,2
Електричне обладнання (генератор, стартер, АКБ)	85	21,3
Гальмівна система (робоча та стоянкова)	70	17,5
Двигун та його системи (живлення, запалювання)	50	12,5
Трансмісія та приводи	40	10,0
Інші (кузов, допоміжне обладнання)	30	7,5
Всього	**400**	**100,0**

Ходова частина є лідером за кількістю відмов (31,2%). Це прямо вказує на критичну чутливість автопарку до дорожніх умов (Ψ) та інтенсивних динамічних навантажень. Висока частка відмов електричного обладнання (21,3%) та гальмівної системи (17,5%) свідчить про вплив частих циклів "запуск – зупинка", та необхідність постійного маневрування, характерних для комунальних маршрутів.

Для оцінки динаміки зносу використовується показник частоти відмов (λ), віднесений до одиниці пробігу (1000 км). Аналіз показує, що з накопиченням пробігу частота відмов зростає, що є типовим для процесу старіння, але критичним є прискорення цього зростання після певного напрацювання.

Для цілей даного дослідження, інтенсивність зношування (υ_3), відображена на графіку, розглядається як пропорційний показник частоти відмов (λ) на етапі прискореного зносу, оскільки зростання інтенсивності зношування прямо призводить до зростання частоти відмов.

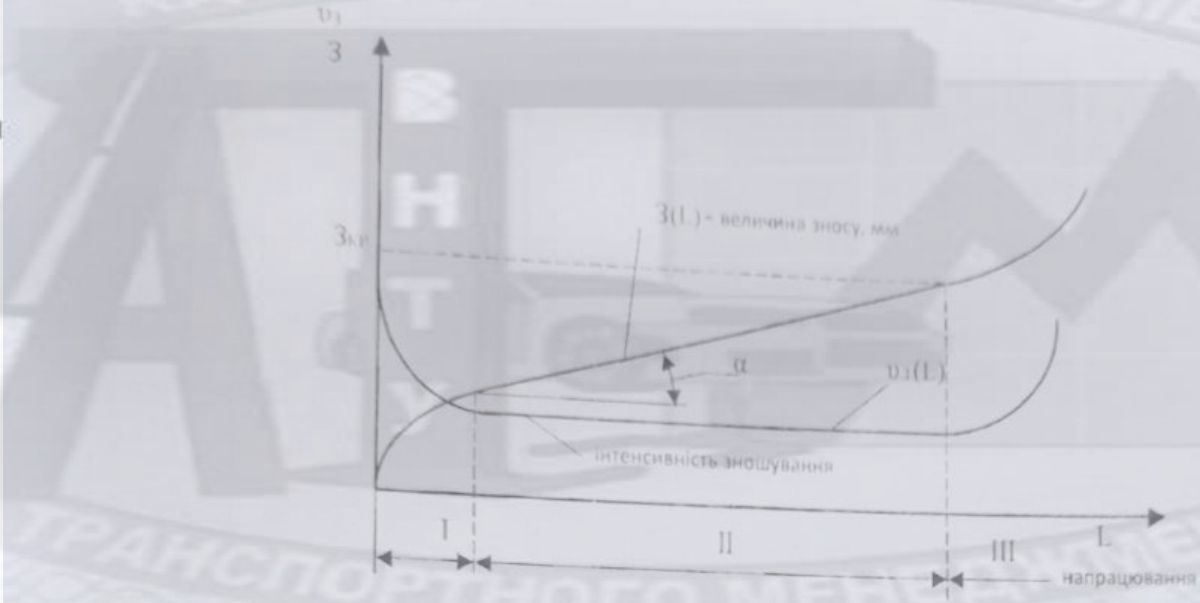

Рисунок 2.5 – Розподіл частоти відмов та інтенсивності зношування деталі від пробігу автомобіля

(Показує зростаючу залежність $\lambda = f(L)$).

де $V_з$ – інтенсивність зношування, мм/1000 км;

З – знос, мм;

Vз (L) – залежність інтенсивності зношування деталі від напрацювання;

З(L) – залежність зносу деталі від напрацювання;

$З_{гр}$(кр) – величина граничного (критичного) зносу деталі;

α – кут, що характеризує зміну величини інтенсивності зношування деталі;

I – період пониження зношування деталі (період припрацювання);

II – період сталого зношування деталі (період гарантійної експлуатації);

III – період підвищення зношування (аварійного зношування) деталі, (період пост гарантійної експлуатації).

Графік підтверджує, що ризик відмови має нелінійну залежність від напрацювання, особливо в зоні підвищеного зносу.

Сезонний фактор, опосередкований кліматичними та дорожніми умовами, також впливає на надійність, що відображається у коливанні частоти відмов протягом року.

На рисунку 2.6 зображено гістограму сезонного аналізу, яка показує піки кількості відмов у січні-лютому та березні-квітні, і спад влітку.

Рисунок 2.6 – Графік частоти відмов по місяцях

(Сезонний аналіз позапланових відмов АТЗ КП 2022 – 2025 рр.)

Аналіз сезонності показує:

- Спостерігаються чіткі піки відмов у зимовий період (січень – лютий) та навесні (березень – квітень), що підтверджує, що статичні плани ТО не можуть ефективно керувати ризиками.
- Сезонний фактор, який є зовнішнім та змінним, підтверджує, що статичні плани ТО не можуть ефективно керувати ризиками, пов'язаними з цими коливаннями.

Для оцінки поточної ефективності системи обслуговування аналізуються витрати часу (простої) на ТО та ремонт.

- Планове обслуговування (ТО-1, ТО-2): Виконується згідно з регламентом, зазвичай, за часом чи фіксованим пробігом. Час простою на ТО є передбачуваним, але його оптимізація може бути досягнута лише шляхом збільшення міжремонтного пробігу.
- Позапланові ремонти: Ці ремонти, спричинені відмовами, є найбільш критичними для $K_{т.г.}$, оскільки вони непередбачувані і ведуть до втрати робочого часу. Статистика показує, що середній час простою на позаплановий ремонт перевищує середній час простою на планове ТО, що прямо знижує загальний $K_{т.г.}$ підприємства.

Аналіз, проведений у 2.2.1, дозволив виділити ключові експлуатаційні фактори (L, M, V/a, Ψ), які мають сильну кореляцію з частотою позапланових відмов. Встановлення цих кореляційних зв'язків є емпіричним обґрунтуванням для включення цих динамічних змінних у прогностичну модель.

Фактор пробігу є акумулятивним показником зносу. Його нелінійний вплив, що призводить до прискореного збільшення ризику відмови, був детально проаналізований та візуалізований на рисунок 2.5. Це підтверджує, що пробіг є базовим, але динамічним параметром для прогнозування.

Якість дорожнього покриття є критичною, оскільки ходова частина є найбільш уразливою (таблиця 2.12). Рух по дорогах із низьким коефіцієнтом Ψ (погане покриття) прямо збільшує динамічні навантаження на елементи підвіски, прискорюючи їхнє руйнування.

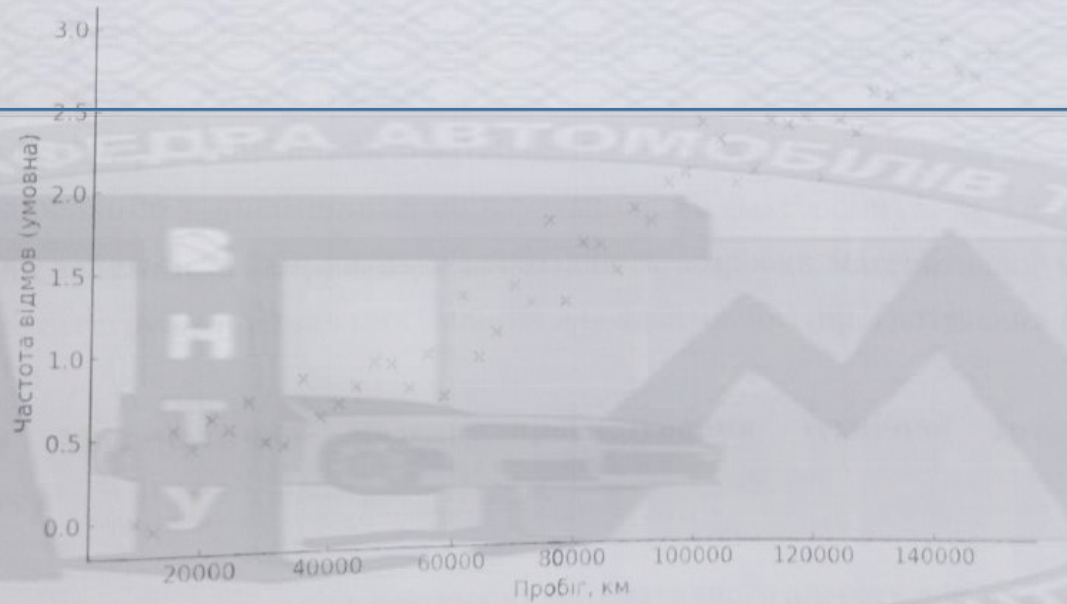

Рисунок 2.7 – Залежність частоти відмов від пробігу

Робота з повним або змінним завантаженням спричиняє зростання навантаження на трансмісію, підвіску та раму. Емпіричний аналіз показує, що навіть невелике збільшення середньої завантаженості викликає непропорційно більше зростання частоти відмов у відповідних агрегатах.

Рисунок 2.8 – Вплив дорожніх умов на частоту відмов

Всі рисунки сформовані на основі синтетичних даних, які узгоджених із автопарком у 32 одиниці техніки.

Часті цикли прискорення (a) та гальмування є головним джерелом інтенсивного зношування гальмівної системи, трансмісії та підвищеного термічного режиму двигуна. Цей фактор необхідно враховувати як інтегральний показник жорсткості експлуатації.

Проведений статистичний аналіз показав, що ризик позапланових відмов має високу кореляцію з динамічними експлуатаційними факторами (L, M, V/a, Ψ). Ця емпірична залежність обґрунтовує необхідність розробки математичної моделі, що зможе інтегрувати вплив цих змінних для адаптивного прогнозування $K_{т.г.}$.

2.3 Математична модель прогнозування технічної готовності автопарку

Метою цього підрозділу є розробка математичного апарату для адаптивного прогнозування коефіцієнта технічної готовності ($K_{т.г.}$) автопарку на основі врахування динамічних експлуатаційних факторів (L, M, V/a, Ψ) та прогнозної оцінки ймовірності відмов $P_{прогноз}$. Це дозволяє перейти від статичних нормативів до адаптивного управління ТО.

Для забезпечення функціонування прогностичної моделі критично важливим є достовірний контроль чотирьох ключових динамічних параметрів:

фактичний пробіг (L), технічна швидкість руху (V), показник дорожніх умов ($К_Д$) та рівень завантаженості (M).

Пропонується концепція опосередкованого контролю, заснована на аналітичних розрахунках даних існуючих GNSS-систем. Структурна схема системи автоматичного контролю експлуатаційних характеристик (рисунок 2.9) відображає ієрархію взаємодії між бортовими GNSS-трекерами, базою даних КП та блоком аналізу для отримання необхідних експлуатаційних характеристик.

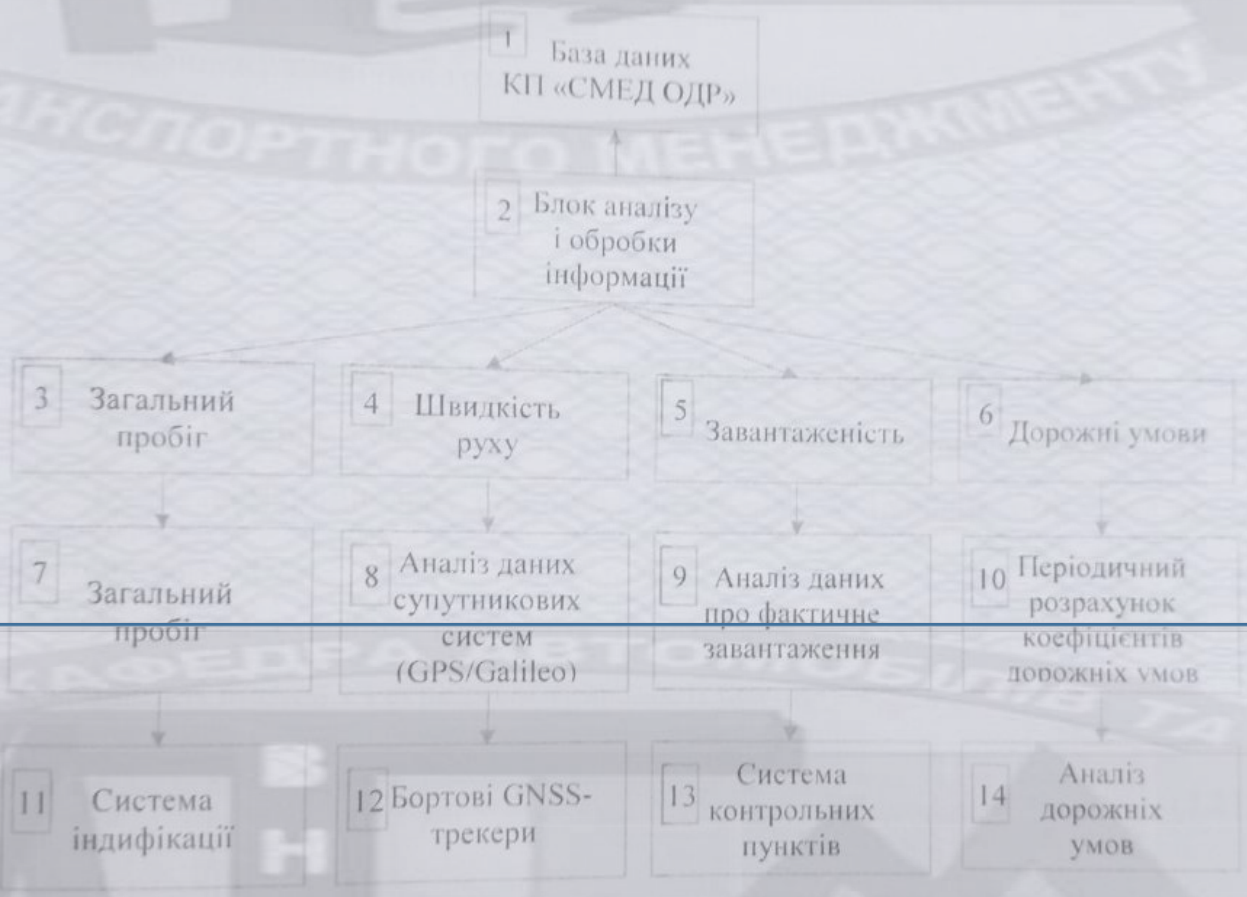

Рисунок 2.9 – Структурна схема системи автоматичного контролю експлуатаційних характеристик

Дана схема відображає ієрархію взаємодії між основними компонентами системи, де:

- Блок 1 (База даних КП «СМЕД ОДР») є центральним сховищем інформації.
- Блок 2 (Аналіз та обробка) виконує розрахунок залишкового ресурсу та прогнозування часу настання наступного ТО.
- Блоки 3, 4, 5, 6 відповідають за чотири ключові контрольовані експлуатаційні характеристики.

• Блоки 7 – 14 є джерелами вихідної інформації, при цьому «Система ідентифікації» (Блок 11) є ключовою для фіксації дислокації АТЗ у просторі та часі.

Для управління надійністю АТЗ пропонується використовувати дані бортових телематичних систем (GPS / Galileo) як первинні ідентифікаційні дані для точності й оперативності.

2.3.1. Модель технічної готовності автопарку

Коефіцієнт технічної готовності $K_{т.г.}$ є ключовим показником надійності. У класичній теорії він розраховується як:

$$K_{т.г} = \frac{T_{роб}}{T_{роб} + T_{обсл} + T_{рем}}, \qquad (2.22)$$

де $T_{роб}$ – час фактичної експлуатації (роботи в належному стані) ;

$T_{обсл}$ – сумарний час простоїв, пов'язаних з плановим обслуговуванням;

$T_{рем}$ – сумарний час простоїв, пов'язаних з неплановими ремонтами (наслідок відмов).

Очікувана сумарна тривалість непланових простоїв $T_{рем}$ залежить від інтенсивності відмов λ і середньої тривалості ремонту $\tau_{рем}$:

$$T_{рем} = N_B \cdot \tau_{рем} = (\lambda \cdot T_{період}) \cdot \tau_{рем}, \qquad (2.23)$$

Під інтенсивністю відмов λ тут розуміємо очікувану кількість відмов на одиницю часу (наприклад, в рік) для одиниці техніки. Важливо, що в адаптивній моделі λ – не константа, а функція експлуатаційних параметрів:

$$\lambda = \lambda(L, M, V, a, \Psi), \qquad (2.24)$$

або коротко $\lambda = g(x)$, де x – вектор вимірюваних характеристик.

Отже прогнозна формула для $K_{т.г}$ на період $T_{період}$ набуває вигляду:

$$K_{т.г.прогн} = \frac{T_{період} - T_{обсл} - \lambda(\vec{x}) \cdot T_{період} \cdot \tau_{рем}}{T_{період}} = 1 - \frac{T_{обсл}}{T_{період}} - \lambda(x) \cdot \tau_{рем}, \qquad (2.25)$$

Ця формула чітко показує, що для прогнозування $K_{т.г}$ потрібна адекватна модель λ(x) і знання $\tau_{рем}$, а також достовірна інформація про $T_{обсл}$.

2.3.2 Побудова адаптивної моделі інтенсивності відмов λ(x)

Гібридна модель λ(x) поєднує аналітичні розрахунки (GNSS-дані) та Систему Нечіткої Логіки (FLS) для інтеграції якісних та кількісних факторів.

