

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет транспорту та інженерії

(повне найменування факультету)

Кафедра автомобільного транспорту

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**РОЗРОБКА СТРАТЕГІЇ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ
АВТОБУСІВ ДАЛЕКОГО ПРЯМУВАННЯ**

спеціальність 274 Автомобільний транспорт
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Автомобільний транспорт»
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АТ-41

Тарас ПОХЮХОВИЧ

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Валерій ДЕМБІЦЬКИЙ

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 2026 р.
к.т.н., доцент,
гарант освітньої програми:
Олег ЗАХАРЧУК

(підпис)

Луцьк – 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В. ОНИЩУК

«___» _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Тарасу ПОЛЮХОВИЧУ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Розробка стратегії технічного обслуговування автобусів далекого прямування».

Керівник роботи: к.т.н., доцент Валерій ДЕМБІЦЬКИЙ

затверджені наказом вищого навчального закладу від «31» грудня 2025 р. № 562/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «01» червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: технічні характеристики автобусів далекого прямування; умови використання на міжнародних маршрутах; структура пробігів, тривалість рейсів; чинні регламентні вимоги до технічного обслуговування.

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

1 Аналітичний огляд і постановка задачі

2 Дослідження умов експлуатації автобусів

3. Розроблення стратегії та режимів технічного обслуговування автобусів

4 Оцінка ефективності запропонованих рішень

5. Перелік графічного матеріалу:

Титульний аркуш, мета, об'єкт, предмет, завдання досліджень; основні результати досліджень, висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Економічна частина</i>	<i>І. ПАВЛОВА, к.т.н., доцент каф. АТТ</i>		
<i>Технологічна частина</i>	<i>В. ПРИДЮК, к.т.н., доцент каф. АТТ</i>		

7. Дата видачі завдання «03» лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналіз, вибір та обґрунтування вихідних даних</i>	<i>20.04.2026</i>	
2	<i>Аналітичний огляд і постановка задачі</i>	<i>02.05.2026</i>	
3	<i>Дослідження умов експлуатації автобусів</i>	<i>09.05.2026</i>	
4	<i>Розроблення стратегії та режимів технічного обслуговування автобусів</i>	<i>16.05.2026</i>	
5	<i>Оцінка ефективності запропонованих рішень</i>	<i>23.05.2026</i>	
6	<i>Перевірка кваліфікаційної роботи керівником</i>	<i>28.05.2026</i>	
7	<i>Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини відповідно діючих вимог</i>	<i>30.05.2026</i>	
8	<i>Перевірка роботи на плагіат</i>	<i>за два тижні до захисту</i>	
9	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>згідно графіка захистів</i>	
10			

Здобувач вищої освіти

(підпис)*Т. ПОЛЮХОВИЧ*
(ініціали, прізвище)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)*В. ДЕМБІЦЬКИЙ*
(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Полухович Т.О. Розробка стратегії технічного обслуговування автобусів далекого прямування. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Автомобільний транспорт» спеціальності 274 Автомобільний транспорт. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання. Обсяг кваліфікаційної роботи становить 74 сторінки основного тексту, 15 таблиць, 3 рисунка та 37 джерел за переліком посилань.

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена обґрунтуванню та розробленню оптимальних режимів технічного обслуговування автобусів далекого прямування, що виконують міжнародні пасажирські перевезення. Актуальність теми зумовлена підвищеними вимогами до надійності, безпеки та ефективності експлуатації рухомого складу в умовах тривалих рейсів, високих добових пробігів, змінних дорожньо-кліматичних факторів і обмежених можливостей проведення обслуговування між рейсами. У роботі проаналізовано особливості експлуатації автобусів на міжнародних маршрутах, досліджено вплив умов роботи на інтенсивність зношування основних вузлів і агрегатів, а також визначено обмеження традиційних регламентних підходів до технічного обслуговування. Проведено класифікацію стратегій технічного обслуговування та обґрунтовано доцільність застосування комбінованого підходу, що поєднує регламентні, стан- та ризик-орієнтовані методи. У результаті роботи розроблено рекомендації щодо оптимізації режимів технічного обслуговування автобусів, які дозволяють підвищити технічну готовність рухомого складу, зменшити кількість позапланових відмов і простоїв, а також знизити експлуатаційні витрати. Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання на підприємствах

автомобільного транспорту при організації технічного обслуговування автобусів міжнародного сполучення.

Під час виконання роботи було використано інструменти штучного інтелекту для форматування тексту, систематизації матеріалів та створення таблиць, виключно як допоміжний засіб для пошуку ідей, уточнення формулювань та опрацювання літератури. Усі твердження, висновки та результати дослідження належать автору та ґрунтуються на власному аналізі.

Ключові слова: автобус далекого прямування, технічне обслуговування, міжнародні перевезення, надійність, технічна готовність, експлуатаційні витрати, оптимізація режимів ТО.

ANNOTATION

Polyukhovich T.O. Development of a strategy for the maintenance of long-distance buses. Manuscript.

Bachelor's qualification work OP "Automobile Transport" specialty 274 Automobile Transport. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

Bachelor's qualification work consists of an introduction, four sections, conclusions, a list of references. The volume of the qualification work is 74 pages of the main text, 15 tables, 3 figures and 37 sources according to the list of references.

Bachelor's qualification work is devoted to the justification and development of optimal maintenance modes for long-distance buses that perform international passenger transportation. The relevance of the topic is due to increased requirements for reliability, safety and efficiency of operation of rolling stock in conditions of long flights, high daily mileage, variable road and climatic factors and limited possibilities for servicing between flights. The paper analyzes the features of bus operation on international routes, investigates the influence of operating conditions on the intensity of wear of main components and assemblies, and also identifies the limitations of traditional routine approaches to maintenance. A classification of maintenance strategies is carried out and the feasibility of using a combined approach combining routine, condition- and risk-oriented methods is substantiated. As a result of the work, recommendations have been developed for optimizing bus maintenance regimes, which allow increasing the technical readiness of rolling stock, reducing the number of unscheduled failures and downtime, and reducing operating costs. The practical significance of the results obtained lies in the possibility of their use at road transport enterprises when organizing maintenance of international buses.

During the work, artificial intelligence tools were used to format text, systematize materials and create tables, exclusively as an auxiliary tool for searching for ideas, clarifying formulations and reviewing literature. All statements, conclusions and results of the study belong to the author and are based on his own analysis.

Keywords: long-distance bus, maintenance, international transportation, reliability, technical readiness, operating costs, optimization of maintenance regimes.

ЗМІСТ

Вступ	10
1 Аналітичний огляд і постановка задачі оптимізації режимів ТО	13
1.1 Особливості експлуатації автобусів далекого прямування на міжнародних маршрутах.	14
1.2 Нормативні підходи до ТО автобусів та їх обмеження в умовах міжнародних перевезень.	20
1.3 Класифікація стратегій ТО.	26
1.4 Критерії оптимальності режимів ТО для міжнародних рейсів.	28
Висновки до розділу	30
2 Дослідження умов експлуатації та формування моделі планування ТО .	32
2.1 Опис об'єкта дослідження	32
2.2 Аналіз маршрутів міжнародних перевезень великої дальності.	33
2.3 Формування вихідних даних для аналізу надійності та витрат.	39
2.4 Первинний аналіз технічних ризиків за системами автобуса.	42
Висновки до розділу.	46
3 Розроблення оптимальної стратегії та режимів ТО автобусів далекого прямування.	48
3.1 Вибір типу стратегії ТО.	48
3.2 Алгоритм формування режимів ТО.	51
3.3 Розрахунок оптимальних інтервалів ТО.	56
3.4 Рекомендації щодо організації технічного сервісу під міжнародні рейси.	60
Висновки до розділу.	65
4 Оцінка ефективності впровадження розробленої стратегії.	67
Висновки до розділу.	71

Висновки	73
Перелік джерел посилення	75

ВСТУП

Актуальність теми. Автобуси далекого прямування, що виконують міжнародні рейси великої дальності, працюють у режимі підвищених експлуатаційних навантажень: тривалі поїздки з високими добовими пробігами, нерівномірні дорожні умови, сезонні температурні коливання, змінна якість пального та мастильних матеріалів, а також повторювані цикли «рейс — відстій — рейс». За таких умов традиційні підходи до технічного обслуговування, засновані лише на фіксованих інтервалах пробігу або календарного часу, не завжди забезпечують оптимальне співвідношення надійності, вартості та доступності рухомого складу.

Проблема набуває особливої ваги через підвищені вимоги до безпеки перевезень у міжнародному сполученні. Відмова вузлів гальмівної системи, шин, елементів рульового керування, підвіски або системи охолодження під час рейсу створює прямі ризики для пасажирів і персоналу, а також призводить до вимушених зупинок, аварійних ремонтів і зриву графіка руху. У міжнародних поїздках наслідки технічних відмов, як правило, значно дорожчі, ніж у локальних перевезеннях: ускладнюється логістика запасних частин, виникає залежність від сторонніх сервісних центрів, зростають витрати на евакуацію, простої та штрафні санкції, погіршується репутація перевізника.

Окремим чинником є економічна складова: у структурі витрат перевізника значну частку займають планові роботи ТО, позапланові ремонти, простій транспортного засобу, а також непрямі втрати від недоотриманого доходу через зменшення готовності парку.

					КРБ 23.00.00.00.00 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата	Розробка стратегії технічного обслуговування автобусів далекого прямування		Літера	Аркш	Аркшів
Розробив	Полюхович						Д	10	80
Перевірив	Дембіцький								
Н. контр.	Булук						ЛНТУ, кафедра АТ, гр. АТ-41		
Затверд.	Захарчук О.								

Навіть незначне скорочення простоїв або запобігання кільком критичним відмовам на рік може забезпечити відчутний економічний ефект. Тому пошук і обґрунтування оптимальних режимів технічного обслуговування, адаптованих до реальних умов міжнародної експлуатації, є актуальним завданням, що поєднує вимоги безпеки, надійності та ефективності використання автобусів далекого прямування.

Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування та розроблення оптимальних режимів технічного обслуговування автобуса далекого прямування, що виконує міжнародні перевезення, з урахуванням реальних умов експлуатації з метою підвищення надійності, безпеки та технічної готовності рухомого складу при мінімізації витрат і простоїв.

Об'єкт дослідження – процес технічної експлуатації автобуса далекого прямування, що виконує міжнародні пасажирські перевезення, зокрема умови його роботи, режими навантаження та система технічного обслуговування.

Предмет дослідження – оптимізація режимів технічного обслуговування автобуса далекого прямування з урахуванням впливу експлуатаційних факторів (пробігу, умов маршруту, простоїв, режимів роботи) на показники надійності, безпеки, технічної готовності та витрат.

З урахуванням мети, об'єкту та предмету досліджень поставлено наступні завдання:

1) проаналізувати особливості експлуатації автобусів далекого прямування на міжнародних маршрутах та визначити основні фактори, що впливають на зміну технічного стану, надійність і ризики відмов у рейсі;

2) дослідити існуючі нормативні підходи та стратегії технічного обслуговування автобусів і встановити їх обмеження в умовах міжнародних перевезень;

3) обґрунтувати критерії оцінювання ефективності режимів технічного обслуговування з використанням системи показників (безпека, надійність, технічна готовність, витрати, організаційна придатність);

4) виконати аналіз умов експлуатації та маршрутів міжнародних перевезень (на прикладі маршрутів різної дальності) і визначити їх вплив на інтенсивність зношування агрегатів автобуса;

5) розробити модель формування та планування режимів технічного обслуговування автобуса з урахуванням реальних умов експлуатації, поєднуючи регламентні, стан- та ризик-орієнтовані підходи;

6) обґрунтувати та оцінити ефективність запропонованих режимів технічного обслуговування за техніко-економічними показниками та показниками надійності і технічної готовності рухомого складу.

Практична цінність роботи полягає в розробленні та обґрунтуванні рекомендацій щодо оптимізації режимів технічного обслуговування автобусів далекого прямування, які виконують міжнародні перевезення, з урахуванням реальних умов експлуатації. Запропоновані підходи дозволяють підвищити рівень технічної готовності рухомого складу, знизити ризик відмов у рейсі, скоротити простой та експлуатаційні витрати, а також удосконалити організацію технічного обслуговування шляхом поєднання регламентних, стан- та ризик-орієнтованих методів. Отримані результати можуть бути безпосередньо використані на підприємствах автомобільного транспорту при плануванні технічного обслуговування автобусів, що працюють на міжнародних маршрутах, зокрема для підвищення ефективності експлуатації та безпеки перевезень.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ ТО

Автобуси далекого прямування – це пасажирські автобуси, призначені для виконання міжміських та/або міжнародних перевезень на значні відстані з тривалим перебуванням пасажирів у салоні та роботою транспортного засобу в режимі високих пробігів і тривалих рейсів. Їхня конструкція, оснащення та вимоги до експлуатації орієнтовані на безпеку, надійність, комфорт і економічність у довготривалих поїздках.

Ключові ознаки автобусів далекого прямування:

- призначення: регулярні або нерегулярні міжміські/міжнародні рейси (часто “місто–місто” з мінімальною кількістю зупинок).
- характер експлуатації: великі добові пробіги, тривалі безперервні ділянки руху.
- планування маршруту: зупинки переважно на автостанціях, сервісних пунктах або у визначених місцях відпочинку, а не на кожній зупинці громадського транспорту.
- комфорт для пасажирів: м’які регульовані сидіння, збільшений крок між рядами, багажні відсіки, туалет (часто), системи вентиляції та кондиціонування, індивідуальне освітлення/обдув, мультимедіа, Wi-Fi та розетки/USB.
- безпека та стійкість руху: посилені вимоги до гальмівних систем (часто з електронними системами керування), шин, підвіски, систем стабілізації, освітлення.
- конструктивні особливості: зазвичай автобуси великої місткості (туристичний/міжміський клас), з кузовом, що забезпечує комфорт на швидкісних дорогах, підвищену шумо- і теплоізоляцію, достатню потужність двигуна для стабільної швидкості на магістралях та підйомах.

– експлуатаційні вимоги: підвищені вимоги до технічного стану через відповідальність за пасажирів, графік руху і значні втрати при відмові в дорозі (евакуація, простої, штрафи, репутаційні ризики).

Відмінність від міських автобусів. Якщо міський автобус працює у режимі частих розгонів/гальмувань і зупинок, то автобус далекого прямування переважно експлуатується на тривалих швидкісних ділянках, де критичними стають стабільність роботи силового агрегату, охолодження, шин, гальм при тривалих навантаженнях, а також системи комфорту (кондиціонування, опалення, вентиляція).

1.1 Особливості експлуатації автобусів далекого прямування на міжнародних маршрутах

Експлуатація автобусів далекого прямування на міжнародних маршрутах має низку специфічних рис, які суттєво впливають на формування режимів технічного обслуговування, інтенсивність зношування вузлів і агрегатів, а також ризики відмов у рейсі (рис. 1.1). На відміну від міських або приміських перевезень, міжнародні рейси характеризуються тривалими пробігами, значними часовими інтервалами без доступу до власної ремонтної бази та підвищеною відповідальністю щодо безпеки, пунктуальності й комфорту пасажирів.

Цикл «рейс – відстій – повторний рейс» (рис. 1.2). Робота автобуса в міжнародному сполученні зазвичай організована за циклічною схемою: виконання тривалого рейсу (інколи в режимі майже безперервної роботи), короткий або нерівномірний період відстою (від кількох годин до 1–2 діб), в якому можна виділити підготовку автобуса до наступного рейсу (яка не включає проведення технічного обслуговування, а обмежується лише ЩО) та повторний рейс.

