

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

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**«Підвищення ефективності використання автотранспортних засобів
Вінницької дирекції акціонерного товариства «Укрпошта» на основі
удосконалення методів планування запасів запасних частин»**

Виконав: студент 2 курсу,
групи 1АТ-24м, спеціальності
274 – Автомобільний транспорт
Дишкант С.П. 

Керівник: д.т.н., проф.,
професор каф. АТМ 
Кашканов А.А.
« 1 » 12 2025 р.

Рецензент: д.т.н., проф.,
зав. кафедри ТАМ 
Козлов Л.Г.
« 5 » 12 2025 р.

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

Вінниця ВНТУ – 2025 року

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

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)

Галузь знань – 27 – Транспорт

Спеціальність – 274 – Автомобільний транспорт

Освітньо-професійна програма – Автомобільний транспорт

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

«25» 09 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

Дишканту Сергію Павловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності використання автотранспортних засобів
Вінницької дирекції акціонерного товариства «Укрпошта» на основі удосконалення
методів планування запасів запасних частин,
керівник роботи Кашканов Андрій Альбертович, д.т.н., професор,
затверджені наказом ВНТУ від «24» вересня 2025 року № 313.

2. Строк подання здобувачем роботи: 30.11.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Вимоги до конструкції та експлуатації
автотранспортних засобів (діючі міжнародні, державні, галузеві стандарти та технічні
умови заводів-виробників автомобільної техніки); законодавство України в галузі
безпеки руху, охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; структура
автопарку підприємства; район експлуатації автомобілів – Україна; досліджувані
моделі АТЗ – Citroën Jumper, MAN TGL, інший РС підприємства; об'єкт дослідження
– прогнозування надійності окремих вузлів автотранспортних засобів в різних умовах
експлуатації; засіб збору інформації про умови руху автомобілів – бортовий
комп'ютер МК-93.

4. Зміст текстової частини:

1 Обґрунтування розробок з підвищення ефективності експлуатації автомобілів Вінницької
дирекції акціонерного товариства «Укрпошта».

2 Формування теоретичних підходів та дослідне вивчення потреби в запасних частинах.

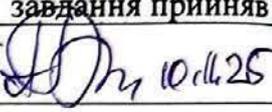
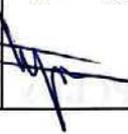
3 Використання результатів удосконалення методів визначення потреби в запасних частинах
у виробничих умовах.

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

1-3 Тема, мета, завдання, об'єкт, предмет, наукова новизна та практичне значення
виконаного дослідження.

- 4 Методичні аспекти оцінювання якості функціонування автомобільного парку АТП
- 5 Методологічні підходи до управління надійністю автотранспортних засобів у процесі експлуатації
- 6 Методи розрахунку потреби в запасних частинах
- 7 Загальна характеристика Вінницької дирекції ПАТ «Укрпошта»
- 8 Новий підхід в оціненні потреби в запасних частинах для автотранспортних засобів
- 9-11 Апаратура та результати експериментальних досліджень.
- 12 Методика прогнозування потреби в запасних частинах до силових агрегатів АТЗ
- 13 Результати розрахунку техніко-економічної ефективності виконаних досліджень
- 14 Висновки

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ/підрозділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розв'язання основної задачі	Кашканов А.А., професор кафедри АТМ	 25.09.25	 10.11.25
Визначення ефективності запропонованих рішень	Буренніков Ю.Ю., професор кафедри АТМ		

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Здобувач


(підпис)

Дишкант С.П.

Керівник роботи


(підпис)

Кашканов А.А.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБОК З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛІВ ВІННИЦЬКОЇ ДИРЕКЦІЇ АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА «УКРПОШТА»	8
1.1 Теоретико-методичні підходи до оцінювання якості роботи автомобільного парку автотранспортних підприємств	8
1.2 Методологічні підходи до управління надійністю автотранспортних засобів у процесі експлуатації	14
1.3 Методи оцінювання та планування потреби в запасних частинах ..	20
1.4 Оцінювання роботи базового підприємства з метою пошуку шляхів удосконалення методів визначення потреби в запасних частинах ..	31
Висновки до розділу 1 та постановка завдань дослідження	39
РОЗДІЛ 2. ФОРМУВАННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ПІДХОДІВ ТА ДОСЛІДНЕ ВИВЧЕННЯ ПОТРЕБИ В ЗАПАСНИХ ЧАСТИНАХ	41
2.1 Математичні методи та моделі прогнозування потреби в запасних частинах для автомобільного транспорту	41
2.2 Зовнішні фактори як детермінанти зміни потреби в запасних частинах	56
2.3 Методичне обґрунтування нового підходу до оцінювання потреби в запасних частинах	62
2.4 Систематизація результатів експериментальних досліджень	72
Висновки до розділу 2	89
РОЗДІЛ 3. ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТРЕБИ В ЗАПАСНИХ ЧАСТИНАХ У ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ	91
3.1 Практичні аспекти прогнозування потреби в запасних частинах для силових агрегатів автотранспорту	91

3.2 Розроблення архітектури інтернет-платформи забезпечення автотранспорту запасними частинами	94
3.3 Практичне управління потребою в запасних частинах	96
3.4 Оцінка прикладної ефективності виконаних досліджень	105
Висновки до розділу 3	109
ВИСНОВКИ	111
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	113
ДОДАТОК А. Ілюстративний матеріал	118
ДОДАТОК Б. Протокол перевірки на наявність текстових запозичень	132



ВСТУП

Актуальність теми. Удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту автомобілів має бути орієнтоване на врахування індивідуальних характеристик кожного окремого транспортного засобу та на реалізацію принципу максимального використання його ресурсного потенціалу. Як зарубіжний, так і вітчизняний досвід свідчить, що ці процеси тісно пов'язані з упровадженням новітніх технологій, заснованих на активному інформаційному обміні. Розвиток програмного забезпечення, апаратних засобів і технологічних рішень сприяє формуванню в системах технічного обслуговування та ремонту нових напрямів, таких як логістика, електронний документообіг, віртуальне управління постачанням запасних частин тощо.

Важливим чинником ефективної роботи автомобільного транспорту є своєчасне забезпечення запасними частинами. Безперервність їх постачання можлива лише за умови чітко організованої системи планування, виробництва та розподілу. Для вирішення цієї проблеми необхідно реалізувати такі завдання: визначення потреби в запасних частинах; складання виробничих планів; організація системи постачання; управління запасами та оптимізація складського господарства. Нині чинні методичні матеріали щодо планування потреби в запасних частинах ґрунтуються на нормативному методі розрахунку. Його використання ускладнене тим, що встановлені норми витрат не відображають реальної потреби, оскільки не враховують у повному обсязі зовнішні умови експлуатації (режими навантаження та швидкості, дорожні, транспортні й кліматичні фактори), а також технологічні та експлуатаційні особливості (якість матеріалів, рівень складання, виготовлення, обслуговування та ремонту). Це підтверджує, що існуючі методики не враховують значну кількість чинників, які впливають на витрати та формування потреби в запасних частинах для автотранспортної техніки.

Підвищення точності та обґрунтованості розрахунків потреби у запасних частинах має ключове значення, адже воно зумовлює необхідність удосконалення методів прогнозування та нормування їх витрат. Саме тому дана робота є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2024 р. № 1550 «Про схвалення оновленої Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025–2027 роках», а також у контексті розробки нової Стратегії підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні, впровадження якої заплановано з 2026 року. Дослідження є складовою частиною основної наукової тематики кафедри АТМ ВНТУ.

Мета і завдання дослідження. Основною метою дослідження є підвищення результативності використання автомобільного транспорту через удосконалення підходів до визначення потреби у запасних частинах.

Для досягнення цієї мети передбачається виконання таких завдань:

- проаналізувати зміну потреби в запасних частинах для автотранспортних засобів залежно від конструктивних особливостей та умов експлуатації;
- здійснити теоретичне обґрунтування методичних підходів до кількісного оцінювання зміни номенклатури та обсягів запасних частин з урахуванням транспортної роботи та технічного стану конкретного автомобіля;
- розробити методiku прогнозування потреби в запасних частинах, яка враховує індивідуальні умови експлуатації, технічний стан, ступінь зносу та транспортну роботу окремого транспортного засобу.

Об'єкт дослідження – процес забезпечення надійності окремих вузлів та агрегатів автотранспортних засобів у різних умовах їх експлуатації.

Предмет дослідження – методи прогнозування потреби в запасних частинах для автотранспортних засобів з урахуванням умов експлуатації та технічного стану.

Методи досліджень. Дослідження ґрунтується на застосуванні методів системного аналізу, математичного моделювання та статистичного опрацювання даних. Використання системного аналізу забезпечує комплексний підхід до вивчення процесів експлуатації автотранспортних засобів, дозволяючи враховувати взаємозв'язки між технічними, організаційними та зовнішніми факторами. Математичне моделювання використовується для формалізації залежностей та побудови прогнозних моделей, що відображають зміну потреби в запасних частинах залежно від умов експлуатації та технічного стану автомобіля. Методи статистики забезпечують обробку емпіричних даних, виявлення закономірностей та оцінку достовірності отриманих результатів, що підвищує точність і обґрунтованість висновків.

Наукова новизна одержаних результатів.

Удосконалено методи оцінювання потреби в запасних частинах на основі аналізу витрат палива та технічного стану автомобіля. Це дозволяє точніше визначати реальну потребу, мінімізувати надлишковий попит і підвищити ефективність експлуатації автотранспорту.

Практична значимість отриманих результатів.

Розроблено методику нормування та прогнозування потреби в запасних частинах, яка враховує дорожні, транспортні та кліматичні умови, культуру експлуатації й індивідуальні особливості автомобіля. Запропоновані методи забезпечують ефективніше використання ресурсу транспортних засобів та сприяють отриманню вагомого економічного ефекту при їх експлуатації та ремонті.

Достовірність результатів магістерської роботи підтверджується строгістю постановки наукових задач, коректним застосуванням математичних методів, чітким визначенням аналітичних співвідношень, а також узгодженістю отриманих результатів із відомими даними та збіжністю експериментальних досліджень із результатами моделювання.

Апробація результатів роботи. Результати роботи доповідались та обговорювались на LV науково-технічній конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету.

Публікації. Окремі положення та результати виконаних досліджень пройшли апробацію та опубліковані в матеріалах наукової конференції [1].



РОЗДІЛ 1.

ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБОК З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛІВ ВІННИЦЬКОЇ ДИРЕКЦІЇ АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА «УКРПОШТА»

1.1 Теоретико-методичні підходи до оцінювання якості роботи автомобільного парку автотранспортних підприємств

Завдяки мобільності, універсальності та гнучкості автомобільний транспорт виступає основним елементом транспортної інфраструктури України, забезпечуючи інтеграцію всіх видів перевезень у спільну мережу. Його роль полягає у сприянні розвитку виробничих можливостей суспільства та задоволенні транспортних потреб держави і громадян щодо перевезення вантажів і пасажирів. Ефективність та якість послуг автомобільного транспорту безпосередньо впливають на собівартість продукції, рівень продуктивності праці та конкурентоспроможність більшості галузей національної економіки.

Основна функція автомобільного транспорту полягає у всебічному, своєчасному та якісному задоволенні потреб у перевезеннях через застосування відповідних технологічних, економічних, інформаційних, правових та ресурсних механізмів (рис. 1.1) [2–4].

Оцінювання якості виробничих процесів здійснюється за допомогою кількісних та експертних методів [5]. Кількісні методи вважаються більш достовірними; до них належать:

- диференціальний метод – порівняння окремих показників із базовими значеннями;
- комплексний метод – застосування узагальнених індикаторів для оцінки множини одиничних параметрів;
- змішаний метод – синтез елементів диференціального та комплексного підходів.

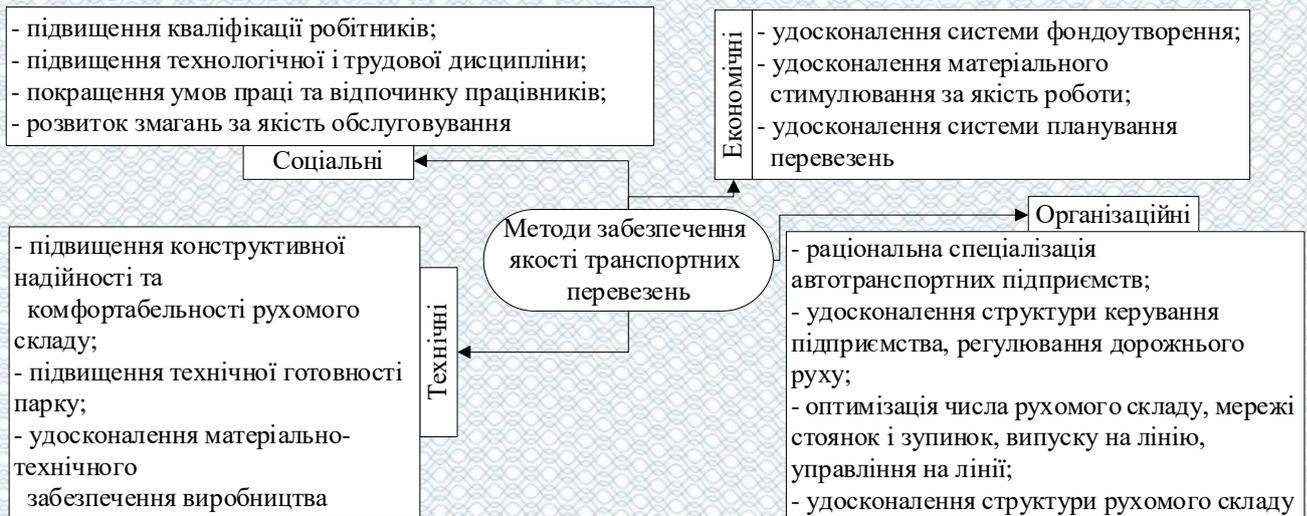


Рисунок 1.1 – Методи забезпечення якості транспортних перевезень

Одним із прямих способів впливу на якість продукції є управління витратами, що здійснюються для забезпечення відповідного рівня якості.

До значущих елементів системи забезпечення ефективності та якості роботи автомобілів належать:

- компонент стандартів (еталонна система показників);
- компонент аналізу та оцінки діяльності.

Взаємозв'язки між зазначеними компонентами та понятійний апарат системи забезпечення якості узагальнено у схемі (рис. 1.2).

Отже, система забезпечення якості функціонування автомобільного парку АТП передбачає наявність двох ключових елементів [2, 3, 6]:

- компонент аналізу та оцінки діяльності,
- компонент стандартів (еталонної системи показників).

Для більш детального аналізу процесу забезпечення якості роботи АТП слід розглядати його як сукупність кількісних показників, що характеризують рівень функціонування системи. До основних показників належать:

- ефективність – співвідношення між фактично досягнутим результатом та очікуваним результатом за умов ідеального функціонування;

- економічність – відношення фактичних витрат до нормативної вартості відповідних процесів;
- адекватність – відповідність між фактичним виконанням функцій і реальними потребами.

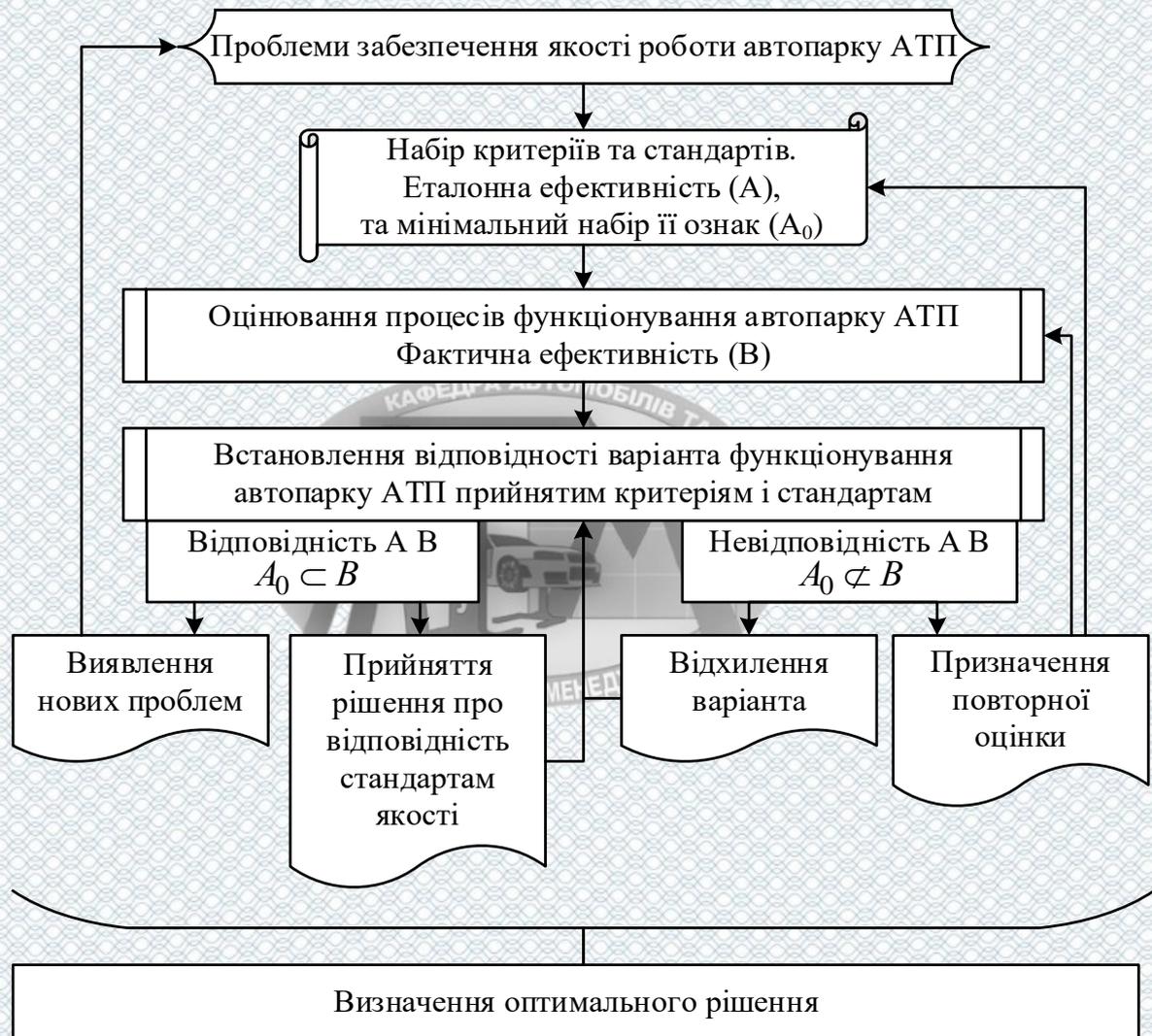


Рисунок 1.2 – Система забезпечення якості транспортних перевезень

Критерій «адекватність» включає декілька складових:

- науково-технічний рівень – ступінь використання сучасних знань, технологій та інновацій у процесах забезпечення роботи АТП;
- своєчасність – відповідність між моментом надання послуги та моментом виникнення потреби в ній, порівняно з ідеальним часовим сценарієм;

- достатність – обсяг охоплення функціональних аспектів діяльності АТП, необхідний для забезпечення якісної та ефективної роботи автотранспортної системи.