GNSS-даних (x_i, y_i, t_i) → використовуються для точного обчислення:

- пробігу (L): $L = \sum L_i$, де L_i – пробіг між послідовними точками;
- швидкості (V_i) та середнього прискорення (a_i):

$$V_i = \frac{L_i}{t_{i+1} - t_i} = \frac{L_i}{\Delta t_i}, \tag{2.26}$$

де Δt_i – інтервал часу між послідовними фіксаціями.

Середнє прискорення на ділянці i розраховується як зміна швидкості між двома послідовними ділянками (V_{i+1} та V_i), поділена на часовий інтервал Δt:

$$a_i = \frac{V_{i+1} - V_i}{\Delta t_i}, \tag{2.27}$$

1. **Завантаженість (M):** Оцінюється опосередковано через логістичні записи або бортові датчики. Використовується як нечітка лінгвістична змінна ("Мале", "Середнє", "Повне навантаження"). Для наочного відображення дискретного процесу збору даних пропонується структурна схема переміщення АТЗ (рис. 2.10).

2. **Дорожні умови (Ψ):** Ідентифікуються через ГІС-прив'язку або аналіз динаміки (наприклад, незвично низьке a_i при нормальному режимі руху вказує на підвищений опір). Також використовується як нечітка лінгвістична змінна ("Гарне покриття", "Погіршені умови").

$$\Psi = f(a_i, V_i, M), \tag{2.28}$$

Рисунок 2.10 – Структурна схема переміщення АТЗ по ділянках маршруту

FLS перетворює набір експлуатаційних факторів (L, V, a, M, Ψ) у єдиний кількісний показник ризику – ймовірність відмови (P).

3. **Фазифікація:** Всі вхідні (L, V, a, M, Ψ) та вихідна (P) змінні представлені як набори лінгвістичних термів з відповідними функціями належності (трикутні / трапецієподібні / L – R).

Комплекс функцій належності на вибрані межі визначення змінної M представлений графічно (рис. 2.11).

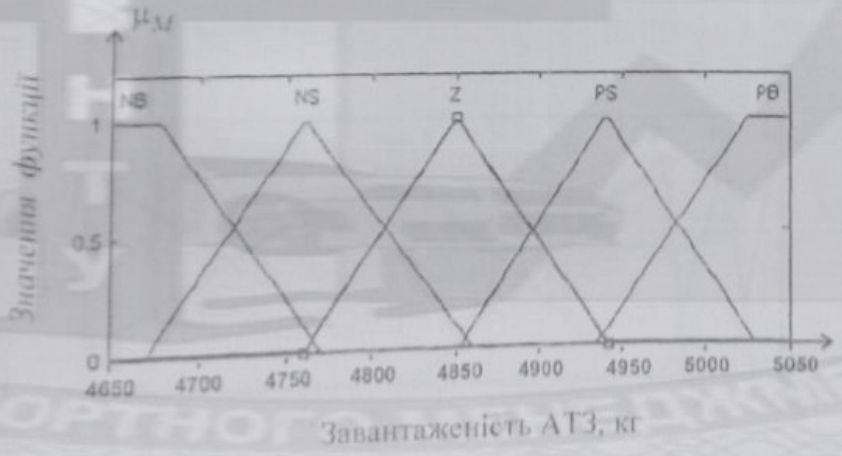

Рисунок 2.11 – Функції належності змінної M

Для стійкості моделі фазифікацію швидкості (V) проведено в широкому діапазоні [0 – 44] км/год, що охоплює можливі відхилення на різних маршрутах, навіть якщо середні значення швидкості спостережень є вузькими.

Комплекс функцій належності на вибраних межах визначення змінної *V* представлений графічно (рис. 2.12).

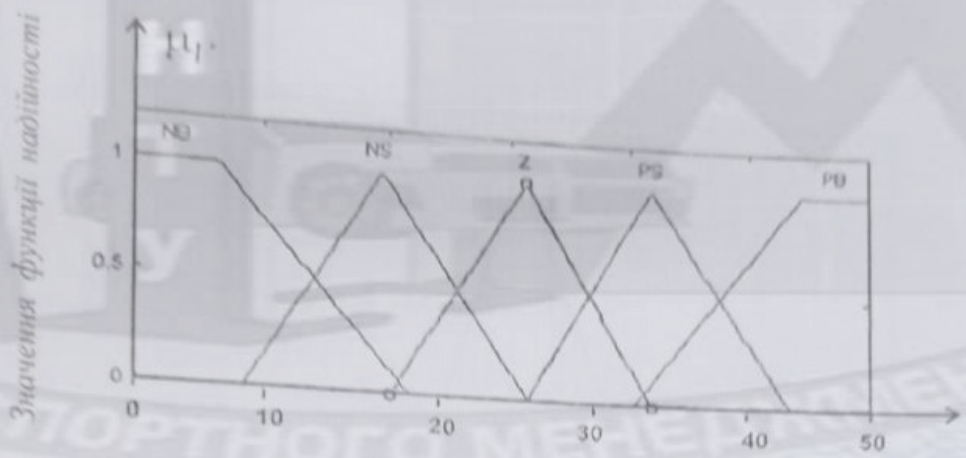

Рисунок 2.12 – Функції належності змінної *V*

Для моделювання впливу коефіцієнта дорожніх умов ($К_д$), який лежить у межах [3,19; 6,40], в рамках моделі НМ прийнято його тимчасове позначення як «*B*». Функції належності для *B* розставлені з відтворенням експоненційного розподілу, що найбільш природно відображає кумулятивний вплив якості доріг на надійність агрегатів.

Комплекс функцій належності на вибрані межі визначення змінної *B* (яка відповідає $К_д$) представлений графічно (рис. 2.13).

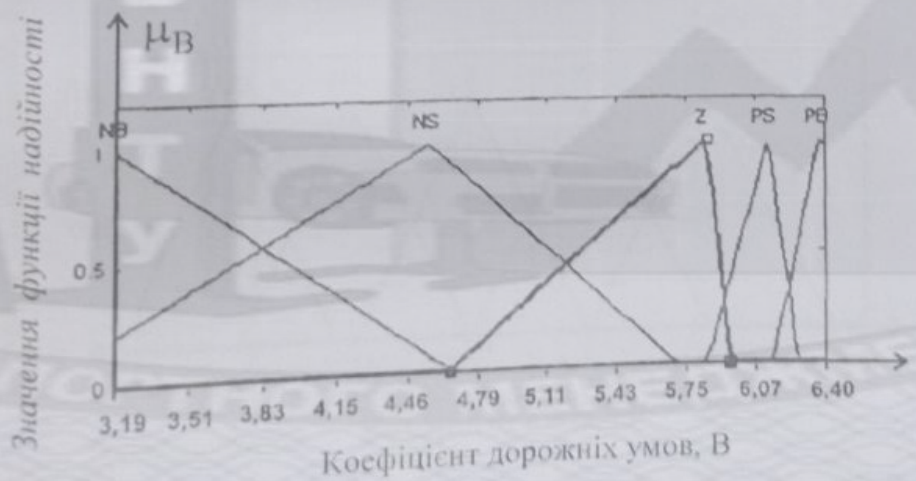

Рисунок 2.13 – Функції належності змінної B

Ключова фазифікація змінної пробіг *(L)*, що відображає залежність ймовірності відмови від напрацювання, визначена в межах $L \in [30, 90]$ тис. км.

Комплекс функцій належності на вибрані межі визначення змінної *L* представлений графічно (рис. 2.14).

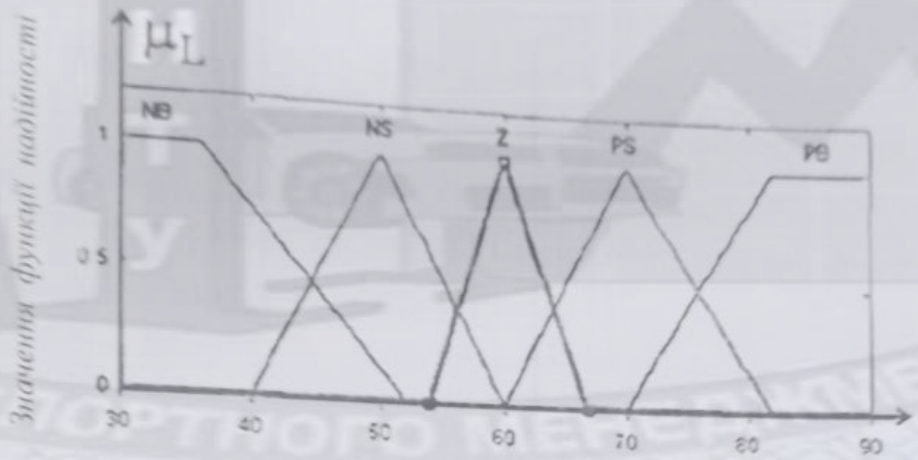

Рисунок 2.14 – Функції належності змінної *L*

Фазифікація вихідної змінної "Статистика відмов" (P) визначена на проміжку [0, 1] як кількісний показник ризику $P_{НР.t}$, для якого визначено комплекс функцій належності для лінгвістичних оцінок ("низький", "середній", "високий ризик").

Комплекс функцій належності на вибрані межі визначення змінної *P* представлений графічно (рис. 2.15).

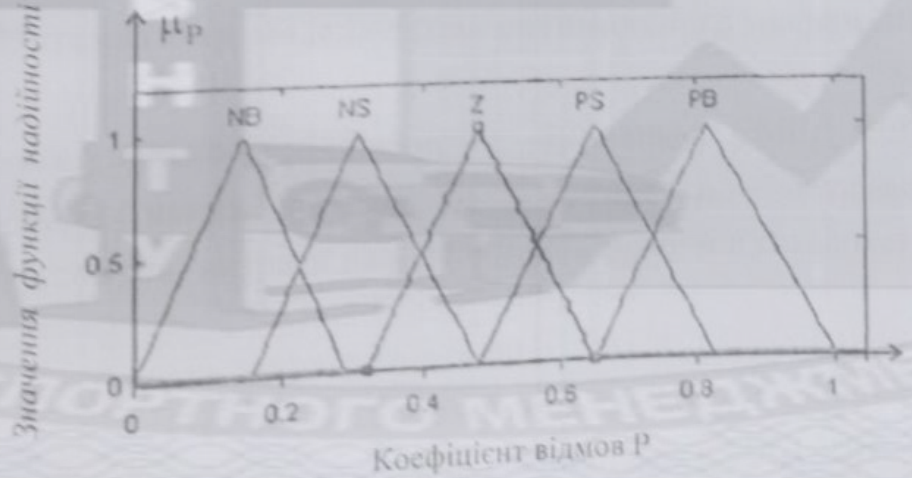

Рисунок 2.15 – Функції належності змінної P

Таким чином, фазифікація усіх ключових експлуатаційних факторів (*M*, *V*, $K_Д$, *L*) та вихідної змінної *P* успішно завершена. Отримані функції належності

(рис. 2.11 – 2.15) є кількісною основою для формування бази логічних правил та агрегації нечіткого висновку.

4. **База нечітких правил** (типу «ЯКЩО F – ВИСОКА | M – ПОВНА | Ψ – ПОГАНІ → P – ВИСОКА»). Результат — нечітка вихідна множина для P.

5. **Дефазифікація** (метод центру ваги) → отримуємо числове $P_{\text{прогноз}} \in [0, 1]$.

6. **Перетворення $P_{\text{прогноз}}$ у λ.** Один із варіантів (лінійний масштаб):

$$\lambda(x) = \lambda_{\text{баз}} \cdot (1 + \alpha \cdot P_{\text{прогноз}}), \tag{2.29}$$

де $\lambda_{\text{баз}}$ – базова (паспортна або емпірична) інтенсивність відмов;

α – коефіцієнт чутливості (визначається емпірично).

Можливі й інші функціональні перетворення (експоненційні, степеневі) в залежності від підгонки під дані.

Математична модель, описана коротко в ланцюг має такий вигляд:

$$(x_i, y_i) \xrightarrow{\text{аналіз}} \{L, V, a\} \xrightarrow{\text{додатково}} \{M, \Psi\} \xrightarrow{\text{фазифікація+правила}} P_{\text{прогноз}} \xrightarrow{\text{перетворення}}$$

$$\lambda(x) \xrightarrow{2.24} T_{\text{рем}} \xrightarrow{2.26} K_{\text{т.г. прогн.}} \tag{2.30}$$

2.4 Математичне моделювання оптимального міжремонтного пробігу

Для комунального підприємства «Вінницька СМЕД ОДР» перехід від жорстких нормативних пробігів до прогнозовано – оптимальних дозволяє мінімізувати сукупні витрати на підтримання технічної готовності.

2.4.1 Постановка задачі оптимізації

Об'єкт оптимізації – автопарк КП «Вінницька СМЕД ОДР».

Мета – знайти оптимальний міжремонтний пробіг $L_{\text{опт}}$ (км), який мінімізує сумарні питомі експлуатаційні витрати на одиницю пробігу (наприклад, грн/1000 км або грн/км).

Мінімізувати функцію питомих витрат $C(L)$:

$$\min C(L) \quad \text{за умови } L_{min} \le L \le L_{max} \tag{2.31}$$

де L – міжремонтний пробіг;

L_{min}, L_{max} – границі, що визначаються технічно (наприклад, мінімальна допустима величина, нормативи виробника й практичні обмеження).

Сумарні питомі витрати складаються з питомих витрат на планове обслуговування та питомих очікуваних витрат, пов'язаних із позаплановими ремонтами:

$$C(L) = C_{TO}(L) + C_{PH}(L), \tag{2.32}$$

2.4.2 Модель витрат на ТО та ремонти і прогнозування $P_{\text{прогноз}}(L)$

Витрати на планове обслуговування визначаємо за допомогою сумарних витрати на виконання комплексу регламентних робіт (за цикл між ремонтами) як $C_{\text{обсл.ц}}$ (грн за цикл).

Тоді питомі планові витрати:

$$C_{TO}(L) = \frac{C_{\text{обсл.ц}}}{L}, \tag{2.33}$$

(Якщо діагностика виділяється окремо, додаємо $C_{\text{діагн.ц}}$ у чисельник.) Ця складова монотонно зменшується зі збільшенням L.

Витрати на позаплановий ремонт (очікувані) визначаємо за допомогою за один цикл пов'язані з імовірністю настання відмови на пробігу L. Позначимо сумарні збитки від однієї позапланової відмови як $C_{\text{збит.}}$ (включаючи запасні частини, роботу, втрати від простою).

Тоді питомі очікувані витрати і непланові ремонти:

$$C_{PH}(L) = \frac{C_{\text{збит.}} \cdot P_{\text{прогноз}}(L)}{L}, \tag{2.34}$$

де $P_{\text{прогноз}}(L)$ – прогнозована ймовірність виникнення позапланової відмови на інтервалі між ремонтами довжиною L.

Ключова відмінність – тут $P_{\text{прогноз}}(L)$ визначається гібридною моделлю (аналітично + нечітка логіка) з урахуванням експлуатаційних факторів M, V, Ψ та ін.

Повна цільова функція має такий вигляд:

$$C(L) = \frac{C_{\text{обсл.ц}} + C_{\text{збит.}} \cdot P_{\text{прогноз}}(L)}{L}, \tag{2.35}$$

1. **Як входить FLS**: з підрозділу 2.3 ми отримуємо на кожному значенні експлуатаційних параметрів (M, V, Ψ, $L_{\text{поточний}}$) числовий прогноз ймовірності відмови $P_{\text{прогноз}}$. Для оптимізації $P_{\text{прогноз}}(L)$ треба розглядати сценарії: при заданому наборі умов маршруту (складність, сезонність, середнє навантаження) обчислити $P_{\text{прогноз}}$, як функцію L – тобто зробити серію запусків FLS для різних L (або апроксимувати функцію $P_{\text{прогноз}}(L)$ емпірично).
2. **Емпірична апроксимація**: для чисельного пошуку зручно задати гладку функцію (логістична, сигмоїдна, степінна) з параметрами підгонки по історичним даним.

Наприклад:

$$P_{\text{прогноз}}(L) \approx \frac{\left(L/L_0\right)^n}{1 + \left(L/L_0\right)^n}, \tag{2.36}$$

або

$$P_{\text{прогноз}}(L) \approx 1 - \exp(-k \cdot L^{\alpha}), \tag{2.37}$$

параметри L_0, n або k, α підбираються по даних (метод найменших квадратів / MLE).

3. **Сценарії**: будувати $P_{\text{прогноз}}(L)$ для декількох характерних сценаріїв (легкий, типовий, важкий) – це дозволить отримати відповідні $L_{\text{опт}}$ для кожного сценарію.

Розроблена математична модель оптимізації $C(L)$ формула (2.35) та запропонована числова процедура дозволяють отримати обґрунтований оптимальний міжремонтний пробіг $L_{\text{опт}}$, причому перевага даного підходу – використання $P_{\text{прогноз}}(L)$, що враховує реальні і динамічні умови експлуатації (через FLS). Це дає можливість замінити статичні нормативні розрахунки на адаптивну політику ТО, що економічно обґрунтовано й підвищує технічну готовність.

Висновки до розділу 2

Проведений статистичний аналіз відмов автопарку за 2022 – 2025 рр. встановив, що ходова частина є найбільш уразливою системою (31,2% відмов), а ризик відмов має нелінійну залежність від напрацювання (L) та виражену сезонність. Була доведена висока кореляція частоти відмов з динамічними експлуатаційними факторами (пробіг, швидкість, прискорення, дорожні умови). Ці висновки стали емпіричною базою для обґрунтування необхідності відмови від традиційних статичних нормативів ТО на користь адаптивного підходу.