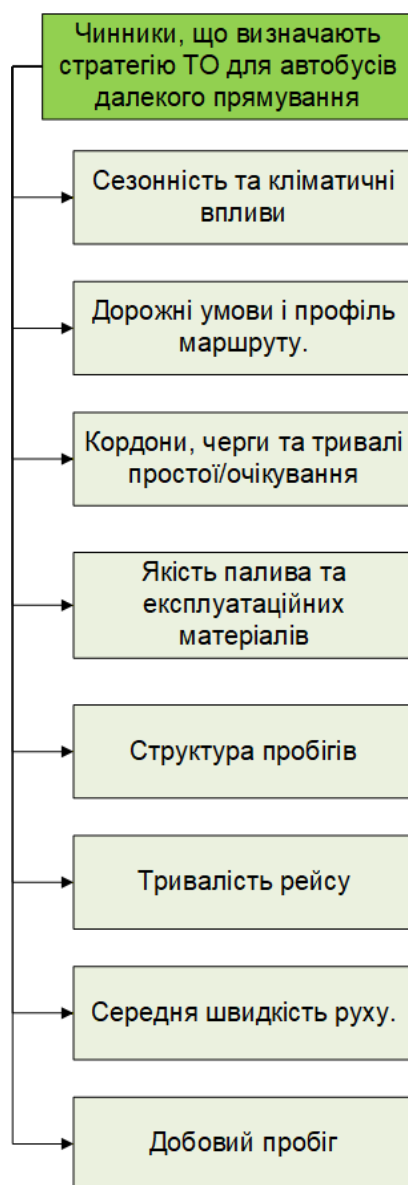


Рисунок 1.1 – Чинники, що визначають стратегію ТО для автобусів далекого прямування

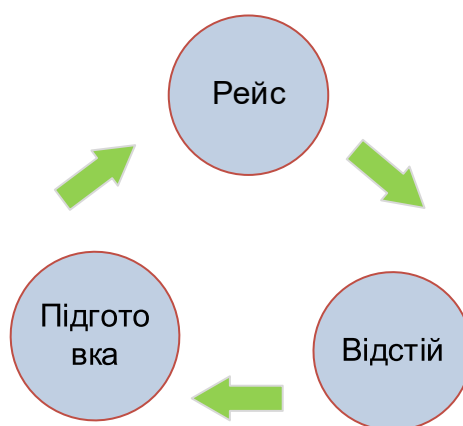


Рисунок 1.2 – Цикл автобуса далекого прямування

Така циклічність створює кілька практичних наслідків для ТО:

- «вікна» для обслуговування часто обмежені, а перенесення робіт може призводити до накопичення дрібних дефектів;
- зростає цінність швидких оглядів і контрольних операцій між рейсами (передрейсовий/післярейсовий контроль, експрес-діагностика);
- відстій не завжди є “відновлювальним” режимом: під час простою можуть проявлятися проблеми запуску, падіння напруги АКБ, конденсація вологи, витіки, деградація ущільнень та пневмосистеми.

Сезонність та кліматичні впливи. Міжнародні маршрути часто проходять через різні кліматичні зони, що означає суттєву зміну температури, вологості й дорожніх умов у межах одного рейсу або сезону:

- взимку критичними стають холодний пуск, робота системи підігріву, акумуляторів, пневмосистеми (волога/обмерзання), в'язкість мастил і палива;
- влітку зростає теплове навантаження на систему охолодження двигуна, кондиціонування, а також ризики перегріву при заторах, на підйомах і при високій зовнішній температурі;
- перепади температур та висока вологість провокують корозійні процеси, прискорюють старіння гумотехнічних виробів, ущільнень і елементів електропроводки;
- сезонність навантажує ходову частину (дорожні реагенти, абразив, вода, бруд), що підвищує вимоги до контролю стану підвіски, гальм, колісних вузлів і шин.

Дорожні умови і профіль маршруту. Міжнародні рейси поєднують різні типи доріг: автомагістралі, регіональні дороги, гірські ділянки, міські заїзди на автостанції, ділянки з ремонтом покриття чи об'їздами. Це формує неоднорідний характер навантажень:

- на автомагістралях автобус тривалий час працює на сталих режимах, але з високою середньою швидкістю та пробігом, що підвищує вимоги до стану шин, трансмісії, системи охолодження та гальмівної системи;
- на гірських ділянках зростає навантаження на силовий агрегат, трансмісію та гальма (часті уповільнення, перегрів гальмівних механізмів, робота ретардера), а також ризики перевантаження охолоджувальної системи;
- на ділянках з поганим покриттям прискорюється зношування амортизаторів, шарнірів, сайлентблоків, підшипників коліс, зростає ризик розбалансування коліс і пошкоджень шин;
- міські та прикордонні «вузькі місця» збільшують частку режимів «старт–стоп», що впливає на зчеплення (для МКП), систему керування двигуном, пневмосистему дверей, компресор, кондиціонування.

Кордони, черги та тривалі простої/очікування. Особливість міжнародних перевезень – непередбачувані затримки на пунктах пропуску, контрольних постах або під час транзиту через великі транспортні вузли. Це породжує специфічні експлуатаційні наслідки:

- зростає частка роботи двигуна на холостому ходу (опалення/кондиціонування, електроживлення систем), що при відсутності пробігу, збільшує моторний ресурс у годинах і прискорює старіння оливи;
- під час тривалих зупинок підвищуються теплові та електричні навантаження на системи комфорту: генератор, акумулятори, системи обігріву, коондиціонування;
- виникають додаткові цикли запуску/зупинки, що посилює зношування стартера, АКБ, елементів паливної системи;
- простої у холоді збільшують ризики падіння тиску в пневмосистемі, утворення конденсату/льоду, підтікання в магістралях;
- затримки унеможливають виконання планових робіт під час відстою та підвищують ймовірність виходу на рейс із накопиченими дефектами.

Вплив якості палива та експлуатаційних матеріалів. На міжнародних маршрутах автобус може заправлятися в різних країнах і на різних мережах АЗС, тому можливі коливання якості палива та експлуатаційних матеріалів:

- домішки, вода або невідповідність характеристик дизельного палива можуть погіршувати роботу паливної апаратури, спричиняти засмічення фільтрів, нестабільність роботи двигуна та зростання токсичності/димності;
- для сучасних дизельних автобусів критичною є якість AdBlue (за наявності SCR): невідповідність або забруднення призводять до збоїв системи нейтралізації, помилок ECU та обмеження потужності;
- різна якість мастил і технічних рідин впливає на інтервали заміни, ризики кавітації/піноутворення, деградацію ущільнень і надійність агрегатів;
- важливим стає посилений контроль фільтрації (паливні, повітряні, салонні фільтри), особливо при експлуатації в запиленому середовищі або за тривалих рейсів.

Структура пробігів. Для автобусів далекого прямування пробіг формується переважно за рахунок довгих міжміських/міжнародних плечей (магістральні ділянки) з відносно невеликою часткою міських відрізків (під'їзд до автостанцій, заїзд на кордон, сервісні зупинки). Типова структура може містити:

- магістральний пробіг з майже сталими швидкісними режимами (основна частка кілометрів);
- вузлові зони (кордон, під'їзди до міст, автостанції) з режимами «старт–стоп» або роботою на холостому ходу, очікуванням, маневруванням;
- специфічні ділянки (гори, ремонти доріг, об'їзди), що різко підвищують навантаження на силовий агрегат, трансмісію та гальма.

Така неоднорідність означає, що один і той самий загальний пробіг може бути отриманий у різних умовах, а отже фактичне зношування агрегатів буде різним – це потрібно враховувати при коригуванні інтервалів ТО.

Тривалість рейсу. Тривалість міжнародного рейсу визначається не лише відстанню, а й регламентними зупинками, трафіком та перетином кордону. Для далекого прямування характерні багатогодинні або добові рейси, у яких:

- зростає ризик теплового перевантаження (двигун, охолодження, кондиціювання) під час тривалої роботи;
- збільшується накопичення дрібних відхилень (падіння тиску в шинах, витоки, зміна шумів/вібрацій), які можуть перейти у відмову до завершення маршруту;
- зростає важливість передрейсових контрольних операцій, адже помилка на старті дорого коштує на віддаленій ділянці.

Середня швидкість руху. Для далекого прямування середня швидкість є інтегральним показником умов маршруту: автомагістралі підвищують її, а міські заїзди, кордон і затори – знижують. Практично це впливає так:

- вища середня швидкість означає більшу інтенсивність пробігу та підвищені вимоги до шин, підвіски, керованості, а також до стабільності температурних режимів агрегатів;
- нижча середня швидкість часто свідчить про велику частку режимів “старт–стоп” та/або простоїв, що підвищує роль моторного ресурсу в годинах, навантажує системи охолодження (у трафіку), електросистему і системи комфорту.

Отже, при виборі режимів ТО доцільно оцінювати не лише кілометри, а й фактичні умови, що «зашиті» у показник середньої швидкості та часу в дорозі.

Добовий пробіг. Добовий пробіг для міжнародних автобусів, як правило, вищий, ніж у міському сегменті, і саме він задає швидкість «накопичення» міжсервісного інтервалу. Високий добовий пробіг призводить до того, що:

- між двома плановими ТО автобус може пройти значну відстань за короткий час, а отже будь-яка затримка ТО швидко перетворюється на перевищення інтервалів;

- збільшується потреба у міжрейсових оглядах, експрес-контролі ключових систем (шини, гальма, рідини, світлотехніка, помилки діагностики);
- планування ТО стає залежним від графіка рейсів: важливо “потрапляти” в доступні сервісні вікна, щоб не втрачати транспортну роботу.

Перелічені особливості означають, що оптимізація режимів технічного обслуговування для міжнародних автобусних рейсів повинна враховувати не лише пробіг, а й реальні умови експлуатації (температури, дорожній профіль, частку простоїв, якість палива), наявність коротких «вікон» між рейсами та підвищену ціну відмов у дорозі. Це обґрунтовує доцільність комбінованої стратегії ТО, де базовий регламент доповнюється коригуванням інтервалів за умовами та елементами стан-орієнтованого контролю перед виходом у тривалий міжнародний рейс.

Структура пробігів, тривалість рейсу, середня швидкість і добовий пробіг формують реальну картину навантаження автобуса. Саме ці параметри мають бути базою для вибору оптимальних режимів ТО: поєднання пробігових інтервалів із коригуванням за умовами (частка магістралі/міста, простої, гірські ділянки) та з обов’язковими контрольними операціями на межі циклу «рейс — відстій — рейс».

1.2 Нормативні підходи до ТО автобусів та їх обмеження в умовах міжнародних перевезень

Технічне обслуговування автобусів у більшості випадків регламентується нормативно-регламентним підходом, який базується на встановлених інтервалах і переліках операцій [1], [2], [3], [4]. Такий підхід забезпечує керованість процесу ТО, прогнозованість витрат і відповідність вимогам безпеки, однак у міжнародних перевезеннях він має низку обмежень через істотну змінність умов експлуатації, високу “ціну” відмов у рейсі та дефіцит часу на обслуговування між поїздками.

Типові інтервали ТО (за пробігом/часом)

У практиці експлуатації автобусів застосовують два базові критерії призначення ТО [5]:

- пробігові інтервали (через певну кількість кілометрів). Це найпоширеніший підхід: ТО планується після досягнення заданого пробігу, що зручно для управління парком та нормування ресурсів (постів, персоналу, матеріалів);

- календарні інтервали (через певний час: тиждень/місяць/пів року/рік).

Вони важливі для операцій, що залежать не тільки від пробігу, а й від старіння матеріалів: гальмівні/охолоджувальні рідини, гумотехнічні елементи, герметичність систем, акумулятори, кондиціонер тощо.

На практиці застосовують комбінований принцип «що настане раніше»: ТО виконують за пробігом або за часом — залежно від того, який критерій досягнуто раніше. Для міжнародних рейсів це критично, бо при нерівномірній інтенсивності роботи (піки сезонності, простої на кордонах, різні маршрути) тільки один критерій часто дає викривлену картину технічного навантаження.

Структура і логіка регламентних робіт технічного обслуговування автобусів [6]:

- 1) нормативний підхід передбачає виконання типових груп робіт, які повторюються за циклами обслуговування:

- щоденне/рейсове обслуговування (передрейсовий і післярейсовий контроль): огляд шин і тиску, світлотехніки, рівнів рідин, ознак витоків, роботи гальм і пневмосистеми, справності дверей, систем безпеки та комфорту.

- періодичне ТО (умовно «мале/середнє/велике» або ТО-1/ТО-2 залежно від прийнятої на підприємстві класифікації): заміна оливи та фільтрів (двигун/паливо/повітря/салон), контроль ременів і приводів, діагностика електронних систем, перевірка/обслуговування гальмівних механізмів, вузлів підвіски й рульового керування, перевірка герметичності пневмо- та гідросистем.

– сезонне обслуговування: підготовка до холодного/спекотного періоду (акумулятори, підігрівачі, антифриз, кондиціонування, стан шин, реагенти та корозійний захист).

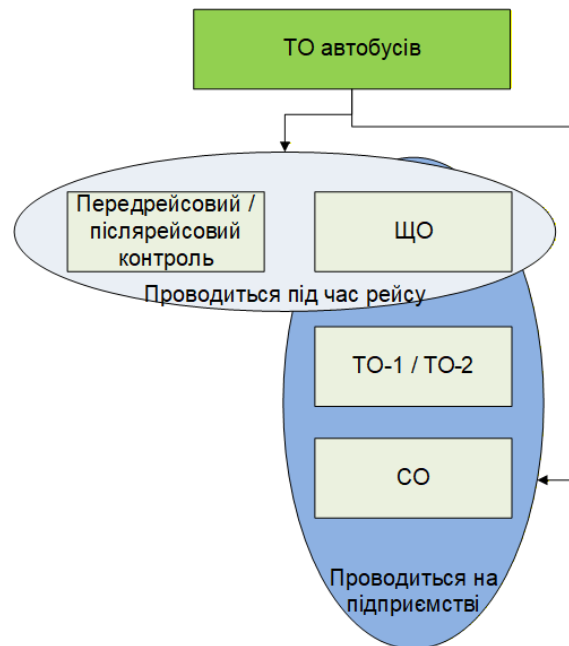


Рисунок 1.3 – Структура регламентних робіт технічного обслуговування автобусів

Логіка цих регламентів проста: забезпечити мінімально необхідний рівень надійності та безпеки через задані інтервали, незалежно від конкретного маршруту. Саме це і створює проблему в міжнародних перевезеннях: «однаковий інтервал» не означає «однаковий знос». Нижче в таблиці 1.1 наведено пропозиції стосовно періодичності ТО певних груп елементів.

Таблиця 1.1 – Раціональна періодичність ТО певних груп елементів автобуса

Група елементів/робіт ТО	Доцільна прив'язка	Пояснення (чому саме так)
Моторна олива та масляний фільтр	Пробіг + час («що раніше»), бажано з урахуванням мотогодин	Олива деградує і від пробігу, і від календарного старіння; при простоях/холостому ході реальне навантаження може зростати без пробігу

Група елементів/робіт ТО	Доцільна прив'язка	Пояснення (чому саме так)
Паливні фільтри	Пробіг + стан	Засмічення залежить від пробігу та якості палива; контроль за перепадом тиску/симптомами (втрата потужності) підвищує точність заміни.
Повітряний фільтр двигуна	Стан (засмічення) + орієнтир пробіг	Під час роботи в умовах запиленості ресурс різко падає; краще оцінювати за фактичним засміченням/падінням пропускної здатності.
Салонні фільтри HVAC	Час або стан	Впливають умови (пил, сезон алергенів) та інтенсивність HVAC; заміна часто ефективніша за календарем/скаргами на вентиляцію.
Охолоджуюча рідина (антифриз), патрубки	Час + стан	Рідина старіє хімічно; патрубки/хомути краще контролювати оглядом (підтікання, тріщини, здуття).
Гальмівні колодки/диски	Стан (товщина, знос)	Знос дуже залежить від профілю маршруту (гори, трафік); контроль товщини та температурних ознак важливіший за пробіг
Пневмосистема (осушувач, злив конденсату, герметичність)	Час + стан	Волога/конденсат накопичуються незалежно від пробігу; ризики зростають у холоді та при простоях – потрібен регулярний контроль.
Шини (тиск, знос, пошкодження), балансування	Стан + частково пробіг	Критично для безпеки: тиск/порізи/нерівномірний знос контролюють перед рейсом; пробіг дає лише орієнтир ресурсу.
Підвіска, рульове керування (люфти, шарніри, амортизатори)	Стан (огляд/вимірювання)	Залежить від доріг і перевантажень; люфти та підтікання визначають потребу ремонту краще, ніж фіксований інтервал.
Акумулятори, генератор, стартер	Стан + час	Старіння АКБ календарне; міжнародні простої/холодні пуски вимагають контролю напруги, струму, тесту пускової здатності.
Свічки розжарювання / система запуску дизеля (за наявності)	Стан + час	Погіршення проявляється в холодний сезон; діагностування (помилки, час запуску) точніше, ніж пробіг.
Трансмісійна олива (КПП/редуктор)	Пробіг + час	Деградація пов'язана з пробігом і режимами; виробник часто задає чіткий регламент у км/роках.