Кожну властивість функціонування АТП можна оцінити за допомогою відповідного показника якості, який може бути виражений в абсолютних або відносних одиницях. Одиничні показники, що характеризують окремі властивості, доцільно визначати не за фактичними абсолютними значеннями чи різницею між еталонним і фактичним рівнем, а у вигляді відносних величин. Такі величини розраховуються за відповідними аналітичними формулами, що дозволяє забезпечити об'єктивність оцінювання та порівнянність результатів у різних умовах експлуатації.

$$Q_i = \frac{Q_i^f}{Q_i^b} \text{ або } Q_i = \frac{Q_i^b}{Q_i^f}, \quad (1.1)$$

де Q_i – індикатор якості, що відображає окрему i -у властивість;

Q_i^b , Q_i^f – еталонне та реальне значення показника i -ї властивості роботи автопарку АТП.

Аналіз якості може здійснюватися як за окремими властивостями, так і за їх групами чи в цілому. Показник якості, що характеризує k -у групу властивостей, доцільно визначати за формулою

$$QG_k = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \alpha_i \cdot Q_i}, \quad (1.2)$$

де Q_i – показник якості, що характеризує i -у властивість, що включена в k -у групу властивостей;

α_i – вага i -ї властивості в показнику якості, що характеризує k -у групу властивостей;

n – число властивостей в k -й групі.

Загальний інтегральний показник якості роботи автопарку визначається аналогічно до показників окремих груп властивостей:

$$QP = \sqrt[m]{\prod_{k=1}^m \beta_k \cdot QG_k}, \quad (1.3)$$

де QG_k – індикатор якості для k -ї групи властивостей системи забезпечення АТП запасними частинами;

β_k – частка впливу показника якості k -ї групи на узагальнену оцінку функціонування;

m – кількість груп параметрів, за якими формується узагальнена оцінка якості матеріально-технічного забезпечення автопарку.

Згідно з принципами системного аналізу [2], ухвалення рішень передбачає вибір найбільш доцільної альтернативи серед множини можливих способів досягнення мети. Основна мета полягає у вдосконаленні системи відповідно до визначеного критерію.

У реальних складних системах часто існує кілька цілей, які нерідко мають суперечливий характер. Розробка системи забезпечення якості експлуатації автомобільного парку АТП не може бути обмежена єдиною метою чи жорсткою ієрархією цілей. У таких умовах доцільно застосовувати «м'яку» модель, що орієнтована на досягнення компромісу. Такий підхід спрямований на досягнення балансу між різними цілями та знаходження рішень, що у певній мірі задовольняють усі потреби.

Усвідомлення дефіциту інформації для здійснення лінійного розподілу рішень зумовлює появу компромісного підходу, який передбачає лише групове

структурування. Водночас його реалізація може супроводжуватися певними труднощами: особа, яка приймає рішення, не завжди здатна об'єктивно оцінити рівень якості напрацьованого варіанта, а отже не завжди обирає оптимальне рішення із загальної множини можливих. Вибір найкращої альтернативи можливий лише за умови застосування коректної моделі та адекватного алгоритму вибору.

Формулювання завдання з аналізу якості функціонування автопарку: Нехай задано множину можливих варіантів виконання певної функції автомобільного парку автотранспортного підприємства (АТП) X :

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}. \quad (1.4)$$

Для кожного варіанта встановлюється набір показників, які відображають його якісні характеристики Y :

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_m\}. \quad (1.5)$$

Нечітке відношення між кожним елементом множини X та кожним елементом множини Y , позначається як x_i чи μ_{ij} . Дане співвідношення μ_{ij} характеризує ступінь відповідності i -го варіанта функціонування автопарку встановленим вимогам за j -м параметром ($\mu_{ij} \in [0,1]; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$). При врахуванні всіх нечітких відношень x_i та y_j утворюється матриця R , яка має розмірність nm : $R = \{\mu_{ij} \mid i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m\}$.

Задача полягає у визначенні оптимального варіанта x^* із множини X .

Задачу визначення рівня якості варіанту роботи автомобільного парку АТП можна формалізувати у вигляді:

$$x^* = opt(X, Y, R, M), \quad (1.6)$$

де M – обрана модель вирішення задачі, яка залежить від рішень відповідального суб'єкта.

Слід зазначити, що залежно від обраної моделі M , результати розв'язання задачі (1.6) можуть відрізнятися навіть за однакових вихідних даних. Це пояснюється тим, що різні моделі використовують різні алгоритми агрегування та інтерпретації параметрів, а отже формують різні підходи до визначення оптимального варіанта.

1.2 Методологічні підходи до управління надійністю автотранспортних засобів у процесі експлуатації

Надійність автотранспортних засобів (АТЗ) є одним із ключових чинників, що визначають ефективність функціонування транспортних організацій та рівень безпеки дорожнього руху (БДР) [10]. В умовах інтенсивної експлуатації автомобільного парку питання підтримання високого рівня технічної готовності набуває особливої актуальності, адже від цього залежить безперервність перевізного процесу, економічна стабільність підприємства та якість транспортних послуг [12].

Сучасні системи технічного обслуговування і ремонту, які застосовуються на автотранспортних підприємствах, не завжди відповідають зростаючим вимогам економічності, точності та індивідуалізації підходів до управління технічним станом рухомого складу. Недостатня увага до прогнозування відмов та оптимізації використання запасних частин призводить до збільшення простоїв, зростання витрат на ремонт і зниження рівня безпеки [13].

Таким чином, проблема надійності АТЗ виходить за межі суто технічної сфери й стає стратегічним завданням управління автопарком [14]. Вона

безпосередньо впливає на конкурентоспроможність транспортних підприємств, їх здатність забезпечувати стабільні перевезення та відповідати міжнародним стандартам безпеки. У цьому контексті актуальним є пошук і впровадження методологічних підходів, які дозволяють комплексно оцінювати та управляти надійністю автомобілів у процесі експлуатації, інтегруючи інформаційні системи, моделювання та сучасні логістичні принципи [15, 16].

Надійність АТЗ у науково-технічному контексті визначається як комплексна властивість, що характеризує здатність автомобіля, його вузлів та агрегатів виконувати задані функції протягом певного часу або пробігу без відмов, збереженням експлуатаційних параметрів у допустимих межах [17]. У транспортних системах надійність виступає інтегральним показником, який поєднує безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність та збереженість. Вона безпосередньо впливає на ефективність роботи автопарку, рівень БДР та економічні показники діяльності підприємства.

Управління надійністю передбачає системний підхід, що включає:

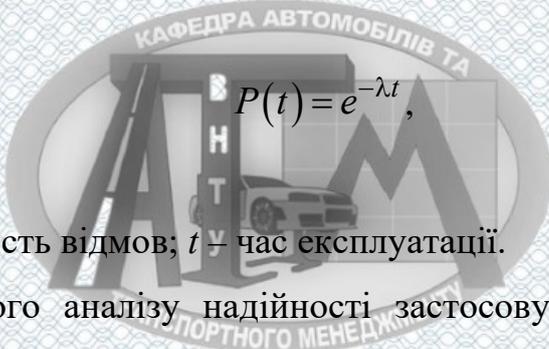
- моніторинг технічного стану транспортних засобів;
- прогнозування ресурсу вузлів та агрегатів;
- оптимізацію програм технічного обслуговування і ремонту;
- планування запасів запасних частин для забезпечення безперебійності експлуатації.

Для забезпечення високого рівня надійності АТЗ застосовуються міжнародні та національні стандарти, які формують методологічну основу управління:

- ISO 9001 (Системи управління якістю) – визначає вимоги до процесів управління якістю, включаючи документування процедур технічного обслуговування, контроль відповідності та постійне вдосконалення.
- ISO 39001 (Системи управління безпекою дорожнього руху) – встановлює вимоги до організацій, що впливають на БДР, зокрема через управління технічним станом АТЗ, зниження ризику аварійності та підвищення рівня безпеки перевезень.

– ДСТУ (державні стандарти України) – адаптують міжнародні вимоги до національних умов, регламентують порядок проведення технічного обслуговування, ремонту та оцінювання надійності автопарку.

Одним із базових напрямів управління надійністю є використання статистичних моделей, що дозволяють прогнозувати ймовірність відмов вузлів та агрегатів [19]. До них належать регресійні моделі, які встановлюють залежність між технічним станом і напрацюванням, а також методи теорії ймовірностей, що описують інтенсивність відмов та середній час безвідмовної роботи. Наприклад, ймовірність безвідмовної роботи може бути виражена формулою



$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (1.7)$$

де λ – інтенсивність відмов; t – час експлуатації.

Для комплексного аналізу надійності застосовуються методи управління ризиками [2, 5]:

- FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) – ідентифікація можливих відмов та їх наслідків, визначення критичних вузлів;
- Fault Tree Analysis (FTA) – побудова дерева відмов для аналізу причинно-наслідкових зв'язків;
- сценарний аналіз – моделювання різних умов експлуатації та прогнозування наслідків відмов.

Ці методи дозволяють не лише оцінити ймовірність відмов, а й визначити їх вплив на безпеку та економічну ефективність.

Для кількісного оцінювання надійності використовуються ключові показники ефективності (КРІ):

- коефіцієнт технічної готовності

$$K_{tg} = \frac{T_R}{T_R + T_{PR}}, \quad (1.8)$$

де T_R – сумарний час роботи транспортного засобу без відмов (період справної експлуатації); T_{PR} – сумарний час простою, пов’язаний із технічним обслуговуванням та ремонтами.

– середній час простою

$$T_{PR} = \frac{\sum t_{rem}}{N_{vid}}, \quad (1.9)$$

де $\sum t_{rem}$ – загальний час, витрачений на ремонт усіх відмов за певний період; N_{vid} – кількість відмов (несправностей), що сталися протягом періоду експлуатації.

– витрати на ремонт – інтегральний показник, що враховує вартість запасних частин, робіт та простоїв.

Ці КРІ дозволяють порівнювати різні стратегії технічного обслуговування та визначати оптимальні рішення.

Сучасні методологічні підходи неможливі без цифрових інструментів [16]:

- телематика – збір даних про технічний стан у реальному часі;
- IoT (Internet of Things) – інтеграція датчиків та систем моніторингу для прогнозування відмов;
- машинне навчання – побудова моделей прогнозування на основі великих масивів даних, що дозволяє переходити від реактивного до превентивного управління.

Для порівняння ефективності цих підходів було сформовано таблицю 1.1.

Впровадження методологічних підходів до управління надійністю автотранспортних засобів забезпечує суттєве зниження витрат на технічне

обслуговування та ремонт. Завдяки прогнозуванню відмов і оптимізації планування запасних частин скорочується кількість незапланованих простоїв, що безпосередньо впливає на продуктивність автопарку. Використання телематики та систем IoT дозволяє автоматизувати процеси діагностики, зменшити потребу у надлишкових запасах та оптимізувати використання персоналу. У результаті підприємство отримує економію коштів, підвищує рентабельність перевізних процесів і забезпечує стабільність логістичних операцій.

Таблиця 1.1 – Порівняння методологічних підходів до управління надійністю АТЗ

Підхід	Переваги	Недоліки	Приклади застосування
Статистичні моделі	Простота, математична обґрунтованість	Не враховують зовнішні фактори	Прогноз відмов за пробігом
Ризик-орієнтовані методи	Врахування наслідків, системність	Висока трудомісткість	FMEA, Fault Tree Analysis
КРІ-системи	Кількісна оцінка ефективності	Потребують якісних даних	Оцінка готовності автопарку
Цифрові технології	Висока точність, автоматизація	Висока вартість впровадження	Телематика, IoT, ML-моделі

Системне управління надійністю (рис. 1.3) сприяє зменшенню кількості технічних відмов у процесі експлуатації, що безпосередньо впливає на безпеку дорожнього руху [20]. Використання ризик-орієнтованих методів (FMEA, Fault Tree Analysis) дозволяє ідентифікувати критичні вузли та запобігати аварійним ситуаціям. Прогнозування технічного стану забезпечує своєчасне проведення

профілактичних робіт, що підвищує якість транспортних послуг і рівень довіри клієнтів. Таким чином, підприємство отримує конкурентні переваги завдяки стабільності перевезень, зниженню ризиків та відповідності міжнародним стандартам безпеки.

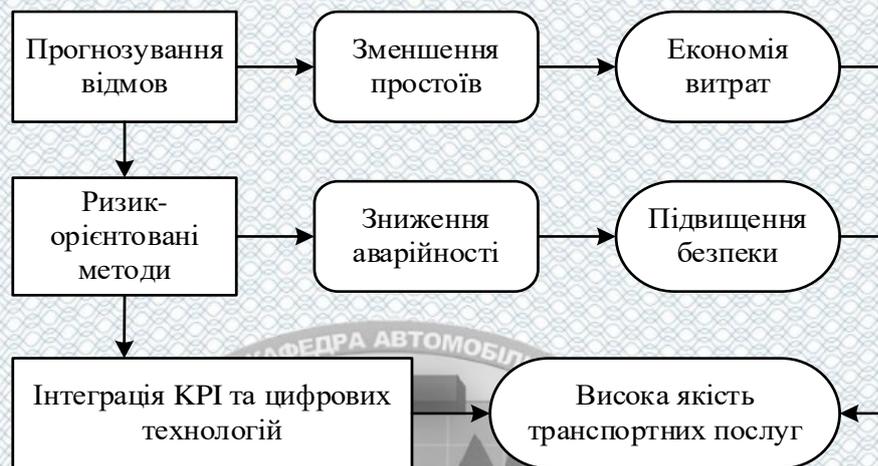


Рисунок 1.3 – Узагальнена схема ефектів

Таким чином, результати впровадження нових методологічних підходів до управління надійністю автотранспортних засобів формують основу системного управління технічним станом автопарку. Вони дозволяють інтегрувати інформаційні бази, моделі прогнозування та розрахунково-технологічні інструменти в єдину систему, що забезпечує комплексний контроль і оптимізацію процесів технічного обслуговування та ремонту. Завдяки цьому підприємства отримують можливість не лише зменшувати витрати та скорочувати простої, але й підвищувати рівень безпеки дорожнього руху та якість транспортних послуг. Методологічні підходи виступають ключовим елементом у переході від реактивного до превентивного управління, що відповідає сучасним вимогам логістики та міжнародним стандартам ISO/ДСТУ.

Подальший розвиток системи управління надійністю автотранспортних засобів передбачає:

- цифровізацію процесів – впровадження телематики, IoT та машинного навчання для автоматизованого моніторингу технічного стану.
- інтеграцію з ERP-системами – узгодження управління технічним станом із фінансовими, логістичними та кадровими модулями підприємства.
- використання Big Data – аналіз великих масивів експлуатаційних даних для побудови адаптивних моделей прогнозування та оптимізації стратегій технічного обслуговування.
- розвиток адаптаційних методів прогнозування – створення моделей, здатних враховувати змінні зовнішні умови та взаємозалежності між агрегатами.

1.3 Методи розрахунку потреби в запасних частинах

Вихідним та ключовим етапом у вирішенні задачі забезпечення запасними частинами є планування їх потреби. У цьому контексті розглянемо існуючі методи визначення потреби, які можна згрупувати за підходами, що базуються на таких розрахункових залежностях [2, 11–14]:

- використання середніх значень ресурсу вузлів та агрегатів;
- застосування асимптотичних формул процесів відновлення;
- аналіз характеристик потоку відмов;
- використання ймовірнісного критерію;
- економіко-математичний підхід;
- врахування фактичних витрат запасних частин за попередній період експлуатації;
- оцінка швидкості зношування сполучень.