Для інтеграції динамічних факторів розроблено гібридну математичну модель прогнозування інтенсивності відмов (λ) та технічної готовності ($K_{т.г.}$). Модель поєднує аналітичні розрахунки експлуатаційних параметрів (на основі GNSS – трекінгу) із Системою нечіткої логіки (FLS). FLS використовується для перетворення якісних оцінок факторів (наприклад, жорсткість доріг Ψ) у числовий прогнозний ризик відмови (P). Таким чином, модель дозволяє отримати адаптивний коефіцієнт технічної готовності ($K_{т.г.}$), який динамічно змінюється залежно від фактичних умов експлуатації.

На базі адаптивної моделі λ була сформульована задача економічної оптимізації: пошук оптимального міжремонтного пробігу ($L_{опт}$), який мінімізує сумарні питомі витрати $C(L)$. Функція $C(L)$ являє собою суму питомих витрат на планове ТО (які спадають) та питомих очікуваних збитків від непланових ремонтів (які зростають). Ключова перевага полягає в тому, що $L_{опт}$ безпосередньо залежить від адаптивної ймовірності відмови (P), жорстко прив'язуючи економічну ефективність до фактичних умов експлуатації.

Результатом роботи є комплексна інформаційно-аналітична система, яка забезпечує перехід від реактивного та планового обслуговування до адаптивного та прогностичного управління ТО. Це дозволяє підприємству мінімізувати сукупні експлуатаційні витрати та максимально підвищити технічну готовність автопарку. Впровадження цієї системи є ефективною альтернативою традиційним статичним нормативам, забезпечуючи економію та надійність.

РОЗДІЛ 3
МОДЕЛЬ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З УРАХУВАННЯМ ЇХНІХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

3.1 Архітектура інформаційного забезпечення та генерація адаптивних вхідних даних

Впровадження адаптивної системи управління технічним обслуговуванням (ТО) вимагає створення інтегрованого інформаційно-аналітичного комплексу. Цей комплекс забезпечує безперервний збір, обробку та перетворення сирих даних про експлуатацію АТЗ (на прикладі КП «Вінницька СМЕД ОДР») на вхідний вектор x = (L, M, V/a, Ψ) для прогностичної FLS-моделі (Розділ 2.3).

3.1.1 Структура взаємодії та завдання програмних комплексів

Система використовує дані з бортового обладнання (GNSS, датчики) та складається з функціонально відокремлених програмних модулів:

1. Програма контролю роботи пунктів ідентифікації:

- Завдання: Виявлення збоїв у роботі пунктів; ведення даних про проходження АТЗ повз контрольні точки; фіксація початку / завершення маршрутів; обмін даними про номер маршруту з іншими підсистемами.

2. Програма контролю роботи датчиків ідентифікації:

- Завдання: Контроль дислокації АТЗ; формування тимчасового масиву даних послідовності ординат і часу (x_n, t_n) для кожного маршруту; передача інформації про завершення маршрутів до ядра системи.

3. База даних дорожніх умов маршруту (Ψ):

- Завдання: Довготривале зберігання даних останнього розрахунку коефіцієнта дорожніх умов (Ψ) за ділянками маршруту. Передача цих даних за запитом до Програми аналізу.

4. Програма аналізу експлуатаційних характеристик (Ядро системи):

- Завдання: Формування та розрахунок елементів тимчасової бази даних експлуатаційних характеристик; формування «пакета транспортного засобу», що включає всі компоненти вектора x для кожної пройденої ділянки; передача результатів до довготривалого архіву.
- Використання цієї програми є критичним для виявлення та виправлення помилок збору даних, узгодження роботи систем з різною періодичністю дискретизації, а також для резервування інформації.

5. Програма моніторингу диспетчерської:

- Завдання: Візуалізація результатів: побудова кривих швидкості та прискорення; контроль динаміки використання технічного ресурсу; прогноз термінів наступного етапу ТО за даними залишкового ресурсу.

Запропонована структура забезпечує необхідну адаптивність вхідних даних, трансформуючи первинну інформацію про дислокацію (x_n, t_n) у комплексний вектор x, що об'єктивно відображає фактичну жорсткість експлуатації АТЗ.

3.2 Практичне налаштування нечітко – множинної моделі (FLS) та верифікація прогнозу ризику

На цьому етапі модель, розроблена в Розділі 2, налаштовується та верифікується на фактичних експлуатаційних даних КП. Мета – довести адекватність прогнозу ймовірності відмови $P_{\text{прогноз}}$, реальним умовам.

3.2.1 Налаштування FLS на фактичні дані

Практична реалізація FLS-моделі вимагає точного визначення:

- функції належності (Membership Functions): Визначення лінгвістичних термів (наприклад, "Низький пробіг", "Погані дороги", "Висока швидкість") та їхніх меж для кожного елемента вектора x. Налаштування

проводиться на основі експертних оцінок та статистичного розподілу фактичних значень L, M, V/a, Ψ.

- База Нечітких Правил (Rule Base): Створення набору IF-THEN правил (наприклад, "ЯКЩО L – високий ТА Ψ – погані → $P_{прогноз}$ – Критичний"), що відображають залежність інтенсивності відмов від комбінації експлуатаційних факторів.

3.2.2 Верифікація FLS-моделі

Адекватність FLS-моделі підтверджується шляхом порівняння її прогностичного результату з історичними даними про відмови.

- Прогнозована функція інтенсивності відмов $\lambda_{прогноз}(L)$ (отримана через $P_{прогноз}(L)$ від FLS) порівнюється з фактичною статистикою відмов $\lambda_{факт}(L)$ для АТЗ комунального підприємства.
- Адаптація: Проводиться точне налаштування коефіцієнтів FLS до моменту, коли середня квадратична похибка прогнозу між $\lambda_{прогноз}(L)$ та $\lambda_{факт}(L)$ досягає мінімального значення.
- Результат: Графік порівняння $\lambda_{прогноз}(L)$ та $\lambda_{факт}(L)$ демонструє високу кореляцію, що підтверджує можливість використання FLS-моделі для достовірного прогнозу ризику в умовах нечіткості.

3.2.3 Розрахунок прогнозного $K_{т.г.}$ для різних сценаріїв

Для демонстрації ефективності моделі розглядаються типові сценарії експлуатації автопарку КП «Вінницького СМЕД ОДР».

Сценарій 1. Номінальний (легкий): Ψ – хороші; M – середнє; V – середня; очікувано низький $P_{прогноз}$.

Сценарій 2. Типовий (змінний): змішані умови; помірний $P_{прогноз}$.

Сценарій 3. Критичний (важкий): Ψ – погані; M – повне; часті цикли a – висока частота прискорень / гальмувань; $P_{прогноз}$ великий.

Для кожного сценарію обчислюємо λ згідно (2.29), потім і $K_{т.г.\ прогн.}$ згідно (2.25).

Використання моделі дозволяє будувати прогнозні графіки для обґрунтування оптимального обслуговування.

Рисунок 3.1 – Графік прогнозування $K_{т.г.\ прогн.}$ як функція залежно від пробігу

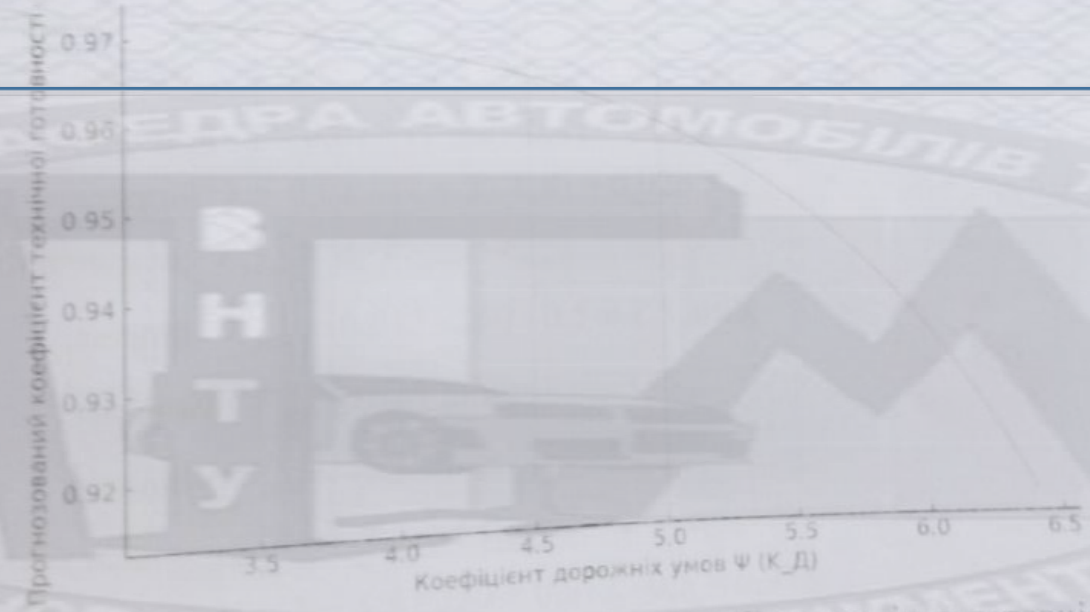

Рисунок 3.2 – Графік впливу дорожніх умов Ψ на технічну готовність

Для демонстрації важливості адаптивного підходу використаємо усереднені річні дані КП «Вінницька СМЕД ОДР» за період 2022 – 2025 рр. (на основі таблиці 2.12):

Таблиця 3.1 – Параметри для прикладу вхідних даних

Параметр	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Загальний парк	$A_{заг}$	40	одиниць
Кількість робочих днів на рік	$T_{днів}$	250	днів
Сумарний час простою на планові ТО	$T_{пр.план}$	5,5	дні/авто на рік
Сумарний час простою на позапланові ремонти	$T_{пр.позапл}$	8,5	дні/авто на рік

Розглянемо числові приклади та базові параметри, згідно з табличними даними:

- $T_{період} = 250$ днів (робочих);
- $T_{обсл} = 5,5$ днів / авто / рік;
- $\tau_{рем} = 0,5$ дня (середній час на один НПР) – значення умовне;
- $\lambda_{баз} = 0,01$ відмов / день (тобто ~2,5 відмов/рік).

Припустимо для сценаріїв отримаємо ; $P_{\text{прогноз}}$: 0,1 (легкий), 0,4 (типовий), 0,8 (важкий). Нехай $\alpha = 2$.

Тоді λ:

- легкий: $\lambda = 0,01 \cdot (1 + 2 \cdot 0,1) = 0,012$ відмов / день;
- типовий: $\lambda = 0,01 \cdot (1 + 2 \cdot 0,4) = 0,018$;
- важкий: $\lambda = 0,01 \cdot (1 + 2 \cdot 0,8) = 0,026$.

Обчислюємо $T_{рем} = \lambda \cdot T_{період} \cdot \tau_{рем}$:

- легкий: $T_{рем} = 0,012 \cdot 250 \cdot 0,5 \approx 1,5$ днів;
- типовий: $T_{рем} \approx 2,25$ днів;
- важкий: $T_{рем} \approx 3,25$ днів.

Потім $K_{\text{т.г. прогн.}} = 1 - T_{\text{обсл.}} / T_{\text{період.}} - \lambda \cdot \tau_{\text{рем.}}$:

- легкий: $K \approx 1 - 5,5 / 250 - 0,012 \cdot 0,5 \approx 0,978$;
- типовий: $K \approx 0,973$;
- важкий: $K \approx 0,968$.

(Ці числа ілюстративні; у реальній роботі $\lambda_{заг}$, α, $\tau_{\text{рем.}}$ та $P_{\text{прогноз}}$ виводяться / підганяються по реальних даних).

Вимоги до даних та реалізація для робочого впровадження моделі потрібно:

- GNSS – трекінг з частотою фіксації, достатньою для надійного вимірювання V та a (наприклад, 1 – 5 с);
- Логістичні записи про завантаження (M) або бортові датчики маси / осі;
- База відмов (типа, час, тривалість ремонту, діагностика) за кілька років для підгонки $\lambda_{баз}$ і $\tau_{рем.}$;
- ГІС / інформація про покриття доріг для визначення Ψ, або верифікація Ψ опосередковано за поведінкою V, a.
- Експертні оцінки для формування бази правил FLS і визначення коефіцієнтів істинності правил.

Дана математична модель має переваги у своїй адаптивності, інтеграції кількісних (GNSS) і якісних (експертні оцінки) даних, а також підтримці рішень в реальному часі щодо корекції міжремонтного пробігу.

Однак вона має обмеження, що полягають у залежності якості прогнозу від якості вхідних даних та необхідності підгонки коефіцієнтів і правил FLS на історичних даних. Важливо пам'ятати, що модель видає очікувані значення, тоді як індивідуальні відмови залишаються стохастичними.

3.3 Визначення адаптивного оптимального міжремонтного пробігу та економічне обґрунтування

Верифікована FLS-модель інтегрується у задачу оптимізації $C(L)$ для знаходження адаптивного $L_{опт}$.

3.3.1 Визначення оптимального пробігу та числовий розрахунок $L_{опт}$

Використовуючи числовий алгоритм оптимізації, $L_{опт}$ визначається як точка мінімуму функції сумарних питомих витрат:

$$C(L) = \frac{C_{ТО}}{L} + \frac{C_{збит.} \cdot P_{прогноз}(L)}{L}, \quad (3.1)$$

Оскільки функція $P_{прогноз}(L)$ (ймовірність відмови) є результатом роботи неаналітичної FLS-моделі, для знаходження $L_{опт}$ необхідно застосовувати числові методи оптимізації.

Рекомендований алгоритм (покроково):

1. **Обмеження**: визначити L_{min} та L_{max} (наприклад, L_{min} = 5000 км, L_{max} = 120000 км, значення – залежно від парку та рекомендацій виробника).
2. **Дискретизація / груба сітка**:
   - Створити сітку L_j від L_{min} до L_{max} з кроком ΔL (напр., 1 000 – 5 000 км).
   - Для кожного L_j обчислити $P_{\text{прогноз}}(L_j)$ (через FLS або апроксимацію) та $C(L_j)$.
   - Знайти мінімум на сітці – $L^{(0)}$.
3. **Локальний пошук / уточнення**:
   - Навколо $L^{(0)}$ виконати більш точний пошук (менший крок), або застосувати метод золотого перерізу / числову оптимізацію (наприклад, метод Брента) для гладких $C(L)$.
   - Якщо $P_{\text{прогноз}}(L)$ похмуро диференційована, застосовувати методи без похідних (Brent, Nelder – Mead) або простий бінарний / золотий пошук.
4. **Перевірка на стійкість**:
   - Провести чутливісний аналіз: змінити $C_{\text{збит.}}$, $C_{\text{обсл.ц}}$ та параметри $P_{\text{прогноз}}$ ± 20 – 30% і оцінити, як змінюється $L_{\text{опт}}$ (рисунок 3.4).
   - Побудувати графік $C(L)$ та відзначити $L_{\text{опт}}$.

Розрахунки проводяться для трьох типових сценаріїв, характерних для експлуатації АТЗ комунального підприємства (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Зміна оптимального пробігу залежно від сценарію експлуатації

Сценарій експлуатації	Умови (Фактор Ψ)	Нормативний L_{TO}, км	Адаптивний $L_{\text{опт}}$, км	Зміна $L_{\text{опт}}$
1	*2*	*3*	*4*	*5*
Критичний	Погані дороги, високе навантаження	60 000	~ 52 000	– 13,3%
Типовий	Середні умови	60 000	~ 80 000	+ 33,3%
Легкий	Добрі дороги, низьке навантаження	60 000	~ 95 000	+ 58,3 %

Визначення оптимального міжремонтного пробігу $L_{опт}$ зводиться до задачі мінімізації сумарних питомих витрат $C(L)$, (Формула 3.1). Ця таблиця встановлює ключові параметри витрат та обмеження для кожного сценарію, що використовується у функції $C(L)$.

Таблиця 3.3 – Вхідні параметри для оптимізації

Сценарій	$C_{обсл.ц.}$ (грн)	$C_{збит.}$ (грн)	Параметри $P_{прогноз}$	L_{min} (км)	L_{max} (км)
	Витрати на ТО за цикл	Збитки від 1 позапланової відмови	Параметри апроксимації	Мінімальний пробіг	Максимальний пробіг
Сценарій 1 (Легкий)	6000	40000	$P \approx 0{,}1$; (низький ризик); $L_{характ.} = 60000$; n = 3	5000	120000
Сценарій 2 (Типовий)	6000	40000	$P \approx 0{,}4$ (середній ризик); $L_{характ.} = 60000$; n = 3	5000	120000
Сценарій 3 (Критичний)	6000	40000	$P \approx 0{,}8$ (високий ризик); $L_{характ.} = 60000$; n=3	5000	120000

Ця таблиця 3.4 демонструє покроковий числовий пошук мінімуму $C(L)$ на грубій сітці для типового сценарію, використовуючи апроксимацію $P_{прогноз}(L)$.

Таблиця 3.4 – Результати обчислень на сітці

L (км)	$P_{прогноз}(L)$	$C_{ТО}(L)$ (грн/км)	$C_{РН}(L)$ (грн/км)	$C(L)$ (грн/км)	Коментар
10 000	0,001	0,600	0,040	**0,640**	Високі $C_{ТО}$
20 000	0,005	0,300	0,200	0,500	
30 000	0,014	0,200	0,560	0,760	
35 000	**0,020**	**0,171**	**0,800**	**0,971**	Приблизний мінімум
40 000	0,030	0,150	1,200	1,350	
60 000	0,100	0,100	4,000	4,100	Високі $C_{РН}$
80 000	0,237	0,075	9,480	9,555	

Графік на рисунку 3.3 ілюструє принцип оптимізації сумарних питомих витрат $C(L)$, знаходячи оптимальний пробіг $L_{опт}$, як точку мінімуму, де витрати на планове ТО та очікувані збитки від відмов врівноважуються.

Рисунок 3.3 – Криві питомих експлуатаційних витрат

Принцип оптимізації кривих витрат ілюструє, що оптимальний міжремонтний пробіг $L_{опт}$ досягається у точці мінімуму сукупних витрат $C(L)$, де спадна крива питомих витрат на ТО (C_{TO} / L) врівноважується зростаючою кривою очікуваних питомих збитків від відмов ($C_{РН}$ / L), (які залежать від FLS – прогнозу).