Група елементів/робіт ТО	Доцільна прив'язка	Пояснення (чому саме так)
Ремені/ролики/натягувачі	Час + пробіг	Старіння матеріалів і циклічні навантаження; регламенти зазвичай комбіновані.
Система SCR/AdBlue (якість, фільтрація, кристалізація)	Стан (помилки/параметри) + час	Проблеми сильно залежать від якості реагенту та температур; діагностика ECU дає ранні ознаки несправностей.
Електронні системи (EBS/ABS/ESP, помилки ECU, датчики)	Стан (діагностика)	Найкраще — періодичне зчитування помилок і контроль параметрів, особливо перед тривалим рейсом.
Передрейсовий/післярейсовий огляд (чек-лист)	Час/подія (перед/після рейсу)	Це не “км”, а обов’язкова процедура для зниження ризику відмов у дорозі та підвищення безпеки.

Для автобусів, що перебувають на гарантії або обслуговуються за сервісними контрактами, вирішальним фактором стають вимоги виробника, які формують рамки стратегії ТО:

- обов’язкове дотримання інтервалів і переліку операцій (відхилення може бути підставою для відмови у гарантійних ремонтах);
- використання рекомендованих матеріалів і допусків (оливи, фільтри, технічні рідини, витратні матеріали);
- підтвердження обслуговування документально (сервісна історія, акти, позначки в цифрових системах);
- виконання робіт у авторизованій мережі або за затвердженими процедурами (особливо щодо складних агрегатів і електронних систем).

У міжнародних рейсах гарантійна політика має подвійний ефект. З одного боку, вона дисциплінує і стандартизує ТО. З іншого — зменшує гнучкість у виборі інтервалів та процедур, навіть якщо експлуатаційні умови об’єктивно вимагають частіших перевірок окремих систем (наприклад, шин, гальм, охолодження, пневмосистеми, систем нейтралізації).

Найважливіші обмеження регламентно-інтервального ТО для автобусів далекого прямування в міжнародному сполученні такі:

- неоднаковий знос при однаковому пробігу. Різні маршрути (гори/рівнина, автомагістралі/місто, затори/вільний рух) дають різну інтенсивність навантажень на гальма, підвіску, трансмісію та охолодження;
- вплив тривалих простоїв і роботи на холостому ходу. Значна частка часу може “не конвертуватися” у кілометри, але реально зношує двигун (у годинах), навантажує генератор/АКБ, системи HVAC та пневмосистему;
- дефіцит сервісних «вікон». Регламентні переліки робіт часто потребують часу, а міжрейсові простой можуть бути короткими або нерегулярними; це підвищує ризик відкладення робіт і накопичення дефектів;
- висока ціна відмови в дорозі. Нормативний підхід орієнтований на «середні» умови, тоді як міжнародний рейс потребує підвищеної надійності саме критичних систем (гальма, шини, кермо, охолодження), бо наслідки відмови значно дорожчі.

Обмежений доступ до базового (рідного) ремонтного підприємства та запасних частин. Навіть незначна несправність може спричинити значний простій через логістику, мову/процедури, відмінності в сервісній інфраструктурі.

Проблема «сліпих» інтервалів полягає в тому, що фіксований регламент ТО (наприклад, «кожні N тис. км») не бачить реальних умов експлуатації і припускає, що знос пропорційний пробігу. У міжнародних перевезеннях це часто не відповідає дійсності: однаковий пробіг може бути пройдений у принципово різних режимах, а отже — з різною інтенсивністю зношування агрегатів.

Наприклад, 10 000 км, набрані переважно на автомагістралях зі сталими режимами, зазвичай дають менше навантаження на гальма, підвіску та трансмісію, ніж ті самі 10 000 км у змішаному циклі з гірськими ділянками, заторами, «старт–стоп» та тривалим холостим ходом на кордоні. Додатково впливають клімат (спека/мороз), стан доріг, завантаженість і якість палива. У результаті «сліпий» інтервал може призводити до двох крайнощів: передчасного ТО (перевитрати ресурсів там, де умови легші) або запізненого

ТО (накопичення дефектів і підвищений ризик відмови там, де умови важчі). Це обґрунтовує необхідність коригування інтервалів за умовами та використання елементів стан-орієнтованого контролю.

Нормативні інтервали ТО за пробігом/часом і регламентні роботи є необхідною базою для забезпечення безпеки та керованості обслуговування, особливо в гарантійний період. Проте в умовах міжнародних перевезень їх недостатньо для досягнення оптимуму за критеріями «надійність – вартість – простота». Це обґрунтовує перехід до комбінованого підходу, де регламент виробника доповнюється коригуванням інтервалів за умовами експлуатації та елементами стан-орієнтованого контролю перед тривалими рейсами.

1.3 Класифікація стратегій ТО

Стратегія технічного обслуговування – це сукупність принципів і правил, за якими визначаються періодичність, обсяг та умови виконання профілактичних і відновлювальних робіт з метою забезпечення необхідного рівня надійності, безпеки та економічної ефективності експлуатації автобуса. У практиці автомобільного транспорту застосовують кілька базових стратегій ТО, які можуть реалізовуватися як окремо, так і в комбінованому вигляді [1], [7], [8], [9].

У таблиці 1.2 наведено результати аналізу стратегій технічного обслуговування

Таблиця 1.2 – Порівняння стратегій технічного обслуговування автобусів

Підпункт / стратегія ТО	Сутність (принцип)	Переваги	Доцільність для міжнародних рейсів далекого прямування	Недоліки / ризики
Коригувальна (реактивна) – «ремонт після відмови» (Run-to-Failure) [10]	Втручання виконується після фактичної відмови або критичного погіршення роботи вузла.	Мінімальні витрати на профілактику; простота організації.	Обмежено допустима лише для другорядних елементів (небезпечові та некритичні для виконання рейсу).	Непередбачувані простої; високі втрати в рейсі; ризики вторинних пошкоджень; неприйнятно для критичних систем безпеки.
Регламентна (планово-попереджувальна) – «ТО за інтервалом» [11], [12]	ТО виконується за фіксованою періодичністю: км/час, або “що настане раніше”; перелік робіт заданий регламентом.	Прогнозованість; системність; відповідність вимогам виробника/гарантії; просте планування ресурсів.	Базова й обов’язкова, особливо в гарантійний період, але потребує адаптації (коригування за умовами + посилені огляди).	“Сліпі” інтервали: однаковий пробіг $\neq$ однаковий знос; можливі зайві роботи або запізнити втручання при важких умовах; слабо враховує простої/мотогодини.
Стратегія за технічним станом (CBM) [12], [13]	Роботи виконують за результатами контролю/діагностики: вимірювання, огляди, бортова діагностика, датчики/телематика.	Краще враховує реальні умови; зменшує “зайве” ТО; підвищує надійність критичних вузлів; раннє виявлення дефектів.	Дуже доцільна для гальм, шин, підвіски, пневмосистеми, АКБ, вузлів з варіативним зносом; особливо перед тривалим рейсом.	Потребує діагностичної бази, навченого персоналу і дисципліни контролю; ризик помилок при нерегулярних вимірюваннях.
Прогнозна (предиктивна) стратегія ТО (Predictive) [9], [10]	Планування ТО на основі прогнозу ресурсу/ймовірності відмов (тренди параметрів, історія відмов, телематика).	Мінімізує позапланові відмови; оптимізує сервісні “вікна”, запаси та завантаження СТО; підвищує керованість ризиками.	Оптимальна для великих парків або перевізників з телематикою; дає найбільший ефект при інтенсивних міжнародних пробігах.	Потрібні якісні дані, ПЗ та аналітика; складніша й дорожча в організації; вимагає стабільного обліку.
Ризик-орієнтована стратегія ТО (RBM) [14], [15]	Пріоритет робіт визначають ймовірність відмови $\times$ наслідки; фокус на вузлах, критичних для безпеки та економії рейсу.	Раціональний розподіл ресурсів; підсилення безпеки; зменшення “дорогих” відмов у дорозі; прозора логіка пріоритетів.	Надзвичайно доцільна: дозволяє “посилити” ТО гальм, шин, кермового, охолодження, електроніки, коли ціна відмови за кордоном максимальна.	Потрібна оцінка критичності, ризик-матриця, стандарти контролю; ризик недооцінки/переоцінки при слабкій статистиці.

Підпункт / стратегія ТО	Сутність (принцип)	Переваги	Доцільність для міжнародних рейсів далекого прямування	Недоліки / ризики
Комбінована (гібридна) стратегія ТО [16], [17], [18]	Поєднання регламентного ТО зі CBM/RBM і (за можливості) Predictive; коригування інтервалів під умови маршруту.	Баланс безпека–надійність–витрати; зниження позапланових відмов; підвищення готовності парку.	Найбільш доцільна для міжнародних рейсів: регламент як база + контроль стану критичних систем + ризик-пріоритети + планування під “вікна” між рейсами.	Складніша організація; потрібні чек-листи, дані, відповідальність; гарантійні обмеження виробника.

У сучасних умовах експлуатації автобусів далекого прямування найбільш раціональною є комбінована стратегія ТО, що зберігає регламент виробника як основу (особливо в гарантійний період), але доповнює його стан-орієнтованим та ризик-орієнтованим контролем для критичних систем, що дозволяє зменшити частоту позапланових відмов і простоїв у міжнародних рейсах.

1.4. Критерії оптимальності режимів ТО для міжнародних рейсів

Оптимальність режимів технічного обслуговування автобусів, що виконують міжнародні рейси великої дальності, доцільно оцінювати не за одним показником, а за системою взаємопов'язаних критеріїв [19]. Це пов'язано з тим, що рішення про інтервали ТО та склад робіт одночасно впливає на безпеку перевезень, надійність і готовність парку, витрати перевізника та дотримання регламентів/вимог виробника. Для обґрунтування вибору оптимальних режимів ТО у роботі пропонується застосовувати групи критеріїв, наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Критерії режимів технічного обслуговування автобусів

Група критеріїв	KPI (показник)	Метод визначення	Необхідні дані
Безпека	Частота критичних відмов у рейсі	Кількість випадків відмов критичних систем на 10 000 км або на 1 рейс	Журнал відмов; класифікація “критична/некритична”; пробіги/кількість рейсів
	Частка дефектів, виявлених до виїзду	(Дефекти, виявлені під час передрейсового контролю) / (усі дефекти) $\times 100\%$	Передрейсові чек-листи; записи ремонтів/заявок
Надійність	Кількість позапланових ремонтів	Випадки позапланових ремонтів на 10 000 км	Облік ремонтів; пробіги за період
	Середній пробіг між незапланованими втручаннями	Загальний пробіг / кількість незапланованих втручань за період	Пробіг; журнал відмов/ремонтів
Готовність парку	Коефіцієнт технічної готовності	Частка часу, коли автобус технічно справний і доступний до роботи (можна: 1 – частка простою через технічні причини)	Облік простоїв; календар експлуатації; причини простоїв
	Простій через технічні причини	Години/дні простою за період (або на 1 автобус)	Облік простоїв з причинами; дати ТО/ремонтів
Економіка	Витрати на ТО і ремонт на 1 км	(Усі витрати на ТО + ремонт) / пробіг	Фінансові дані по роботах/запчастинах; пробіг
	Частка незапланованих витрат	(Витрати на позапланові ремонти) / (усі технічні витрати) $\times 100\%$	Статті витрат; розподіл “планові/позапланові”
	“Вартість відмови в рейсі” (оцінка)	Середня сума витрат на один випадок відмови: ремонт/евакуація/логістика + втрати від простою	Кейси відмов у рейсі; витрати; час простою; недоотриманий дохід
Організаційна придатність	Частка ТО, виконаного в планове “вікно”	(ТО, виконані без порушення графіка рейсів) / (усі ТО) $\times 100\%$	Графік рейсів; дати/тривалість ТО; факт перенесень
	Частота прострочених регламентних операцій	Кількість випадків перевищення інтервалів (км/час) за період	Нормативні інтервали; фактичні дати/пробіги виконання
Відповідність виробнику/гарантії	Дотримання регламентних інтервалів	Відсоток операцій, виконаних у межах регламенту (км/час)	Регламент виробника; сервісна історія; пробіги/дати
Якість ТО	Повторні звернення після ТО	Кількість повторних звернень/дефектів протягом короткого часу після ТО	Заявки/наряди; причина звернення; дата останнього ТО

Група критеріїв	KPI (показник)	Метод визначення	Необхідні дані
Комфорт і сервіс	Відмови систем комфорту (HVAC, двері тощо)	Кількість відмов на 10 000 км або на сезон	Журнал відмов; пробіги; сезонність

Оптимальність режимів технічного обслуговування автобусів на міжнародних рейсах визначається комплексно: пріоритетом є безпека (мінімізація ризику критичних відмов), далі – надійність і технічна готовність парку (зменшення позапланових ремонтів і простоїв), економічна ефективність (мінімум сумарних витрат ТО/ремонтів/простоїв і наслідків відмов у рейсі), організаційна здійсненність у межах сервісних «вікон» між рейсами, а також дотримання регламентів виробника та гарантійних вимог. Для практичної оцінки доцільно використовувати систему показників (ключових індикаторів), таких як витрати на 1 км, простій, частота відмов, позапланові ремонти, дотримання інтервалів, частка ТО у планові вікна тощо, що дозволяє порівнювати альтернативні сценарії режимів ТО та обґрунтувати вибір найкращого.

Висновки до розділу

Встановлено, що автобуси далекого прямування на міжнародних маршрутах працюють у режимі підвищених навантажень і ризиків: тривалі рейси, високі добові пробіги, повторюваний цикл «рейс–відстій–рейс», сезонні та кліматичні коливання, нерівномірні дорожні умови, а також затримки на кордонах і тривалі простої/очікування.

Показано, що для міжнародної експлуатації критично важливі організаційні «вікна» між рейсами та підвищена «ціна» відмов у дорозі; тому оптимізація режимів ТО має враховувати не лише пробіг, а й умови маршруту, частку простоїв та якість палива/матеріалів.

Доведено обмеження нормативно-інтервального підходу ТО в міжнародних перевезеннях: однаковий пробіг не гарантує однаковий знос

(ефект «сліпих» інтервалів), значна частка ресурсу може «накопичуватись» у мотогодинах під час простоїв, а дефіцит часу між рейсами підвищує ризик відкладення регламентних робіт і накопичення дефектів.

Узагальнено, що регламентні роботи та інтервали (за пробігом/часом) залишаються необхідною базою керованості й безпеки (особливо в гарантійний період), але недостатні для досягнення оптимуму за критеріями «надійність–вартість–простої» у міжнародних рейсах.

Проведена класифікація стратегій ТО показала, що реактивний підхід «ремонт після відмови» є прийнятним лише для другорядних елементів, тоді як для міжнародних рейсів найбільш раціональною є комбінована стратегія: регламент виробника як база + коригування інтервалів під умови маршруту + елементи стан- та ризик-орієнтованого контролю.

Сформовано систему критеріїв оптимальності режимів ТО і запропоновано КРІ для порівняння альтернативних сценаріїв (безпека, надійність, готовність, економіка, організаційна придатність, відповідність вимогам виробника), що створює методичну основу для подальших розрахунків і вибору оптимальних інтервалів та складу робіт у наступних розділах.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ФОРМУВАННЯ МОДЕЛІ ПЛАНУВАННЯ ТО

2.1 Опис об'єкта дослідження

Об'єктом дослідження у даній кваліфікаційній роботі є автобус далекого прямування NEOPLAN N 117-2, який експлуатує ФОП Мельник О.М. у сегменті міжнародних пасажирських перевезень великої дальності. Обґрунтування режимів технічного обслуговування (ТО) для зазначеного транспортного засобу потребує формалізації його конструктивних особливостей, експлуатаційного призначення та складу систем, що визначають рівень надійності, безпеки і витрат на підтримання працездатності під час тривалих рейсів.