Найбільш поширеним підходом до визначення потреби в запасних частинах є методи, що базуються на використанні середніх значень ресурсу деталей, вузлів та агрегатів транспортних засобів. Основою цього методу слугує відповідна розрахункова формула

$$N = \frac{(L_{cn} - R_n) \cdot 100 \cdot n}{R_{зч} \cdot T_{cn}}, \quad (1.10)$$

де N - нормативний рівень споживання запасних частин у річному вимірі для 100 автомобілів, од;

L_{cn} - річний показник експлуатаційного ресурсу автомобіля до моменту його утилізації, тис. км.;

$R_{зч}$ - річний пробіг елемента автомобіля до моменту його заміни, км;

T_{cn} - час експлуатації автомобіля до завершення його життєвого циклу, років;

R_n - показник витривалості деталі чи агрегату до початкової заміни, тис. км;

n - нормативна чисельність елементів певного найменування, що входять до складу одного автомобіля, од.

Суттєвим недоліком наведеного підходу є неможливість оперативного врахування змін у витратах запасних частин для автопарку, що виникають унаслідок різних умов експлуатації, які визначають швидкість зношування деталей, вузлів та агрегатів. Крім того, у розрахунках використовується середній по країні ресурс деталей, що не відображає реальної ситуації для конкретного підприємства. При визначенні норм передбачається, що кількість замін є сталою в часі та не змінюється зі збільшенням строку служби. Це твердження суперечить емпіричним спостереженням. Проведені дослідження [26] засвідчили, що фактична потреба в запасних частинах змінюється залежно від пробігу автомобіля з початку експлуатації та від конкретних умов його використання.

З метою уточнення розрахунків у формулу (1.10) були введені поправочні коефіцієнти, що враховують специфіку умов експлуатації, та запропоновано таку узагальнену залежність [26]

$$N_{\phi} = N \cdot K_{\Gamma} \cdot \frac{L_{cn} \cdot K_{ам} - R_{зч} \cdot K_p}{(L_{cn} - R_n) \cdot K_p \cdot K_{ам}}, \quad (1.11)$$

де N_ϕ - фактичний обсяг споживання запасних частин у річному вимірі на 100 транспортних засобів, од;

K_Γ - коефіцієнт корекції, який залежить від середнього річного пробігу транспортного засобу;

$K_{ам}$ - фактор корекції, який базується на сумарному пробігу автомобіля за весь час використання;

K_p - поправочний параметр, що відображає тривалість роботи деталей у конкретних експлуатаційних умовах.

Коефіцієнт K_p визначається так

$$K_p = K_\delta \cdot K_{np} \cdot K_{ед} \cdot K_p \cdot K_{кэ}, \quad (1.12)$$

де K_δ , K_{np} , $K_{ед}$, K_p , $K_{кэ}$ - коефіцієнти корегування, які враховують:

- стан та тип дорожніх умов, що впливають на інтенсивність зношування;
- ступінь використання автомобілів як тягачів, що визначає додаткові навантаження на агрегати;
- структурне співвідношення між новими автомобілями та тими, що пройшли капітальний ремонт, яке впливає на середній ресурс парку;
- збільшення довговічності автомобілів завдяки конструктивним удосконаленням чи модернізації;
- рівень культури експлуатації автопарку, що відображає якість технічного обслуговування та дотримання регламентів;
- природно-кліматичні умови, які визначають швидкість старіння та зношування деталей.

Застосування коефіцієнта K_p є коректним лише у випадку рівності міжремонтного пробігу автомобіля та ресурсу його деталей. Проте для більшості елементів напрацювання до відмови значно менше за міжремонтний пробіг, що знижує точність такого підходу. Додатково прийняті спрощення обмежують

ефективність використання методики для оперативного визначення потреби в запасних частинах.

У низці досліджень [11] рекомендують застосування інтегрального рівняння загального процесу відновлення для розрахунку кількості запасних частин, беручи до уваги зміни інтенсивності відмов та замін у часі

$$H(t) = F(t) + \int_{\tau}^t H(t-\tau) \cdot q(\tau) d\tau, \quad (1.13)$$

де $H(t)$ – функція загального процесу відновлення за період t ;

$F(t)$ – функція розподілу ресурсу початкового елемента;

$q(\tau)$ – щільність функції розподілу ресурсу запасного елемента.

Розв'язання наведеного інтегрального рівняння ускладнене через необхідність отримання апріорної інформації щодо експлуатаційної надійності деталей та вузлів. Така інформація не завжди доступна або може бути неповною, що знижує практичну застосовність моделі. У зв'язку з цим у ряді робіт [11, 27] запропоновано використовувати спрощені моделі, побудовані на основі асимптотичних формул теорії відновлення. Ці моделі дозволяють враховувати загальні закономірності процесів відмов і відновлення без потреби у повному масиві статистичних даних, забезпечуючи прийнятний рівень точності при плануванні потреби в запасних частинах.

Асимптотичні моделі процесів відновлення, створені для радіоелектронної техніки, ґрунтуються на стаціонарних потоках замін, що описуються законом Пуассона. Проте вони не відображають реалій старіння механічних систем, де стаціонарність процесу відновлення настає лише після багаторазових замін, що обмежує їх застосування для автомобілів. Натомість використання параметрів потоку відмов дозволяє більш гнучко прогнозувати витрати запасних частин на певних інтервалах пробігу. У працях [28, 29] цей підхід реалізовано через нормування витрат за пуассонівським розподілом відмов

$$P_m(L) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(\lambda \cdot L)^m}{m!} \cdot e^{-\lambda L}, \quad (1.14)$$

де $P_m(L)$ - ймовірність того, що на пробігу L відбудеться рівно m заміन деталей;

λ - параметр інтенсивності відмов, 1/км.

У роботі [28] доведено, що моделі потоку відмов зі змінним параметром враховують груповий ефект: потреба в запасних частинах залежить від групи автомобілів, де можливе їх взаємне використання. Таким чином, створюється об'єднаний резерв, і кількість відмов у групі не перевищує загальний фонд запасних частин, визначений рівнянням

$$P\{v(t) \leq n\} = \sum_{s=0}^n \frac{[H(t)]^s}{s!} \cdot e^{-H(t)}, \quad (1.15)$$

де $v(t)$ - кількість відмов певної деталі в групі автомобілів при напрацюванні t ;

n - потреба в запасних частинах для групи автомобілів, од;

$H(t)$ - узагальнене середнє значення відмов автомобілів у групі;

s - показник відмов деталі за певний проміжок роботи.

Подібна залежність була наведена у [29], де витрати пропонується визначати за допомогою формули Муавра–Лапласа, виходячи з відомої ймовірності відмови деталей та припущення про нормальний чи експоненціальний закон розподілу. Водночас слід зазначити, що фактичний розподіл витрат запасних частин може підпорядковуватися й іншим законам, зокрема Вейбулла–Гнеденка або Пуассона. Крім того, хоча припущення про відомість ймовірності P є теоретично коректним, її практичне визначення викликає значні труднощі. Ще одним недоліком є те, що в запропонованих методиках умови експлуатації не

враховуються безпосередньо. Загалом ці дослідження становлять методологічну цінність, а запропонований підхід використовується для аналізу надійності автомобільної техніки.

Важливим є підхід, запропонований проф. Н.Я. Говорущенком та В.В. Барановим, який дозволяє прогнозувати потребу в запасних частинах з урахуванням умов експлуатації та проведення технічного обслуговування автомобілів. Методика базується на припущенні, що в сталому режимі роботи транспортних засобів потік відмов підпорядковується експоненціальному закону розподілу. Відповідна залежність має наступний вигляд

$$P_{зч} = N \cdot \lambda \cdot l \cdot K_j \cdot \sqrt{N_0 \cdot \lambda \cdot l}, \quad (1.16)$$

де K_j – гамма-квантиль стандартного нормального розподілу;

N_0 – кількість транспортних засобів (ТЗ);

λ – рівень інтенсивності відмов, 1/км;

l – експлуатаційний пробіг автомобіля, тис. км.

Запропонована методика має безперечну наукову цінність. Водночас результати її застосування, орієнтовані на окремий автомобіль, не можуть бути безпосередньо використані для визначення загальної потреби в запасних частинах. Головна причина полягає у тому, що в розрахунках не враховується вплив низки ключових експлуатаційних чинників – зокрема навантажувального та швидкісного режимів роботи, інтенсивності використання транспортних засобів тощо.

У роботі [31] зроблено спробу розширити розрахункову формулу потреби, включивши до неї, крім параметрів технічного стану ТЗ, також дорожні та кліматичні експлуатаційні умови. Очікуваний середній рівень споживання запасних частин певного найменування пропонується розраховувати відповідно до такої залежності

$$Z_{cp} = K_n \cdot K_v \cdot K_z \cdot \lambda_{\max} \cdot \sum l, \quad (1.17)$$

де K_n , K_v , K_z - коефіцієнти, які враховують дорожні та кліматичні умови експлуатації, а також рівень забезпеченості запасними частинами;

λ - рівень інтенсивності відмов;

l - середній експлуатаційний пробіг всіх ТЗ, тис. км.

Методичний підхід до оцінки потреби в запасних частинах із використанням показників відмов відображає реальні умови експлуатації, проте його обмеження полягають у спрощеній класифікації дорожніх покриттів та врахуванні лише технічного стану автомобіля, тоді як витрати ЗЧ залежать також від абразивності середовища, режимів роботи й інтенсивності використання; крім того, вона потребує тривалих випробувань, що ускладнює застосування на етапах проектування та введення нових моделей.

На сьогодні існує значна кількість досліджень [8, 29, 32], у яких розрахункові залежності ґрунтуються на положеннях теорії масового обслуговування. У таких підходах критерієм застосовності виступає теоретико-імовірнісний метод визначення потреби в запасних частинах, що й забезпечує їхню привабливість для формалізації процесів споживання ЗЧ. Зокрема, у роботі [32] очікувану кількість замін, тобто необхідний обсяг запасних частин Δ , запропоновано визначати за такою формулою

$$\Delta = N' \cdot \pi \cdot \sum_{x=1}^h P_x \cdot h, \quad (1.18)$$

де N' - кількість ТЗ;

π - експлуатаційний пробіг, тис. км;

P_x - - Експериментальна оцінка ймовірності відмови деталі у x -му інтервалі експлуатації;

h - число інтервалів експлуатації.

Слід зазначити, що запропонована процедура оцінки оптимального запасу запасних частин, подібно до підходу [33], застосовується для випадків, коли потреба формується в системах із послідовною структурою надійності та незалежними елементами, час безвідмовної роботи яких описується експоненціальним законом. Будь-яке відхилення від цих умов істотно ускладнює розрахунки.

Проф. Е.С. Кузнецов, аналізуючи методики, що базуються виключно на ймовірнісних оцінках без врахування економічних наслідків (на відміну від підходу [34]), підкреслює, що отримане середнє значення потреби в запасних частинах виявляється нижчим за оптимальний рівень. Це забезпечує певний прибуток, проте він є меншим, ніж у випадку застосування оптимальної стратегії, яка враховує економічний критерій.

Імовірнісні методи розрахунку, наведені в роботі [29], також не враховують економічного критерію. У цьому випадку кількість можливих відмов $P(x)$, заміन або потреба в запасних частинах визначається шляхом підсумовування відповідних ймовірностей відмов $F(x)$. Узагальнено цей підхід можна записати так

$$\Omega(x) = \sum_{k=1}^{\infty} F_k(x) = \sum_{k=1}^{\infty} \Phi\left(\frac{x - k \cdot \eta \cdot \bar{x}_t}{\sigma \cdot k}\right), \quad (1.19)$$

де $\Phi(x)$ - нормована функція для $z = \frac{x - k \cdot \eta \cdot \bar{x}_t}{\sigma \cdot \sqrt{k}}$;

x - пробіг ТЗ, тис. км;

\bar{x}_t - усереднене значення ресурсу до першої відмови, тис. км;

k - обсяг зафіксованих відмов і проведених замін;

η - коефіцієнт ефективності відновлення ресурсу елемента;

σ - показник розсіювання пробігу відносно середнього, тис. км.

Таким чином, використання параметра потоку відмов дозволяє визначати витрати деталей за будь-який період та планувати роботу системи постачання. Водночас, як зазначає автор [35], імовірнісні методи нині мають обмежене застосування, оскільки їх реалізація потребує значної попередньої роботи з аналізу відмов і несправностей автомобілів, що виникають унаслідок зношування чи поломки численних деталей.

Методи економіко-математичного моделювання, що базуються на кореляційно-регресійному аналізі, набули широкого застосування у прогнозуванні потреби в запасних частинах. Так, у роботі [36] за допомогою множинної кореляції встановлено залежність між витратами ЗЧ на один автомобіль та такими факторами, як пробіг з початку експлуатації й кількість машин у парку на різних етапах життєвого циклу (до та після капітального ремонту). У дослідженні [37] витрати ЗЧ пов'язуються з трудомісткістю технічного обслуговування, а в роботі [11] – із витратою палива, що розглядається як показник, пов'язаний із витратами запасних частин. Методика передбачає додатковий облік таких чинників, як пробіг автомобілів, рівень організації технічного обслуговування та ремонту на підприємстві, середня періодичність сервісних робіт і професійна компетентність водіїв.

До спільних недоліків розглянутих праць належить неврахування ключових експлуатаційних характеристик, таких як навантажувальний та швидкісний режими, інтенсивність застосування автомобілів та зовнішні умови. Водночас економіко-математичні методи, побудовані на кореляційно-регресійному аналізі, у ряді випадків дають прийнятні результати, хоча практика їх застосування в розвинених країнах показує, що складні моделі не завжди забезпечують достатню ефективність. Тому доцільним є їх використання на рівні автотранспортних підприємств. Сучасна практика прогнозування поряд із нормативними методами, що спираються на середньостатистичні дані про ресурс деталей, активно використовує підходи, які враховують фактичні витрати

запасних частин у попередні періоди експлуатації та коригування цих даних відповідно до складських запасів і змін у складі автопарку.

Норма витрати запасних частин, визначена на основі даних спостережень щодо кількості замін, розраховується за наступним співвідношенням

$$N = 100 \cdot \left(\bar{P} + t_{\beta} \cdot \frac{\sqrt{\bar{D}}}{\sqrt{\Pi^{\theta}}} \right), \quad (1.20)$$

де Π^{θ} - загальна кількість обслуговуваних автомобілів;

$\bar{P} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^{n^0} P_j$ - середнє значення замін елементів на один автомобіль, виявлене

за даними експлуатації та ремонтних робіт;

t_{β} - значення функції розподілу Стюдента, яке визначає межу одностороннього довірчого інтервалу;

P_j - показник замін елементів, зафіксованих на автомобілі з індексом j ;

$\sqrt{\bar{D}}$ - оцінка стандартного відхилення без систематичної похибки.

Практика показує, що отримати й зберегти статистику витрат запасних частин за весь період амортизації автомобіля вкрай складно, а витрати минулих років не завжди відповідають майбутнім. Це пояснюється, зокрема, тим, що моральне старіння автомобільної техніки становить 6–8 років, а фізичне — 8–10 років, тоді як дані перших років експлуатації нових моделей не можна брати до уваги через мінімальну потребу в запасних частинах. У результаті протягом перших 4–6 років використання нових автомобілів спостерігається дефіцит одних деталей і надлишок інших. Крім того, при визначенні норм витрат ЗЧ не враховуються причини та характер відмов, а застосовується середня величина, яка покриває лише частину реальної потреби.

Зазначені обставини свідчать про недосконалість існуючих методів визначення потреби в запасних частинах. Попри це, вони мають певну

методичну цінність, хоча й характеризуються наближеністю результатів та значною трудомісткістю збору вихідних даних. Сучасним перспективним напрямом є розробка методів, у яких розрахункові залежності базуються на закономірностях відхилення та модифікації технічного стану автомобіля й його агрегатів у ході роботи [8, 9, 11]. У роботі [33] запропоновано оцінювати необхідний обсяг запасних частин, заміна яких зумовлена їхнім зношуванням, виходячи з даних про інтенсивність цього процесу за рівнянням

$$m(L) = \frac{L \cdot P_c(k)}{\delta \cdot P_1(k)} \cdot \left\{ 1 + x_\alpha \sqrt{\frac{P_2(k)}{P_1(k)} - \frac{P_1(k)}{P_2(k)}} \right\}, \quad (1.21)$$

де $m(L)$ - показник споживання запасних частин у перерахунку на пробіг L ;

δ - накопичення зносу елементів до критичного рівня;

k - рівень інтенсивності зносу;

x_α - показник функції нормального розподілу;

$P_1(k), P_2(k), P_c(k)$ - інтегральні характеристики інтенсивності деградації.

Автор роботи [29] запропонував модель математичного прогнозування витрат запасних частин для зубчастих коліс, яка базується на фізичних закономірностях відмов та враховує інформативні параметри, що характеризують вплив конструктивних, технологічних і експлуатаційних факторів

$$N = L_{кр} q \gamma \sum_{i=1}^a \beta_i \cdot \sum_{\kappa=1}^m \alpha_{\kappa i} / \bar{L}_{\kappa i} - 1, \quad (1.22)$$

де q - коефіцієнт використання вантажопідйомності;

γ - коефіцієнт використання пробігу;

β_i – локальний параметр пробігу в i -их умовах; ($\sum_{i=1}^a \beta_i = 1$, де a – кількість сценаріїв дорожніх умов);

α_{ki} – локальний параметр пробігу на k -й передачі в i -х умовах ($\sum_{k=1}^m \alpha_{ki} = 1$, де

m – число передачі);

\bar{L}_{ki} – середній термін експлуатації зубчатого колеса k -ї передачі в i -х умовах, км;

L_{kr} – встановлений ресурс пробігу до капітального ремонту, км.