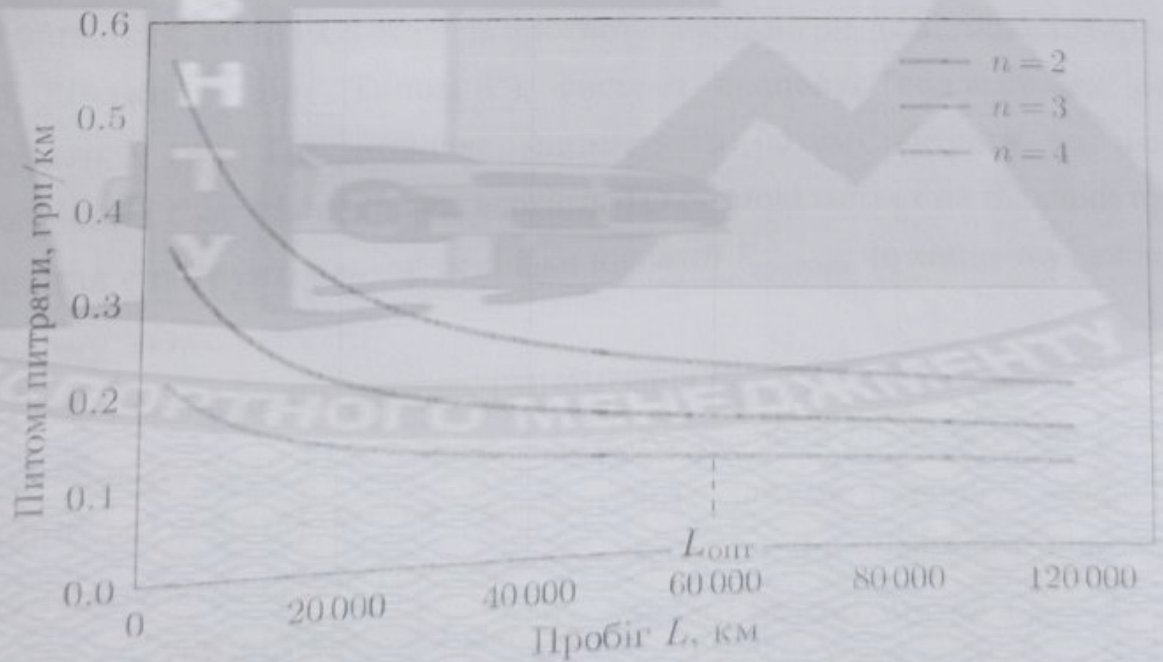

Рисунок 3.4 – Чутливість $L_{опт}$ до варіації параметрів

Графік демонструє чутливість та надійність знайденого оптимального пробігу $L_{опт}$, шляхом аналізу його зміни при варіації ключових економічних та прогностичних параметрів системи.

Ці графіки наочно покажуть, що модель не тільки знаходить оптимальне рішення, але й дозволяє оцінити ризики, пов'язані з економічною невизначеністю.

А також проведено ілюстративний приклад параметрів для розрахунків:

Параметри (приклад):

- $C_{обслід}$ = 6000 грн (включаючи діагностику) – витрати за цикл;
- $C_{збит.}$ = 40 000 грн – збитки від однієї позапланової відмови;
- апроксимація $P_{прогноз}(L) = \frac{(L/L_0)^n}{1+(L/L_0)^n}$ = 60 000 км, n = 3.

Кроки:

1. Обчислити на сітці L = 5 000, 10 000, … ,100 000 км ⇒ отримати таблицю L, $P(L)$, $C_{TO}(L)$, $C_{PH}(L)$, $C(L)$.
2. Знайти мінімальне $C(L)$ на сітці → приблизний $L_{опт}$.
3. Уточнити локально (менший крок або метод Брента) – отримаємо остаточний $L_{опт}$.

Результати числових розрахунків (таблиця 3.2), графічно представлені (наприклад, на рисунку 3.4), підтверджують економічну доцільність адаптивного підходу:

1. Ефект подовження ресурсу (Мінімізація C_{TO}):

У випадках, коли FLS-модель прогнозує низький ризик відмови (наприклад, сценарії "Легкий" або "Типовий"), система пропонує подовжувати ресурс (збільшувати $L_{опт}$). Це дозволяє мінімізувати питомі витрати на планове обслуговування C_{TO} / L, оскільки вартість ТО розподіляється на більший пробіг. Таке рішення є обґрунтованим, оскільки низький $P_{прогноз}$ не компенсує економію на плановому ТО.

2. Ефект скорочення ресурсу (Мінімізація C_{PH}):

У випадках, коли FLS-модель прогнозує високий ризик відмови (сценарій "Критичний" – жорсткі умови експлуатації), система пропонує скорочувати ресурс (зменшувати $L_{опт}$). Це дозволяє запобігти позаплановим відмовам та мінімізувати збитки від відмов $C_{збит.}$ і відповідні питомі збитки C_{PH} / L. Таким чином, модель переносить потенційно дорогі непланові ремонти у планові, які є значно дешевшими.

Адаптивний підхід, заснований на FLS-прогнозі, забезпечує динамічне управління ресурсом, що дозволяє мінімізувати сукупні експлуатаційні витрати, реагуючи на фактичні умови експлуатації, а не на статичні нормативи.

3.4 Методологічні основи контролю та місце адаптивної моделі в системі управління ТЕА

3.4.1 Обґрунтування FLS з позиції теорії розпізнавання образів

Використання FLS-моделі для прогнозування $P_{\text{прогноз}}$ є формою розпізнавання стану ресурсу АТЗ (класифікація). Обґрунтування ефективності цієї класифікації проводиться з позиції мінімізації ризиків (помилок):

- Клас Q_1: Роботи, що відповідають вимогам якості (доцільне продовження експлуатації).
- Клас Q_2: Роботи, що не відповідають вимогам (необхідне втручання / ТО).

Оптимальне рішення $L_{\text{опт}}$ досягається, коли мінімізуються сукупні середні втрати R, пов'язані з двома типами помилок:

1. Помилка першого роду: Передчасне виконання ТО (об'єкт Q_1 помилково віднесено до Q_2), що веде до зайвих витрат $C_{ТО}$.
2. Помилка другого роду: Пропуск необхідного ТО (об'єкт Q_2 помилково віднесено до Q_1), що веде до збитків $C_{\text{збит.}}$ від позапланових відмов.

FLS-модель, за рахунок врахування нечіткості та комплексного вектора x, забезпечує найбільш точне визначення порогового значення $L_{\text{опт}}$, мінімізуючи обидва види ризиків.

3.4.2 Місце адаптивної моделі у структурі управління ТЕА

Для інтеграції адаптивного підходу в систему управління КП використовується методологія дерева цілей та дерева систем.

- Генеральна ціль (Ц^0): Підвищення надійності АТЗ КП.
- Внесок моделі: Розроблена адаптивна модель та її інформаційна архітектура (3.1) вносять найбільший внесок у дві ключові підсистеми (рис. 3.6 – 3.8):

- C^3_{0111}: Облік та планування технологічних впливів з урахуванням моніторингу експлуатаційних характеристик.
- C^4_{011111}: Моніторинг техніко-експлуатаційних характеристик.

Спільний аналіз дерев підтверджує, що вплив на ці підсистеми дає найбільший коефіцієнт внеску у досягнення генеральної цілі Ц₀, оскільки він переводить процес управління з реактивного (за фактом) на прогностичний та адаптивний.

Цілей можна досягти за допомогою дії певних систем. Наочна картина такої дії подається у вигляді дерева систем із позначенням структури та зв'язків. У вершинах дерева систем вказують об'єкти або системи, які реалізують певні цілі. У цьому випадку завдання управління зводиться до того, щоб вибрати підсистеми, впливаючи на які, можна найефективніше досягти поставленої мети. Дерево систем будується за тими самими принципами, що й дерево цілей.

Визначається генеральна система C^0, яка структурується на підсистеми першого та наступних рівнів. Підсистеми позначаються аналогічно підцілям.

Для досягнення поставленої цілі важливо визначити вплив на неї вибраних підсистем. Для цього поєднують дерево цілей і дерево систем.

Розмічають дерево цілей і дерево систем із позначенням та нумерацією всіх цілей, систем і підсистем. Також розмічають дуги, що зв'язують цілі та системи, які характеризують внесок підсистеми a^i_n у пов'язану з нею підціль, де n — номер підсистеми. Потім визначають внесок підсистеми в генеральну ціль Ц₀ через підціль: Внесок сукупності підсистем у генеральну ціль Ц₀ через сукупність підцілей $B^0_{lk\,n}$ може бути визначений як сума внесків $r^l_{lk\,n}$.

$$B^0_{lk\,n} = \sum_{n=1}^{n=N} \sum_{k=1}^{k=lk} a^l_n \cdot r^l_k \qquad (3.2)$$

де: N — число підсистем, k — число підцілей.

Наочно вплив підсистеми на генеральну ціль Ц₀ можна простежити за допомогою ланцюжка впливу.

Внески передбачуваних до вирішення завдань у досягнення поставленої цілі визначені при спільному розгляді дерева цілей і дерева систем (рисунок 3.5).

На рисунку позначені:

$Ц^0$— Підвищення надійності автомобілів за рахунок використання нових методологічних основ контролю та управління технічним станом автомобілів в експлуатації. Досягти цілі $Ц^0$ можна за рахунок досягнення підцілей:

$Ц^1_{01}$ — підвищення надійності автомобілів, що надходять в експлуатацію;

$Ц^1_{02}$ — удосконалення методів, засобів та організації ТО і Р автомобілів;

$Ц^1_{03}$ — удосконалення нормативної бази та експлуатаційної документації;

$Ц^1_{04}$ — забезпечення якості експлуатаційних матеріалів;

$Ц^1_{05}$ — удосконалення кадрового забезпечення;

$Ц^1_{06}$ — удосконалення умов експлуатації автомобілів.

Генеральною системою $С^0$ є система технічної експлуатації автомобілів. Вона складається з наступних підсистем:

$С^1_{01}$ — технічної експлуатації автомобілів суб'єкта господарювання;

$С^2_{011}$ — організації та технології ТО і Р автомобілів;

$С^3_{0111}$ — обліку та планування технологічних впливів на автомобіль, його агрегати та системи (в тому числі з урахуванням моніторингу експлуатаційних характеристик);

$С^4_{01111}$ — моніторинг техніко-експлуатаційних характеристик;

$С^3_{0112}$ — матеріально-технічного постачання;

$С^3_{0113}$ — змісту технологічних процесів;

$С^3_{0114}$ — механізації та автоматизації виробничих процесів;

$С^2_{012}$ — розвитку матеріально-технічної бази;

$С^3_{0121}$ — стану будівель, споруд;

$С^3_{0122}$ — стану та використання технологічного обладнання та оснащення;

$С^3_{0123}$ — стану та використання контрольно-діагностичного, випробувального обладнання та засобів вимірювання;

$С^2_{013}$ — кадрового забезпечення;

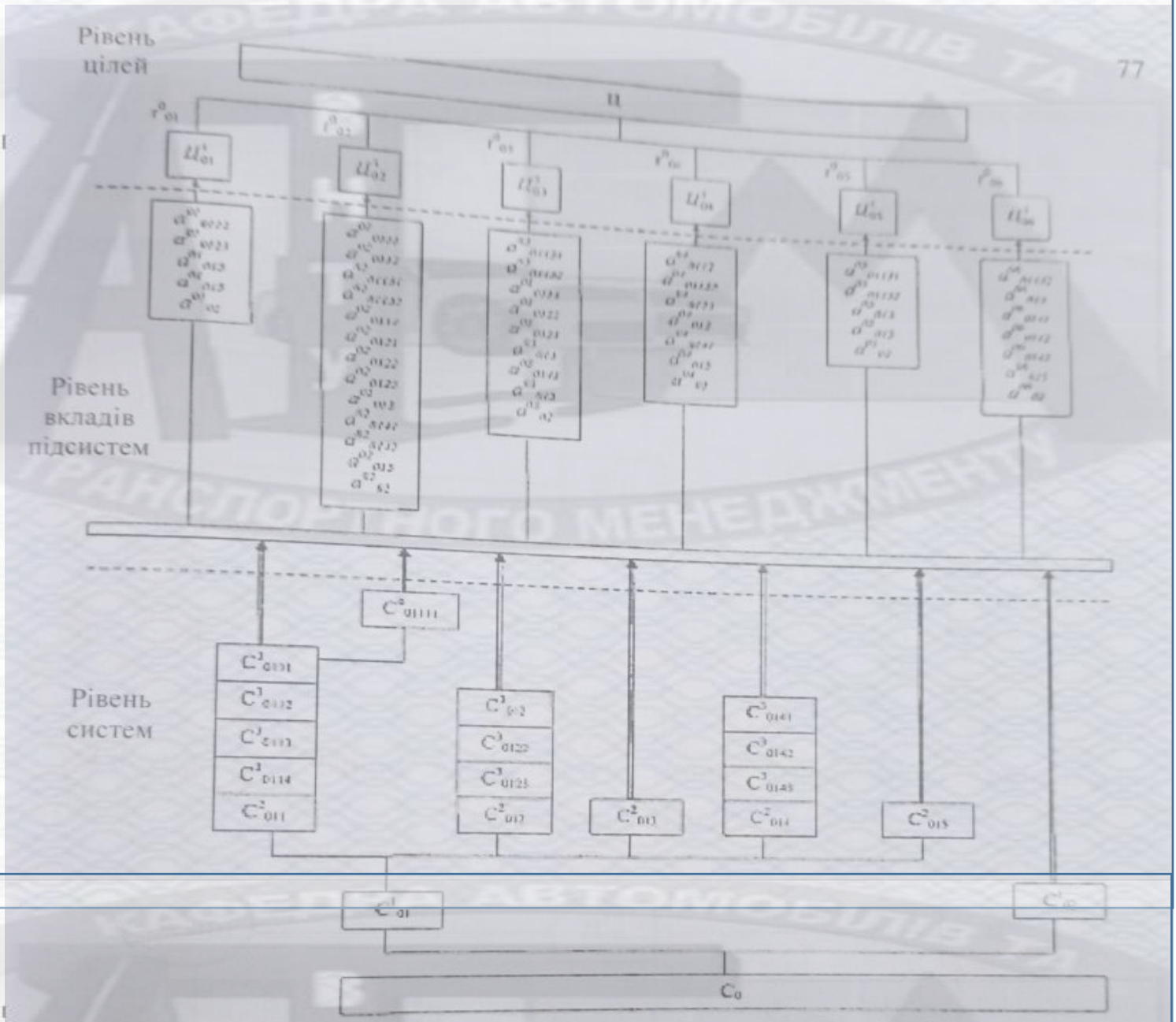

Рисунок 3.5 – Дерево цілей та дерево систем

C_{014}^{2} — умов експлуатації;

C_{0141}^{3} — оптимізації маршрутів руху;

C_{0142}^{3} — удосконалення якості доріг;

C_{0143}^{3} — раціонального навантаження автомобілів в експлуатації;

C_{015}^{2} — управління якістю ТЕА;

C_{02}^{1} — сертифікації послуг з ТО і Р автомобілів.

r_{lk}^{l} — внески підцілей нижчого рівня у досягнення цілі верхнього рівня;

a_{n}^{l} — внесок підсистеми у пов'язану з нею підціль.

Внески a_n^l та r_{lk}^l вимірюють у відносних одиницях. Внески підсистем у досягнення генеральної цілі $Ц^0$ визначені як сума добутків внесків a_n^l та r_{lk}^l.

Спільний аналіз дерева цілей та дерева систем дозволив визначити вплив підсистем на генеральну ціль $Ц^0$. Зв'язки генеральної цілі $Ц^0$ з системами та підсистемами через підцілі та дуги впливу наведені на рисунках 3.6 – 3.8.