Автобус NEOPLAN N 117-2 належить до класу туристичних/міжміських автобусів, конструктивно пристосованих до тривалої експлуатації на міжміських та міжнародних маршрутах. Для даного класу характерними є: підвищені вимоги до стабільності руху та ефективності гальмування, наявність розвинених систем пневмо- та електрообладнання, значні теплові навантаження на силовий агрегат у тривалому режимі, а також підвищена роль систем комфорту (опалення, вентиляції та кондиціювання), що прямо впливає на енергетичний баланс і технічний стан допоміжних систем. Отже, у межах роботи автобус розглядається як складний технічний об'єкт із взаємопов'язаними підсистемами, від надійності яких залежить безперервність виконання рейсів і рівень безпеки перевезень.

Для цілей оптимізації режимів ТО автобус NEOPLAN N 117-2 доцільно описувати за групами систем, які визначають технічний ризик та структуру обслуговування (табл. 2.1):

- силовий агрегат і системи забезпечення роботи двигуна (паливна система, система змащення, впуск/випуск, система охолодження), які в умовах міжнародних рейсів працюють тривалий час у сталих режимах і водночас є чутливими до якості палива та температурних умов;

- трансмісія (залежно від комплектації) як система, ресурс якої формується пробігом, навантаженням і режимами руху на складних ділянках маршруту;
- гальмівна система та пневмосистема, що належать до критичних з позиції безпеки й потребують регламентних робіт у поєднанні з обов’язковим стан-орієнтованим контролем (знос елементів, герметичність, працездатність приводів);
- ходова частина, підвіска та рульове керування, технічний стан яких визначає керованість, плавність ходу та безпеку на швидкісних ділянках, а також істотно залежить від якості дорожнього покриття і режимів навантаження;
- колеса і шини, що є вузлом підвищеної ризиковості для тривалих рейсів; відхилення тиску, нерівномірний знос або пошкодження мають прямий вплив на безпеку, витрати і простої;
- електрообладнання та електронні системи керування, включно з бортовою діагностикою, які забезпечують контроль працездатності й формують інформаційну основу для стан-орієнтованих і ризик-орієнтованих рішень у ТО;
- системи комфорту (HVAC) та допоміжні споживачі енергії, що в міжнародних рейсах працюють тривалий час і можуть бути джерелом додаткових навантажень на двигун, генератор та акумуляторні батареї.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики автобуса NEOPLAN N 117/2 Spaceliner

Показник	Одиниця	Паспортні дані (за відкритими джерелами)
Марка, модель	—	NEOPLAN Spaceliner N 117/2
Клас / призначення	—	Туристичний автобус далекого прямування
Довжина	мм	12 000
Ширина	мм	2 500
Висота	мм	3 600

Показник	Одиниця	Паспортні дані (за відкритими джерелами)
Колісна формула / кількість осей	—	4×2 / 2 осі
Повна маса	кг	18 000
Споряджена маса, кг		15 600
Допустиме навантаження на передню вісь	кг	7 000
Допустиме навантаження на задню вісь	кг	11 500
Кількість місць для пасажирів	місць	53+2+1
Об'єм багажного відсіку	м³	13
Паливний бак	л	600
Розмір шин	—	315/80 R22,5 безкамерні
Мінімальний радіус/розвороту	м	10,75
Гальмівна система (опис)	—	Двоконтурна; передня вісь – дискові пневмогальма, задня – барабанні; ABS, ретардер Voith
Електрообладнання	—	24 V; генератор 2×140 A; АКБ 2×12 V 200 Ah
Двигун	—	MAN D2066 LUH
Тип трансмісії	—	Автоматична
Періодичність ТО-1	км	15000
Періодичність ТО-1	км	30000

Враховуючи специфіку міжнародних перевезень, для автобуса NEOPLAN N 117-2 принципово важливим є поєднання двох груп параметрів: конструктивно-технічних (склад систем, регламентні вимоги виробника, ресурси витратних елементів) та експлуатаційних (інтенсивність використання, добові/тижневі пробіги, частка простоїв і холостого ходу, сезонні навантаження, умови маршрутів). Саме взаємодія цих параметрів визначає, наскільки “стандартний” регламент ТО є достатнім, та в яких місцях потрібне коригування інтервалів або введення додаткових контрольних процедур перед виконанням тривалих рейсів.

У межах даної роботи автобус NEOPLAN N 117-2 розглядається як представник рухомого складу далекого прямування, для якого оптимізація

режимів ТО має здійснюватися на основі: регламентних вимог виробника, фактичних умов експлуатації у ФОП Мельник О.М., пріоритизації критичних систем безпеки та застосування показників технічної готовності, надійності й витрат.

2.2 Аналіз маршрутів міжнародних перевезень великої дальності

У межах роботи для аналізу умов експлуатації автобуса NEOPLAN N 117-2 (ФОП Мельник О.М.) розглянуто два типові міжнародні маршрути різної дальності: Рівне—Варшава (середня дальність, регулярні перетини кордону) та Рівне—Мілан (велика дальність, транзит через кілька країн ЄС). Вибір саме цих напрямків дозволяє порівняти режими навантаження та фактори ризику, що визначають доцільність коригування інтервалів ТО, структуру передрейсових/післярейсових оглядів та обсяг контрольних операцій між рейсами.

Для цілей оптимізації режимів ТО маршрут доцільно характеризувати показниками: протяжність (км), тривалість у дорозі (год), середня експлуатаційна швидкість, а також структурою руху (магістральні ділянки, міські заїзди, гірські відрізки, затори), наявністю пунктів пропуску через кордон і пов'язаних із ними простоїв/очікування. Для міжнародних перевезень окремо враховується, що фактичний час рейсу формується не лише “чистим” часом руху, а й обов'язковими зупинками, технологічними стоянками та варіативними затримками на кордоні.

Характеристика маршруту Рівне—Варшава.

Маршрут Рівне—Варшава є типовим для міжнародних перевезень середньої дальності. Дорожня відстань між Рівним і Варшавою становить 587 км, а орієнтовний час поїздки в прямому напрямку 14 год 10 хв., в зворотньому напрямку – 11 год. Для автобусних перевезень фактична тривалість, як правило, дещо більша через посадку/висадку пасажирів, зупинки та проходження прикордонного контролю.

Експлуатаційна специфіка маршруту Рівне—Варшава:

- середня експлуатаційна швидкість руху – 41,43 км/год
- домінування магістрального руху після перетину кордону, але наявність “вузьких місць” у прикордонній зоні (черги, очікування);
- підвищена роль режимів “старт–стоп” на під’їздах до пунктів пропуску та у міських заїздах;
- значущий вплив простоїв на роботу двигуна та допоміжних систем (опалення/кондиціювання, електроживлення), що не відображається пробігом, але впливає на реальне напруження агрегатів.

Характеристика маршруту Рівне—Мілан

Маршрут Рівне—Мілан належить до перевезень великої дальності з істотно більшим пробігом і тривалістю, а також з транзитом через кілька держав ЄС. Протяжність маршруту між Рівним і Міланом становить близько 1870 км, а орієнтовний час поїздки – близько 26 год (без урахування прикордонних затримок і тривалих зупинок).

Експлуатаційна специфіка маршруту Рівне—Мілан:

- суттєво зростає частка тривалого руху на швидкісних дорогах, що підвищує вимоги до шин, ходової частини, стабільності температурних режимів двигуна та системи охолодження;
- зростає роль режимів підвищеного навантаження (ділянки з підйомами/спусками, інтенсивний трафік у транспортних вузлах), що прямо впливає на гальмівну систему та трансмісію;
- збільшується кількість і тривалість технологічних зупинок, а також критичність “передрейсової якості”: будь-який невиявлений дефект має вищу ймовірність перерости у відмову на віддаленій ділянці маршруту з дорогими наслідками (простій, сервіс за кордоном, порушення графіка).

Наведені в таблиці 2.2 значення можуть використовуватися як вихідні орієнтири при формуванні режимів ТО та плануванні сервісних «вікон».

Таблиця 2.2 – Порівняльна таблиця параметрів маршрутів

Показник	Рівне—Варшава	Рівне—Мілан
Дорожня відстань, км	587	~1870
Орієнтовний час руху (без кордону/зупинок), год	~10,0	~20,0
Типова тривалість автобусного рейсу (з урахуванням зупинок/кордону), год	~13,0	~26,0
Ключові фактори ризику	кордон, простой/очікування, міські заїзди	велика дальність, транзит, тривале навантаження, транспортні вузли, ризик перегрівів/зносу шин і гальм
Пріоритет для ТО перед рейсом	гальма/шини/пневм осистема + швидкий огляд витоків/рідин	розширений контроль: гальма/шини/пневмо + охолодження/масла/паливна система + діагностика помилок ECU

Таблиця 2.3 відображає матрицю відповідності між типовими ділянками міжнародного маршруту та ключовими ризиками експлуатації (спека/перегрів, мороз/холодний пуск, гірський профіль, затори “старт–стоп”, якість доріг). Матриця показує, що найбільші ризики концентруються у зонах КПП та очікування (тривалі простої, робота на холостому ході, навантаження на охолодження та електросистему), у міських транспортних вузлах (часті гальмування, підвищений тепловий режим на малих швидкостях) та на тривалих магістральних відрізках (високе навантаження на шини, колісні вузли і систему охолодження). Для маршруту Рівне—Мілан додатково виділено гірські/альпійські ділянки, де суттєво зростає ризик перегріву гальм та навантаження на трансмісію. Узагальнено, таблиця обґрунтовує необхідність диференційованого контролю технічного стану (передрейсового, післярейсового та проміжного) з пріоритизацією систем, критичних для безпеки та безперервності рейсу: гальмівної системи, шин, пневмосистеми, охолодження, електрообладнання та діагностики ECU.

Таблиця 2.3 – Матриця ризиків за типовими ділянками міжнародних маршрутів

Маршрут Рівне–Варшава є коротшим міжнародним рейсом із домінуючим впливом прикордонного фактору та простоїв, що посилює вимоги до оперативного контролю стану і процедур міжрейсового обслуговування. Маршрут Рівне–Мілан формує значно вищі навантаження за рахунок великої дальності та тривалості, що потребує посиленого передрейсового контролю критичних систем і більш обережного підходу до «сліпих» пробігових інтервалів. Отже, для обґрунтування оптимальних режимів ТО в наступних розділах доцільно розглядати ці маршрути як два різних експлуатаційних сценарії, що вимагають різної глибини контролю перед виїздом та різних підходів до коригування інтервалів ТО.

2.3 Формування вихідних даних для аналізу надійності та витрат

Формування вихідної бази є визначальним етапом для подальшого обґрунтування режимів технічного обслуговування автобуса NEOPLAN N 117-2 у міжнародних рейсах. Коректність розрахунків інтервалів і складу робіт безпосередньо залежить від повноти та зіставності первинних даних, які мають відображати умови експлуатації, технічний стан, факти відмов і ремонтів, простій, а також структуру витрат у розрізі рейсів і періодів. У сучасних підходах до оцінювання ефективності експлуатації транспортних систем обґрунтовується необхідність розгляду показників на всіх етапах «експлуатація—обслуговування—відновлення», з виділенням техніко-економічних наслідків прийнятих рішень [20].

Для завдань аналізу надійності та витрат доцільно дотримуватися таких принципів: трасовність (можливість пов'язати подію з конкретним рейсом/датою/пробігом); однозначна класифікація подій (відмова, дефект, планове обслуговування, позаплановий ремонт); єдність вимірників (кілометри, години простою, трудомісткість, вартість); повнота (включення не лише «прямих» витрат на роботи, а й втрат від простою); актуальність (фіксація даних у момент виконання рейсу/роботи). Методичні підходи до

оцінювання ефективності експлуатації та ремонту автотехніки підкреслюють, що результативність технічної служби повинна оцінюватися з урахуванням як технічних, так і економічних показників, що потребує структурованого обліку подій технічної експлуатації [21].

Оскільки міжнародні перевезення регламентуються вимогами щодо режимів праці та відпочинку водіїв, планування зупинок і, відповідно, «вікон» для оглядів/контролю має враховувати норми, встановлені правом Європейського Союзу [22]. Це важливо, бо саме зупинки (включно з вимушеними) формують умови для коротких контрольних операцій та впливають на частку роботи двигуна на холостому ходу, що не відображається пробігом, але змінює реальне навантаження агрегатів.

Для аналізу надійності в умовах міжнародних рейсів дані доцільно формувати у трьох взаємопов'язаних блоках:

1) Дані експлуатаційного навантаження (рейсова робота):

- дата рейсу, напрям (Рівне—Варшава / Рівне—Мілан), фактичний пробіг;
- тривалість рейсу, тривалість стоянок/очікувань (зокрема у зоні пункту пропуску);
- оцінка умов: температура/сезон, ділянки з інтенсивним трафіком, наявність гірських відрізків (для напрямку Рівне—Мілан).

2) Дані про події технічного стану:

- зауваження водія та результати передрейсового/післярейсового огляду;
- зафіксовані дефекти (без відмови) та їх усунення;
- відмови в рейсі / поза рейсом, їх прояв, наслідки, місце виникнення, спосіб відновлення.

3) Дані про виконані технічні впливи:

- планові операції технічного обслуговування (перелік робіт, трудомісткість, матеріали);
- позапланові ремонти (причина, перелік робіт, замінені елементи);
- діагностичні результати (за наявності бортової діагностики та протоколів зчитування параметрів електронних систем).

Як інтегральний показник працездатності парку автобусів у практиці застосовується коефіцієнт технічної готовності, що характеризує доступність рухомого складу до роботи з урахуванням простоїв через технічні причини [2].

Для економічної оцінки режимів обслуговування необхідно збирати дані, які забезпечують розрахунок сукупних витрат експлуатації, включно з витратами на технічне обслуговування та ремонт і втратами від простою. В українській практиці обґрунтування витрат у проєктах та програмах до експлуатаційних витрат прямо відносять технічне обслуговування і ремонт автомобілів, що підтверджує необхідність їх обліку як окремої категорії [23].

Доцільно фіксувати такі групи витрат:

- прямі витрати на обслуговування і ремонт: запасні частини, витратні матеріали, оплата робіт, діагностика, послуги сторонніх майстерень (у тому числі за кордоном);
- витрати, пов'язані з простоєм: тривалість простою, недоотриманий дохід (за наявності), витрати на підмінний транспорт, штрафи/компенсації (за фактом);
- логістичні витрати при відмовах у рейсі: евакуація, доставка деталей, додаткові витрати на розміщення/очікування (за наявності документального підтвердження).

Окремо варто підкреслити, що підхід «сукупної вартості володіння» (з урахуванням обслуговування) широко застосовується в сучасних моделях оцінювання витрат життєвого циклу транспортних засобів, де експлуатаційні та сервісні складові розглядаються як основа порівняння альтернатив [24].

Щоб забезпечити однорідність і придатність даних для розрахунків, у роботі доцільно застосувати стандартизовані журнали обліку у вигляді таблиць (див. таблиці 2.4, 2.5, 2.6).

Таблиця 2.4 – Журнал рейсів (експлуатаційні дані)

Дата	Маршрут	Пробіг, км	Тривалість рейсу, год	Сумарні стоянки/ очікування, год	Сезон/ температурні умови	Примітки (трафік, кордон, гірські ділянки)
------	---------	------------	-----------------------	----------------------------------	---------------------------	--

Таблиця 2.5 – Журнал подій технічного стану (дефекти/відмови)

Дата/ час	Маршрут/ ділянка	Пробіг на момент події, км	Тип події (дефект/ відмова)	Система (гальма, шини тощо)	Опис прояву	Наслідки (зупинка/ обмеження руху)	Спосіб усунення
--------------	---------------------	----------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	----------------	---	--------------------

Таблиця 2.6 – Облік технічних впливів і витрат (планові/позапланові роботи)

Дата	Вид робіт (планові/ позапланові)	Перелік операцій	Трудовітність, люд.-год	Витратні матеріали/ частини	Вартість, грн	Простій, год	Примітки (місце виконання, у т.ч. за кордоном)
------	--	---------------------	----------------------------	-----------------------------------	------------------	-----------------	--

Узагальнення даних за таблицями 2.4–2.6 забезпечує основу для: оцінювання частоти відмов і дефектів у прив'язці до пробігу та умов маршруту; розрахунку простоїв і коефіцієнта технічної готовності; визначення витрат на технічне обслуговування та ремонт у перерахунку на кілометр пробігу; порівняння альтернативних режимів обслуговування для маршрутів різної дальності (Рівне–Варшава та Рівне–Мілан). Для практичної інтерпретації структури витрат корисними є сучасні аналітичні звіти щодо динаміки собівартості автобусних перевезень і питомих витрат на кілометр пробігу, які підкреслюють вагомість експлуатаційно-сервісних складових у загальній собівартості [25].