Недоліком методу є складність визначення часткового коефіцієнта пробігу на окремих передачах у конкретних умовах експлуатації. Водночас його важливою перевагою є можливість більш достовірного прогнозування потреби в запасних частинах, особливо для деталей, що виходять з ладу поступово внаслідок зношування, адже в основу методики покладено фізичну закономірність процесу відмов. Такий підхід сприяє створенню моделей з високою точністю прогнозу. Разом із тим усі розглянуті методи мають спільний недолік — вони базуються на накопиченні та екстраполяції статистичних даних про ресурс чи витрати ЗЧ у конкретних умовах експлуатації та для певної конструкції. Зміна умов, конструкції або технології виготовлення потребує нових масштабних випробувань, що супроводжуються значними фінансовими й трудовими витратами.

1.4 Оцінювання роботи базового підприємства з метою пошуку шляхів удосконалення методів визначення потреби в запасних частинах

ПАТ «Укрпошта» є національним оператором поштового зв'язку України, що входить до сфери управління Міністерства інфраструктури України. Компанія є правонаступником УДППЗ «Укрпошта» та здійснює свою діяльність

відповідно до Закону України «Про поштовий зв'язок» від 4 жовтня 2001 року, інших законів України, а також нормативних актів Всесвітнього поштового союзу, членом якого Україна є з 1947 року.

Історія та статус:

- Укрпошта функціонує як самостійна господарська одиниця з 1994 року.
- У липні 1998 року було проведено реорганізацію згідно з Програмою реструктуризації, затвердженою постановою Кабінету Міністрів України від 04.01.1998 №1.

- З 1 березня 2017 року компанія офіційно діє у формі публічного акціонерного товариства (ПАТ «Укрпошта»).

- Станом на 2025 рік Укрпошта є найбільшою поштово-логістичною мережею країни, що охоплює понад 11 000 відділень у всіх населених пунктах України.

Сучасні послуги

- Укрпошта активно розвиває цифрові сервіси: онлайн-трекінг, мобільний застосунок, електронні платежі та передплату періодики.

- У 2025 році компанія розширює спектр банківських послуг, включаючи фінансові перекази та можливість відкриття рахунків у відділеннях.

- Тарифи на міжнародні відправлення оптимізовані: знижені для США та Великої Британії, стабільні для ключових країн ЄС.

Вінницька дирекція Укрпошти - єдина державна мережа поштового зв'язку, що охоплює всі населені пункти Вінницької області.

До складу дирекції входять:

- 6 Центрів поштового зв'язку
- Поштамт у місті Вінниця
- 6 районних центрів
- Основні виробничі підрозділи:
 - Цех оброблення пошти (ЦОП)
 - Центр перевезення пошти (ЦПП)

Парк транспортних засобів у 2025 році становить близько 150 автомобілів, які забезпечують перевезення поштових відправлень на внутрішньообласних та магістральних маршрутах.



Рисунок 1.4 – Вінницька дирекція Укрпошти (вул. Соборна, 59, 8 поверх)

Вінницька дирекція Укрпошти об'єднує 506 об'єктів поштового зв'язку, серед яких 85 міських, 336 сільських та 85 пересувних відділень. Її роботу забезпечує майже 4000 працівників, з яких понад 2000 листонош щодня доставляють поштові відправлення, періодику та пенсії жителям області. Завдяки злагодженій роботі колективу висококваліфікованих професіоналів дирекція сприяє покращенню умов життя населення, підвищенню рівня комфортності, інформованості та підтриманню соціальних і економічних зв'язків між людьми.

Автобаза Центру перевезення пошти Вінницької дирекції ПАТ «Укрпошта» забезпечує перевезення поштових відправлень у межах міста Вінниці, районів та всієї області (табл. 1.2). Крім основної діяльності, підприємство виконує також вантажно-пасажирські та вантажні перевезення.

Автомобілі Вінницької дирекції ПАТ «Укрпошта» складають частину загального автопарку компанії (табл. 1.3), який активно оновлюється та модернізується. У регіоні використовуються як старі моделі (марок УАЗ, ГАЗ),

так і нові фургони та вантажівки (рис. 1.5), закуплені для забезпечення мобільних поштових відділень і доставки кореспонденції.

Таблиця 1.2 – Характеристика основних маршрутів Вінницького ЦПП

Маршрут	Виїзд	Заїзд	Відстань, км
Бар – Попівці	6:25	18:30	286
Вінницькі Хутори – Сосонка	9:15	19:30	152
Вороновиця	9:15	14:45	117
Гайсин – Теплик – Завадівка	5:20	20:35	353
Іллінці – Василівка	6:10	18:30	244
Жмеринка – Шаргород – Голиченці	5:40	19:10	323
Калинівка – Козятин – Кордишівка	5:50	19:10	251
Крижопіль – Піщанка – Тульчин	5:50	20:00	377
Липовець – Погребище – Малинки	5:30	18:35	309
Літин – Хмільник (МВПЗ-2)	6:10	18:30	269
Лука-Мелешківська	9:10	19:15	101
Могилів-Подільський – МВПЗ-4	5:20	20:35	368
Немирів	6:05	17:50	225
Писарівка – Сосонка	9:15	19:30	150
Стрижавка	9:15	18:50	143
Тиврів	6:55	16:00	157
Томашпіль – Ямпіль – Ульянівка	5:55	19:15	368
Тульчин – Бершадь – Рогізна	5:20	20:35	421
Якушенці	9:15	14:55	126

Таблиця 1.3 – Еволюція автопарку Вінницької дирекції «Укрпошта»

Категорія авто	Приклади моделей	Період використання	Призначення	Стан
Старі моделі	УАЗ-3741, УАЗ-3909, ГАЗ-2705, ГАЗ-3302	1990–2000-ті	Доставка пошти, вантажів, обслуговування відділень	Поступово списуються, частина виставлена на продаж
Нові закупівлі	Ford Transit, Renault Master, Citroën Jumper, MAN TGL	2020–2025	Пересувні поштові відділення, швидка доставка	Активно експлуатуються
Спеціалізовані авто	Fiat Doblo Maxi, Citroën Berlingo	2021–2025	Мобільні поштові відділення для віддалених сіл	Використовуються для розширення доступності послуг

Категорія авто	Приклади моделей	Період використання	Призначення	Стан
	(версія Worker)			



Рисунок 1.5 – Нові фургони та вантажівки Вінницької дирекції Укрпошти

Модернізація автопарку підтримує роботу мобільних поштових відділень, що особливо важливо для віддалених громад. Введення сучасних фургонів зменшує витрати на утримання застарілих машин і підвищує ефективність логістики; транспорт попередніх поколінь поступово виводять із експлуатації відповідно до стратегії оптимізації «Укрпошти». На автотранспортному підприємстві Центру перевезення пошти Вінницької дирекції застосовується лінійно-штабна система: керівник спирається на штаб із функціональних одиниць (відділи, групи, окремі фахівці), кожна з яких відповідає за визначений напрям управління. Поєднання єдиного центру рішень із професійною експертизою забезпечує впорядкованість виробничих процесів, покращує якість

управлінських рішень, оптимізує взаємодію між підрозділами та підвищує загальний рівень керованості.

Оцінка діяльності ЦПП засвідчує пріоритети: оновлення структури парку, підтримання надійності та працездатності автомобілів, скорочення експлуатаційних витрат і вдосконалення організації руху на маршрутах. Паралельно розширюється перелік комерційних послуг зі зниженням їх собівартості. Центр надає перевезення як для власних потреб, так і зовнішнім клієнтам на договірній основі з попереднім погодженням у керівника; оплата здійснюється готівково або безготівково після виконання робіт. Серед замовників — Утел, Піонер, Конекс, Авицена, Вега, Регул, Винекс-Фарм, Актіко, Логос, Рута-фарм, Валді, Лекхім, які користуються послугами для транспортування специфічних вантажів (медикаменти, аудіо- та телетехніка, одяг, взуття тощо). Окрім перевезень, підприємство виконує технічне обслуговування, ремонт і зберігання вантажних автомобілів, що дозволяє комплексно закривати потреби клієнтів і ефективно використовувати власні ресурси.

Виробничо-технічна база ЦПП розташована у Вінниці на вул. Максимовича, 35, займає 2,5 га та включає бокси для ремонту й стоянки, ангар, котельню, електростанцію, мийку, авторемонтну майстерню, адміністративний корпус, АЗС, КТП і склад. Адміністративний корпус об'єднує диспетчерську й управлінські служби; склад призначений для зберігання запчастин, шин і акумуляторів; котельня забезпечує тепло та воду. Майстерня оснащена підйомниками, дільницями ремонту агрегатів і двигунів, зварювальними та токарними постами, а також має роздягальню та душові. Ангар дає змогу розміщувати автомобілі у два ряди з незалежним виїздом. Територія характеризується щільністю забудови 52%, коефіцієнтом озеленення 10%, асфальтованим покриттям і рівнинним рельєфом. Підприємство забезпечене водою, газом, електроенергією та матеріальними ресурсами; діяльність

регулярно контролюють податкові, санітарні та пожежні служби, що забезпечує стабільну роботу за умови дотримання вимог.

Організаційно-технічний рівень виробничо-технічної бази визначається відповідними показниками:

- 1) Ступінь фондового оснащення автопарку:

$$\Phi_o = \frac{\Phi_{o.v.} - \Phi_{т.з.}}{A_c}, \text{ т ис.грн / авт.} \quad (1.23)$$

де $\Phi_{o.v.}$ – вартість основних фондів, тис.грн.;

$\Phi_{т.з.}$ – вартість автомобілів;

A_c – спискова кількість автопарку.

$$\Phi_o = \frac{25205,4 - 13676,2}{150} = 76,9 \text{ тис.грн / авт.}$$

- 2) Параметр оснащеності ВТБ:

$$K_{TO} = \frac{\Phi_{o.v.}}{\Phi_{т.з.}}; \quad (1.24)$$

$$K_{TO} = 1,843;$$

- 3) Вартість виробничої бази, в основних фондах ($V_{ВТБ}$):

$$V_{ВТБ} = \frac{\Phi_{ВТБ}}{\Phi_{o.v.}} \cdot 100; \quad \% \quad (1.25)$$

де $\Phi_{ВТБ}$ – вартість ВТБ, тис.грн.;

$$B_{\text{ВТБ}} = \frac{11529,2}{25205,4} \cdot 100 = 45,74 \% ;$$

4) Фондоозброєність ремонтних робітників:

$$\Phi O = \frac{\Phi_{\text{ВТБ}}}{P_{\text{рр}}} , \text{ т ис.грн. / чол} \quad (1.26)$$

де $P_{\text{рр}}$ – чисельність основних і допоміжних ремонтних робітників;

$$\Phi O = \frac{11529,2}{15} = 768 \text{ тис.грн. / чол} ;$$

5) Механоозброєність праці на ТО і ПР автомобілів:

$$M O = \frac{\Phi_a}{P_{\text{рр}}} , \text{ т ис.грн. / чол} \quad (1.27)$$

де Φ_a – вартість активної частини $\Phi_{\text{о.в.}}$ ВТБ, тис.грн.;

$$M O = \frac{1742,57}{15} = 116 \text{ тис.грн. / чол.}$$

Аналіз виробничо-технічної бази показує, що зони та ділянки автотранспортного підприємства укомплектовані обладнанням на 65–85% від нормативу, при цьому близько 15% устаткування є фізично зношеним і морально застарілим та потребує оновлення. Рівень фондооснащеності становить 84% від нормативних значень, а частка ВТБ у структурі основних фондів складає 45,74% при нормативі 52–60%. Структура основних фондів підприємства така: будівлі

та споруди – 32,1%, транспортні засоби – 54,3%, інвентар та інструмент – 5,4%, машини й обладнання – 7,1%, невиробничі фонди – 1,1%.

Для підвищення ефективності роботи доцільно вдосконалити комплекс технічного обслуговування та ремонту: оновити устаткування, збільшити частку ВТБ у загальній вартості фондів, підвищити рівень механізації процесів ТО і ПР, модернізувати діючі засоби праці. Організація робіт здійснюється у денну зміну для зон ТО-2, ПР та складів; ТО-1 виконується у вечірню зміну або після повернення автомобіля з лінії; ЩО проводиться поточним методом після роботи автомобіля. Поточний ремонт здійснюється агрегатним методом із використанням обмінного фонду, а постові роботи виконуються на спеціалізованих постах (ремонт двигуна, електрообладнання, трансмісії, ходової та гальмівної систем).

Для забезпечення виробничих процесів створені допоміжні дільниці: агрегатна, двигуноремонтна, шиноремонтна, теплова, слюсарно-механічна, кузовна, акумуляторна, електротехнічна, малярна, оббивна, паливної апаратури та інструментальна. Вони виконують ремонтно-відновлювальні роботи агрегатів і механізмів автомобілів та роботи із самообслуговування.

Таким чином, підприємство має всі необхідні умови для подальшого проведення запланованих наукових досліджень у рамках МКР.

Висновки до розділу 1 та постановка завдань дослідження

Проведений аналіз показав, що чинні нормативні та методичні матеріали не враховують у повному обсязі ключові фактори, які визначають витрату запасних частин: режим і інтенсивність експлуатації автомобілів, технологію їх виготовлення та вплив зовнішнього середовища. Це призводить до значних розбіжностей між нормативною та фактичною потребою в запасних частинах.

Основні висновки:

- розрив між поточною потребою і нормативами може перевищувати 100%;
- найбільш точні результати дають методи розрахунку за даними інтенсивності зношування;
- у розрахункових залежностях відсутній облік фізичних параметрів умов експлуатації, що суттєво впливає на точність прогнозів;
- методи прогнозування потреби часто потребують тривалих випробувань, що ускладнює їх застосування на етапах проектування чи введення нових моделей автомобілів в експлуатацію.

У зв'язку з цим у дослідженні були поставлені такі завдання:

- проаналізувати зміну потреби в запасних частинах для автотранспортних засобів залежно від конструктивних особливостей та умов експлуатації;
- здійснити теоретичне обґрунтування методичних підходів до кількісного оцінювання зміни номенклатури та обсягів запасних частин з урахуванням транспортної роботи та технічного стану конкретного автомобіля;
- розробити методику прогнозування потреби в запасних частинах, яка враховує індивідуальні умови експлуатації, технічний стан, ступінь зносу та транспортну роботу окремого транспортного засобу.

Таким чином, запропонований підхід дозволить наблизити нормативні розрахунки до реальних умов експлуатації та забезпечити більш точне планування потреби в запасних частинах.

РОЗДІЛ 2.

ФОРМУВАННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ПІДХОДІВ ТА ДОСЛІДНЕ ВИВЧЕННЯ ПОТРЕБИ В ЗАПАСНИХ ЧАСТИНАХ

2.1 Математичні методи та моделі прогнозування потреби в запасних частинах для автомобільного транспорту

У ході експлуатації автомобіля працездатність його агрегатів знижується через зношування складових, а підтримується за рахунок поетапної заміни деталей на нові або відновлені запасні частини. Планування забезпечення запасами передбачає визначення оптимального рівня за обраним критерієм і створення умов для його стабільного дотримання. Система управління запасами враховує обмеження щодо строків подання та виконання замовлень, економічно обґрунтованого розміру партій та допустимих рівнів складських залишків. Оскільки потреба і постачання залежать від багатьох чинників, їх слід враховувати при формуванні номенклатури та кількісних показників. Перед встановленням конкретних обсягів запасу для окремих деталей доцільно оцінити їх фактичну потребу; водночас сама потреба не є єдиним орієнтиром — важливо визначити цілі створення запасів за групами А, В, С та розглядати забезпечення в контексті пріоритетів.

Метод АВС полягає у виборі класифікаційної ознаки відповідно до мети аналізу та ранжуванні позицій у порядку спадання значення цієї ознаки. Якщо критерієм є річний обсяг закупівель, усю номенклатуру запасних частин упорядковують за зменшенням вартості річного споживання. До групи А включають перші позиції списку, сума вартостей яких формує приблизно 75–80% загальної вартості спожитих запасних частин за рік; зазвичай це 10–20% найменувань. Група В охоплює орієнтовно третину позицій з сумарною часткою близько 10–15%. Решта найменувань (близько половини номенклатури), що формують лише 5–10% загальної вартості, належать до групи С.

Поєднання ABC-методу зі XYZ-аналізом дає найвищий практичний результат, оскільки дозволяє класифікувати запасні частини не лише за ціною значущістю, а й за характером споживання та точністю прогнозування. XYZ-аналіз групує позиції для конкретного автомобіля, марки чи виду ресурсу за ступенем варіативності попиту: впорядкування здійснюють у порядку зростання коефіцієнта варіації. До категорії X належать ресурси зі стабільним споживанням, мінімальними коливаннями та високою передбачуваністю; до Y — позиції з виразними тенденціями (наприклад, сезонність) і середньою точністю прогнозу; до Z — нерегулярні, слабо прогнозовані витрати.

Накладання матриці XYZ на результат ABC формує дев'ять комірок (AX, AY, AZ; BX, BY, BZ; CX, CY, CZ), для кожної з яких доцільно застосовувати відмінні підходи до управління. Підгрупи AX, AY та AZ потребують індивідуальної уваги та гнучких політик поповнення через високу вагу або низьку прогнозованість. Групи CX, CY, CZ, як правило, управляються уніфіковано: планування виконують на річному горизонті зі щомісячним моніторингом залишків. Для підгруп BX, BY та BZ можливі як спільні рішення, так і диференціація методів контролю залежно від поєднання вартості та стабільності попиту.