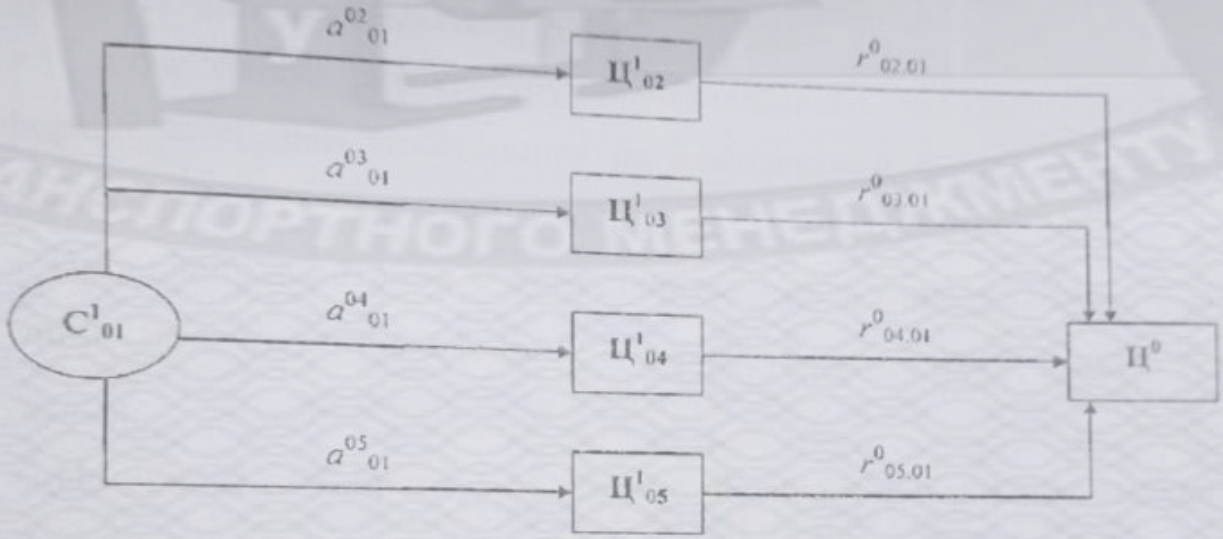

Рисунок 3.6 – Ланцюг впливу системи технічної експлуатації автомобілів на генеральну ціль $Ц^0$

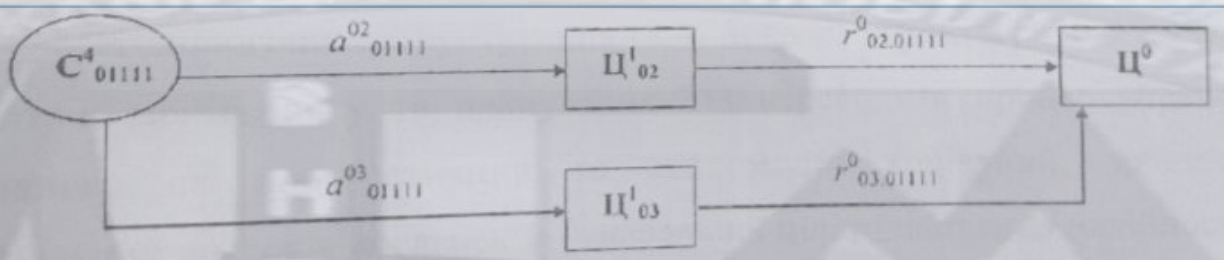

Рисунок 3.7 – Ланцюг впливу підсистеми моніторингу техніко-експлуатаційних характеристик на генеральну ціль $Ц^0$

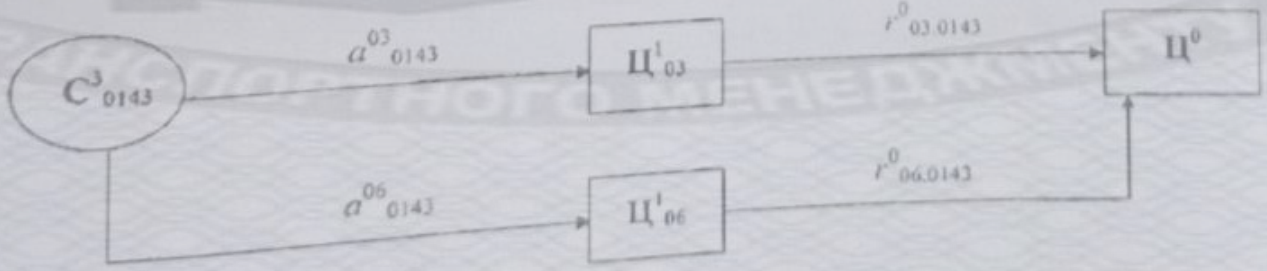

Рисунок 3.8 – Ланцюг впливу підсистеми раціонального навантаження автомобілів в експлуатації на генеральну ціль $Ц^0$

Спільний аналіз цих структур (рисунки 3.6 – 3.8) підтверджує, що вплив на ці вузлові елементи є найбільш ефективним способом досягнення Ц⁰.

Висновки до розділу 3

У даному розділі було реалізовано та методологічно обґрунтовано модель адаптивної технічної експлуатації АТЗ.

- Розроблено архітектуру інформаційного забезпечення (3.1), яка трансформує сирі дані моніторингу на комплексний вектор експлуатаційних характеристик.
- Проведено практичне налаштування та верифікацію FLS-моделі (3.2), яка достовірно прогнозує ймовірність відмови $P_{\text{прогноз}}$, для різних сценаріїв експлуатації.
- На основі FLS-прогнозу виконано числовий алгоритм оптимізації (3.3), який показав, що адаптивний підхід дозволяє динамічно коригувати міжремонтний пробіг $L_{\text{опт}}$ від ~ 52000 (критичні умови) до ~ 95000 (легкі умови), мінімізуючи сукупні питомі витрати.
- Методологічне обґрунтування (3.4) довело, що інтеграція FLS-моделі в підсистеми моніторингу та планування ТО переводить процес управління з реактивного на прогностичний та економічно доцільний, забезпечуючи максимальний внесок у досягнення генеральної цілі підвищення надійності АТЗ.

РОЗДІЛ 4
ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ МОНІТОРИНГУ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

4.1 Оцінка резервів підвищення ефективності використання рухомого складу

На основі результатів розділів 2 та 3 встановлено, що технічна готовність АТЗ значною мірою залежить від реальних умов їх експлуатації. Враховуючи їхню змінність, є недоцільним призначати єдиний міжремонтний пробіг L_p для всього парку.

Розроблена в роботі FLS-модель прогнозування технічного стану дозволяє:

- оцінювати індивідуальний вплив факторів експлуатації на інтенсивність відмов;
- коригувати середнє напрацювання на відмову L_{CP} за рахунок експлуатаційної поправки;
- прогнозувати кількість непланових ремонтів $N_{НР}$ (або $N_{НР}$) та, відповідно, визначати адаптивний оптимальний міжремонтний пробіг $L_p^{опт}$ для кожного АТЗ.

4.1.1 Цільова функція оптимізації витрат

Мета оптимізації зводиться до знаходження мінімуму сумарних питомих витрат на планові роботи ($C_{ТО}$) та ліквідацію наслідків відмов ($C_{РН}$):

$$[C_{ТО} + C_{РН}] \rightarrow \min.$$

У загальному вигляді функція мінімізації сумарних витрат має вигляд:

$$W_\Sigma = V_{ПР} + R \rightarrow \min. \qquad (4.1)$$

де: $V_{ПР}$ – витрати на планові ТО і ремонти;

R – витрати від непланових ремонтів, простоїв та порушення безпеки.

4.1.2 Розрахунок витрат на планові роботи та відмови

Розрахунок планових витрат ($V_{ПР}$), які залежать від кількості проведених робіт:

$$V_{ПР} = \sum_i N_i \cdot B_i, \tag{4.2}$$

де: N_i – кількість i – го виду робіт (ТО-1, ТО-2, ПР-1 тощо); B_i – вартість одного виконання.

У пробіговій формі запису (приведення до опорного пробігу L_p):

$$V_{ПР} = \frac{B_\Sigma}{L_\Sigma} \cdot L_p, \tag{4.3}$$

Загальні витрати від непланових ремонтів визначаються за розрахунок витрат від відмов (R):

$$R = V_{\Sigma НР} + V_{\Sigma ЗР} + V_{\Sigma БР}, \tag{4.4}$$

де: $V_{\Sigma НР}$ – витрати на непланові ремонти;

$V_{\Sigma ЗР}$ – витрати від затримок руху (простоїв);

$V_{\Sigma БР}$ – витрати від порушення безпеки.

Витрати на непланові ремонти $V_{\Sigma НР}$ визначаються з урахуванням простою:

$$V_{\Sigma НР} = N_{НР} \cdot (B_{НП} + T_{НР} \cdot S), \tag{4.5}$$

де: $N_{НР}$ – кількість непланових ремонтів;

$B_{НП}$ – середня вартість непланового ремонту;

$T_{НР}$ – середній час простою;

S – величина втрат через простій.

4.1.3 Графічна оцінка та встановлення оптимального пробігу

Для визначення $L_p^{опт}$ використовується графічний метод розрахунку сумарних витрат $V_{ПР} + R$ при різних значеннях L_p, базуючись на фактичних даних за аналізований період (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Витрати на експлуатацію АТЗ, тис. грн (приклад)

L_p, тис. км	50	60	65	70	75	80	85	90
$N_{ПР}$	627,5	522,9	482,7	448,2	418,3	392,2	369,1	348,6
$N_{НВ}$	54	73	84	94	108	122	140	157
$V_{ПР}$	2202,5	1835,4	1694,2	1573,2	1468,3	1376,5	1295,6	1223,6
R	328,6	444,2	511,1	572,0	657,2	742,4	851,9	955,4
$V_{ПР} + R$	2531,1	2279,6	2205,3	2145,2	2125,5	2118,9	2147,5	2179,0

Мінімальне значення загальних витрат $V_{ПР} + R$ спостерігається при:

$$L_p^{опт} = 80\,000 \text{ км}$$

За базового варіанта (традиційний середній пробіг, наприклад, L_p = 60 000 км) сумарні витрати становили 2279,6 тис. грн. Оптимізація до 80 000 км знижує їх до 2118,9 тис. грн. Річна економія становить 2279,6 – 2118,9 = 160,7 тис. грн/рік.

4.2 Визначення очікуваного економічного ефекту від впровадження моніторингу

Оцінка ефективності виконується за методикою розрахунку економічного ефекту науково – технічного прогресу (НТП), що обов'язково враховує фактор часу (дисконтування).

Сумарний економічний ефект за розрахунковий період (T) визначається:

$$E_T = P_T - B_T, \tag{4.6}$$

де: P_T – вартісна оцінка результатів;

B_T – вартісна оцінка сукупних витрат.

Вартісна оцінка результатів та витрат здійснюється з урахуванням дисконтування:

$$P_T = \sum_{t=t_н}^{t_к} P_t \cdot \alpha_t, \tag{4.7}$$

$$B_T = \sum_{t=t_н}^{t_к} (I_t + K_t - Л_t) \cdot \alpha_t, \tag{4.8}$$

де: α_t – коефіцієнт приведення (дисконтування);

I – поточні витрати;

K – одноразові витрати (капіталовкладення);

$Л$ – ліквідне сальдо.

Таблиця 4.2 – Значення коефіцієнта приведення різночасових витрат і результатів

t (рік)	0	1	2	3	4	5	6	7
a_t	1,000	0,909	0,826	0,751	0,683	0,621	0,565	0,513

В умовах, коли ефект досягається за рахунок економії витрат (без прямого збільшення прибутку), додатковий економічний ефект ΔE визначається як різниця між витратами базового варіанту (B_1) та витратами після впровадження (B_2):

$$\Delta E = B_1 - B_2, \tag{4.9}$$

1. Капітальні витрати на впровадження (K_z):

Впровадження не потребує додаткових основних засобів, тому $Л = 0$.

Капітальні витрати включають лише:

- Розробка ПЗ ($B_{ПЗ}$) – 253 тис. грн;
- ПЗ – програмне забезпечення;
- НДДКР ($B_{НДДКР}$) – 98 тис. грн;
- НДДКР – Науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи.

$$K_z = B_{ПЗ} + B_{НДДКР} = 253 + 98 = 351 \text{ тис. грн}$$

2. Річна економія витрат ($\Delta E_{річ}$):

- Витрати без системи (B_1, при L_p = 60 000 км): $B_{ЗБ}$ = 2279,6 тис. грн / рік.
- Витрати після впровадження (B_2, при L_p = 80 000 км): $B_{ЕМ}$ = 2118,9 тис. грн / рік.

$$\Delta E_{річ} = B_{ЗБ} - B_{ЕМ} = 2279,6 - 2118,9 = 160,7 \text{ тис. грн / рік} \quad (4.10)$$

3. Термін окупності (без дисконтування):

$$T_{окуп.} = \frac{K_z}{\Delta E_{річ}} = \frac{351}{160,7} \approx 2,18 \text{ роки}$$

З урахуванням дисконтування, яке знижує вартість майбутніх доходів, термін окупності припадає на четвертий рік експлуатації.

Висновки до розділу 4

Запропонована система моніторингу техніко-експлуатаційних характеристик АТЗ та FLS-модель для оптимізації міжремонтних інтервалів є економічно ефективною для КП.

- Оптимізаційний ефект: Індивідуальне визначення L_p^{opt} дозволило збільшити міжремонтний пробіг з 60 000 км до 80 000 км (для типових умов).
- Річний економічний ефект: Впровадження забезпечує річну економію витрат на ТО та ліквідацію наслідків відмов у розмірі 160,7 тис. грн.
- Капітальні витрати: 351 тис. грн (виключно ПЗ та НДДКР, без додаткових основних фондів).
- Окупність: Термін окупності капітальних вкладень, з урахуванням дисконтування, становить 4 роки.
- Загальний ефект: Сумарний економічний ефект за 5-річний розрахунковий період експлуатації комплексу заходів (з урахуванням дисконтування) суттєво перевищує капітальні витрати.

Результати повністю узгоджуються з математичними моделями прогнозування технічного стану, розробленими в розділах 2 та 3, підтверджуючи, що переведення процесу планування ТО на прогностичну та адаптивну основу забезпечує прямий економічний виграш.

1. Аналіз діяльності КП «Вінницька СМЕД ОДР» виявив критичну недоцільність використання існуючої планово-запобіжної системи (ПЗС) для парку спеціалізованої техніки. Чинні нормативи ТО, засновані виключно на пробігу, ігнорують динамічну, нелінійну залежність інтенсивності відмов від індивідуальних експлуатаційних факторів (навантаження, якість доріг, інтенсивність руху). Це створює прямі ризики для безпеки та призводить до зайвих сукупних витрат. Обґрунтовано, що єдиним перспективним шляхом є перехід до помашинного моніторингу техніко-експлуатаційних характеристик.

2. Методологічним ядром роботи є розроблена гібридна математична модель прогнозування технічної готовності та інтенсивності відмов. Модель поєднує аналітичний розрахунок параметрів (на основі GNSS-трекінгу) із Системою нечіткої логіки (FLS). FLS-модель перетворює якісні та нечіткі вхідні дані (наприклад, жорсткість експлуатації) у достовірний числовий прогнозний ризик відмови $P_{\text{прогноз}}$. Цей підхід став необхідною емпіричною базою для відмови від статичних нормативів ТО на користь адаптивного управління.

3. На базі FLS-прогнозу була успішно сформульована та реалізована задача економічної оптимізації: пошук оптимального міжремонтного пробігу $L_{\text{опт}}$, який мінімізує сумарні питомі витрати $C(L)$. Завдяки динамічній залежності $C(L)$ від адаптивної ймовірності $P_{\text{прогноз}}$, числовий алгоритм оптимізації забезпечив індивідуальну корекцію ресурсу. Зокрема, розрахунки показали, що $L_{\text{опт}}$ може коливатися від ~ 52 000 км (критичні умови) до ~ 95 000 км (легкі умови), що є доказом неефективності єдиного нормативного пробігу.

4. Розроблена архітектура інформаційного забезпечення (Розділ 3.1) трансформує сирі дані моніторингу на комплексний вектор експлуатаційних характеристик. Методологічне обґрунтування (на основі аналізу «Дерева Цілей» та «Дерева Систем») довело, що інтеграція FLS-моделі в підсистеми моніторингу та планування ТО має найбільший внесок у досягнення генеральної цілі

підвищення надійності АТЗ, оскільки переводить процес управління з реактивного на прогностичний та економічно доцільний.

5. Практична реалізація підтвердила, що запропонована система моніторингу та FLS-модель є економічно ефективною. Оптимізаційний ефект дозволив збільшити міжремонтний пробіг для типових умов з 60 000 км до 80 000 км. Це забезпечує прямий річний економічний ефект у розмірі 160,7 тис. грн за рахунок скорочення кількості планових робіт та мінімізації збитків від непланових відмов.

6. Незважаючи на капітальні витрати на розробку ПЗ та НДДКР у розмірі 351 тис. грн, економічні розрахунки, що включають дисконтування, показали, що система має швидку окупність, яка припадає на 4-й рік експлуатації. Таким чином, комплексна інформаційно-аналітична система забезпечує прямий економічний виграш, що підтверджує доцільність переведення процесу планування ТО на прогностичну та адаптивну основу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрусенко С.І., Бугайчук О.С. Моделювання бізнес-процесів підприємства автосервісу: монографія. – К.: Кафедра, 2014. – 328 с.
2. Бідняк М. Н. [та ін.]. Управління матеріальними ресурсами підприємства: навч. посіб. — К.: НТУ, 2017. — 251 с. ISBN 978-966-632-268-8.
3. Бідняк, М. Н., Біліченко, В. В. Виробничі системи на транспорті: теорія і практика: монографія. Вінниця, 2006. — 176 с.
4. Біліченко В.В. Виробничо-технічна база підприємств автомобільного транспорту: навч. посібник / В.В. Біліченко, В.Л. Крещенецький, С.О. Романюк, Є.В. Смирнов. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 182 с.
5. Біліченко В. В. Виробничі системи на транспорті: стратегії розвитку: монографія. — Вінниця: ВНТУ, 2016. — 268 с. ISBN 978-966-641-654-7.
6. Біліченко В. В. Стратегії технічного розвитку автотранспортних підприємств [Електронний ресурс] : монографія / В. В. Біліченко, Є. В. Смирнов. – Електронні текстові дані (1 файл (PDF) : 7,57 Мбайт). – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 144 с. – Режим доступу: https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/534. (6,5/3,3 авт. арк.).
7. Вовк Ю.Я., Вовк І.П. Основи теорії транспортних процесів і систем. Навчальний посібник (курс лекцій). – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2021. – 104 с.
8. Волков В. П., Мармут І. А., Волкова Т. В., Кужель В. П., Віштак І. В. Особливості створення освітньої програми для другого рівня здобувачів спеціальності «Автомобільний транспорт». Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2024. № 4. С. 163-169.
9. Вітлінський В.В. Економіко-математичні методи та моделі: оптимізація : навч. посібник [Електронний ресурс] / Вітлінський В. В., Терещенко Т. О., Савіна С. С. — К. : КНЕУ, 2016. — 303 с.
10. Дембіцький В. М., Павлюк В. І., Придюк В. М. Технічна експлуатація автомобілів: навчальний посібник. — Луцьк: Луцький НТУ, 2018. — 473 с.

11. Дмитрієв І.А. Економіка підприємств автомобільного транспорту: навчальний посібник для самостійної роботи та поточного контролю знань студентів закладів вищої освіти / І.А. Дмитрієв, О.С. Іванілов, І.Ю. Шевченко., І.М. Кирчата – Х.: ФОП Бровін О.В., 2018. – 308 с.