2.4 Первинний аналіз технічних ризиків за системами автобуса

Первинний аналіз технічних ризиків для автобуса NEOPLAN N 117-2 у міжнародних рейсах доцільно виконувати за системним підходом: ідентифікувати вузли, відмова яких створює критичні наслідки для безпеки руху та виконання рейсу; оцінити, які ризики домінують для різних ділянок маршруту (зони пунктів пропуску, тривалі магістральні відрізки, транспортні

вузли, гірські ділянки для напрямку Рівне–Мілан); визначити перелік пріоритетних контрольних операцій перед рейсом і між рейсами. Такий підхід узгоджується з сучасними дослідженнями, де технічний стан, рівень технічного обслуговування та оснащення автобусів розглядаються як суттєві фактори експлуатаційної безпеки [26].

З позицій державного регулювання безпеки технічний стан автобусів фокусується насамперед на працездатності гальмівної системи та рульового керування, стані шин і коліс, справності зовнішніх світлових приладів, а також на показниках роботи двигуна (димність/токсичність) [27]. Це фактично формує «мінімальний обов'язковий контур» критичних елементів, який повинен забезпечуватися на належному рівні незалежно від дальності рейсу. Для міжнародних перевезень, де наслідки відмови у дорозі є істотно дорожчими (простій, сервіс за кордоном, евакуація, зрив графіка), доцільно розширити перелік критичних вузлів з урахуванням специфіки маршруту та режимів навантаження.

За критерієм «ймовірність відмови $\times$ наслідки» в умовах міжнародних рейсів до пріоритетних систем належать: гальмівна та пневматична системи, шини і колісні вузли, рульове керування та підвіска, система охолодження двигуна, електрообладнання та електронні системи керування, а також протипожежні ризики (зокрема в зоні гальмівних механізмів і електрообладнання). Зокрема, за результатами тематичних досліджень теплових інцидентів у автобусному секторі суттєву частку становлять події, пов'язані з несправностями гальмівної системи, а серед причин пожеж значну роль відіграють електричні несправності [28]. Це є додатковим аргументом на користь посиленого контролю гальмівних механізмів і електрообладнання перед тривалими рейсами, а також після проходження «важких» ділянок (затяжні спуски, транспортні вузли з частими гальмуваннями).

У межах підпункту 2.2 була сформована матриця «ділянки маршруту $\leftrightarrow$ ризики», яка показує, що найбільші технічні ризики концентруються в таких зонах:

- пункт пропуску та очікування: тривалі простої й робота на холостому ході підвищують ризики перегріву, прискореного старіння робочих рідин, зниження заряду акумуляторів, а також накопичення вологи в пневматичній системі;
- тривалий магістральний рух: зростає навантаження на шини, колісні вузли, систему охолодження та агрегати трансмісії; невеликі відхилення (тиск у шинах, підтікання, нестабільний температурний режим) можуть трансформуватись у відмови на віддалених ділянках маршруту;
- транспортні вузли (в'їзд/виїзд із великих міст): часті режими «розгін—гальмування» збільшують навантаження на гальмівну систему, підвіску та рульове керування, а також підвищують теплове навантаження на двигун у режимі низьких швидкостей;
- гірські/альпійські ділянки (актуально для Рівне—Мілан): критично зростають ризики перегріву гальм, підвищується навантаження на трансмісію і систему охолодження, що потребує обов'язкового розширеного контролю перед входом у гірський коридор і після його проходження.

Для практичного застосування ризик-орієнтованого підходу доцільно визначити «системи підвищеного контролю» та ознаки, які можуть бути оперативно перевірені у вікні перед рейсом або під час стоянок (див. табл. 2.7).

Таблиця 2.7 – Первинна оцінка критичності систем автобуса в міжнародних рейсах

Система/вузол	Типові наслідки відмови	Де ризик зростає найбільше на маршруті	Мінімальні контрольні ознаки (перед/ після ділянки)
Гальмівна система (механізми, приводи)	Різне зниження безпеки, зупинка рейсу, теплові інциденти	Транспортні вузли; гірські ділянки; довгі спуски; інтенсивний трафік	Знос елементів, нерівномірність гальмування, сторонні шуми/запах перегріву, контроль температурних ознак після важких ділянок

Система/вузол	Типові наслідки відмови	Де ризик зростає найбільше на маршруті	Мінімальні контрольні ознаки (перед/ після ділянки)
Пневматична система (компресор, осушення повітря, герметичність)	Втрата працездатності гальм/дверей, падіння тиску, відмови в холоді	Зона кордону (простої); мороз; часті зупинки	Швидкість набору тиску, наявність витоків, контроль конденсату, стабільність тиску в системі
Шини та колеса	Ризик аварійних ситуацій, зупинка, збільшення витрат	Тривалі магістральні ділянки; висока швидкість; погані дороги	Тиск, нерівномірний знос, пошкодження, нагрів шини/диска після тривалого руху
Рульове керування та підвіска	Втрата керованості, погіршення стійкості, підвищений знос шин	Погані дороги; міські зони; високі швидкості	Люфти, сторонні стуки, нерівномірний знос шин, візуальний контроль елементів кріплення
Система охолодження двигуна	Перегрів, аварійний режим, вимушена зупинка	Затори; літо; тривалі підйоми; гірські ділянки	Рівень охолоджувальної рідини, герметичність, стабільність температури в режимах трафіку/під навантаженням
Паливна система та фільтри	Втрата потужності, нестабільна робота, відмова в рейсі	Різна якість палива; тривалі рейси	Ознаки забруднення фільтрів, нестабільність роботи, контроль витрат палива/потужності за спостереженнями
Електрообладнання, провoda, джерела живлення	Збої систем керування, ризик пожежі, неможливість продовження руху	Тривалі простої з увімкненими споживачами; волога/перепади температур	Стан клем, стабільність заряджання, аномальні запахи/нагрів, контроль індикацій несправностей
Зовнішні світлові прилади	Підвищення аварійності, заборона подальшого руху	Нічні ділянки; дощ/туман; інтенсивний трафік	Перевірка роботи всіх приладів перед рейсом

Система/вузол	Типові наслідки відмови	Де ризик зростає найбільше на маршруті	Мінімальні контрольні ознаки (перед/ після ділянки)
Система випуску і показники димності	Невідповідність вимогам, зростання витрат, можливі обмеження експлуатації	Тривалий рух; відхилення в роботі двигуна	Ознаки підвищеної димності, нестабільність роботи, контроль за результатами діагностики

Сформована таблиця є первинною (укрупненою) оцінкою та слугує підґрунтям для подальшого деталізованого аналізу в розділі 3, де оптимізація режимів технічного обслуговування буде здійснюватися через поєднання регламентних робіт і стан-орієнтованого контролю критичних систем.

Висновки до розділу

Виконано опис об'єкта дослідження — автобуса далекого прямування NEOPLAN N 117-2, який експлуатує ФОП Мельник О.М., та обґрунтовано доцільність розгляду автобуса як складної системи взаємопов'язаних підсистем (силовий агрегат, трансмісія, гальмівна та пневматична системи, ходова частина, колеса і шини, електрообладнання та системи комфорту).

Сформовано паспортну (довідкову) характеристику автобуса за відкритими джерелами і визначено базові технічні параметри, які надалі використовуються як вихідні умови для планування технічних впливів і аналізу витрат (зокрема масо-габаритні показники, місткість, паливний бак, шини, електрообладнання, двигун і тип трансмісії, орієнтовні інтервали технічного обслуговування).

Проведено аналіз двох міжнародних маршрутів різної дальності – Рівне–Варшава та Рівне–Мілан, і показано, що вони формують два різні експлуатаційні сценарії: для маршруту Рівне–Варшава домінує вплив прикордонного фактору та простоїв, тоді як для маршруту Рівне–Мілан

визначальними є велика дальність, тривалість рейсу, транзит і підвищені навантаження на критичні системи.

Розроблено матрицю ризиків за типовими ділянками міжнародного маршруту, яка підтверджує концентрацію підвищених ризиків у зонах пунктів пропуску та очікування, у транспортних вузлах і на тривалих магістральних відрізках, а для напрямку Рівне–Мілан, додатково, на гірських/альпійських ділянках (зростання теплового навантаження, ризику перегріву гальм та підвищення вимог до охолодження).

Сформовано підхід до збору вихідних даних для аналізу надійності та витрат, який забезпечує трасовність подій і зіставність результатів, а також запропоновано стандартизовані форми обліку: журнал рейсів, журнал технічних подій (дефекти/відмови) та облік технічних впливів і витрат. Це створює основу для подальших розрахунків питомих витрат, простоїв і показників технічної готовності.

Виконано первинний ризик-орієнтований аналіз за системами автобуса та визначено перелік критичних вузлів, що потребують посиленого контролю в міжнародних рейсах: гальмівна й пневматична системи, шини та колісні вузли, рульове керування і підвіска, система охолодження двигуна, електрообладнання та системи керування. Результати узагальнено у вигляді таблиці критичності з мінімальними контрольними ознаками перед/після найбільш навантажених ділянок.

3 РОЗРОБЛЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ ТА РЕЖИМІВ ТО АВТОБУСІВ ДАЛЕКОГО ПРЯМУВАННЯ

3.1 Вибір типу стратегії ТО

Вибір стратегії технічного обслуговування автобуса NEOPLAN N 117-2, що виконує міжнародні рейси великої дальності, має базуватися на поєднанні вимог безпеки, надійності та економічної доцільності. У розділі 2 показано, що для маршрутів Рівне–Варшава і Рівне–Мілан характерні суттєво різні експлуатаційні сценарії, де значну роль відіграють тривалі простої та очікування на пунктах пропуску, нерівномірні режими навантаження (магістральні відрізки, міські транспортні вузли), а для дальніх рейсів – додатково ділянки зі зростанням теплового навантаження та ризику перевантаження гальмівних механізмів і системи охолодження. За таких умов застосування лише фіксованих інтервалів технічного обслуговування за пробігом або календарним часом створює ризик «сліпих» інтервалів, коли однаковий пробіг відповідає різному фактичному зношуванню. Сучасні дослідження щодо експлуатації автобусних парків у Європі підкреслюють зростання ролі технічного обслуговування, орієнтованого на реальний стан і дані експлуатації, з метою підвищення ефективності та керованості витрат [29].

З огляду на зазначене, у роботі обґрунтовується комбінована стратегія технічного обслуговування, яка включає три взаємопов'язані рівні:

1. базовий регламент (обов'язкові роботи відповідно до документації виробника та нормативних вимог);
2. стан-орієнтовані роботи (виконання частини операцій за результатами діагностичного контролю та оглядів);
3. ризик-орієнтоване коригування інтервалів (адаптація періодичності контрольних та регламентних операцій до умов маршруту і наслідків потенційних відмов).

Базовий регламент як «мінімальний обов'язковий контур», формує обов'язковий перелік технічних впливів, які не можуть бути скасовані або довільно змінені, особливо якщо автобус перебуває у режимі регулярної комерційної експлуатації. Для перевізника це також пов'язано з вимогами до технічної справності та проходження процедур обов'язкового технічного контролю для автобусів, що експлуатуються у пасажирських перевезеннях [27]. Одночасно організація зупинок і «вікон» для оглядів/контролю має узгоджуватися з нормативними вимогами щодо режимів роботи та відпочинку водіїв у міжнародних перевезеннях, що опосередковано впливає на доступний час для виконання коротких контрольних операцій під час рейсу [22].

У межах комбінованої стратегії базовий регламент виконує дві функції: гарантує дотримання мінімально необхідного рівня безпеки і працездатності; задає опорні точки планування (періодичні обслуговування, сезонні роботи, регламентні заміни рідин/фільтрів тощо), від яких уже здійснюється адаптація інтервалів у межах дозволених виробником меж.

Стан-орієнтований компонент передбачає, що частина робіт призначається не за формальним строком, а за фактичними ознаками стану: результатами огляду, вимірюванням зношування (наприклад, гальмівних елементів), параметрами електронних систем та іншими діагностичними індикаторами. Доцільність такого підходу підтверджується дослідженнями, у яких показано можливість оптимізації інтервалів обслуговування (зокрема заміни оливи) на підставі реальних профілів деградації та експлуатаційних умов у автобусних парках, а не лише календарного часу [30]. Практично це означає, що для міжнародних рейсів перед виїздом та у межах «вікон» на стоянках доцільно виконувати короткі контрольні операції для критичних систем (шини, гальма, пневматична система, витоки рідин, індикатори несправностей), а розширені діагностичні процедури – під час відстою.

Ризик-орієнтований компонент застосовується для того, щоб інтервали контрольних та регламентних операцій коригувалися залежно від імовірності відмови та тяжкості наслідків. У сучасній літературі ризик-орієнтоване

управління технічним обслуговуванням визначається як підхід, за якого ресурси технічної служби концентруються на найбільш критичних об'єктах і видах відмов, що мають найвищі наслідки для безпеки, доступності та витрат [31]. Для міжнародних рейсів далекого прямування цей підхід є принципово важливим, оскільки «ціна» відмови за межами бази перевізника різко зростає (простій, евакуація, сервіс у сторонніх майстернях, зрив графіка і репутаційні втрати).

Ризик-орієнтоване коригування інтервалів у даній роботі пропонується реалізувати через:

- диференціацію режимів контролю для маршрутів різної дальності (Рівне–Варшава як сценарій з домінуванням простоїв/кордону; Рівне–Мілан як сценарій тривалого безперервного навантаження та підвищених вимог до теплових режимів);
- підсилення контролю критичних систем на ділянках підвищеного ризику (перед входом у транспортні вузли, перед/після довгих магістральних відрізків, перед/після гірських ділянок для дальнього маршруту);
- уточнення періодичності оглядів залежно від сезону (мороз/спека) та структури простоїв (збільшення частки контрольних операцій для електрообладнання, акумуляторів, систем охолодження та пневматичної системи).

Запропонована стратегія може бути представлена у вигляді структури «регламент → стан → ризик», де регламент задає обов'язковий мінімум, стан-орієнтований рівень адаптує обсяг робіт до фактичного зношування, а ризик-орієнтований рівень визначає, які системи й інтервали потребують пріоритетного підсилення саме для міжнародного рейсу.

Таблиця 3.1 – Складові комбінованої стратегії технічного обслуговування для міжнародних рейсів

Рівень стратегії	Мета	Типові роботи / рішення	Тригери призначення
Базовий регламент	Гарантувати мінімально необхідну безпеку і відповідність вимогам виробника та нормативам	Планові обслуговування; сезонні роботи; регламентні заміни рідин/фільтрів; обов'язкові перевірки безпеки	Пробіг і календарний час («що настане раніше»), вимоги виробника, вимоги обов'язкового технічного контролю [27]
Стан-орієнтовані роботи	Усунути «сліпі» інтервали, виконувати роботи за фактичним станом	Розширений огляд гальм/шин/пневматичної системи; діагностичний контроль за індикаторами несправностей; контроль витоків і теплових режимів	Результати огляду/вимірювань, протоколи діагностики, ознаки деградації робочих рідин [30]
Ризик-орієнтоване коригування інтервалів	Зменшити імовірність «дорогих» відмов у рейсі та зосередити ресурси на критичних системах	Підсилення контролю перед довгими ділянками, у сезон пікових ризиків; скорочення інтервалів контрольних операцій для критичних систем	Профіль маршруту (кордон/затори/гірські ділянки), сезонність, наслідки потенційної відмови [31]

Таким чином, комбінована стратегія, запропонована у роботі, забезпечує методично обґрунтований компроміс між регламентною дисципліною та адаптивністю до реальних умов експлуатації на маршрутах Рівне–Варшава і Рівне–Мілан.

3.2 Алгоритм формування режимів ТО

Алгоритм формування режимів технічного обслуговування автобуса NEOPLAN N 117-2 для міжнародних рейсів великої дальності розроблено з урахуванням комбінованої стратегії (базовий регламент + стан-орієнтовані роботи + ризик-орієнтоване коригування інтервалів). Алгоритм має забезпечити: керованість і прогнозованість планових робіт; зниження ймовірності відмов у рейсі за рахунок посиленого контролю критичних систем; мінімізацію сумарних витрат на обслуговування, ремонти та простої;

організаційну узгодженість із циклом «рейс–відстій–рейс» і доступними сервісними «вікнами».