ABC- та XYZ-аналізи доцільно проводити щомісяця або щокварталу. До номенклатурних номерів запасних частин програмно додають індикатори групування (індекси A, B, C та X, Y, Z) і річний коефіцієнт оборотності. Така сукупність ознак дає змогу визначати необхідний рівень контролю – від посиленого до стандартного – під час формування запасів конкретних позицій. Індекси груп попиту відображаються у преїскурантах, звітах щодо витрат і відомостях про надлишкові запаси.

Потребу в запасних частинах слід визначати для конкретних режимів роботи автопарку, що задають навантажувально-швидкісні параметри силових агрегатів, швидкість руху, витрату палива, ступінь завантаження, конструктивні

особливості тощо. Використовують аналітичні (розрахункові), розрахунково-статистичні та експериментальні методи.

Ресурс базових деталей силового агрегату функціонально пов'язаний із навантажувально-швидкісним режимом, витратою палива та середнім ефективним тиском. За вихідною постановкою (відповідно до [7]) початкове рівняння ресурсу до відмови для деталей груп В, С можна представити у вигляді узагальненої залежності:

$$L = \frac{\delta_{np} \cdot V_a}{60 \cdot I} \text{ км}, \quad (2.1)$$

де L – пробіг компонента силового агрегата до межі працездатності, км;

δ_{np} – кінцевий ресурсний показник зношування, г;

V_a – середній показник швидкості транспортного засобу, км/год;

I – інтенсивність абразивного зносу, г/хв.

Розрахункові рівняння для швидкості зношування деталей груп В і С силових систем [8]:

для рушія

$$I_{ДВС} = \frac{C_d \sqrt[3]{V_h}}{L_{3Д}} \left\{ \mu \cdot Q \cdot V_a (0.7V_{max} + B \cdot V_a) [1 + A_D \cdot \mu \cdot Q \cdot V_a (0.7V_{max} + B \cdot V_a)] + \left[\frac{B_D \cdot q}{1 - C_D \cdot q} \right]^2 \cdot 10^{-3} \right\}, \text{ г/хв}, \quad (2.2)$$

для коробки зміни передач

$$I_{КП} = \frac{C_K \sqrt[3]{V_h}}{L_{3К}} \left\{ \mu \cdot Q \cdot V_a (0.7V_{max} + B \cdot V_a) [1 + A_K \cdot \mu \cdot Q \cdot V_a (0.7V_{max} + B \cdot V_a)] + \right.$$

$$+ \left[\frac{B_D \cdot q}{1 - C_E \cdot q} \right]^2 \cdot 10^{-3} + \frac{D_K}{V_a} \left. \right\}, \text{ г/хв}; \quad (2.3)$$

для редуктора трансмісії головного моста

$$I_P = \frac{C_P \sqrt[3]{V_h}}{L_{3P}} \left\{ \mu' \cdot Q \cdot V_a (0.7V_{max} + B \cdot V_a) [1 + A_P \cdot \mu' \cdot Q \cdot V_a (0.7V_{max} + B \cdot V_a)] + \right. \\ \left. + \left[\frac{B_P \cdot q'}{R - 10^{-4} \cdot q' \cdot V_a} \right]^2 \cdot 10^{-3} \cdot (1 - D \cdot V_a^3) \right\}, \text{ г/хв}; \quad (2.4)$$

$$\text{де } \mu = \frac{6.3 \cdot \rho_T \cdot r_K}{A \cdot V_h \cdot V_{max}^2 \cdot i_o \cdot g_{emin}}; \quad \mu' = \frac{4.41 \cdot g_T \cdot r_K}{A \cdot V_h \cdot V_{max}^2 \cdot i_o \cdot g_{emin}}; \quad Z = 0.7V_{max}.$$

Розрахунковим шляхом можна визначити сумарний допустимий знос деталей і механізмів силових агрегатів. У працях [8, 28] подано значення зносу циліндрів, шийок колінчастого вала, зубів шестерень та циліндрів коробки передач і редуктора ведучого моста. У таблиці 2.1 наведено формули та результати розрахунків допустимого зносу елементів ЦПГ, КШМ, коробки передач і редуктора.

Для визначення фактичних ресурсів деталей груп АВС використовуються вихідні дані, які за допомогою коефіцієнтів приведення трансформуються до єдиного часу роботи до першої заміни. Після цього обчислюється кількість замін деталей кожної групи за ремонтний цикл та за рік експлуатації, що дозволяє визначити потребу в запасних частинах залежно від пробігу та віку автомобілів. Урахування зміни складу рухомих засобів забезпечує можливість встановлення щорічної чи квартальної потреби в запасних частинах усіх груп АВС. Методологічна основа розрахунку базується на ресурсних показниках,

визначених при оцінюванні надійності транспортних машин, а статистичні дані груп А і В застосовуються для уточнення потреби деталей конкретного агрегата автомобіля.

Таблиця 2.1 – Математичні моделі визначення допустимого циклу основних компонентів силових систем

Сполучення	Елемент	Розрахункова модель
Циліндро-поршнева група (ЦПГ)	Циліндр	$F_{дон}^Ц = 0,523 - S_{П} \cdot D_{ц} \cdot X_{ц} \cdot \rho \cdot \delta_{max}^Ц$
	кільце поршневе	$F_{дон}^К = 3,14 \cdot D_{ц} \cdot h \cdot \rho \cdot \delta_{max}^К$
	поршневий палець	$F_{дон}^{ПП} = 3,14 \cdot D_{пн} \cdot (2B_{в} + B_{П}) \cdot \rho \cdot \delta_{max}^{ПП}$
	поршень	$F_{дон}^П = 1,57 \cdot D_{ц} \cdot h_{п} \cdot \rho \cdot \delta_{max}^П$
КШМ	Колінвал	$F_{дон}^{КШМ} = 1,57\rho \cdot [D_{к} \cdot B_{к} \cdot n_{к} + D_{ш} \cdot B_{ш} \cdot X_{ц}] \cdot \delta_{max}^{КВ}$
	вкладиші	$F_{дон}^{ВК} = 1,57\rho \cdot [D_{к} \cdot B_{к} \cdot n_{к} + D_{ш} \cdot B_{ш} \cdot X_{ц}] \cdot \delta_{max}^{ВК}$
КП, ведучий міст	Шестерні	$F_{дон}^Ш = \delta_{max}^Ш \cdot \rho \cdot m \cdot S_{Ш} \cdot Z$
	вали	$F_{дон}^{ШЛ} = \delta_{max}^{ШЛ} \cdot \rho \cdot m_{ШЛ} \cdot n_{ШЛ} \cdot S_{ШЛ} \cdot Z_{ШЛ}$

де $D_{ц}$ - діаметр циліндра, мм; $S_{п}$ - хід поршня, мм; $X_{ц}$ - кількість циліндрів; h - висота поршневого кільця, мм; ρ - щільність металу, г/мм³; $D_{пн}$ - діаметр поршневого пальця, мм; $B_{п}$ - довжина втулки верхньої головки шатуна, мм; $B_{в}$ - ширина бобишки поршня, мм; $h_{п}$ - довжина юбки поршня, мм; $\delta_{max}^ц, \delta_{max}^к, \delta_{max}^{пн}, \delta_{max}^п, \delta_{max}^{кв}, \delta_{max}^{вк}, \delta_{max}^{ш}, \delta_{max}^{шл}$ - гранично допустимий рівень зношування циліндра, поршня, поршневих кілець, пальця, колінчастого вала, вкладишів, зубчастих коліс і валів, мм; $D_{к}, D_{ш}$ - відповідно діаметр корінної і шатунної шийок колінчастого вала, мм; $B_{к}, B_{ш}$ - відповідні розміри робочих

поверхонь тертя корінної та шатунної шийок колінвала, мм; m – модуль шестерні, мм; n_k – кількість корінних шийок колінвала; Z – кількість зубів шестерні; $S_{ш}$ – довжина зуба шестерні, мм; $Z_{шл}$ – кількість шліців на валу; $m_{шл}$ – модуль шліців, мм; $n_{шл}$ – кількість шліцевих з'єднань.

Оскільки характеристики потоків замін деталей варіюють у кожному ремонтному циклі, виникає потреба визначити у першому наближенні кількість таких циклів за весь строк служби машини до її списання. Це число ремонтних циклів виступає ключовим орієнтиром у розрахунках

$$\Omega' = \frac{Q_a}{Q_{p1k}} \leq \Omega, \quad (2.5)$$

де Q_a – повна кількість використаного палива автомобілем до завершення ресурсу, л;

Ω – округлене у бік збільшення до цілого числа ремонтних циклів;

Q_{p1k} – інтегральний показник витрат палива до першого ремонтного циклу, л.

Число замін кожної деталі визначається формулою, яка базується на урахуванні всього строку експлуатації транспортного засобу

$$F'_i = \frac{Q_{p1k} K_i K_j \Omega'}{Q_{pj}} - 1 \leq F_j, \quad (2.6)$$

де K_i, K_j – коефіцієнти функціонального застосування i -го вузла та j -ї деталі в i -му вузлі;

Q_{pj} – загальний обсяг спожитого палива до моменту вичерпання ресурсу j -тої деталі, л;

F_j – округлене у бік збільшення до цілого числа замін j -ї деталі.

Середній показник замін відповідної деталі в кожному циклі ремонту розраховується на основі неокруглених величин, визначених рівняннями (2.5) і (2.6)

$$Y_j = \frac{F_j' + 1}{\Omega'}. \quad (2.7)$$

Тоді розподіл номерів f_j замін j -ї деталі за кожним ремонтним циклом з номером $k = 1, 2, \dots, \Omega$ буде такий:

для $k = 1$ $0 < f_j \leq Y_j$;

для $k = 2$ $Y_j < f_j \leq 2Y_j$;

для $k = \Omega$ $(\Omega - 1)Y_j < f_j \leq F_j$.

Умовний номер заміни конкретної деталі в кожному циклі ремонту (показник періодичності) встановлюється за формулою

$$B_k = f_j - (k - 1)Y_j. \quad (2.8)$$

Значення f_j знаходяться в інтервалі

$$(k - 1)Y_j < f_j \leq kY_j.$$

Значення коефіцієнта скорочення ремонтних циклів приймають у встановленому діапазоні $0.8 \leq C \leq 0.95$.

Періоди заміни деталей визначаються шляхом обчислення сумарної витрати палива, що відповідає моменту першої заміни, за відповідним рівнянням

$$t_i^{(1)} = \frac{Q_{pj}}{Q_0 K_u K_i K_j}. \quad (2.9)$$

Отже, строк заміни j -ї деталі в межах кожного ремонтного циклу визначається з урахуванням її умовного порядкового номера в даному циклі та зменшення тривалості роботи машини в наступних циклах, відповідно до формули

$$t_{u,i} = t_j^{(1)} B_k C^{k-1}. \quad (2.10)$$

Щоб визначити періодичність заміни від початку експлуатації, слід знати загальну тривалість роботи машини до відновлення після капітального ремонту. Для цього враховують скорочення попередніх ремонтних циклів за допомогою коефіцієнта

$$S_k = \frac{1 - C^{k-1}}{1 - C}. \quad (2.11)$$

Якщо умова $Y_j \geq 1$ виконується, то сумарна тривалість служби машини до початку цього циклу з заміненними деталями j -го типу встановлюється розрахунком

$$t_{\Sigma,j} = t_j^{(1)} Y_j S_k = t_j^{(1)} A_k, \quad (2.12)$$

де $A_k = Y_j S_k$.

Таким чином, інтенсивність потоку заміни деталей j -го найменування визначається їх періодичністю

$$t_i^{(f_j)} = t_{\Sigma,j} + t_{\delta,j} = t_j^{(1)} (A_k + B_k C^{k-1}). \quad (2.13)$$

Якщо ресурс j -ї деталі до першої заміни більший за тривалість першого циклу ремонту $Y_j < 1$, то потік її замін встановлюється за формулою

$$t_i^{(f_j)} = t_j^{(1)} f_j C^{f_j-1}, \quad (2.14)$$

з урахуванням зменшення періоду заміни деталей певного найменування, а не циклів ремонту.

Першим кроком у розрахунку потреби запасних частин є визначення моментів заміни деталей за циклом витрати палива машини. Для річної оцінки необхідно враховувати не тільки середні періоди замін, але й варіацію їх значень. Середнє квадратичне відхилення $\sigma_i^{f_j}$ тривалості роботи машини до кожної заміни j -ї деталі обчислюють за формулою

$$\sigma_i^{(f_j)} = \sigma_i^{(1)} \sqrt{f_j}, \quad (2.15)$$

де $\sigma_i^{(1)}$ визначають за статистичними даними про строк роботи машини до першої заміни деталі. За відсутності інформації рекомендується приймати апріорне значення $\sigma_i^{(1)} = 0.25$ року.

Щорічну кількість запасних частин j -го типу для машини розраховують, беручи до уваги розподіл строків заміни j -ї деталі. Через багатофакторність впливу на терміни ремонту найбільш обґрунтованим є нормальний розподіл.

Отже, річна потреба (у частках одиниці) визначається інтегруванням функції розподілу строків чергової заміни j -ї деталі в межах m -го року експлуатації

$$\Delta\Phi_{m,j}^{(f_j)} = \frac{1}{\sigma_j^{(f_j)} \sqrt{2\pi}} \times \int_{m-1}^m e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{t-t_j^{(f_j)}}{\sigma_j^{(f_j)}} \right)^2} dt. \quad (2.16)$$

У (2.16) величина $z = \frac{t-t_j^{(f_j)}}{\sigma_j^{(f_j)}}$ є квантильна характеристика стандартного нормального розподілу t (терміну служби деталі до чергової заміни). Усвідомивши сутність квантиля z для кожного року експлуатації $m=1,2,\dots,a$, згідно з табличними даними інтегралів функції ймовірності $\Phi(z)$ на основі нормального закону розподілу випадкових величин визначають річне значення часткової потреби $\Delta\Phi_{m,j}^{(f_j)}$ як різницю інтегралів функції щільності ймовірності:

$$\Delta\Phi_{m,j}^{(f_j)} = \Phi\left(\frac{m-t_j^{(f_j)}}{\sigma_j^{(f_j)}}\right) - \Phi\left(\frac{m-1-t_j^{(f_j)}}{\sigma_j^{(f_j)}}\right). \quad (2.17)$$

Щорічна потреба машини в j -й деталі (у частках одиниці) протягом m -го року експлуатації приймається рівною сумі всіх заміन за відповідними номерами

$$\Delta\Phi_{m,j} = \sum_{f_j=1}^{F_j} \Delta\Phi_{m,j}^{(f_j)}. \quad (2.18)$$

Вартісна потреба в замінних деталях j -го найменування для однієї машини у m -му році її експлуатації визначається відповідним розрахунковим виразом

$$g_{m,j} = \omega_j n_{3j} \Delta\Phi_{m,j}, \quad (2.19)$$

де ω_j – вартість j -ї деталі, грн.;

n_{3j} – кількість замінених одночасно деталей j -го номіналу.

Сукупна вартісна потреба в запасних частинах для однієї машини у m -му році експлуатації визначається як сума витрат за всіма найменуваннями деталей

$$g_m = \sum_{j=1}^s g_{m,j}. \quad (2.20)$$

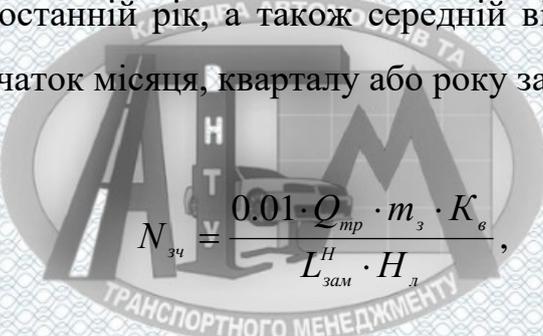
Згідно з виразом (2.20), щорічна потреба зростає до кінцевого року експлуатації машини ($m = a$), причому характер цього зростання є експоненціальним. Для розрахунку потреби в запасних частинах необхідно визначити потенційний ресурс силових агрегатів у цілому та окремих їхніх деталей, а також допоміжних елементів групи А (прокладок, сальників тощо), що замінюються при розбиранні та складанні.

Оскільки більшість відмов є ресурсними, при оцінці надійності силових агрегатів і визначенні потреби в запчастинах слід зосередитися на них, адже вони пов'язані зі зносостійкістю деталей. Розрахунок потреби ґрунтується на встановленні жорстких норм, що забезпечують економічну ефективність і стимулюють застосування сучасних методів експлуатації та ремонту. Економічний ефект такого підходу має мотивувати підприємства різних форм власності. У практиці автосервісів визначення потреби використовується лише для коригування норм за результатами прогнозів.

Реальна потреба в запасних частинах залежить від багатьох експлуатаційних і організаційних факторів, які в кожному АТП поєднуються по-своєму. Попит і його зміни протягом року визначаються рівнем організації ТО і ремонту, методами обслуговування, системою постачання, кваліфікацією персоналу. При зміні умов експлуатації змінюється й набір факторів, що впливають на витрати

запчастин: дорожньо-кліматичні умови, використання вантажопідйомності, причепів, умов навантаження та розвантаження.