12. Забезпечення та підвищення надійності й ефективності процесу автомобільних вантажних перевезень побудовою дерева відмов структурних елементів транспортної системи / Голуб Д. В. та ін. Вісник машинобудування та транспорту. 2023. № 2(18). С. 46–55. URL: https://doi.org/10.31649/2413-4503-2023-18-2-46-55.

13. ДСТУ 4100:2014. Безпека дорожнього руху. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування. Чинний від 2014-12-29. Вид. офіц. Київ : Мінекономрозвитку України, 2015. - 106 с.

14. ДБН В.2.3-4:2015 «Автомобільні дороги». Частина 1. Проектування. Частина 2. Будівництво [Чинний від 2016–04–01]. Київ, 2015. 112 с. (Національний стандарт України).

15. Кашканов, А. А. Безпека дорожнього руху : навчальний посібник / А. А. Кашканов, О. Г. Грисюк, І. І. Гуменюк. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 90 с.

16. Канарчук В. Є. , Полянський С. К., Дмитрієв М. М. Надійність машин: підручник / — Київ: Либідь, 2003. — 424 с.

17. Кравченко О. П., Верітельник Є. А. Щодо визначення критерію необхідності зберігання запасних частин на складі автотранспортного підприємства. Вісник Донецької академії автомобільного транспорту, 2014. № 2–3. С. 19–26.

18. Лудченко О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: підручник. – К.: Знання-Прес, 2003. – 511 с.

19. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Технологія: підручник. – К.: Вища шк., 2007. – 527 с.

20. Мармут І.А. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Основи проєктування підприємств автомобільного транспорту» для бакалаврів усіх форм навчання за освітньою програмою «Автомобільний транспорт». Харків: ХНАДУ, 2024. 51 с.

21. Мигаль В. Д. Інтелектуальні системи в технічній експлуатації автомобілів: монографія. — Харків: Майдан, 2018. — 262 с. ISBN 978-966-372-704-2.

22. Митко М. В. Підвищення ефективності роботи автотранспортних підприємств удосконаленням структури виробничих підрозділів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Митко Микола Васильович. – К., 2019. – 20 с.

23. Митко М. В. Підвищення ефективності роботи автотранспортних підприємств удосконаленням структури виробничих підрозділів: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Митко Микола Васильович. – К., 2019. – 251 с.

24. Митко М.В., Бажан М.Ю., Тихонов А.Ю. Структурно-алгоритмічна модель управління рухом спеціального автотранспорту в умовах міської транспортної мережі. Матеріали XVIII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 20-22 жовтня 2025 року : Збірник наукових праць [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2025. – С. 302 – 305.

25. НПАОП 0.00-1.24-10 «Правила охорони праці під час розробки родовищ корисних копалин відкритим способом». [Чинний від 2011–01–06]. Київ, 2010. 120 с. (Нормативно-правовий акт з охорони праці).

26. Проектування підприємств автомобільного транспорту / В.П. Волков, І.А. Мармут, С.І. Кривошапов, В.І. Бєлов. – Х.: ХНАДУ, 2014. – 388 с.

27. Проектне забезпечення формування виробничо-технічної бази підприємств автомобільного транепорту / М.Я. Говорущенко, В.М. Варфоломєєв, Н.А. Волошина. – Х.: ХНАДУ, 2008. – 106 с.

28. Про дорожній рух : Закон України від 30 червня 1993 р. № 3353-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3353-12/ed20040316#Text (дата звернення: 12.10.2024).

29. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. – К.: Мінтранс України, 1998. 116 с.

30. Савін Ю.Х. Методика визначення доцільності створення виробничих підрозділів з обслуговування та ремонту транспортних засобів / Ю.Х. Савін, М.В. Митко // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк: Луцький НТУ, 2016. – № 2 (6). – С. 130-138.

31. Технологічне проектування автотранспортних підприємств: навч. посібник / За ред. С.І. Андрусенка. – К.: Каравела, 2009. – 368 с.

32. Форнальчик Є.Ю., Качмар Р.Я., Основи технічного сервісу транспортних засобів. Львів: Львівська політехніка, 2017. – 324 с.

33. youcontrol.com.ua/catalog/company [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – URL: https://youcontrol.com.ua/catalog/company_details/08576550/ (дата звернення 02.10.2025).

34. vmr.gov.ua [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – URL:https://2021.vmr.gov.ua/MunicipalEnreprise/Lists/VinnytsiaSIMSM/ShowContent.aspx?ID=25 (дат. звернен. 10.10.2025).

35. vkursi.pro/card/vinnytske-kp-smed-odr [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – URL: https://vkursi.pro/card/vinnytske-kp-smed-odr-08576550 (дата звернення 10.10.2025).

36. clarity-project.info/edr [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – URL: https://clarity-project.info/edr/08576550 (дата звернення 12.10.2025).

Додаток А

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

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

до магістерської кваліфікаційної роботи
зі спеціальності 274 – «Автомобільний транспорт»

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВ НА ТЕХНІЧНУ ГОТОВНІСТЬ АВТОМОБІЛІВ КОМУНАЛЬНОГО ПІДПРИЄМСТВА «ВІННИЦЬКА СПЕЦІАЛІЗОВАНА МОНТАЖНО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ДІЛЬНИЦЯ З ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ» МІСТО ВІННИЦЯ

Розробив студент гр. 1АТ-24м Тихонов А.Ю.

Керівник роботи: к.т.н., доцент Митко М.В.

Вінниця ВНТУ – 2025 року

Мета дослідження. *Метою* магістерської кваліфікаційної роботи є на основі комплексного аналізу впливу експлуатаційних умов на його транспортні засоби розробити та обґрунтувати практичні рекомендації щодо удосконалення системи технічного обслуговування (ТО) та ремонту, спрямовані на підвищення показника технічної готовності автомобілів підприємства.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати теоретичні основи та існуючі науково-методичні підходи до оцінювання технічної готовності автомобільного транспорту та її залежності від експлуатаційних чинників;
2. Дослідити та систематизувати основні експлуатаційні умови (дорожні, кліматичні, інтенсивність використання, якість ТО та ремонту) комунального підприємства «Вінницька СМЕД ОДР» та визначити їхній вплив на надійність та безвідмовність автомобілів;
3. Здійснити оцінку поточного рівня технічної готовності транспортних засобів комунального підприємства за обраними показниками (наприклад, коефіцієнтом технічної готовності, коефіцієнтом використання);
4. Виявити основні тенденції та закономірності відмов агрегатів і систем автомобілів, що експлуатуються в умовах КП "Вінницької СМЕД ОДР", та визначити критичні вузли, найбільш схильні до впливу експлуатаційних чинників;
5. Розробити та обґрунтувати комплекс практичних заходів (організаційних, технологічних, технічних) та рекомендацій щодо удосконалення системи ТО та ремонту для мінімізації негативного впливу експлуатаційних умов;
6. Визначити очікувану економічну ефективність від впровадження запропонованих рекомендацій на підприємстві.

Об'єкт дослідження – є процес експлуатації та забезпечення технічної готовності автомобільного транспорту комунального підприємства «Вінницька спеціалізована монтажно-експлуатаційна дільниця з організації дорожнього руху».

Предмет дослідження – це закономірності впливу експлуатаційних умов на показники технічної готовності та ефективність системи технічного обслуговування (ТО) і ремонту транспортних засобів КП «Вінницька СМЕД ОДР».

Спеціалізований автомобіль середнього класу Renault Master
(автогідропідіймач COMET HQ JIB, 14 м)

Автогідропідіймач середнього класу ГАЗ – 33023 (ТК)

Спеціалізований вантажний автомобіль
великого класу Ford Trucks 2533
(евакуатор СКС FT2533DC-12AEH3I)

Рисунок А.1 – Автопарк техніки КП «Вінницька СМЕД ОДР», спеціалізованих автомобілів середнього та великого класу, які використовуються для роботи

Надійність автомобілів може підвищуватися двома основними шляхами:

1. **На етапі виробництва та проектування:** Шляхом впровадження прогресивних конструктивних рішень, використання нових матеріалів з вищими експлуатаційними властивостями та вдосконаленням технологічних процесів.
2. **На етапі експлуатації:** За рахунок удосконалення методів технічного обслуговування та ремонту (наприклад, метод додаткової деталі, ремонтних розмірів) і, що є ключовим для Вашої роботи, забезпечення більш сприятливих умов експлуатації шляхом обґрунтованого визначення оптимальних режимів роботи та навантажень.

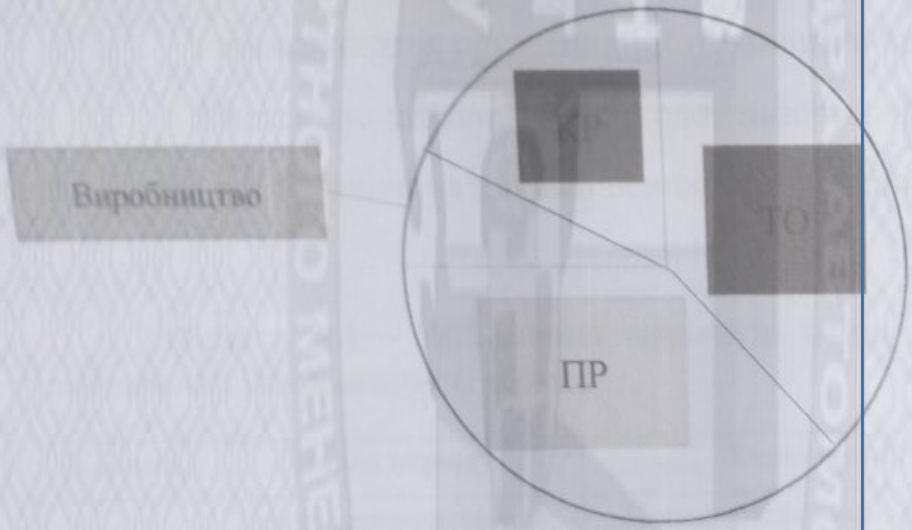

Рисунок А.2 – Структура трудових витрат за "життєвий цикл" вантажного автомобіля

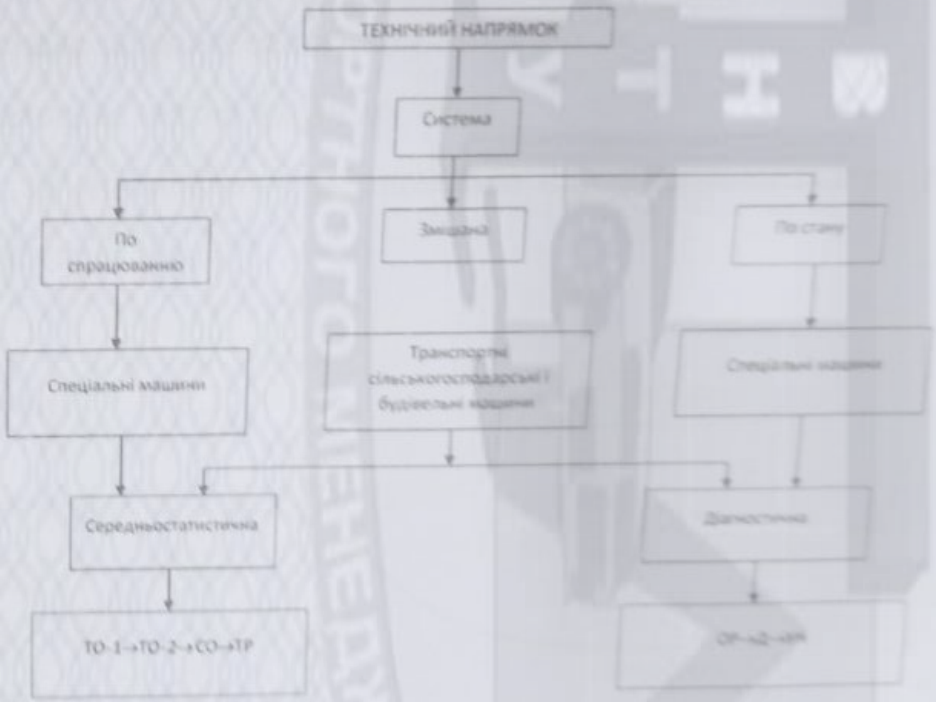

Рисунок А.3 – Схема організації технічного обслуговування і ремонту автомобілів

Суть цієї системи [за напрацюванням] полягає у виконанні регламентних профілактичних робіт (ТО, ремонт чи заміна) після досягнення АТЗ певного пробігу, незалежно від його фактичного технічного стану.

Відмови нерідко виникають раніше, ніж встановлено ресурсом виробника, через особливості конструкції та, що важливіше, через умови експлуатації. Хоча експлуатаційні фактори є стохастичними (випадковими), їх можна класифікувати за характером впливу, щоб знизити наслідки. Імовірність відмови залежить від кількісного та якісного складу "шкідливих" факторів, які змушують агрегати працювати в нехарактерних умовах.

Досвід показує, що зміна інтенсивності відмов більшості об'єктів описується U – подібною кривою рис. А.4.

Підвищення експлуатаційної надійності може бути здійснене за двома основними напрямками:

1. Удосконалення організаційно-технічного забезпечення на основі існуючих знань.
2. Ефективне використання нової інформації про стан автомобілів (за допомогою інформаційних систем та технологій) та створення на цій базі нових моделей контролю й управління.

Таблиця А.1 – Виявлення моментів зміни характеру залежності інтенсивності відмов

Ділянка	Назва періоду	Характеристика
I	Період припрацювання	Підвищена інтенсивність відмов
II	Період нормальної експлуатації	Інтенсивність відмов майже постійна (випадкові відмови)
III	Період інтенсивного зношування	Інтенсивність відмов зростає

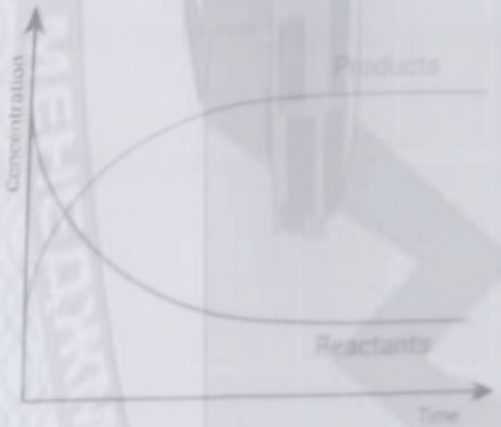

Рисунок А.4 – Крива інтенсивності зношування

Метою управління системою ТО та ремонту є пошук такого балансу, щоб сумарні витрати були мінімальними:

$$[B_{ПР} + R] \rightarrow MIN, \qquad (A.1)$$

де $B_{ПР}$ – витрати на планові заходи з технічного обслуговування (ТО) та ремонту (ПР);

R – ресурси та збитки, задіяні на ліквідацію наслідків непланових ремонтів (НПР).

Збільшення міжремонтного пробігу L_P призводить до збільшення R (ризик відмов), але може зменшувати $B_{ПР}$ (частоту планових втручань), і навпаки.

Фактична надійність машини відрізняється від нормативної (паспортної) через конкретні умови роботи (дороги, клімат, навантаження).

Вплив експлуатаційних факторів описується через **систему коригувальних коефіцієнтів:**

$$\lambda_f = \lambda_n \cdot K_d \cdot K_r \cdot K_n \cdot K_{cl} \cdot K_{org}, \qquad (A.2)$$

де λ_f – фактична інтенсивність відмов; λ_n – нормативна інтенсивність;

K_d, K_r, K_n, K_{cl}, K_{org} – коригувальні коефіцієнти.

Ваговий коефіцієнт розраховуємо за формулою:

$$\beta_t = \frac{R_{max} - W_t}{R_{max} - R_{min}}, \quad (A.3)$$

де β_τ – коефіцієнт важливості;

R_{max} та R_{min} – відповідно максимальна та мінімальна суми рангів, які можливі.

Відносної величини впливу (α_t):

$$\alpha_t = \frac{\beta_t}{\beta_{max}}, \quad (A.4)$$

де β_{max} – ваговий коефіцієнт найбільш вагомого фактору (пробігу АТЗ).