Вхідні дані алгоритму:

- паспортні та експлуатаційні дані автобуса (пробіг, історія технічних впливів, наявність діагностичних засобів);
- опис маршрутів (Рівне–Варшава; Рівне–Мілан): протяжність, тривалість, типові ділянки підвищеного ризику, структура зупинок;
- базовий регламент технічного обслуговування (перелік обов’язкових робіт, граничні інтервали);
- результати оглядів/діагностики та статистика дефектів/відмов;
- обмеження сервісної бази (трудові ресурси, тривалість «вікон» для обслуговування, доступність матеріалів і запасних частин).

Вихідні результати:

- набір прийнятих інтервалів і правил виконання робіт (за пробігом, за часом, за станом);
- склад операцій для передрейсового, міжрейсового та післярейсового контролю;
- план-графік обслуговування з урахуванням рейсового циклу;
- правила коригування інтервалів для різних маршрутів і сезонів;
- перелік критичних вузлів із підвищеним пріоритетом контролю.

Послідовність етапів алгоритму

Етап 1. Визначення базового регламенту робіт

1. Фіксується перелік обов’язкових робіт базового регламенту (планові обслуговування, сезонні роботи, регламентні заміни рідин/фільтрів).
2. Визначаються граничні інтервали, які не допускається перевищувати (за пробігом і/або часом).
3. Уточнюються обов’язкові контрольні операції перед виїздом на рейс, які забезпечують дотримання вимог технічної справності.

Результат етапу: перелік робіт, що виконуються незалежно від маршруту, та «коридор» допустимих інтервалів.

Етап 2. Сегментація маршрутів за інтенсивністю навантаження та ризиками

Маршрути групуються за рівнем ризику та характером навантажень:

- сценарій А (Рівне—Варшава): середня дальність; суттєвий вплив прикордонного фактору; значна частка простоїв і режимів «старт–стоп»;
- сценарій Б (Рівне—Мілан): велика дальність; тривалий магістральний рух; підвищені теплові навантаження; імовірні гірські ділянки; вища «ціна» відмови.

Результат етапу: встановлені сценарії експлуатації та перелік ділянок підвищеного ризику для кожного сценарію.

Етап 3. Ідентифікація критичних систем та формування переліку контрольних показників

На основі ризик-матриці й експлуатаційного досвіду формується перелік критичних систем (гальмівна та пневматична системи, шини й колісні вузли, рульове керування й підвіска, охолодження двигуна, електрообладнання та системи керування). Для кожної системи визначаються:

- контрольні ознаки (знос, витoki, температура, тиск, наявність помилок систем керування тощо);
- допустимі межі або правила виявлення відхилень;
- рекомендована частота контролю (перед рейсом, на зупинках, після рейсу).

Результат етапу: карта «система → контрольні показники → частота перевірки».

Етап 4. Призначення робіт за трьома логіками: пробіг, час, стан

Для кожної групи робіт встановлюється переважна логіка призначення:

- за пробігом: операції, ресурс яких переважно визначається кілометрами (наприклад, частина регламентних заміन витратних матеріалів);
- за часом: операції, чутливі до календарного старіння (частина рідин, гумові елементи, акумулятори, сезонні процедури);

- за станом: операції, знос яких суттєво залежить від умов руху (гальма, шини, підвіска, пневматична система) та які мають перевірятися за фактичними показниками.

Результат етапу: сформований перелік робіт із визначеною логікою інтервалу.

Етап 5. Коригування інтервалів за умовами маршруту та сезонністю (ризик-орієнтований модуль)

Інтервали та частота контрольних операцій коригуються з урахуванням:

- дальності та тривалості рейсу (коротший/довший цикл);
- частки простоїв та режимів «старт–стоп» (підвищений контроль пневматичної системи, електроживлення, теплових режимів);
- гірських ділянок (підсилення контролю гальм, охолодження, трансмісії);
- сезонності (мороз — ризики пневматики, акумуляторів; спека — ризики охолодження та перегрівів).

Результат етапу: правила коригування періодичності оглядів і частини регламентних робіт для сценаріїв А і Б.

Етап 6. Формування «контурів» технічного обслуговування за рейсовим циклом

Для практичної реалізації алгоритму всі роботи структуруються за контуром виконання:

1. Передрейсовий контур (мінімально необхідний контроль безпеки та працездатності).
2. Міжрейсовий контур (короткі операції у сервісних «вікнах»: на стоянках, після кордону, у пунктах відстою).
3. Післярейсовий контур (виявлення дефектів, фіксація зауважень, планування робіт на відстій).
4. Періодичний контур (планові роботи регламенту, сезонне обслуговування, регламентні заміни).

Результат етапу: набір чек-листів і переліків робіт для кожного контуру.

Етап 7. Розроблення план-графіка ТО та процедур управління відхиленнями

1. Складається план-графік виконання регламентних робіт з урахуванням пробігу та календаря рейсів.
2. Визначаються правила дій при відхиленнях: що робити при виявленні дефекту перед рейсом; критерії допуску/недопуску до рейсу; порядок перенесення робіт; порядок документування.

Результат етапу: календарно-пробіговий графік і регламент реагування на відхилення.

Етап 8. Оцінювання ефективності та уточнення режимів (зворотний зв'язок)

Після впровадження обраного режиму за визначений період (наприклад, місяць/квартал) аналізуються показники:

- частота відмов і позапланових ремонтів;
- простій через технічні причини;
- витрати на обслуговування і ремонт у перерахунку на кілометр;
- дотримання інтервалів і якість виконання робіт.

За результатами аналізу інтервали та обсяг контрольних операцій уточнюються, але без порушення граничних вимог регламенту.

Результат етапу: скоригований (оптимізований) набір інтервалів і робіт.

Узагальнення алгоритму наведено у вигляді таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Алгоритм формування режимів ТО

Етап	Зміст етапу	Основний результат
1	Фіксація базового регламенту, граничних інтервалів	«Ядро» обов'язкових робіт і допустимі межі
2	Сегментація маршрутів за сценаріями навантаження	Сценарій А/Б, карта ділянок підвищеного ризику
3	Визначення критичних систем і контрольних ознак	Перелік систем і показників контролю
4	Розподіл робіт за логікою: пробіг/час/стан	Перелік робіт із типом інтервалу
5	Ризик-орієнтоване коригування інтервалів	Правила коригування для маршруту і сезону

Етап	Зміст етапу	Основний результат
6	Формування контурів: передрейсовий/міжрейсовий/післярейсовий/періодичний	Чек-листи і набори робіт за циклом
7	План-графік ТО та управління відхиленнями	Графік + критерії допуску/реагування
8	Аналіз результатів і уточнення режимів	Оптимізовані інтервали та склад робіт

Запропонований алгоритм забезпечує формалізоване, відтворюване формування режимів технічного обслуговування для міжнародних рейсів різної дальності. Він інтегрує регламентні вимоги, контроль фактичного стану та ризик-орієнтовану адаптацію інтервалів під конкретні умови маршрутів Рівне–Варшава і Рівне–Мілан.

3.3 Розрахунок оптимальних інтервалів ТО

У межах даного підпункту інтервали технічного обслуговування приймаються та обґрунтовуються на основі умов експлуатації, визначених у розділі 2: для автобуса NEOPLAN N 117-2 розглядаються два міжнародні маршрути різної дальності: Рівне–Варшава (орієнтовна протяжність ~462 км) та Рівне–Мілан (орієнтовна протяжність ~1672 км). Показано, що для маршруту Рівне–Варшава домінують прикордонні простої та режими «старт–стоп», тоді як для маршруту Рівне–Мілан визначальними є велика дальність, тривалий магістральний рух і підвищені навантаження на критичні системи, а також потенційно гірські ділянки. У розрахунках початковий пробіг приймається 0 км, вважаючи, що перед впровадженням системи автобус пройшов повний обсяг ремонтів і регламентних робіт.

Для комбінованої стратегії оптимальний режим ТО доцільно формувати у вигляді:

- базових інтервалів (опорні значення для планування);

- коригування інтервалів залежно від «жорсткості» умов маршруту (ризик-орієнтований компонент);
- додаткових контрольних процедур за технічним станом (стан-орієнтований компонент), які не замінюють регламент, а зменшують ризик «сліпих» інтервалів.

У бакалаврській роботі зручно застосувати просту розрахункову схему:

$$L_{\text{опт}} = L_{\text{н}} \cdot k_{\text{марш}}, \quad (3.1)$$

де $L_{\text{опт}}$ – оптимальний інтервал технічного обслуговування, км;

$L_{\text{н}}$ – базовий (нормативний) інтервал, км;

$k_{\text{марш}}$ – коригувальний коефіцієнт умов маршруту (менше 1 – інтервал скорочується).

Базові інтервали для планово-попереджувальної системи приймаються як опорні (для подальшої адаптації):

- ТО-1 (контрольно-профілактичне, “мале”): $L_{\text{н1}}=15000$ км
- ТО-2 (розширене, “велике”): $L_{\text{н2}}=30000$ км

Такі значення є доцільними як стартові для автобуса далекого прямування та узгоджуються з логікою розмежування «частішого контрольного» і «глибшого регламентного» обслуговування, після чого виконується коригування під конкретні умови маршрутів.

З урахуванням результатів, отриманих в розділі 2 (матриця ризиків і ділянки підвищеного навантаження) приймається:

- Рівне—Варшава: $k_{\text{марш}}=0,95$ (часті затори/очікування на кордоні, режими «старт–стоп», але загальна дальність помірна).
- Рівне—Мілан: $k_{\text{марш}}=0,80$ (велика дальність, тривале навантаження на шини/колісні вузли/охолодження, імовірні гірські ділянки та підвищені ризики для гальмівної системи).

Коефіцієнти обрані як інженерне наближення на основі якісного аналізу умов експлуатації. Після накопичення статистики відмов і витрат (таблиці 2.4–2.6) ці коефіцієнти можуть бути уточнені.

Розрахунок оптимальних інтервалів ТО для двох маршрутів (табл. 3.3)

Для маршруту Рівне—Варшава:

- ТО-1: $L_{\text{опт1}} = 15000 \cdot 0,95 = 14250$ км
- ТО-2: $L_{\text{опт2}} = 30000 \cdot 0,95 = 28500$ км

Для маршруту Рівне—Мілан:

- ТО-1: $L_{\text{опт1}} = 15000 \cdot 0,80 = 12000$ км
- ТО-2: $L_{\text{опт2}} = 30000 \cdot 0,80 = 24000$ км

Щоб забезпечити практичність планування, інтервали доцільно перевести у кількість рейсів, необхідних для досягнення порогу ТО. Розрахунок:

$$N = \frac{L_{\text{опт}}}{L_{\text{рейсу}}}, \quad (3.2)$$

де N – кількість рейсів (в обидві сторони) до обслуговування;

$L_{\text{рейсу}}$ – протяжність рейсу (в обидві сторони), км.

Таблиця 3.3 – Відкоригована періодичність ТО

Маршрут (рейсовий цикл)	Довжина циклу, км	Опт. інтервал ТО-1, км	Циклів до ТО-1 (днів роботи)	Прості й на ТО-1, днів	Оптимальний інтервал ТО-2, км	Циклів до ТО-2 (днів роботи)	Прості й на ТО-2, днів
Рівне— Варшава —Рівне	924	14250	$14250/924$ $= 15$	1	28500	$28500/924$ $= 30$	2
Рівне— Мілан— Рівне	3344	12000	$12000/3344$ $= 3$	1	24000	$24000/3344$ $= 7$	2

Для практичного застосування округлення виконується в менший бік (тобто ТО планується трохи раніше порогу), щоб зменшити ймовірність виходу на рейс із «простроченим» інтервалом.

Якщо автобус щодня працює на маршруті Рівне–Варшава–Рівне

- Простій у перші 30 діб: 1 доба (ТО-1 на 16-й день).
- ТО-2 настає на 32–33-й день, тобто поза межами перших 30 діб.

Нижче, в таблиці 3.4 подано календарний графік ТО на 30 діб для маршруту Рівне–Мілан за умови, що:

- ТО виконується лише в Україні (після повернення на базу);
- рейси виконуються щоденно (за рахунок ротації автобусів);
- прийняті інтервали з п. 3.3 для маршруту Рівне–Мілан: ТО-1 – кожні 3 цикли, ТО-2 – кожні 7 циклів (ТО-2 замінює ТО-1);
- тривалість простою: ТО-1 – 1 доба, ТО-2 – 2 доби.

Таблиця 3.4 – Календарний графік ТО для автобусів, які працюють на маршруті Рівне–Мілан

День	Автобус 1	Автобус 2	Автобус 3	Автобус 4	Автобус 5	Автобус 6
1	Р	Р	Р	Р	Р	Р
2	Р	Р	ТО-1	Р	Р	ТО-1
3	Р	ТО-1	Р	Р	ТО-1	Р
4	ТО-1	Р	Р	ТО-1	Р	ТО-2
5	Р	Р	Р	Р	ТО-2	ТО-2
6	Р	Р	ТО-1	ТО-2	ТО-2	Р
7	Р	ТО-1	Р	ТО-2	Р	Р
8	ТО-1	Р	ТО-2	Р	Р	Р
9	Р	ТО-2	ТО-2	Р	Р	ТО-1
10	ТО-2	ТО-2	Р	Р	ТО-1	Р
11	ТО-2	Р	Р	ТО-1	Р	Р
12	Р	Р	ТО-1	Р	Р	ТО-1
13	Р	ТО-1	Р	Р	ТО-1	Р
14	ТО-1	Р	Р	ТО-1	Р	ТО-2
15	Р	Р	Р	Р	ТО-2	ТО-2
16	Р	Р	ТО-1	ТО-2	ТО-2	Р
17	Р	ТО-1	Р	ТО-2	Р	Р
18	ТО-1	Р	ТО-2	Р	Р	Р
19	Р	ТО-2	ТО-2	Р	Р	ТО-1
20	ТО-2	ТО-2	Р	Р	ТО-1	Р
21	ТО-2	Р	Р	ТО-1	Р	Р

День	Автобус 1	Автобус 2	Автобус 3	Автобус 4	Автобус 5	Автобус 6
22	P	P	ТО-1	P	P	ТО-1
23	P	ТО-1	P	P	ТО-1	P
24	ТО-1	P	P	ТО-1	P	ТО-2
25	P	P	P	P	ТО-2	ТО-2
26	P	P	ТО-1	ТО-2	ТО-2	P
27	P	ТО-1	P	ТО-2	P	P
28	ТО-1	P	ТО-2	P	P	P
29	P	ТО-2	ТО-2	P	P	ТО-1
30	ТО-2	ТО-2	P	P	ТО-1	P

Інтерпретація результатів і правила застосування

1. Отримані інтервали відображають, що при експлуатації на великій дальності (Рівне–Мілан) ТО-1 має виконуватися суттєво частіше, ніж при маршруті Рівне–Варшава, оскільки вартість відмови і інтенсивність навантаження на критичні вузли зростають.

2. Для маршруту Рівне–Варшава основний ефект дає підсилення стан-орієнтованого контролю (шини, гальма, пневматична система, електроживлення) у зв'язку з простоями/очікуваннями, тоді як пробігові інтервали можуть залишатися ближчими до базових.

3. Запропоновані інтервали слід застосовувати разом із правилами:

✓ якщо стан-орієнтований контроль виявляє відхилення (знос, витік, ознаки перегріву, нестабільність тиску), виконуються роботи позачергово, незалежно від пробігу;

✓ для сезонів підвищених ризиків (морози/спека) допускається додаткове скорочення частоти контрольних операцій без зміни «ядра» регламентних робіт.

3.4 Рекомендації щодо організації технічного сервісу під міжнародні рейси

Організація технічного сервісу для автобусів далекого прямування, що виконують міжнародні рейси, повинна забезпечувати безперервність перевезень за умови пріоритету безпеки, відповідності вимогам технічної

справності та мінімізації простоїв і витрат. Для умов експлуатації автобуса NEOPLAN N 117-2 (ФОП Мельник О.М.) доцільно впроваджувати комбіновану модель сервісу, що поєднує регламентні роботи, контроль технічного стану за результатами оглядів і діагностичних процедур, а також ризик-орієнтоване посилення контролю на ділянках підвищеного навантаження (пункти пропуску, транспортні вузли, тривалі магістральні відрізки, гірські ділянки для маршруту Рівне–Мілан) [29].