Методика, розглянута в роботі, принципово відрізняється від традиційних підходів до визначення витрат запасних частин силових агрегатів. Вона дозволяє враховувати реальні умови експлуатації – дорожньо-кліматичні та сезонні фактори, організацію перевезень, ступінь використання вантажопідйомності й пробігу автомобіля. Витрата палива виступає критерієм технічного стану агрегату та необхідності заміни деталей, що поступово зношуються. Прогнозування потреби проводиться на основі інформації про кількість автомобілів у підприємстві чи регіоні, сумарну витрату палива за весь період експлуатації та за останній рік, а також середній вік автомобілів; розрахунок здійснюється на початок місяця, кварталу або року за формулою.



$$N_{зч} = \frac{0.01 \cdot Q_{тр} \cdot m_з \cdot K_в}{L_{зам}^H \cdot H_л}, \quad (2.21)$$

де $Q_{тр}$ - сумарне споживання палива для транспортної роботи рухомого складу протягом запланованого періоду, л;

$m_з$ - індикатор витрат запасних частин у перерахунку на 100 автомобілів;

$L_{зам}^H$ - норма пробігу деталі до заміни чи капремонту, км;

$K_в$ - коригуючий коефіцієнт з урахуванням віку машини;

$H_л$ - лінійна норма споживання палива для транспортних засобів у першій категорії експлуатаційних умов, л/100 км.

Оскільки рівняння (2.21) не відображає вплив конструкторсько-технологічних рішень та зміну надійності автомобілів у процесі тривалої експлуатації, потреба в запасних частинах силових агрегатів повинна уточнюватися. Для цього пропонується ввести коефіцієнт якості конструкторсько-технологічних рішень, що визначається окремим рівнянням.

$$K_{\kappa} = \frac{3,6 \cdot Q_{\min} V_{\max} \cdot t_p \cdot \rho_T}{100 G_n}, \quad (2.22)$$

де Q_{\min} - мінімальний показник споживання палива, л/100 км;

t_p - тривалість розгону автомобіля до заданої швидкості $V_a = 60$ км/год;

G_n - маса автомобіля без навантаження, кг.

ρ_T - щільність палива, г/л.

Таблиця 2.2 містить показники коефіцієнта якості конструкторсько-технологічних рішень для окремих моделей автомобілів підприємства.

Таблиця 2.2 – Інтегральний показник якості конструкторсько-технологічних рішень

Марка ТЗ	ГАЗ 3302	УАЗ 3909	Ford Transit	Renault Master	Citroën Jumper	MAN TGL
Коефіцієнт K_{κ}	0,36	0,31	0,40	0,40	0,42	0,44

Враховуючи викладене, потреба в запасних частинах для силових агрегатів у наступному періоді експлуатації становитиме

$$N_{зч} = \frac{100 \cdot Q_{mp} \cdot m_3 \cdot H_{л} \cdot K_{\kappa}}{L_{зам}^H \cdot H_{л1}^2 \cdot K_{\kappa \min}}, \quad (2.23)$$

де Q_{mp} – розрахункова потреба в паливі на транспортну роботу у плановому періоді експлуатації, л;

m_3 – показник витрати деталей на 100 одиниць автотранспорту;

$L_{зам}^H$ – нормативний пробіг деталі до заміни чи капремонту, км;

$H_{л1}$ – мінімальний індикатор споживання палива, л/100 км.

Для даної групи автомобілів коефіцієнт якості конструкторсько-технологічних рішень по моделі року має значення 0,31–0,32.

Загальна витрата палива на транспортну роботу у плановому періоді визначається наступним виразом [3]

$$Q_{TP} = L_{ПЛ} \cdot H = L_{ПЛ} \cdot (H_o + H_\delta \cdot q_{cp} \cdot \gamma \cdot \beta), \quad (2.24)$$

де $L_{ПЛ}$ - загальна довжина пробігу автомобілів у планованому періоді, км;

H_o, H_δ - базова (л/100 км) і коригуюча (л/100 ткм) норми витрати палива;

q_{cp} - усереднене значення вантажопідйомності транспортного засобу, т;

γ, β - показники ефективності використання вантажопідйомності й пробігу.

- Витрата палива у базовому режимі (порожній вантажний автомобіль) визначається за формулою [8]

$$H_o = (K_1/V_a + K_2 \cdot V_a^2) \cdot Q_{л} / 1 \text{ км}, \quad (2.25)$$

де K_1, K_2 - сталі коефіцієнти, визначені для даної моделі автомобіля;

V_a - нормативний показник середньої технічної швидкості, км/год.

- Додаткові нормативні витрати палива на транспортну роботу (л/100 ткм) для бензинових і дизельних автомобілів визначаються за формулами [8]

$$H_o^k = 1,12 \cdot V_{\max} / V_a; \quad H_o^\delta = 0,64 \cdot V_{\max} / V_a. \quad (2.26)$$

Значення коефіцієнта отримуються шляхом розрахунку за формулою

$$K = (A_k \cdot K_c \cdot V_{\max} \cdot i_{КП} + B_k K_c^2 \cdot V_{\max}^2 \cdot i_{КП}^2 + 0,01 \cdot C_k \cdot G_o \cdot V_{\max}) / \eta_i, \quad (2.27)$$

де A_k, B_k, C_k – сталі коефіцієнти;

$i_{КП}$ - коефіцієнт трансмісії для прямої або підвищувальної передачі КП.

Коефіцієнти A_k, B_k, C_k визначаються таким чином:

для бензинових двигунів

$$A_k = \frac{3 \cdot 5 \cdot V_h \cdot i_o}{H_u \cdot \rho_T \cdot r_k}; \quad B_k = \frac{9 \cdot V_h \cdot S_{II} \cdot i_o^2}{H_u \cdot \rho_T \cdot r_k^2}; \quad C_k = \frac{1 \cdot 0 \cdot 0}{H_u \cdot \rho_T \cdot r_k}, \quad (2.28)$$

для дизельних двигунів

$$A_k = \frac{3 \cdot 8 \cdot V_h \cdot i_o}{H_u \cdot \rho_T \cdot r_k}; \quad B_k = \frac{1 \cdot V_h \cdot S_{II} \cdot i_o^2}{H_u \cdot \rho_T \cdot r_k^2}; \quad C_k = \frac{1 \cdot 0 \cdot 0}{H_u \cdot \rho_T \cdot r_k}, \quad (2.29)$$

де H_u - нижча теплота згоряння бензину середньої якості $H_u = 44000$ КДж\кг;
для дизеля $H_u = 43000$ КДж\кг);

ρ_T - для розрахунків приймається щільність бензину $0,74$ г\см³ та дизельного палива $0,825$ г\см³.

Числове значення постійного коефіцієнта визначається шляхом розрахунку за формулою

$$K_2 = 0,077 \cdot C_k \cdot F / \eta_i. \quad (2.30)$$

Інший підхід до прогнозування потреби в запасних частинах силових агрегатів базується на врахуванні навантажувально-швидкісних режимів роботи автомобілів, пробігу від початку експлуатації та кількості запасних частин для відповідного агрегату, що розраховується за формулою

$$N_3 = \frac{m_3 \cdot A_c \cdot K_6 \cdot K_6 \cdot \sqrt{1 + \gamma \cdot \beta}}{1 \cdot K_0 \cdot 2}. \quad (2.31)$$

Рівень кваліфікації водіїв встановлюється відповідно до відкритої категорії посвідчення водія, а його коефіцієнт подано у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Рівні кваліфікації водіїв

Категорія ТЗ	Значення $K_{вод}$
В,С - транспортні засоби, призначені для перевезення вантажів, із числом сидячих місць до восьми	0,8
В,С,D - пасажирсько-вантажні автомобілі універсального використання	0,9
В,С,D та Е - вантажні й пасажирські автомобілі, а також автопоїзди	1,0

2.2 Зовнішні фактори як детермінанти зміни потреби в запасних частинах

Тривала експлуатація транспортних машин супроводжується впливом широкого спектра технологічних та експлуатаційних факторів, які зумовлюють різну швидкість зношування сполучень і, відповідно, кратне зростання потреби в запасних частинах. На рис. 2.1 наведено зміну потреби в запасних частинах двигуна та трансмісії автомобілів залежно від середньої технічної швидкості руху та середнього ефективного тиску при роботі на різних передачах.

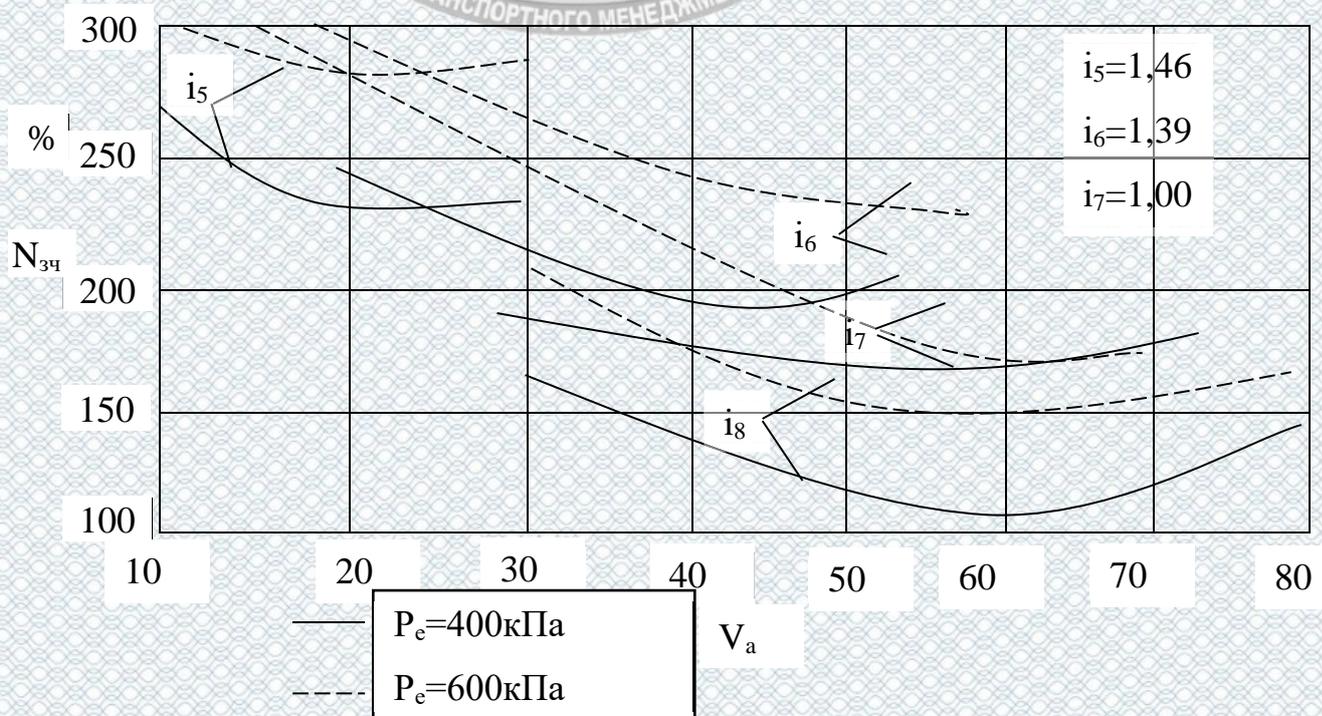


Рисунок 2.1 – Вплив швидкості руху на різних передачах при сталому навантаженні на потребу в запасних частинах силових агрегатів автомобіля

MAN TGL

Аналіз рисунків свідчить, що мінімальна потреба в запасних частинах двигуна та трансмісії виникає при русі автомобіля на вищій передачі, тоді як максимальна — на першій. Для кожної передачі існує відповідна швидкість руху, за якої потреба в запасних частинах силових агрегатів зменшується до найнижчого рівня. Щоб визначити цю швидкість, здійснюється подвійне диференціювання рівнянь (2.2–2.4), що описують швидкість зношування сполучень двигуна і трансмісії, за середньою технічною швидкістю автомобіля. Після прирівнювання отриманих виразів до нуля формується рівняння середньозваженого передавального числа трансмісії, яке має одне дійсне та два комплексно спряжених корені. Використовуючи формулу Кардано для розв’язання кубічного рівняння та враховуючи лише дійсне рішення, отримуємо шуканий результат.

$$i_{cp} = \frac{z_K}{0,7 \cdot 10^{-2} \cdot V_{max}} \cdot \sqrt{\frac{1}{V_n \eta_{TP}} \left(\frac{0,14 k_{\Gamma} V_{max} V_a^3}{G_a} - 3,85 kF \right)}. \quad (2.32)$$

Із отриманого рівняння випливає, що потреба в запасних частинах для силових агрегатів визначається передавальним числом головної передачі. При його збільшенні мінімальна потреба в запасних частинах спостерігається за умов найнижчих середніх технічних швидкостей руху автомобіля. Цей фактор слід враховувати під час встановлення режимів експлуатації для тягачів, автобусів, самоскидів та інших транспортних засобів, які характеризуються різними значеннями передавального числа головної передачі. Автомобілі, обладнані подільниками перед коробкою передач, мають кілька діапазонів середніх технічних швидкостей, за яких потреба в запасних частинах є мінімальною. Зокрема, при підвищенні передавального числа головної передачі на 15% середня швидкість руху автомобіля, що відповідає найменшій потребі в запасних частинах, зменшується на 7–9%.

Потреба в запасних частинах визначається також радіусом кочення колеса. З математичних моделей швидкості зношування сполучень двигуна та трансмісії видно, що параметр r_k входить у вираз для розрахунку постійних коефіцієнтів автомобіля у першому ступені. Розрахункові дані свідчать: при зменшенні радіуса кочення колеса на 10% через знос протектора та зниження тиску повітря в шині потреба в запасних частинах зростає на 8–9%.

Коефіцієнт корисної дії трансмісії залежить від технічного стану її агрегатів та силової передачі. Для різних автомобілів він у середньому становить 0,8–0,9, причому залежно від технічного стану може змінюватися на 10–15%. При підвищенні ККД трансмісії на 10% потреба в запасних частинах зменшується на 4–6%. Таким чином, справний стан трансмісії та використання відповідних мастильних матеріалів сприяють зниженню потреби в запасних частинах силових агрегатів автомобіля.

На підвищених швидкостях значна частина енергії витрачається на подолання аеродинамічного опору, що створює додаткове навантаження на силові агрегати. Показник обтічності визначається як добуток коефіцієнта опору повітря на лобову площу автомобіля F . Значення коефіцієнта опору повітря визначається з рівняння [8].

$$K = \left[\frac{\rho T_o P}{(2.5 + t) \rho_o} \right] C_x, \quad (2.33)$$

де $\rho_o = 0,125 \text{ кгс} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$, $T_o = 288 \text{ К}$,

C_x – безрозмірна характеристика аеродинамічного опору,

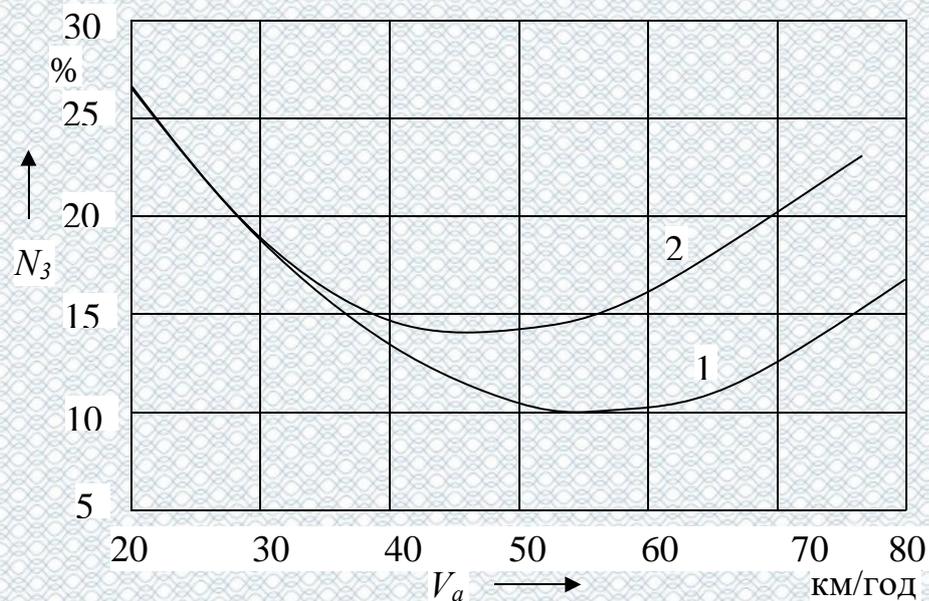
t - температура зовнішнього середовища (повітря), °С.

Для вантажних автомобілів коефіцієнт опору повітря становить у межах 0,075–0,100. Взимку при температурі $-25 \text{ }^\circ\text{С}$ щільність повітря, а відповідно й сила опору, зростає приблизно на 18% порівняно з умовами при $+15 \text{ }^\circ\text{С}$. Влітку за температури $+30 \text{ }^\circ\text{С}$ цей показник зменшується на 6%. Такі зміни слід

враховувати під час розрахунків потреби в запасних частинах. За тиску 740–780 мм рт. ст. відношення ρ/ρ_0 можна вважати сталим.

Коефіцієнт аеродинамічного опору C_x залежить від форми кузова і для вантажних автомобілів коливається в межах 0,6–0,8. Поліпшення аеродинаміки є резервом зниження потреби в запасних частинах: наприклад, зменшення C_x з 0,7 до 0,5 скорочує їх витрати на двигун і трансмісію на 18%. Для автопоїздів слід враховувати додатковий опір кожного причепа, який збільшує загальний показник приблизно на 20%.