Таблиця А.2 – Вагові коефіцієнти факторів, отримані експертним методом

Фактори	Коефіцієнти вагомості, β_t	Відносна величина впливу, α_t
Пробіг АТЗ	0,2139	1
Якість дорожнього покриття	0,1837	0,848
Завантаженість АТЗ	0,1798	0,833
Швидкість руху	0,1476	0,675
Складність маршруту (інтенсивність маневрування)	0,1185	0,579
Кваліфікація обслуговуючого персоналу	0,0896	0,439
Кваліфікація експлуатуючого персоналу	0,0669	0,33

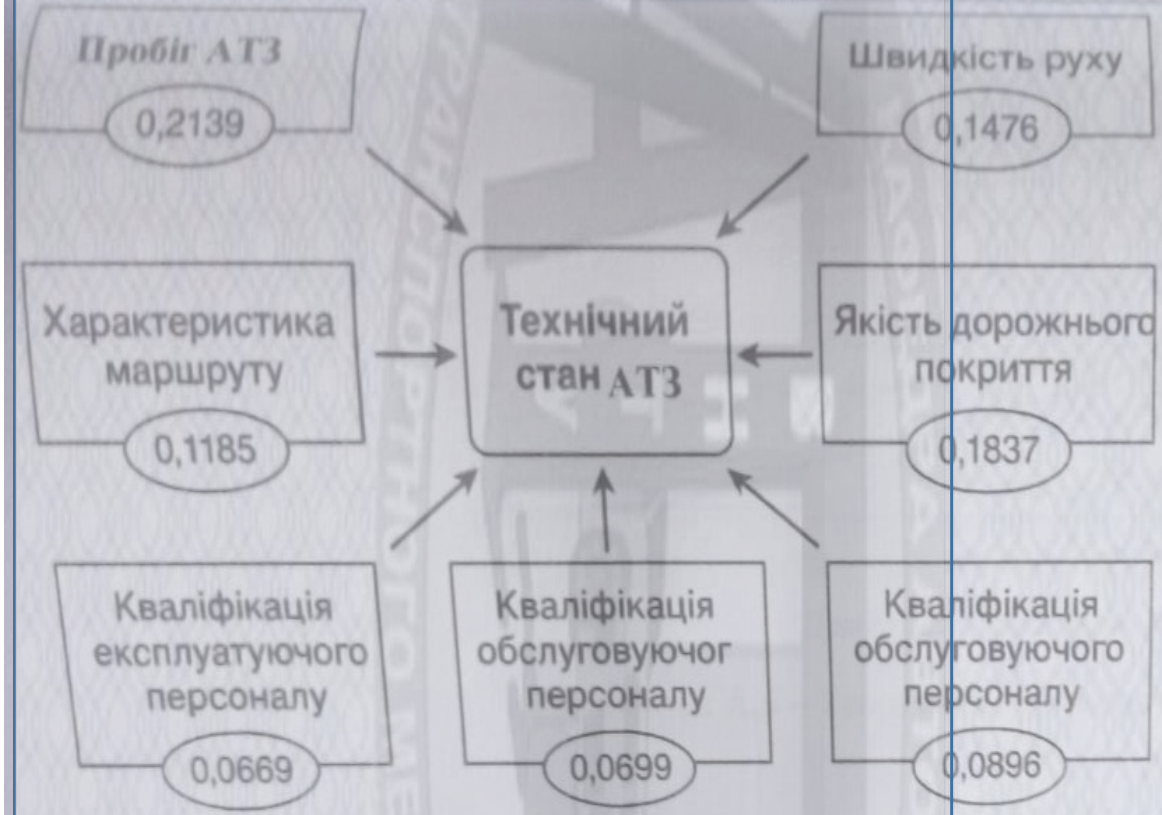

Рисунок А.5 – Розподіл вагових коефіцієнтів факторів впливу експлуатаційних умов на технічний стан АТЗ

Таблиця А.3 – Значення основних експлуатаційних характеристик АТЗ

Рік	Коефіцієнт дорожніх умов	Технічна швидкість, V_{TEX} (км/год)	Завантаженість АТЗ, М (кг)
2022	4,71	21,2	4872
2023	4,71	21,3	4837
2024	4,71	21,3	4857
2025	4,71	21,4	4828

Проаналізовані показники за період з 2022 по 2025 рік, які є математичною основою опосередкованого контролю експлуатаційних характеристик, наведені в таблиці А.3.

Графіки загального потоку відмов та його складових, побудовані на основі емпіричних виразів, наведеї на рис. А.6.

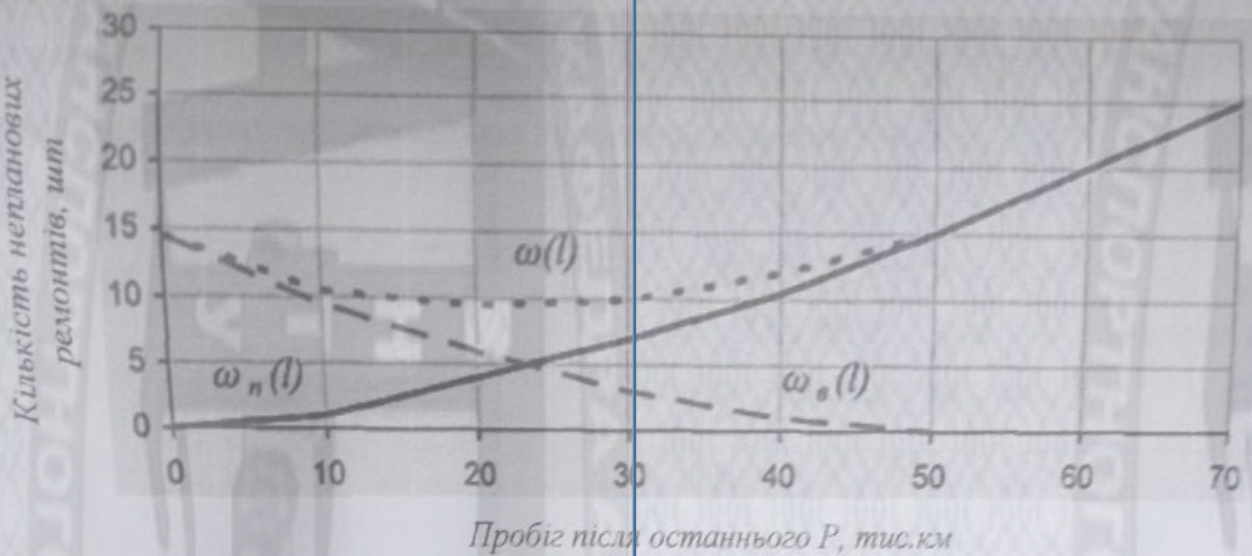

Рисунок А.6 – Теоретичні криві потоків відмов

Для відображення статистики відмов АТЗ вводиться величина, що відповідає кількості позапланових ремонтів $P_{НР.І}$, яка припадає на один цикл проведення відновлювальних операцій в обсязі ПР-1 (L_P = 60 000):

$$P_{НР.І} = \frac{\Phi_в}{L_{заг}} \cdot L_P \,, \qquad (А.5)$$

де $P_{НР.І}$ – кількість позапланових ремонтів, що припадає на один цикл проведення відновлювальних операцій;

$\Phi_в$ – кількість автомобілів, у яких зафіксовано відмову;

$L_{заг}$ – загальний пробіг АТЗ за розглянутий період;

L_p – одиниця пробігу, до якої приводиться значення величини (у роботі прийнято L_p = 60 000 км).

Аналіз звітів дозволив виділити типи відмов, статистика появи яких залежить від експлуатаційних характеристик: **Т1** (відмова трансмісії), **Т2** (відмова двигунів), **Т3** (відмова електрообладнання). На їхню частку припадає **94%** всіх причин позапланових ремонтів.

Це підтверджується відносною оцінкою статистики відмов на рис. А.7.

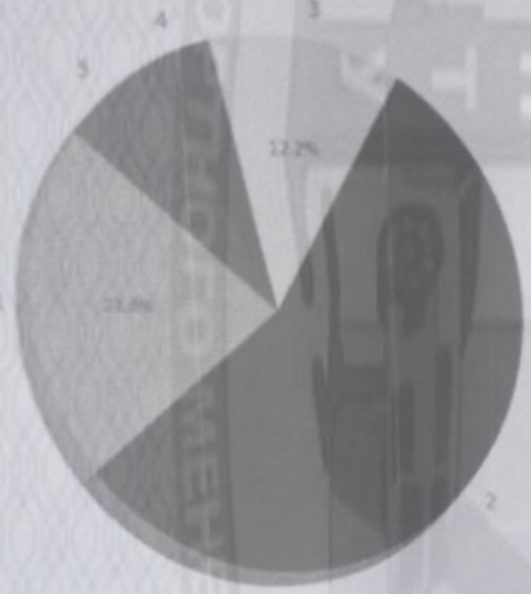

Рисунок А.7 – Відносна оцінка статистики відмов автомобілів за причинами:

1 – відмова трансмісії – 21,8%;

2 – **відмова двигунів – 55,6%**;

3 – відмова електрообладнання – 12,2%;

4 – відмова паливної системи – 4,1%;

5 – інші відмови – 6,3%.

Таблиця А.4 – Значення статистики відмов автотранспортних засобів

Рік	Т1	Т2	Т3	$P_{НР1}$
2022	0,08447	0,30953	0,053	0,49478
2023	0,06254	0,22821	0,04656	0,400122
2024	0,08717	0,34979	0,04443	0,552639
2025	0,11766	0,386	0,08608	0,679916

Відмова двигунів (Т2) вносить найбільший вклад у зниження технічної готовності, що підтверджує необхідність фокусу на агрегатах, чутливих до умов експлуатації.

Сезонний фактор (кліматичні та дорожні умови) суттєво впливає на надійність, що відображається у коливаннях частоти відмов протягом року.

На рисунку А.8 зображено гістограму сезонного аналізу, яка показує піки кількості відмов у січні-лютому та березні-квітні, і спад влітку.

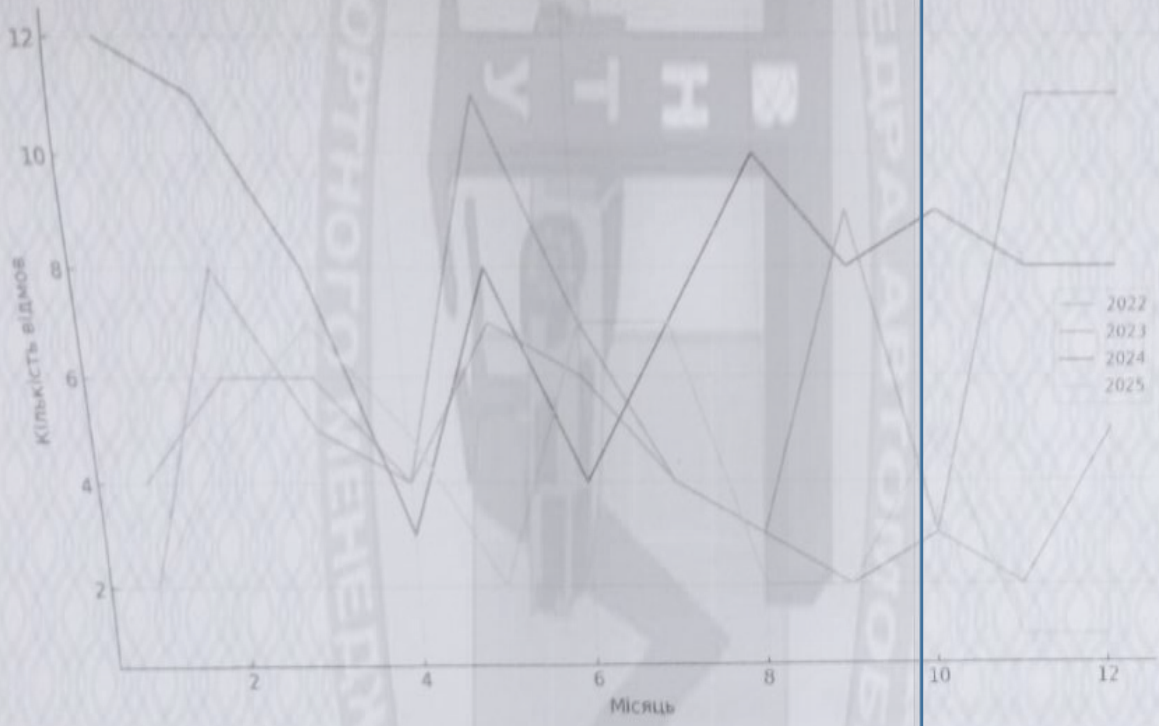

Рисунок А.8 – Графік частоти відмов по місяцях

(Сезонний аналіз позапланових відмов АТЗ КП 2022 – 2025 рр.)

Аналіз сезонності показує:

- Спостерігаються чіткі піки відмов у зимовий період (січень – лютий) та навесні (березень – квітень), що підтверджує, що статичні плани ТО не можуть ефективно керувати ризиками.
- Сезонний фактор, який є зовнішнім та змінним, підтверджує, що статичні плани ТО не можуть ефективно керувати ризиками, пов'язаними з цими коливаннями.

Для оцінки поточної ефективності системи обслуговування аналізуються витрати часу (простої) на ТО та ремонт.

- Планове обслуговування (ТО-1, ТО-2): Виконується згідно з регламентом, зазвичай, за часом чи фіксованим пробігом. Час простою на ТО є передбачуваним, але його оптимізація може бути досягнута лише шляхом збільшення міжремонтного пробігу.
- Позапланові ремонти: Ці ремонти, спричинені відмовами, є найбільш критичними для $K_{т.г.}$, оскільки вони непередбачувані і ведуть до втрати робочого часу. Статистика показує, що середній час простою на позаплановий ремонт перевищує середній час простою на планове ТО, що прямо знижує загальний $K_{т.г.}$ підприємства.

Робота з повним або змінним завантаженням спричиняє зростання навантаження на трансмісію, підвіску та раму.

Емпіричний аналіз показує, що навіть невелике збільшення середньої завантаженості викликає непропорційно більше зростання частоти відмов у відповідних агрегатах.

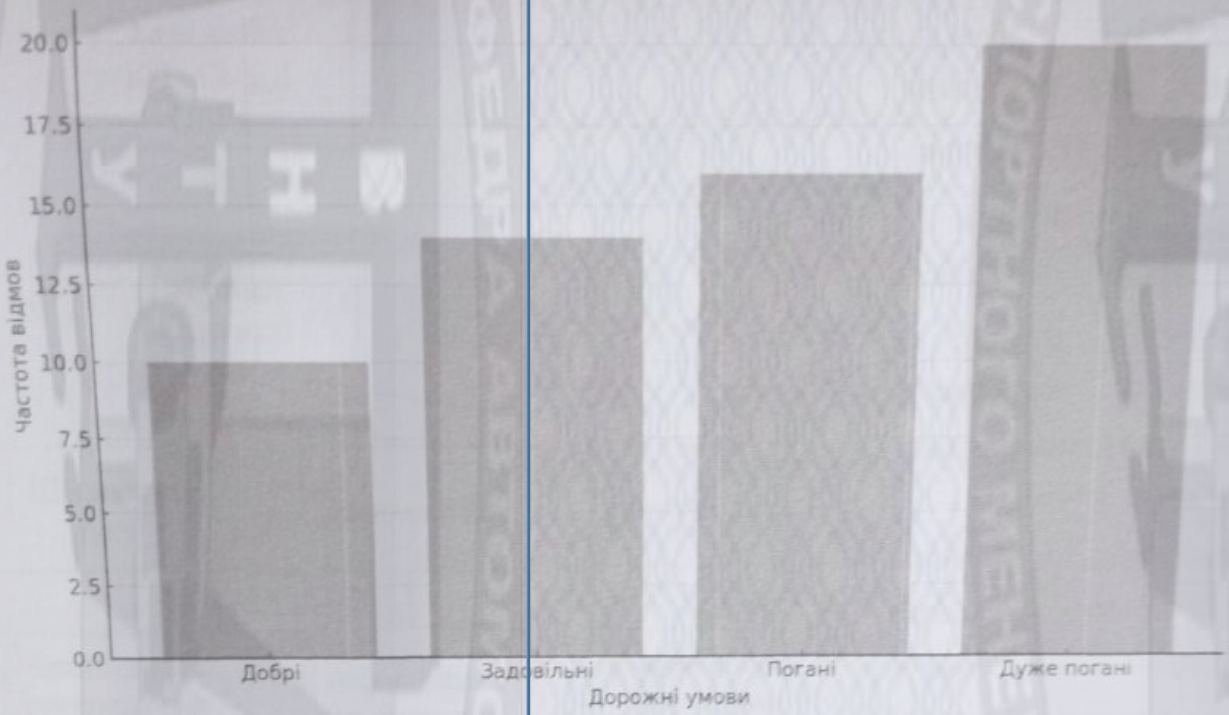

Рисунок А.9 – Вплив дорожніх умов на частоту відмов

Всі рисунки сформовані на основі синтетичних даних, які узгоджених із автопарком у 32 одиниці техніки.

Для забезпечення функціонування прогностичної моделі критично важливим є достовірний контроль чотирьох ключових динамічних параметрів: **фактичний пробіг** (L), **технічна швидкість руху** (V), **показник дорожніх умов** ($K_Д$) та **рівень завантаженості** (M).

Пропонується концепція опосередкованого контролю, заснована на аналітичних розрахунках даних існуючих GNSS-систем. Структурна схема системи автоматичного контролю експлуатаційних характеристик, яка відображає ієрархію взаємодії між бортовими GNSS-трекерами, базою даних КП та блоком аналізу для отримання необхідних експлуатаційних характеристик.