3.6.1. Планування сервісу з урахуванням режиму «рейс–відстій–рейс»

1. Планування «вікон» технічного сервісу. Оскільки технічне обслуговування виконується лише в Україні, графік робіт слід прив'язувати до моменту повернення автобуса на базу та передбачати резерв часу на непередбачувані затримки. Планування має узгоджуватися з вимогами щодо режимів праці та відпочинку водіїв у міжнародних перевезеннях, оскільки саме регламентні зупинки й відстої формують реальні організаційні можливості для оглядів і дрібних робіт [22].
2. Ротація рухомого складу. Для маршрутів великої дальності (зокрема Рівне–Мілан) рекомендовано забезпечувати ротацію автобусів таким чином, щоб планові роботи не призводили до зриву щоденних рейсів (планова доступність парку, рівномірне рознесення днів обслуговування).
3. Єдині чек-листи й стандарти обліку. Необхідно уніфікувати форми передрейсового, післярейсового та міжрейсового огляду; записи мають бути трасованими (дата, пробіг, рейс, виконавець, результат, прийняте рішення).

3.6.2. Забезпечення нормативної відповідності та контролю технічної справності

1. Дотримання вимог обов'язкового технічного контролю. Для автобусів, що використовуються у пасажирських перевезеннях, в Україні діє вимога проходження обов'язкового технічного контролю з визначеною

періодичністю; результати оформлюються протоколом перевірки технічного стану [27]. Організація сервісу має включати календарний контроль строків такого огляду та підготовчі перевірки систем безпеки (гальма, рульове керування, шини, світлові прилади).

2. Документування та збереження доказової бази. Рекомендовано вести журнал технічних впливів і дефектів (у паперовому й/або електронному вигляді) та забезпечувати збереження матеріалів, що підтверджують виконання робіт і стан транспортного засобу. Це спрощує управління ризиками, підвищує керованість витрат і полегшує підготовку до контрольних процедур [27].

3.6.3. Передрейсовий, післярейсовий та міжрейсовий контури технічного сервісу (див. також табл. 3.5)

Для міжнародних рейсів доцільно розділити технічний сервіс на три контури.

1) Передрейсовий контур (допуск до рейсу):

- контроль шин (тиск, пошкодження, нерівномірний знос), колісних вузлів (аномальний нагрів після попереднього рейсу, сторонні шуми);
- контроль гальмівної та пневматичної систем (герметичність, стабільність тиску, ознаки перегріву, працездатність допоміжних гальмівних пристроїв);
- контроль системи охолодження (рівень рідини, герметичність, робота вентиляторів), відсутність витоків робочих рідин;
- контроль електрообладнання (заряджання акумуляторів, робота зовнішніх світлових приладів) і фіксація індикаторів несправностей;
- перевірка комплектності аварійного оснащення (аптечка, вогнегасники, знаки аварійної зупинки, засоби безпечної евакуації пасажирів).

2) Міжрейсовий контур (короткі операції у «вікні»):

- швидкий огляд після пункту пропуску (витоки, тиск у пневмосистемі, контроль температурних ознак у зоні коліс/гальм);

- перевірка стану систем, чутливих до простоїв (акумулятори, система опалення/вентиляції/кондиціювання, пневматична система з урахуванням вологи/конденсату);
- фіксація зауважень водія з пріоритизацією “критично/можна перенести до бази”.

3) Післярейсовий контур (планування робіт на базі):

- діагностичний огляд критичних систем і формування завдання на обслуговування у найближчому сервісному “вікні”;
- визначення переліку робіт, які мають бути виконані до наступного рейсу, і тих, що допускаються до виконання під час відстою.

Таблиця 3.5 – Організаційні рекомендації за етапами рейсового циклу

Етап	Ключова мета сервісу	Рекомендовані дії	Основний результат
Перед рейсом (на базі)	Недопущення виходу на маршрут із критичними дефектами	Чек-лист безпеки (шини, гальма, пневматика, охолодження, світло, витоки), контроль аварійного оснащення, фіксація індикаторів несправностей	Зниження ризику відмов у рейсі
Між рейсами (стоянки/кордон)	Раннє виявлення відхилень, що переходять у відмову	Швидкий огляд витоків і температурних ознак; контроль тиску в пневматичній системі; фіксація зауважень водія	Запобігання розвитку дефектів
Після рейсу (на базі)	Планування і підготовка робіт у сервісному “вікні”	Післярейсовий огляд, протокол дефектів, формування завдання на ТО/ремонт, підготовка матеріалів і запасів	Скорочення простою на обслуговування
Періодичні роботи	Керованість ресурсів і витрат	План-графік ТО, облік витрат і простоїв, контроль строків обов’язкового технічного контролю	Підвищення готовності та прогнозованості

3.6.4. Організація запасів і матеріально-технічного забезпечення

1. Мінімальний страховий запас. Для мінімізації простоїв необхідно сформувати на базі комплект швидкозношуваних елементів і витратних матеріалів з урахуванням критичних систем (фільтри, ремені, елементи пневматичної системи, лампи/запобіжники, типові з'єднувальні елементи, витратні матеріали для доливання робочих рідин).
2. Управління запасами за критичністю. Рекомендовано класифікувати позиції за наслідками відмови: “критично для безпеки/виконання рейсу” (пріоритет наявності) та “некритично” (можливе замовлення під потребу).
3. Підготовка до сезонності. Перед зимовим і літнім піком слід виконувати профілактику системи охолодження, пневматичної системи та електроживлення, оскільки температурні екстремуми істотно підвищують ризики відмов і незапланованих простоїв [29].

3.6.5. Взаємодія з партнерськими сервісами за кордоном

Попри виконання планових робіт в Україні, для зменшення наслідків аварійних ситуацій доцільно мати перелік партнерських сервісних пунктів уздовж маршруту (принаймні на ключових транспортних вузлах). Рекомендовано:

- укласти договори або попередні домовленості щодо оперативної допомоги (контакти, умови оплати, доступність у вихідні);
- уніфікувати перелік робіт, які допускаються до виконання поза базою (наприклад, аварійна заміна шини, усунення витoku, відновлення працездатності пневматичної системи), та перелік робіт, що виконуються лише на базі;
- забезпечити наявність технічного “паспорта рейсу” (короткий перелік ідентифікаційних даних автобуса, витратних матеріалів, типових вузлів, схем запобіжників тощо) для прискорення ремонту.

3.6.6. Пожежна безпека та реагування на інциденти в рейсі

Для міжнародних рейсів доцільно приділити підвищену увагу профілактиці теплових інцидентів і пожеж. Аналітичні матеріали з безпеки

автобусних перевезень показують, що серед причин пожеж і теплових інцидентів значну роль відіграють несправності електрообладнання, а також події, пов'язані з гальмівною системою (перегрів у зоні коліс/гальм) [32]. Тому рекомендовано:

- включити до передрейсового і післярейсового контролю ознаки перегріву гальм та колісних вузлів (запах, дим, зміна кольору елементів, аномальний нагрів);
- регулярно перевіряти стан електропроводки, контактних з'єднань і захисних елементів;
- підтримувати справність вогнегасників і навчати персонал алгоритмам евакуації та реагування у разі задимлення/пожежі (інструктажі, короткі пам'ятки в кабіні водія).

Висновки до розділу

Обґрунтовано доцільність застосування комбінованої стратегії технічного обслуговування для автобуса NEOPLAN N 117-2 під час виконання міжнародних перевезень, яка поєднує базовий регламент (обов'язкові роботи), стан-орієнтовані заходи (за результатами огляду та діагностики) і ризик-орієнтоване коригування інтервалів залежно від умов маршруту та наслідків потенційних відмов.

Розроблено алгоритм формування режимів ТО, який забезпечує відтворюване призначення робіт за трьома логіками (за пробігом, за часом, за станом), сегментацію маршрутів за сценаріями навантаження (Рівне–Варшава та Рівне–Мілан), виділення критичних систем і визначення контурів сервісу (передрейсовий, міжрейсовий, післярейсовий, періодичний).

Виконано розрахунок оптимальних інтервалів ТО для двох маршрутів на основі прийнятих базових інтервалів і коригувальних коефіцієнтів умов експлуатації. Отримано, що для маршруту Рівне–Варшава доцільні інтервали ТО-1 – 14 250 км, ТО-2 – 28 500 км, а для маршруту Рівне–Мілан – ТО-1 – 12

000 км, ТО-2 – 24 000 км, що відображає вищу «жорсткість» умов і більшу ціну відмов на дальньому напрямку.

Враховуючи вимогу виконання ТО виключно в Україні, інтервали перетворено у цикли оборотного рейсу та календарні показники. Для Рівне–Варшава–Рівне отримано: ТО-1 – кожні 15 циклів із простоем 1 доба, ТО-2 – кожні 30 циклів із простоем 2 доби; для Рівне–Мілан–Рівне: ТО-1 – кожні 3 цикли (простій 1 доба), ТО-2 – кожні 7 циклів (простій 2 доби).

Сформовано календарний графік технічного обслуговування для маршруту Рівне–Мілан за умови щоденних рейсів і ротації парку автобусів, що демонструє можливість забезпечення безперервності перевезень шляхом рознесення днів ТО між автобусами та заміщення простоїв плановими резервами.

Розроблено організаційні рекомендації щодо технічного сервісу під міжнародні рейси: планування «вікон» під ТО з урахуванням рейсового циклу, уніфікація чек-листів і обліку, пріоритетність контролю критичних систем, формування страхового запасу витратних матеріалів, а також підготовка процедур взаємодії з сервісними партнерами за кордоном для аварійних ситуацій при збереженні планового ТО на базі в Україні.

4 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ СТРАТЕГІЇ

Ефективність впровадження комбінованої стратегії технічного обслуговування автобусів далекого прямування оцінюється за сукупністю технічних і економічних показників: скорочення позапланових відмов і ремонтів, зменшення простоїв, зростання коефіцієнта технічної готовності, а також зниження питомих витрат на експлуатацію й обслуговування. У наукових роботах з технічної експлуатації автобусів підкреслюється, що сумарні витрати визначаються не лише плановими роботами, а й ресурсами на ліквідацію наслідків позапланових ремонтів та збитками від простою (втрата доходу від невиконаної транспортної роботи), що робить актуальним саме комплексний підхід до обґрунтування періодичності планових впливів [33]. Практичні результати впровадження систем прогнозування технічного стану для міських автобусів показали зменшення кількості відмов на 8,08 % (у перерахунку на 10 тис. км) та зменшення витрати моторної оливи на 31,8 % на 10 тис. км, що демонструє потенціал стан-орієнтованих рішень у підвищенні надійності та скороченні витрат матеріалів [34]. Водночас, аналітика витрат автобусної галузі фіксує суттєве зростання вартості матеріалів і персоналу технічного обслуговування, що підсилює важливість оптимізації режимів сервісу та зниження «дорогих» позапланових подій [35].

Вихідні умови для розрахунку ефекту

Оцінювання виконано для маршруту Рівне–Мілан–Рівне, де експлуатується 6 автобусів, з метою забезпечення щоденності рейсів, а технічне обслуговування виконується виключно в Україні. З розділу 3 прийнято: оптимізовані інтервали ТО-1 – кожні 3 рейсові цикли, ТО-2 – кожні 7 рейсових циклів, тривалість простою ТО-1 – 1 доба, ТО-2 – 2 доби. Довжина рейсового циклу (туди–назад) становить 3344 км.

Для річного планування застосовано узагальнений «календарний цикл» роботи одного автобуса:

– за 10 календарних діб: 7 діб рейсів + 3 доби планового ТО (ТО-1 один раз і ТО-2 один раз);

– отже частка роботи автобуса у рейсах (календарна готовність) становить 70 %, а плановий простій під ТО – 30 %.

Річний обсяг рейсової роботи одного автобуса за такої організації:

- кількість рейсових циклів: $365 \cdot 0,70 \approx 256$ циклів/рік;
- річний пробіг: $256 \cdot 3344 \approx 856$ тис. км/рік;
- для парку 6 автобусів: $\approx 5,14$ млн км/рік.

Методика розрахунку очікуваного економічного ефекту

Сумарний очікуваний ефект від впровадження стратегії для парку автобусів приймається як різниця між витратами до і після впровадження:

$$E_{\text{рік}} = \Delta C_{\text{мат}} + \Delta C_{\text{авар}} + \Delta C_{\text{простій}} \quad (4.1)$$

де $\Delta C_{\text{мат}}$ – економія витратних матеріалів (насамперед моторної оливи);

$\Delta C_{\text{авар}}$ – економія на позапланових ремонтах за рахунок зменшення кількості відмов;

$\Delta C_{\text{простій}}$ – економія (або зменшення втрат) від скорочення позапланових простоїв/зривів рейсів.

Для прогнозу відносних змін приймаємо консервативні оцінки, підтверджені практичним кейсом для автобусного парку:

- зменшення кількості відмов: $\delta_{\text{відм}} = 8,08\%$ [34];
- зменшення витрат моторної оливи: $\delta_{\text{ол}} = 31,8\%$ [34].

З огляду на те, що для міжнародних рейсів «ціна» відмови вища, ніж у локальній експлуатації (евакуація, сервіс за кордоном, тривала затримка), розрахунок подано у вигляді параметричної моделі з підстановкою значень фактичних даних ФОП Мельник О.М. (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Параметри для оцінювання економічного ефекту

Позначення	Зміст параметра	Прийняте значення*
$L_{\text{рік}}$	Річний пробіг парку, км/рік	$5,14 \cdot 10^6$
B_0	Базова кількість відмов на 10 тис. км (до впровадження)	0,30
$C_{\text{відм}}$	Середня вартість однієї відмови (ремонт/логістика), грн	35 000
$T_{\text{відм}}$	Середня тривалість позапланового простою через 1 відмову, діб	1,0
$C_{\text{доб}}$	Втрати/недоотриманий дохід за 1 добу простою, грн	20 000
$C_{\text{ол,10}}$	Витрати на моторну оливу на 10 тис. км, грн	6 000

*Примітка: значення в колонці є типовими для ілюстрації методики; у процесі експлуатації їх доцільно коригувати за фактичними даними обліку підприємства після впровадження системи.

Очікуваний ефект від зменшення кількості відмов і позапланових простоїв

1. Кількість відмов “до” впровадження (за рік):

$$N_0 = \frac{L_{\text{рік}}}{10\,000} \cdot B_0 = \frac{5,14 \cdot 10^6}{10\,000} \cdot 0,30 \approx 154 \text{ відмови/рік.}$$

2. Кількість відмов “після” впровадження:

$$N_1 = N_0 \cdot (1 - \delta_{\text{відм}}) = 154 \cdot (1 - 0,0808) \approx 142 \text{ відмови/рік.}$$

3. Скорочення кількості відмов:

$$\Delta N = N_0 - N_1 \approx 12 \text{ відмов/рік,}$$

тобто очікуване зменшення відмов становить 8,08 % [34].

4. Економія на позапланових ремонтах:

$$\Delta C_{\text{авар}} = \Delta N \cdot C_{\text{відм}} \approx 12 \cdot 35\,000 = 420\,000 \text{ грн/рік.}$$

5. Економія від скорочення позапланових простоїв:

$$\Delta C_{\text{простій}} = \Delta N \cdot T_{\text{відм}} \cdot C_{\text{доба}} \approx 12 \cdot 1,0 \cdot 20\,000 = 240\,000 \text{ грн/рік.}$$

Отже, сукупний ефект від зменшення відмов і пов'язаних із ними простоїв (за прийнятими параметрами) становить:

$$\Delta C_{\text{авар}} + \Delta C_{\text{простій}} \approx 660\,000 \text{ грн/рік.}$$

Очікуваний ефект від економії витратних матеріалів (моторної оливи)

Згідно з результатами практичного впровадження системи контролю технічного стану, витрати моторної оливи на 10 тис. км можуть бути зменшені на 31,8 % [34]. Тоді річна економія для парку:

$$\Delta C_{\text{мат}} = \frac{L_{\text{рік}}}{10000} \cdot C_{\text{ол,10}} \cdot \delta_{\text{ол}} = 514 \cdot 6\,000 \cdot 0,318 \approx 981\,000 \text{ грн/рік.}$$

Підсумковий очікуваний ефект:

$$E_{\text{рік}} \approx 981\,000 + 420\,000 + 240\,000 = 1\,641\,000 \text{ грн/рік.}$$

У відносному вимірі (за прийнятими даними і підтвердженими коефіцієнтами):

- зменшення відмов: 8,08 % [34];
- зменшення витрат моторної оливи: 31,8 % [34];

– зменшення позапланових простоїв, пов'язаних із відмовами: 8,08 % (за умовою пропорційності простоїв до кількості відмов).