Перевезення великогабаритних вантажів підвищує висоту автомобіля, що веде до зростання аеродинамічного опору і, відповідно, потреби в запасних частинах. При швидкостях понад 60 км/год для зменшення опору встановлюють обтічники під кабіною, що дозволяє скоротити витрати запасних частин у силових агрегатах до 14%. На рисунку 2.2 наведено зміну потреби в запасних частинах автомобілів MAN залежно від фактора обтічності k_F , отриману розрахунковим шляхом.



1 – рух автомобіля з обтічником; 2 – рух автомобіля без обтічника

Рисунок 2.2 – Залежність витрат запасних частин силових агрегатів автомобіля MAN TGL від експлуатаційних умов

З рисунка 2.2 видно, що за низьких швидкостей руху (20–40 км/год) потреба в запасних частинах майже не залежить від фактора обтічності, тому його вплив можна не враховувати. При швидкостях понад 60 км/год витрати запасних частин зростають на 8–12% залежно від обтічності, що має значення для міжміських перевезень.

Середня технічна швидкість автомобіля також впливає на потребу в запасних частинах двигуна і трансмісії. Зі збільшенням швидкості зменшується кількість обертів колінчастого вала на 1 км, але водночас зростає ефективний тиск для подолання опору повітря. На малих швидкостях інтенсивність зношування агрегатів різко підвищується, що збільшує потребу в запасних частинах. Найменші витрати спостерігаються при швидкості $0,6–0,7 V_{\max}$.

Отже, оптимальна швидкість руху автомобіля з урахуванням його завантаження забезпечує мінімальну потребу в запасних частинах.

$$V_{opt} = \sqrt[3]{z G_a} \text{ км/ч,} \quad (2.34)$$

де $z = \frac{\left[V_h \cdot \eta_{TPK} \left(0,7 \cdot 10^{-2} i_k V_{\max} \right)^2 + 3,85kF \right]}{0,14k_r V_{\max}} \frac{\text{км}^3}{\text{ч}^3 \text{кг}}$ - коефіцієнт постійного

значення для даного транспортного засобу.

На рисунку 2.3 наведено залежність потреби в запасних частинах двигуна і трансмісії автомобілів від рівня їх завантаженості. Із графіків видно, що при високих швидкостях руху ($V_a > 0,6 \dots 0,7 V_{\max}$) витрати запасних частин на силові агрегати зростають порівняно з середніми швидкостями. Водночас при зниженні швидкості руху також спостерігається підвищення потреби в запасних частинах для двигуна і трансмісії.

За умови руху автомобіля зі швидкістю близько 20 км/год потреба в запасних частинах для двигуна та трансмісії зростає приблизно у 3,5 раза порівняно з мінімальним рівнем, що спостерігається при швидкості 50–60 км/год.

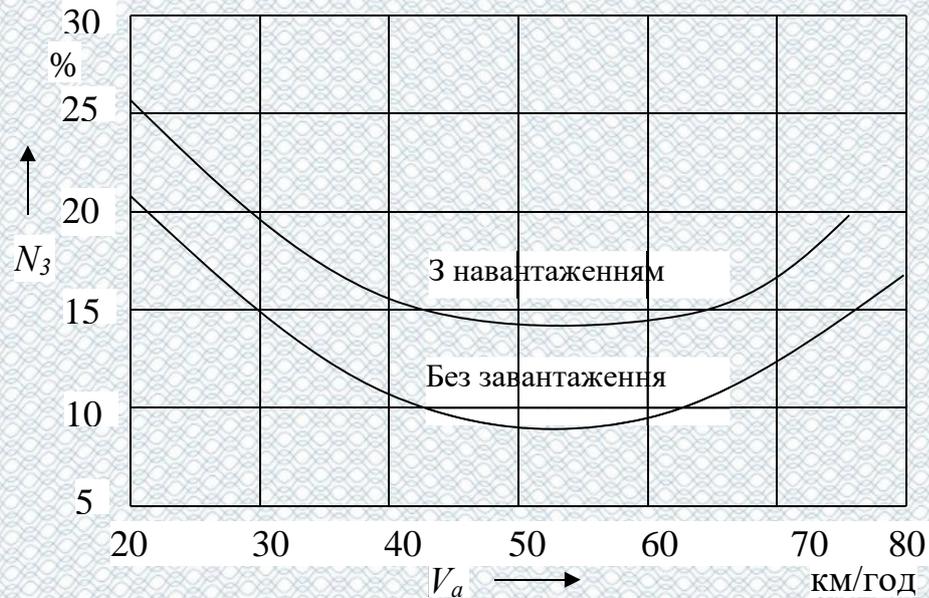


Рисунок 2.3 – Залежність витрат запасних частин для силових агрегатів автомобіля MAN TGL від швидкості та маси

При русі автомобіля зі швидкістю близько 20 км/год потреба в запасних частинах для двигуна та трансмісії зростає приблизно у 3,5 раза порівняно з мінімальним рівнем, що спостерігається при швидкості 50–60 км/год. З позиції зменшення витрат запасних частин, підвищення ресурсу силових агрегатів, економії пального та забезпечення безпеки руху оптимальним є швидкісний режим у межах $0,6-0,7 V_{max}$. При досягненні максимальної швидкості витрати запасних частин на двигун і трансмісію збільшуються у 1,5–2 рази. Отже, раціональний вибір швидкості дозволяє суттєво скоротити потребу в запасних частинах силових агрегатів.

Далі розглянемо вплив маси автомобіля на витрати запасних частин двигуна і трансмісії.

Зі збільшенням маси автомобіля зростає потреба в запасних частинах для двигуна та трансмісії, а зона мінімальних витрат зміщується до вищих значень середньої технічної швидкості. Це пояснюється тим, що більша маса спричиняє підвищення середнього ефективного тиску в циліндрах двигуна та зміну кількості обертів колінчастого вала на один кілометр пробігу.

Експлуатація автомобілів із значним завантаженням (наприклад, з 2–3 причепами) є доцільною на дорогах з удосконаленим покриттям, де коефіцієнт сумарного опору мінімальний. Таким чином, оптимальний вибір швидкісного режиму, маси автомобіля та маршрутів із найменшим дорожнім опором дозволяє знизити витрати запасних частин для силових агрегатів. Додатково цьому сприяє використання якісного палива й мастильних матеріалів, а також підвищення професійної підготовки водіїв.

2.3 Методичне обґрунтування нового підходу до оцінювання потреби в запасних частинах

У процесі експлуатації працездатність агрегатів транспортних засобів підтримується шляхом послідовної заміни деталей новими або відновленими. Запасні частини виступають одночасно основою та інструментом забезпечення надійності автомобіля, що зумовлено різною міцністю елементів і сполучень силових агрегатів.

Оцінювання потреби в запасних частинах здійснюється через аналіз роботи автотранспортних засобів за конкретних умов експлуатації, що дозволяє визначити вплив особливостей функціонування агрегатів на зміну витрат деталей певного найменування.

У випадках, коли на підприємстві експлуатується невелика кількість автомобілів певної моделі й відсутні статистичні дані, застосовується дослідно-експериментальний метод замість розрахунково-статистичного.

Запропонований аналітичний підхід відрізняється тим, що його математична модель базується на швидкості зношування сполучень силових агрегатів, враховуючи енергетичні витрати на виконання транспортної роботи, індивідуальні характеристики та технічний стан конкретного автомобіля.

Витрати запасних частин можна розглядати як еквівалент кількості палива, спожитого двигуном, що відображає енергетичні затрати на виконання

транспортної роботи. Визначення потреби в запасних частинах здійснюється на основі відповідного рівняння

$$N_3 = \frac{0,01 \cdot H_l \cdot l_{cc} \cdot (1,045 - 0,003 \cdot t_g) \cdot n_3 \cdot D_{pn} \cdot \alpha_m}{Q_c \cdot K_p}, \quad (2.35)$$

де H_l – норма споживання палива на 100 км пробігу;

l_{cc} – середньодобова відстань руху автомобіля, км;

t_g – середня температура навколишнього повітря, °С;

n_3 – кількість однотипних деталей, передбачених конструкцією автомобіля;

K_p – параметр врахування зношування сполучень;

D_{pn} – загальна кількість днів функціонування підприємства за рік;

α_m – показник рівня технічної готовності;

Q_c – загальна витрата палива, що відповідає ресурсу деталей, л.

Потреба в запасних частинах для автотранспортних засобів визначається навантажувально-швидкісним режимом їх роботи в конкретних умовах експлуатації. При цьому середній ефективний тиск приймається за мінімального значення питомої витрати палива ($g_e = g_{e\min}$), а швидкість руху автомобіля відповідає крейсерській, тобто $V_a = 0,7V_{\max}$. Зазначені параметри забезпечують максимальний ресурс деталей, вузлів і агрегатів.

Таким чином, загальна витрата палива за весь період експлуатації окремої деталі, вузла чи агрегату визначатиметься як сумарний показник, що враховує тривалість їх роботи та відповідні умови функціонування

$$Q_c = \frac{AL_H \cdot V_{\max}^2 \cdot q_{e\min}}{V_h \cdot \eta_{mp}} \cdot (0,011 \cdot G_H + 0,003 \cdot kF \cdot V_{\max}^2), \quad (2.36)$$

де A – константа для визначеної моделі автомобіля;

V_{\max} – граничний показник швидкості руху, км/год;

V_h – робоча місткість двигуна, л;

q_{emin} – мінімальне значення питомої витрати палива, г·кВт/год;

η_{mp} – коефіцієнт корисної дії трансмісії;

G_n – вага автомобіля без вантажу, Н;

kF – коефіцієнт аеродинамічного опору автомобіля, Н·м².

Одним із ключових інструментів оптимізації потреби в запасних частинах є визначення оптимального розміру поставки конкретного найменування. Економічний розмір замовлення базується на мінімізації сукупних витрат, що складаються з двох компонентів: витрат на зберігання запасних частин, які прямо пропорційні їх кількості, та витрат на розміщення замовлення. Таким чином, загальні витрати можна подати у вигляді рівняння

$$C_{обц} = C_p + C_x + C_z, \quad (2.37)$$

де $C_{обц}$ – сукупні витрати за певний проміжок часу, грн;

C_p – витрати на підготовку та подання замовлення, грн;

C_x – показник витрат на утримання запасних частин, грн;

C_z – вартість закупівлі запасних частин, грн.

Якщо ми розгортаємо формулу (2.37), яка описує загальні витрати на забезпечення запасними частинами (у контексті моделі економічного розміру замовлення), то вона матиме вигляд

$$C_{обц} = \frac{Z_3 N_3}{q} + \frac{C_z r q}{2} + N_3 \cdot C_z, \quad (2.38)$$

де Z_3 – вартість процесу розміщення і реалізації замовлення, грн.;

q – обсяг разової поставки деталей;

r – процентна норма витрат на складське зберігання;

C_3 – показник вартості окремої деталі, грн.

Визначення оптимального розміру партії постачання запасних частин, що забезпечує мінімізацію сукупних витрат, зводиться до пошуку найменшого значення відповідної функції. Це значення досягається у точці екстремуму. Для його знаходження функцію досліджують на заданому інтервалі та виконують диференціювання за змінною – розміром разової поставки певної деталі. У результаті отримують вираз для похідної функції

$$C'_{\text{общ}} = \frac{3_3 N_3}{q^2} + \frac{r C_3 q}{2} + 0. \quad (2.39)$$

Для підтвердження наявності екстремальної точки необхідно, щоб перша похідна функції мала розв'язок, а точка, у якій вона дорівнює нулю, визначалася як стаціонарна. У такому випадку рівняння (2.39) набуває наступного вигляду

$$-\frac{3_3 N_3}{q^2} + \frac{r C_3}{2} = 0. \quad (2.40)$$

Таким чином, екстремальна точка функції відповідає мінімальному рівню витрат, а також визначає оптимальну кількість запасних частин, необхідних для забезпечення роботи рухомого складу протягом заданого періоду. Розв'язуючи рівняння (2.40) відносно змінної, що характеризує розмір партії постачання, отримуємо наступний вираз

$$q_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{23_3 N_3}{r C_3}}. \quad (2.41)$$

Основний висновок щодо обмежень застосування формули (2.41) полягає в тому, що функція витрат має бути неперервною та диференційованою на

заданому інтервалі. Відповідно, визначення оптимальної кількості необхідних запасних частин здійснюється для конкретного періоду експлуатації. Зміна алгоритму розрахунку призводить до появи точок розриву першого роду у функції сумарних витрат. Формально така функція не може бути диференційованою. Тому розв'язання задачі зводиться до пошуку мінімальних значень витрат на кожному інтервалі між точками розриву та безпосередньо в самих точках. Однак цей підхід фактично є методом перебору значень, а не дослідженням функції. Враховуючи зовнішні умови та період роботи АТЗ, оптимальний розмір партії запасних частин за групами визначається саме таким способом

$$q_{opt} = \sqrt{\frac{0,02 \cdot 3_z H_{лсс} (1.045 - 0.003 t_B) n_3 D_p \alpha_m}{r \Pi_3 Q_c K_p}}, \quad (2.42)$$

де D_p – період функціонування рухомого складу, дн.

З метою більш точного визначення потреби у запасних частинах доцільно здійснювати додатковий розрахунок показників інтенсивності їх використання (попиту). Інтегральний показник активності запасних частин A'_k формується на основі коефіцієнта інтенсивності поставок (q) та коефіцієнта попиту (s) для конкретної запасної частини у t -му ретроспективному інтервалі експлуатації АТЗ. Розрахунок цього показника виконується за відповідними формулами

$$A^t(q)_k = \sum_{i=1}^k \gamma^t(q) \cdot M^t(q) i, \quad (2.43)$$

$$A^t(s)_k = \sum_{i=1}^k \gamma^t(s) i \cdot M^t(s) i, \quad (2.44)$$

де $M'(q)ik$, $M'(S)ik$ - рівень пріоритетності агрегата k по відношенню до i -ї деталі відповідно до постачання та витрат;

$\gamma'(q)i$, $\gamma'(S)i$ - індекси вагомості i -ї деталі відповідно до характеристик постачання та витрат.

Аналіз аналітичного виразу інтегрального показника засвідчив, що процеси постачання та витрати запасних частин доцільно характеризувати такими параметрами: обсяг (q , s), частота (n_q , n_s) та середньозважений інтервал (\overline{Uq} , \overline{Us}). Зі збільшенням обсягу та частоти поставок (або попиту) конкретної деталі чи вузла зростає їх пріоритет порівняно з іншими елементами, оскільки вони інтенсивніше використовуються під час технічного обслуговування та ремонту АТЗ; для середньозважених інтервалів спостерігається обернена залежність.

Коефіцієнт активності використання k -ї деталі у t -му ретроспективному інтервалі експлуатації АТЗ (декада, місяць, квартал) визначається як сума коефіцієнтів активності постачання та витрат

$$A_k^t = A^t(q)k + A^t(S)k . \quad (2.45)$$

Комплексний коефіцієнт активності використання k -го агрегата системи у ретроспективному періоді визначається як інтегральна характеристика, що враховує показники постачання та витрат відповідних деталей

$$Ak = \sum_t A_k^t . \quad (2.46)$$

Важливою передумовою коректної оцінки рівня використання запасних частин у транспортних підприємствах та прийняття оперативних рішень щодо визначення потреби в межах СТО чи АТП є аналіз інтенсивності застосування номенклатури запасних частин АТЗ. Для цього використовується коефіцієнт

інтенсивності застосування номенклатури, який визначається як співвідношення між обсягом відпуску зі складу за досліджуваний період та кількістю надходжень на склад у той самий проміжок часу

$$K_{uz} = \frac{Q}{O_c + P_p}, \quad (2.47)$$

де Q – обсяг витрат запасних частин;

O_c – стартовий залишок запасних частин на складі;

P_p – кількість запасних частин, що надійшли на склад протягом аналізованого періоду.

Коефіцієнт K_{uz} точніше характеризує використання запасних частин протягом року, ніж оборотність. Відхилення від нуля означає активізацію застосування деталей, але позитивним таке зростання є лише до певної межі. При $K_{uz}=1,0$ можливі два випадки: повне задоволення потреби або повне використання запасів, що надійшли разом із початковим залишком. У другому випадку це може спричинити дефіцит. Тому рівняння (2.47) слід враховувати з витратами палива при плануванні потреби запасних частин для силових агрегатів

$$K_{исп} = \frac{H_{лсс} B}{Q_{изр} \cdot (O_c + P_p)}, \quad (2.48)$$

де $B = \frac{0,01(1,045 - 0,03t_B)n_3 D_{pn} \alpha_T}{Q_c K_p}$ - стала величина, яка відповідає умовам

експлуатації транспортних засобів.

Із рівняння (2.48) випливає, що система постачання запасних частин буде ефективною за умови виконання $K_{исп} > 1,0$. Це можливо у випадку, коли дотримуються визначені параметри функціонування та забезпечується баланс між потребою в деталях і їх фактичним надходженням

$$O_c = \frac{H_{лс} B}{Q_{узр}} - П_p \geq 1,0. \quad (2.49)$$

Іншими словами, кількість запасних частин, що надходять протягом визначеного періоду експлуатації транспортних засобів, не повинна перевищувати встановленого рівня

$$П_p \leq \frac{H_{лс} B}{Q_{узр}}. \quad (2.50)$$

З огляду на зазначене, раціонально застосовувати коефіцієнт попиту запасних частин у межах певного періоду

$$K_{сп} = \frac{N_{зс} - П_p}{C}, \quad (2.51)$$

де $N_{зс}$ – обсяг запитуваних запасних частин у межах планового періоду;

$П_p$ – динаміка надходження запасних частин за плановий часовий інтервал.