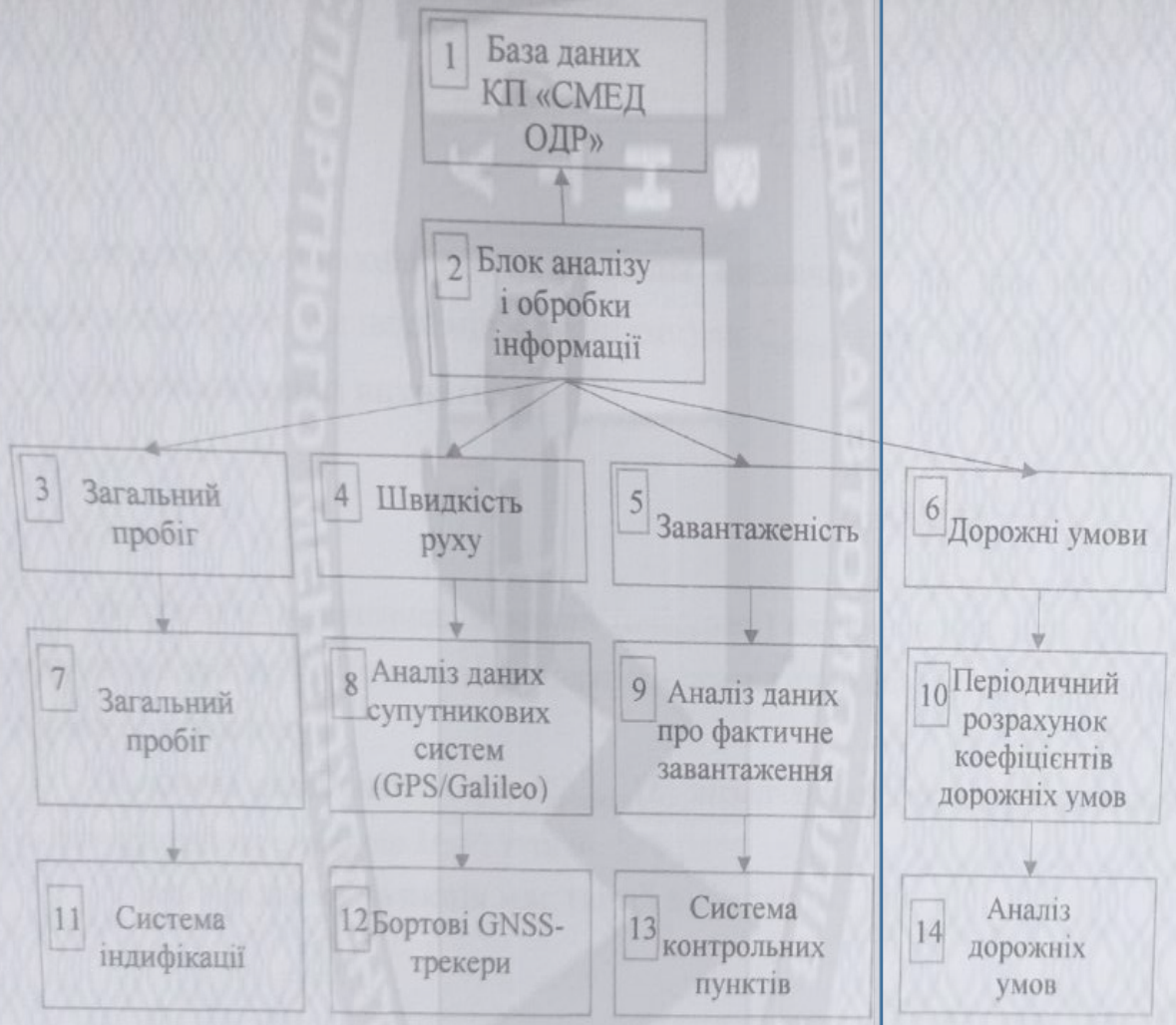

Рисунок А.10 – Структурна схема системи автоматичного контролю експлуатаційних характеристик

Дана схема відображає ієрархію взаємодії між основними компонентами системи, де:

- Блок 1 (*База даних КП «СМЕД ОДР»*) є центральним сховищем інформації.
- Блок 2 (*Аналіз та обробка*) виконує розрахунок залишкового ресурсу та прогнозування часу настання наступного ТО.
- Блоки 3, 4, 5, 6 відповідають за чотири ключові контрольовані експлуатаційні характеристики.
- Блоки 7 – 14 є джерелами вихідної інформації, при цьому «Система ідентифікації» (Блок 11) є ключовою для фіксації дислокації АТЗ у просторі та часі.

Для управління надійністю АТЗ пропонується використовувати дані бортових телематичних систем (GPS / Galileo) як первинні ідентифікаційні дані для точності й оперативності.

Модель витрат на ТО та ремонти і прогнозування $P_{\text{прогноз}}(L)$

Сумарні питомі витрати складаються з питомих витрат на планове обслуговування та питомих очікуваних витрат, пов'язаних із позаплановими ремонтами:

$$C(L) = C_{TO}(L) + C_{PH}(L), \tag{A.6}$$

Витрати на планове обслуговування визначаємо за допомогою сумарних витрати на виконання комплексу регламентних робіт (за цикл між ремонтами) як $C_{\text{обсл.ц}}$ (грн за цикл).

Питомі планові витрати:

$$C_{TO}(L) = \frac{C_{\text{обсл.ц}}}{L}, \tag{A.7}$$

Витрати на позаплановий ремонт (очікувані) визначаємо за допомогою за один цикл пов'язані з імовірністю настання відмови на пробігу L. Позначимо сумарні збитки від однієї позапланової відмови як $C_{\text{збит.}}$ (включаючи запасні частини, роботу, втрати від простою).

Ключова відмінність – тут $P_{\text{прогноз}}(L)$ визначається гібридною моделлю (аналітично + нечітка логіка) з урахуванням експлуатаційних факторів M, V, Ψ та ін.

Повна цільова функція має такий вигляд:

$$C(L) = \frac{C_{\text{обсл.ц}} + C_{\text{збит.}} \cdot P_{\text{прогноз}}(L)}{L}, \tag{A.8}$$

Для демонстрації ефективності моделі розглядаються типові сценарії експлуатації автопарку КП «Вінницького СМЕД ОДР».

Сценарій 1. Номінальний (легкий): Ψ – хороші; *M* – середнє; *V* – середня; очікувано низький $P_{\text{прогноз}}$.

Сценарій 2. Типовий (змінний): змішані умови; помірний $P_{\text{прогноз}}$.

Сценарій 3. Критичний (важкий): Ψ – погані; *M* – повне; часті цикли *a* – висока частота прискорень / гальмувань; $P_{\text{прогноз}}$ великий.

Для кожного сценарію обчислюємо λ, потім і $K_{\text{т.г. прогн.}}$.

Використання моделі дозволяє будувати прогнозні графіки для обґрунтування оптимального обслуговування.

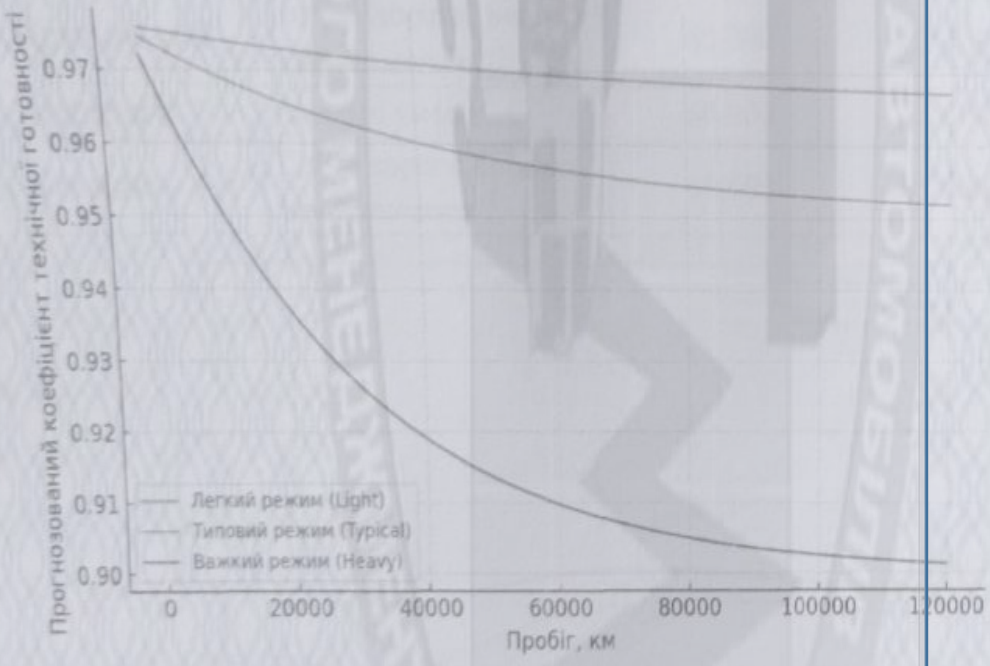

Рисунок А.11 – Графік прогнозування $K_{\text{т.г. прогн.}}$ як функція залежно від пробігу

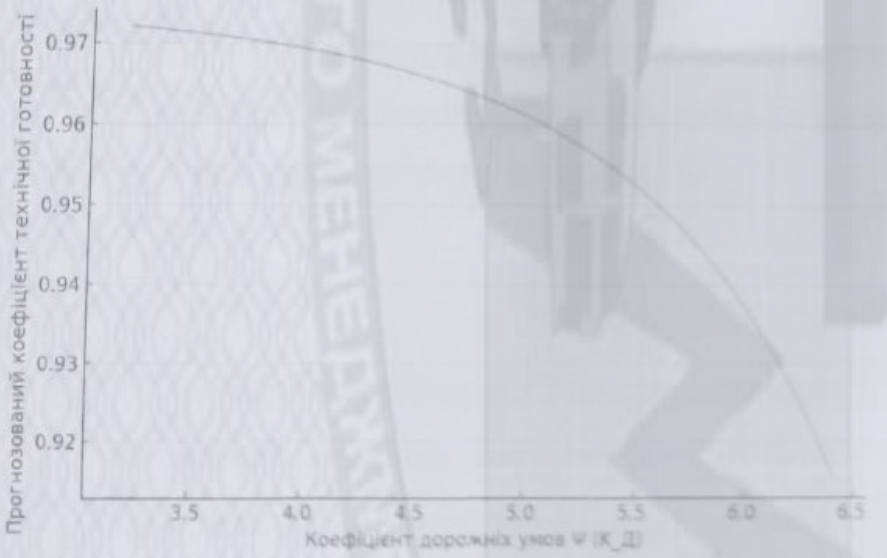

Рисунок А.12 – Графік впливу дорожніх умов Ψ на технічну готовність

Визначення оптимального пробігу та числовий розрахунок $L_{опт}$

Розрахунки проводяться для трьох типових сценаріїв, характерних для експлуатації АТЗ комунального підприємства (таблиця А.5).

Таблиця А.5 – Зміна оптимального пробігу залежно від сценарію експлуатації

Сценарій експлуатації	Умови (Фактор Ψ)	Нормативний $L_{ТО}$, км	Адаптивний $L_{опт}$, км	Зміна $L_{опт}$
1	2	3	4	5
Критичний	Погані дороги, високе навантаження	60 000	~ 52 000	– 13,3%
Типовий	Середні умови	60 000	~ 80 000	+ 33,3%
Легкий	Добрі дороги, низьке навантаження	60 000	~ 95 000	+ 58,3 %

Визначення оптимального міжремонтного пробігу $L_{опт}$ зводиться до задачі мінімізації сумарних питомих витрат $C(L)$.

Ця таблиця встановлює ключові параметри витрат та обмеження для кожного сценарію, що використовується у функції $C(L)$.

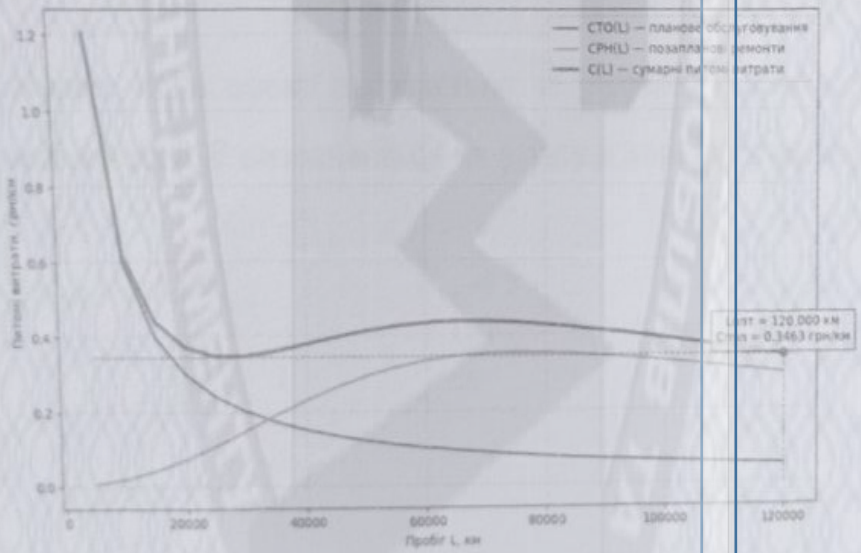

Рисунок А.13 – Криві питомих експлуатаційних витрат

Графік на рисунку А.13 ілюструє принцип оптимізації сумарних питомих витрат $C(L)$, знаходячи оптимальний пробіг $L_{опт}$, як точку мінімуму, де витрати на планове ТО та очікувані збитки від відмов врівноважуються.

Визначення очікуваного економічного ефекту від впровадження моніторингу

Сумарний економічний ефект за розрахунковий період (T) визначається:

$$E_T = P_T - B_T, \tag{A.9}$$

де: P_T – вартісна оцінка результатів;

B_T – вартісна оцінка сукупних витрат.

Таблиця А.6 – Значення коефіцієнта приведення різночасових витрат і результатів

t (рік)	0	1	2	3	4	5	6	7
a_t	1,000	0,909	0,826	0,751	0,683	0,621	0,565	0,513

В умовах, коли ефект досягається за рахунок економії витрат (без прямого збільшення прибутку), додатковий економічний ефект ΔE визначається як різниця між витратами базового варіанту (B_1) та витратами після впровадження (B_2):

$$\Delta E = B_1 - B_2, \tag{A.10}$$

Розрахунок капітальних витрат та річної економії

1. Капітальні витрати на впровадження (K_Z):

Впровадження не потребує додаткових основних засобів, тому Л = 0.

Капітальні витрати включають лише:

- Розробка ПЗ ($B_{ПЗ}$) – 253 тис. грн;
- ПЗ – програмне забезпечення;
- НДДКР ($B_{НДДКР}$) – 98 тис. грн;
- НДДКР – Науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи.

$$K_Z = B_{ПЗ} + B_{НДДКР} = 253 + 98 = 351 \text{ тис. грн}$$

2. Річна економія витрат ($\Delta E_{річ}$):

- Витрати без системи (B_1, при L_p = 60 000 км): $B_{ЗБ}$ = 2279,6 тис. грн / рік.
- Витрати після впровадження (B_2, при L_p = 80 000 км): $B_{ЕМ}$ = 2118,9 тис. грн / рік.

$$\Delta E_{річ} = B_{ЗБ} - B_{ЕМ} = 2279,6 - 2118,9 = 160,7 \text{ тис. грн / рік} \quad (А.11)$$

3. Термін окупності (без дисконтування):

$$T_{окуп.} = \frac{K_Z}{\Delta E_{річ}} = \frac{351}{160,7} \approx 2,18 \text{ роки}$$

Примітка: *З урахуванням дисконтування, яке знижує вартість майбутніх доходів, термін окупності припадає на четвертий рік експлуатації.*

ВИСНОВКИ

1. Аналіз діяльності КП «Вінницька СМЕД ОДР» виявив критичну недоцільність використання існуючої планово-запобіжної системи (ПЗС) для парку спеціалізованої техніки. Чинні нормативи ТО, засновані виключно на пробігу, ігнорують динамічну, нелінійну залежність інтенсивності відмов від індивідуальних експлуатаційних факторів (навантаження, якість доріг, інтенсивність руху). Це створює прямі ризики для безпеки та призводить до зайвих сукупних витрат. Обгрунтовано, що єдиним перспективним шляхом є перехід до помашинного моніторингу техніко-експлуатаційних характеристик.

2. Методологічним ядром роботи є розроблена гібридна математична модель прогнозування технічної готовності та інтенсивності відмов. Модель поєднує аналітичний розрахунок параметрів (на основі GNSS-трекінгу) із Системою нечіткої логіки (FLS). FLS-модель перетворює якісні та нечіткі вхідні дані (наприклад, жорсткість експлуатації) у достовірний числовий прогнозний ризик відмови $P_{\text{прогноз}}$. Цей підхід став необхідною емпіричною базою для відмови від статичних нормативів ТО на користь адаптивного управління.

3. На базі FLS-прогнозу була успішно сформульована та реалізована задача економічної оптимізації: пошук оптимального міжремонтного пробігу $L_{\text{опт}}$, який мінімізує сумарні питомі витрати $C(L)$. Завдяки динамічній залежності $C(L)$ від адаптивної ймовірності $P_{\text{прогноз}}$, числовий алгоритм оптимізації забезпечив індивідуальну корекцію ресурсу. Зокрема, розрахунки показали, що $L_{\text{опт}}$ може коливатися від ~ 52 000 км (критичні умови) до ~ 95 000 км (легкі умови), що є доказом неефективності єдиного нормативного пробігу.

4. Розроблена архітектура інформаційного забезпечення (Розділ 3.1) трансформує сирі дані моніторингу на комплексний вектор експлуатаційних характеристик. Методологічне обгрунтування (на основі аналізу «Дерева Цілей» та «Дерева Систем») довело, що інтеграція FLS-моделі в підсистеми моніторингу та планування ТО має найбільший внесок у досягнення генеральної цілі підвищення надійності АТЗ, оскільки переводить процес управління з реактивного на прогностичний та економічно доцільний.

5. Практична реалізація підтвердила, що запропонована система моніторингу та FLS-модель є економічно ефективною. Оптимізаційний ефект дозволив збільшити міжремонтний пробіг для типових умов з 60 000 км до 80 000 км. Це забезпечує прямий річний економічний ефект у розмірі 160,7 тис. грн за рахунок скорочення кількості планових робіт та мінімізації збитків від непланових відмов.

6. Незважаючи на капітальні витрати на розробку ПЗ та НДДКР у розмірі 351 тис. грн, економічні розрахунки, що включають дисконтування, показали, що система має швидку окупність, яка припадає на 4-й рік експлуатації. Таким чином, комплексна інформаційно-аналітична система забезпечує прямий економічний виграш, що підтверджує доцільність переведення процесу планування ТО на прогностичну та адаптивну основу.

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Оцінювання впливу експлуатаційних умов на технічну готовність автомобілів комунального підприємства «Вінницька спеціалізована монтажно-експлуатаційна дільниця з організації дорожнього руху» місто Вінниця

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КПП) 12,6 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

☑ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту

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

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

Експертна комісія:

Цимбал С.В., завідувач кафедри АТМ _____
(прізвище, ініціали, посада) (підпис)

Кужель В.П., доцент кафедри АТМ _____
(прізвище, ініціали, посада) (підпис)

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

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник _____ Митко М.В., доцент кафедри АТМ
(підпис) (прізвище, ініціали, посада)

Здобувач _____ Тихонов А.Ю.
(підпис) (прізвище, ініціали)