Важливо підкреслити, що запропонована стратегія підвищує керованість технічного стану та зменшує частку позапланових втручань, які за своєю природою є найбільш витратними й створюють прямі збитки від простою [33]. Крім того, враховуючи тенденцію зростання витрат на матеріали і персонал технічного обслуговування, оптимізація режимів сервісу та зниження аварійних подій набувають додаткової економічної ваги [35].

Висновки до розділу

Здійснено техніко-економічне обґрунтування ефективності впровадження комбінованої стратегії технічного обслуговування, при цьому критеріями результативності визначено скорочення позапланових відмов і ремонтів, зменшення простоїв, зростання коефіцієнта технічної готовності та зниження питомих витрат на експлуатацію й обслуговування.

Як базовий сценарій оцінювання прийнято умови експлуатації на маршруті Рівне–Мілан–Рівне із забезпеченням щоденності рейсів за рахунок 6 автобусів, а також організаційне обмеження виконання технічного обслуговування виключно в Україні, що визначає потребу в плановій ротації та врахуванні календарних «вікон» під ТО.

Обґрунтовано, що економічний ефект формується комплексно та включає: економію витратних матеріалів, зменшення витрат на позапланові ремонти та зниження втрат від позапланових простоїв/зривів рейсів, тобто оцінювання здійснено за логікою повної сукупності витрат, а не лише за прямими витратами на планове ТО.

У параметричній моделі отримано, що за рахунок стан-орієнтованих елементів стратегії очікується зменшення кількості відмов на 8,08 % та зменшення витрат моторної оливи на 31,8 % у перерахунку на 10 тис. км, що

напряму знижує і витрати на ремонти, і втрати від простоїв, пов'язаних із відмовами.

Результати розрахунків демонструють, що найбільшу частку очікуваного ефекту забезпечує зниження матеріаломісткості та частоти «дорогих» позапланових подій, тоді як планові простої під ТО залишаються керованими через ротацію парку та календарне планування.

Загалом отримані результати підтверджують, що впровадження розробленої стратегії підвищує керованість технічного стану автобусів у міжнародних рейсах, забезпечує прогнозованість технічних витрат та створює підстави для подальшого уточнення параметрів моделі за фактичними даними обліку підприємства після впровадження (за витратами, простоями та статистикою відмов).

ВИСНОВКИ

Встановлено, що міжнародна експлуатація автобусів далекого прямування характеризується підвищеними навантаженнями та ризиками (тривалі рейси, високі добові пробіги, цикл «рейс–відстій–рейс», сезонність, затримки на кордонах і простої), тому оптимізація технічного обслуговування має враховувати не лише пробіг, а й реальні умови маршруту та «ціну» відмов у дорозі.

Продемонстровано обмеження нормативно-інтервального підходу за пробігом/часом в умовах міжнародних перевезень (ефект «сліпих» інтервалів і різний знос за однакового пробігу), що обґрунтовує перехід до комбінованих рішень із доповненням регламенту елементами контролю технічного стану та ризик-орієнтованою пріоритизацією робіт.

Для об'єкта дослідження ФОП Мельник О.М. (автобус NEOPLAN N 117-2) – сформовано вихідну основу планування ТО з урахуванням конструктивних особливостей, критичних систем безпеки та експлуатаційних сценаріїв двох маршрутів різної дальності (Рівне–Варшава та Рівне–Мілан), що дозволило надалі коректно диференціювати інтенсивність навантажень і ризиків.

Обґрунтовано доцільність застосування комбінованої стратегії ТО (базовий регламент + стан-орієнтовані роботи + ризик-орієнтоване коригування інтервалів) та розроблено алгоритм формування режимів ТО, який забезпечує відтворюваність рішень і прив'язку технічних впливів до рейсового циклу та сервісних «вікон».

Виконано розрахунок оптимізованих інтервалів ТО для двох маршрутів і показано необхідність жорсткішого режиму для дальнього напрямку: для Рівне–Варшава доцільні інтервали ТО-1 – 14 250 км, ТО-2 – 28 500 км, а для Рівне–Мілан – ТО-1 – 12 000 км, ТО-2 – 24 000 км, що відповідає вищій інтенсивності навантаження і наслідкам можливих відмов.

З урахуванням вимоги виконання ТО виключно в Україні інтервали трансформовано у цикли оборотного рейсу та календарні показники, а також обґрунтовано потребу в плановій ротації парку і рознесенні днів ТО для забезпечення безперервності міжнародних рейсів.

Техніко-економічне оцінювання підтвердило, що ефективність впровадження розробленої стратегії формується комплексно за рахунок зниження частоти позапланових відмов і пов'язаних із ними простоїв, зменшення позапланових витрат та економії витратних матеріалів; у параметричній моделі отримано такі орієнтири очікуваного покращення: зменшення кількості відмов на 8,08 %, відповідне зменшення позапланових простоїв (через відмови) на 8,08 %, а також зменшення витрат моторної оливи на 31,8 % (у перерахунку на 10 тис. км). За прийнятих у розрахунку параметрів для парку сумарний очікуваний економічний ефект становить близько 1 641 000 грн/рік, що створює основу для подальшого уточнення ефекту за фактичними даними обліку підприємства після впровадження концепції.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Integrated course «Automotive Transport»: Study guide for university students / Michael FRATITA, Chivu ROBERT-MADALIN, Viktor SAMOSTIAN etc. – Lutsk : Vezha-Print, 2025. ISBN 978-966-940-703-0/ – 1 electronic optical disk (CD-ROM). – Data volume 21,7 Mb. / URL: <https://drive.google.com/file/d/1QicOv52hKkYKOA3GWM1Y-EJ6uWVvPB2S/view>
2. Технічна експлуатація автомобілів [Текст]: Навчальний посібник / В.М. Дембіцький, В.І. Павлюк, В.М. Придюк – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – 576 с.
3. Іванушко, Олександр Миколайович Підвищення ефективності експлуатації автотранспортних засобів шляхом оптимізації періодичності технічного обслуговування [Текст] : дис. ... д-ра філософії в галузі знань 27 Транспорт : [спец.] 274 / Іванушко Олександр Миколайович ; Нац. трансп. ун-т. - Київ, 2020. - 237, арк.
4. Форнальчик Є. Ю. Про оптимізацію періодичності технічного обслуговування автобусів / Є. Ю. Форнальчик, М. А. Виджак // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. - 2017. - № 866. - С. 239-243. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPDM_2017_866_44
5. Холява І. С. Підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів на основі визначення раціонального терміну з дослідженням функціональних залежностей параметрів роботоздатності від віку автобусів категорії М : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра : спец. 274 – Автомобільний транспорт / наук. кер. Р. М. Рогатинський. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2025. 67 с.

6. Формування партнерств підприємств автомобільного транспорту в розвитку систем технічного обслуговування та ремонту транспортних засобів: монографія. / Т. Воркут, Ю. Грисюк, А. Лабута та ін. – К.: НТУ, 2016. – 256 с.

7. Форнальчик Є. Ю. Оптимізація періодичності технічного обслуговування автобусів за мінімаксним критерієм / Є. Ю. Форнальчик, М. А. Виджак // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. - 2017. - № 2. - С. 171-174. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ctmbt_2017_2_27

8. Іщук А. Ю. Вибір оптимальної стратегії ТО машин автобусного парку : дипломна робота бакалавра : 274 Автомобільний транспорт / А. Ю. Іщук ; Хмельниц. нац. ун-т. – Хмельницький, 2024. – 71 с.

9. Біліченко В. В. Стратегії технічного розвитку автотransпортних 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>.

10. Цимбал С. В. Обґрунтування стратегій та варіантів розвитку автотransпортних підприємств. – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Вінниця, 2015. – 167 с. URL: http://diser.ntu.edu.ua/Tsymbal_dis.pdf

11. Волков, В. П. Конспект лекцій з дисципліни «Системи діагностики та контролю на автомобільному транспорті» : для здобувачів вченого ступеню доктор філософії : зі спец. «Автомобільний транспорт» / В. П. Волков ; Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків : ХНАДУ, 2023. – 109 с.

12. Інжинирінг систем контролю і управління технічним станом транспортних засобів / В. П. Волков, Т. В. Волкова, В. В. Верхломчук, М. А. Левчук, Р. В. Шульга, Є. О. Уколов // Сучасне автомобілебудування, транспорт і дорожня інфраструктура '2025 – MAITRI 2025 : наук. пр. Міжнар. наук.-практ. конф., Харків, 30–31 жовт. 2025 р. : до Дня автомобіліста та дорожника та з нагоди 95-річчя Харків. нац. автомоб.-дор. ун-ту / ред.: Д. М. Леонтєв, О. В.

Воропай, О. В. Біловол ; Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків : ФОП Бровін О.В., 2025. – С. 85–89.

13. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем : монографія / В. В. Аулін, Д. В. Голуб, А. В. Гриньків, С. В. Лисенко. - Кропивницький : ТОВ "КОД", 2017. - 369 с.

14. Zhaoyang Tan, Jianfeng Li, Zongzhi Wu, Jianhu Zheng, Weifeng He, An evaluation of maintenance strategy using risk based inspection, Safety Science, Volume 49, Issue 6, 2011, Pages 852-860, ISSN 0925-7535, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.01.015>.

15. Pablo Martínez-Galán Fernández, Antonio J. Guillén López, Adolfo Crespo Márquez, Juan Fco. Gomez Fernández, Jose Antonio Marcos, Dynamic Risk Assessment for CBM-based adaptation of maintenance planning, Reliability Engineering & System Safety, Volume 223, 2022, 108359, ISSN 0951-8320, <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108359>.

16. Вячеслав Шавкун. Технологічні процеси сервісу транспортних засобів з електричним та гібридним приводом : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Вячеслав Шавкун ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – 123 с.

17. Rawat M, Lad BK (2017), "An integrated strategy for fleet maintenance planning". Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 23 No. 4 pp. 457–478, doi: <https://doi.org/10.1108/JQME-03-2016-0013>

18. Zhu W, Yang D, Huang J. A hybrid optimization strategy for the maintenance of the wheels of metro vehicles: Vehicle turning, wheel re-profiling, and multi-template use. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. 2017;232(3):832-841. doi:[10.1177/0954409717695649](https://doi.org/10.1177/0954409717695649)

19. Aulin, V., Rogovskii, I., Lyashuk, O., Titova, L., Hryniv, A., Mironov, D., Volianskyi, M., Rogatynskyi, R., Solomka, O., & Lysenko, S. (2024). Comprehensive assessment of technical condition of vehicles during operation based on Harrington's desirability function. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(3 (127)), 37–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.298567>.

20. Аулін В. В., Гриньків А. В., Лисенко С. В. Особливості дослідження ефективності транспортних систем на етапах їх життєвого циклу // Вісник машинобудування та транспорту. 2021. URL: <https://vmt.vntu.edu.ua/index.php/vmt/article/view/233> (дата звернення: 25.03.2026).

21. Нестеров О. Методичні основи дослідження оцінки ефективності експлуатації та ремонту військової автомобільної техніки // Systemy i Srodki Transportu Samochodowego (публікація на ResearchGate). 2021. URL: https://www.researchgate.net/publication/353002559_Metodicni_osnovi_doslidzen_na_ocinki_efektivnosti_ekspluatacii_ta_remontu_vijskovo_i_avtomobilnoi_tehniki (дата звернення: 25.03.2026).

22. Regulation (EC) No 561/2006 of the European Parliament and of the Council of 15 March 2006 on driving times, breaks and rest periods (consolidated text, 20.08.2020) // EUR-Lex. 2020. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?from=HU&uri=CELEX%3A02006R0561-20200820> (дата звернення: 25.03.2026).

23. Міністерство економіки України. Рекомендації щодо проведення аналізу вигід та витрат. 2021. URL: <https://me.gov.ua/download/60c86764-c77f-4c82-920f-b0cf48f51fec/file.pdf> (дата звернення: 25.03.2026).

24. Furch J., et al. Modelling of life cycle cost of conventional and alternative vehicles // *Frontiers in Mechanical Engineering*. 2022. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9226055/> (дата звернення: 25.03.2026).

25. Confederation of Passenger Transport (Велика Британія). Changes in Bus Industry Costs 2019–2022 (звіт). 2022. URL: <https://www.cpt->

uk.org/media/envdcvpe/cpt-report-2022-costs-for-publication-v2.pdf (дата звернення: 25.03.2026).

26. He Z., et al. Identification and Correlation Analysis of Multi-Dimensional Factors Affecting Bus Operation Safety. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15(19). Article 10507. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/19/10507> (дата звернення: 25.03.2026).

27. Головний сервісний центр МВС України. Обов'язковий технічний контроль транспортних засобів: порядок проведення та вимоги. 27.10.2025. URL: <https://hsc.gov.ua/2025/10/27/obov-yazkovij-tehnichnij-kontrol-transportnih-zasobiv-poryadok-provedennya-ta-vimogi/> (дата звернення: 25.03.2026).

28. Office of Transport Safety Investigations (NSW, Australia). Bus Fire Safety Report – Bus Fire and Thermal Incidents in 2023. 2024. URL: <https://www.otsi.nsw.gov.au/sites/default/files/2024-06/Bus%20Fire%20Safety%20Report%20-%20Bus%20Fire%20and%20Thermal%20Incidents%20in%202023.pdf> (дата звернення: 25.03.2026).

29. Toni A., Corazza M. V., Vasari D. Improving the environmental performance of bus fleets in Europe // *Transportation Research Procedia*. 2023. DOI: 10.1016/j.trpro.2023.02.156. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146523001667> (дата звернення: 25.03.2026).

30. Duarte M. O., et al. Monitoring the condition of city bus engines by analysing used oil using PCA and K-Means clustering // *Scientific Reports*. 2026. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-026-39045-x> (дата звернення: 25.03.2026).

31. El-Thalji I., et al. Emerging Practices in Risk-Based Maintenance Management Driven by Industrial Transitions: Multi-Case Studies and Reflections // *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15(3). Article 1159. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/3/1159> (дата звернення: 25.03.2026).

32. Office of Transport Safety Investigations. Bus Fire Safety Report – Bus Fire and Thermal Incidents in 2023. 2024. URL: <https://www.otsi.nsw.gov.au/sites/default/files/2024-06/Bus%20Fire%20Safety%20Report%20-%20Bus%20Fire%20and%20Thermal%20Incidents%20in%202023.pdf> (дата звернення: 25.03.2026).

33. Хаврук В. О. Оцінка резервів підвищення ефективності використання рухомого складу автотранспортного підприємства // Наука та прогрес транспорту. 2022. № 2(98). URL: <https://stp.ust.edu.ua/article/download/267938/265997/623798> (дата звернення: 26.03.2026).

34. The Rate of Transit Bus Breakdowns Declined by 8 Percent After Installing a Predictive Maintenance System Which Monitored and Communicated Engine Data // ITS Deployment Evaluation (ITS KRS). 2022. URL: <https://www.its.dot.gov/itskrs/2022-b01703> (дата звернення: 26.03.2026).

35. Confederation of Passenger Transport. Changes in Bus Industry Costs 2019–2022. 2023. URL: <https://www.cpt-uk.org/media/envdcvpe/cpt-report-2022-costs-for-publication-v2.pdf> (дата звернення: 26.03.2026).

36. Навчальні та кваліфікаційні роботи : методичні вказівки до оформлення навчальних та кваліфікаційних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів освітньо-професійних програм: «Автомобільний транспорт», «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» галузь знань 27 Транспорт, спеціальностей: 274 Автомобільний транспорт, 275 Транспортні технології (на автомобільному транспорті) денної та заочної форм навчання / уклад. В. М. Придюк, В. А. Кишун, В. М. Дембіцький, В. І. Павлюк. – Луцьк : Луцький НТУ, 2019. – 56 с.

37. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання [Чинний від 2017-07-11]. Вид. офіц. Київ, 2016. 32 с.