Запасні частини, що входять до номенклатури та зберігаються на складі, відповідно до вимог експлуатації автомобілів, характеру виконуваних робіт і умов функціонування АТП та СТО, класифікуються за їх функціональним призначенням на три групи: А, В і С. До груп А та В належать деталі, необхідні для проведення технічного обслуговування й ремонту автомобілів, а також для усунення несправностей вузлів і механізмів, що забезпечують безпеку руху, екологічні вимоги та економію паливно-мастильних матеріалів. Група С охоплює запасні частини, які використовуються для ліквідації несправностей автомобілів, але не входять до переліку груп А та В. Основним критерієм віднесення деталі до тієї чи іншої групи виступає коефіцієнт оборотності

$$K_o = \frac{K_z}{K_{ск}}, \quad (2.52)$$

де K_z – обсяг замін деталей за аналізований період;

$K_{ск}$ – обсяг руху деталей певного найменування через складські запаси.

При значеннях коефіцієнта оборотності $K_o = 1,5 \dots 5,0$ деталь відноситься до групи В, при $K_o > 5,0$ – до групи А, а при менших значеннях – до групи С. Частка запасних частин груп А, В, С на складі та числові значення коефіцієнта уточнюються для кожного АТП чи СТО після початку роботи складу та постійно коригуються. Зношені агрегати під час технічного обслуговування проходять дефектацію та, за можливості, повертаються на підприємство для відновлення. Запасні частини груп А і В, що зберігаються на центральному складі, витрачаються переважно через склади СТО та АТП, хоча іноді допускається їх видача безпосередньо зі складу СТО з урахуванням вартості доставки.

Індивідуальний розрахунок потреби недоцільно застосовувати для всіх деталей автомобіля, адже це потребує значних витрат часу й праці. Такий підхід варто використовувати лише для найбільш важливих елементів, що забезпечують технічний стан автомобіля. За результатами аналізу АВС-класифікації запасні частини силових агрегатів поділяються на три групи:

- А – нечисленні, але найбільш затребувані деталі, що формують 75–80% витрат;
- В – другорядні запасні частини, на які припадає до 20% витрат;
- С – чисельна група недорогих деталей, що складають близько 5% вкладень у запаси.

XYZ-аналіз застосовується для оцінки значущості запасних частин залежно від частоти їх використання на підприємстві. Він дає змогу виділити групи деталей та комплектуючих із постійним і стабільним попитом, із витратами, що коливаються, а також ті, споживання яких має випадковий характер. На основі цього аналізу формуються три групи: Х, Y та Z.

- Група Х – деталі, споживання яких є стабільним або піддається лише незначним випадковим коливанням. Їх попит добре прогнозується, а частка в

загальній номенклатурі зазвичай не перевищує 50%. Для цих матеріалів характерні найнижчі коефіцієнти варіації (0–10%).

- Група Y – деталі з періодичним попитом або такими, що демонструють тенденцію до зростання чи зниження протягом року. Прогнозування їх потреби менш точне. Їх питома вага становить близько 30%.

- Група Z – деталі, споживання яких не має чіткої закономірності, тому прогнозування їх витрат практично неможливе. Вони складають приблизно 15% номенклатури.

Основним критерієм віднесення товару до тієї чи іншої групи виступає коефіцієнт варіації споживання



$$v = \left(\delta / n_{cp} \right) \cdot 100, \quad (2.53)$$

де v – показник варіації споживання матеріальних ресурсів відображає рівень прогнозованості: низькі значення свідчать про стабільний попит;

δ – статистичний параметр, що показує, наскільки фактичне споживання ресурсів відрізняється від середнього у звітному періоді;

n_{cp} – середнє значення витрат ресурсів у звітному періоді.

Методика XYZ-аналізу передбачає послідовне виконання таких етапів:

- Визначення середнього рівня витрат кожної деталі за кілька місяців або кварталів.

- Обчислення середньоквадратичного відхилення попиту відносно середнього значення.

- Розрахунок коефіцієнта варіації для кожної позиції.

- Ранжування деталей та вузлів у порядку зменшення коефіцієнта варіації.

- Узагальнення даних про кількість деталей та їх розподіл по групах залежно від величини коефіцієнта варіації.

Таким чином, XYZ-аналіз виступає інструментом прийняття рішень при плануванні потреби у запасних частинах.

Для деталей групи X рекомендується здійснювати закупівлі відповідно до запланованих норм витрат, визначених при технічному обслуговуванні та ремонті.

Для групи Y доцільним є формування сезонних запасів згідно з нормативами.

Для групи Z матеріали слід придбавати лише за фактом виникнення потреби, а створення запасів вважається недопустимим.

2.4 Систематизація результатів експериментальних досліджень

Перевірка та практична реалізація теоретичних положень щодо прогнозування потреби у запасних частинах для вузлів двигунів і трансмісій вантажних автомобілів вимагала проведення експериментальних досліджень. У результаті цих досліджень було отримано необхідні дані, що дали змогу оцінити ефективність побудованої математичної моделі прогнозування в умовах реальної експлуатації. Методи експериментальних досліджень поділяють на лабораторні, дорожні та експлуатаційні. Аналіз існуючих підходів показує, що лише лабораторні та експлуатаційні випробування, навіть попри їх тривалість, забезпечують достатньо повну й достовірну інформацію про властивості та якість досліджуваних процесів чи об'єктів. Під час експлуатаційних випробувань здійснюється накопичення даних про відмови, зношування, несправності та інші показники протягом усього періоду спостережень за контрольованою групою силових агрегатів. Саме ці дані слугують основою для формування фізичної моделі досліджуваного процесу. Збір інформації про умови руху автомобілів, її обробка та аналіз виконувалися за допомогою інтегрованої інформаційно-виміральної системи – бортового комп'ютера МК-93.

На основі зафіксованих значень параметрів та поточного часу блок обробки даних виконує розрахунок ряду показників, необхідних для оцінки умов

функціонування автомобіля. Зокрема, шляхом диференціювання пройденої дистанції за часом визначається швидкість руху, а через диференціювання витрат палива за часом — його миттєва витрата. Виходячи з пройденого шляху, обчислюється витрата палива на 100 км. За допомогою інтегрування отримують загальний пробіг та сумарну кількість використаного палива. Інтервали часу для виконання операцій інтегрування та диференціювання задавалися таймером і встановлювалися відповідно до періоду вимірювань. У таблиці 2.4 наведено перелік параметрів, які вимірювалися та розраховувалися інформаційно-вимірювальною системою і відображалися водієві на дисплеї. Режим роботи експериментального автомобіля та порядок подання даних на екран задавалися через пульт керування (клавіатуру).

Таблиця 2.4 – Дані, отримані та розраховані системою вимірювання автомобіля

Параметр	Позначення (клавіша)	Діапазон	Крок відліку
Час доби (год:хв)	«Н»	00:00 – 23:59	1
Миттєва витрата палива, л/100 км	«МОМ»	0 – 62,5	0,1
Середня витрата палива за поїздку, л/100 км	«L/100»	0 – 99,9	0,1
Сумарна витрата палива, л	«L»	0 – 624,9	0,1
Пробіг поїздки, км	«КМ»	0 – 999,9	0,1
Середня швидкість, км/год	«КМ/Н»	0 – 199,9	0,1
Тривалість поїздки (год:хв)	«Т»	00,00 – 99,59	1

Обробка даних здійснювалася за допомогою програм, попередньо записаних у пам'ять мікропроцесора. Активація системи проводилася через вимикач замка запалювання. Резервний блок оперативної пам'яті (ОЗУ) був постійно підключений до джерела живлення, що забезпечувало збереження необхідних відомостей навіть після вимкнення запалювання. На рисунках 2.4–2.8 наведено загальний вигляд бортового комп'ютера, датчики витрати палива та швидкості руху автомобіля, схему його підключення, а також принципову схему

інформаційно-вимірювального комплексу. У схемі позначені датчики D_n і $D_{p,m}$, формувачі сигналів від датчиків витрати палива та швидкості, які містять фільтри Z_1 , Z_2 та обмежувачі сигналів $U_1...U_3$, а також мікропроцесор, дисплей і клавіатуру.



Рисунок 2.4 – Візуальне представлення бортового комп'ютера

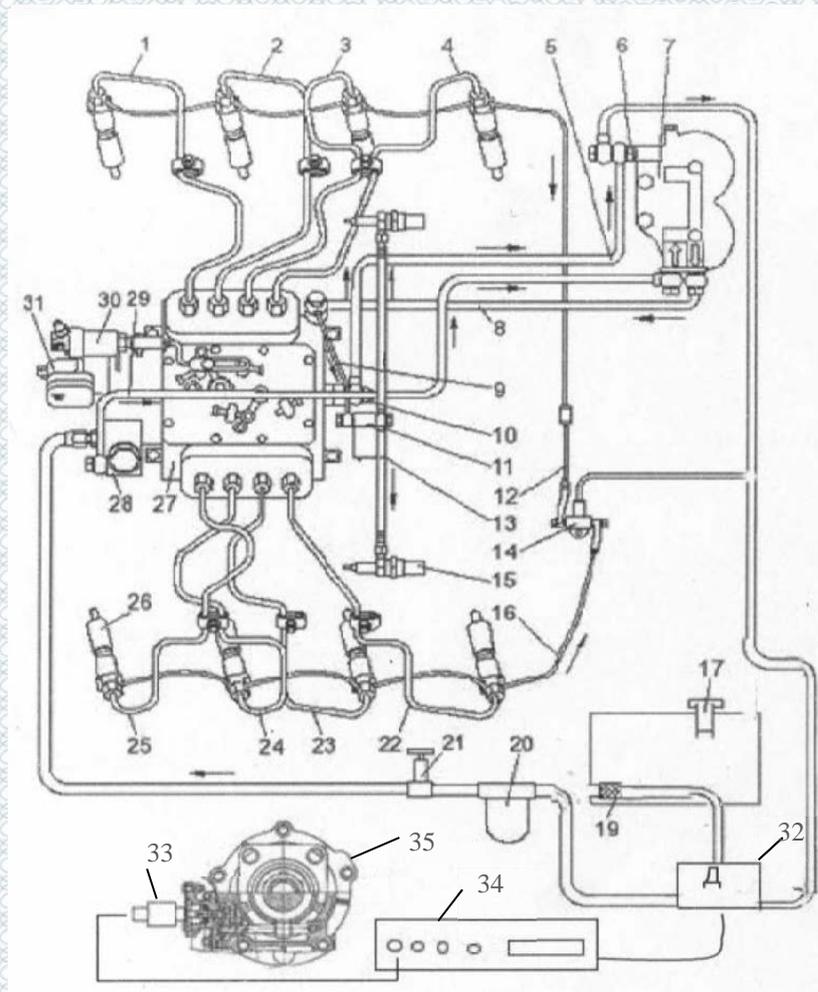


Рисунок 2.5 – Сенсор вимірювання пройденої дистанції



Рисунок 2.6 – Датчик контролю паливоспоживання

метру пройденого шляху. Сигнали від датчиків витрати палива та пробігу надходили до мікропроцесора через формувачі імпульсів, які включали вихідні фільтри Z_1 , Z_2 та обмежувачі сигналів U_1 , U_2 .



- 1–4, 22–25 – трубки високого тиску для подачі палива; 5 – відвідна трубка паливного насоса;
 6 – клапан-жиклер; 7 – фільтр тонкого очищення палива; 8 – підвідна трубка до ТНВД;
 9 – трубка подачі палива до клапана ЕФУ; 10 – перепускний клапан ТНВД; 11 – клапан ЕФУ;
 12 – дренажна трубка форсунок правої головки; 13 – трубка від магнітного клапана до свічок ЕФУ; 14 – трійник; 15 – свічка ЕФУ; 16 – дренажна трубка форсунок лівої головки;
 17 – заправна горловина з фільтром-сіткою; 18 – паливний бак; 19 – паливозабірна трубка з фільтром-сіткою; 20 – фільтр грубого очищення палива; 21 – насос попереднього прокачування палива; 26 – форсунка; 27 – ТНВД; 28 – паливопідкачувальний насос;
 29 – відвідна трубка ТНВД; 30 – пневмоциліндр зупинки двигуна; 31 – коректор подачі палива за тиском наддувального повітря; 32 – датчик витрати палива; 33 – датчик швидкості;
 34 – бортовий комп'ютер; 35 – коробка передач (КПП)

Рисунок 2.8 – Принципова схема підключення бортового комп'ютера

Сигнал від замка запалювання надходив до блоку живлення, переводячи мікропроцесор із режиму очікування у робочий стан. Усі вузли процесора та датчики отримували живлення від стабілізованого джерела, підключеного до електромережі автомобіля, яке забезпечувало напруги: +5 В, –15 В та приблизно 2,4 В для роботи люмінесцентного індикатора. Під час руху транспортного засобу мікропроцесор, відповідно до закладеної програми, здійснював обробку сигналів від датчиків пробігу та витрати палива, а також від внутрішнього годинника. На основі цих даних визначалися параметри, що характеризували умови функціонування силових агрегатів. Автомобіль як об'єкт дослідження під дією різних чинників виступає складною, слабо структурованою системою дифузійного типу, у якій важко виділити ступінь впливу окремих факторів. Для аналізу подібних систем основним інструментом виступає статистичний метод [13].

Головною метою проведеного експерименту було отримання необхідних статистичних даних та їх подальша обробка для визначення реальної потреби у запасних частинах і показників надійності силових агрегатів за різних умов експлуатації, а також перевірка адекватності математичної моделі прогнозування. Статистичне дослідження здійснювалося у кілька етапів:

- формулювання вимог до статистичних даних та методики їх збору;
- вибір способів обробки отриманої інформації;
- аналіз результатів спостережень.

Для забезпечення достовірності та практичної цінності даних, необхідних для побудови моделі оптимального прогнозування потреби у запасних частинах, статистична інформація повинна відповідати таким критеріям:

- зібрані відомості мають бути точними та перевіреними;
- інформація повинна бути комплексною, включати зовнішні умови (дорожні, транспортні, кліматичні, особливості експлуатації), а також параметри витрати палива, швидкість руху, навантаження, пробіг і момент виникнення відмов;

- збір даних має проводитися систематично та безперервно;
- результати спостережень повинні фіксуватися у стандартизованих формах обліку.

З урахуванням наведених вимог та положень стандартів ГОСТ 27.310-95 і ДСТУ 3004-95 була сформована спеціальна форма для реєстрації напрацювань, пошкоджень та відмов. У ній передбачено фіксацію кожного випадку відмови (поломки, зносу, порушення тощо), пробігу автомобіля, сумарної витрати палива до моменту виникнення несправності, а також причини та короткої характеристики її природи й умов експлуатації. Перевірка коректності математичної моделі прогнозування потреби у запасних частинах полягала у підтвердженні правильності базового припущення, що критерієм втрати працездатності силових агрегатів є зношування їхніх механічних сполучень, та у встановленні відповідності результатів моделювання фактичним даним експлуатації. Відповідно до поставлених завдань дослідження проводилися у два етапи: контрольована експлуатація та експлуатаційні спостереження.

Перший етап досліджень був спрямований на перевірку прийнятого припущення щодо критеріїв виходу з ладу деталей силових агрегатів, визначення числових показників швидкості їх зношування та характеристик умов експлуатації, що враховуються у розрахункових залежностях. Другий етап мав на меті підтвердження практичної застосовності отриманих залежностей прогнозування потреби у запасних частинах у реальних умовах роботи автомобілів. У якості бази для експлуатаційних досліджень використовувалися звітні матеріали автопарку Вінницької дирекції «Укрпошта». Спостереження проводилися за силовими агрегатами (двигун, коробка передач, головна передача) транспортних засобів, що експлуатуються в різних умовах. Для розмежування режимів роботи було визначено дві групи автомобілів за переважним характером експлуатації: на замських (міжміських та міжнародних) маршрутах і на міських дорогах.

У процесі дослідження надійності сполучень двигуна та трансмісії часто неможливо заздалегідь встановити, якому закону розподілу підпорядковується досліджуваний параметр. У таких випадках рекомендується визначати кількість контрольованих N сполучень або деталей за наближеною формулою

$$N = \lg(1 - P_x) / \lg(1 - \varepsilon_x). \quad (2.54)$$

Обробка експериментальних даних щодо технічного стану та умов експлуатації силових агрегатів автомобілів базується на застосуванні методів математичної статистики. Її метою є визначення параметрів та встановлення закону розподілу, який найбільш адекватно описує отриманий статистичний матеріал. Методика вирішення задач аналізу вихідних даних про надійність силових агрегатів, розроблена у працях [11, 17, 19], охоплює процеси збору та обробки інформації, що структуровано на такі блоки (рис. 2.9): 1 – накопичення даних про технічний стан та їх систематизація; 2 – статистична обробка вибірок для визначення параметрів і типів законів розподілу; 3 – оцінка параметрів генеральної сукупності; 4 – формування висновків і рекомендацій щодо номенклатури запасних частин.

На основі зібраних даних щодо потреби у запасних частинах для контрольних груп автомобілів Citroën Jumper та MAN TGL були побудовані діаграми накопичених частот, розподілу пробігів до заміни деталей за групами А, В, С для силових агрегатів, а також графіки розподілу витрат часу на постачання запасних частин. Для реалізації поставленої мети здійснено збір інформації про елементи, що потребують заміни у випадку дефектів чи несправностей силових агрегатів; виконано розрахунки характеристик розподілу пробігів та сумарної витрати палива, при яких виникає необхідність заміни деталей; встановлено закономірності у формуванні потреби та проведено аналіз і узагальнення отриманих результатів.

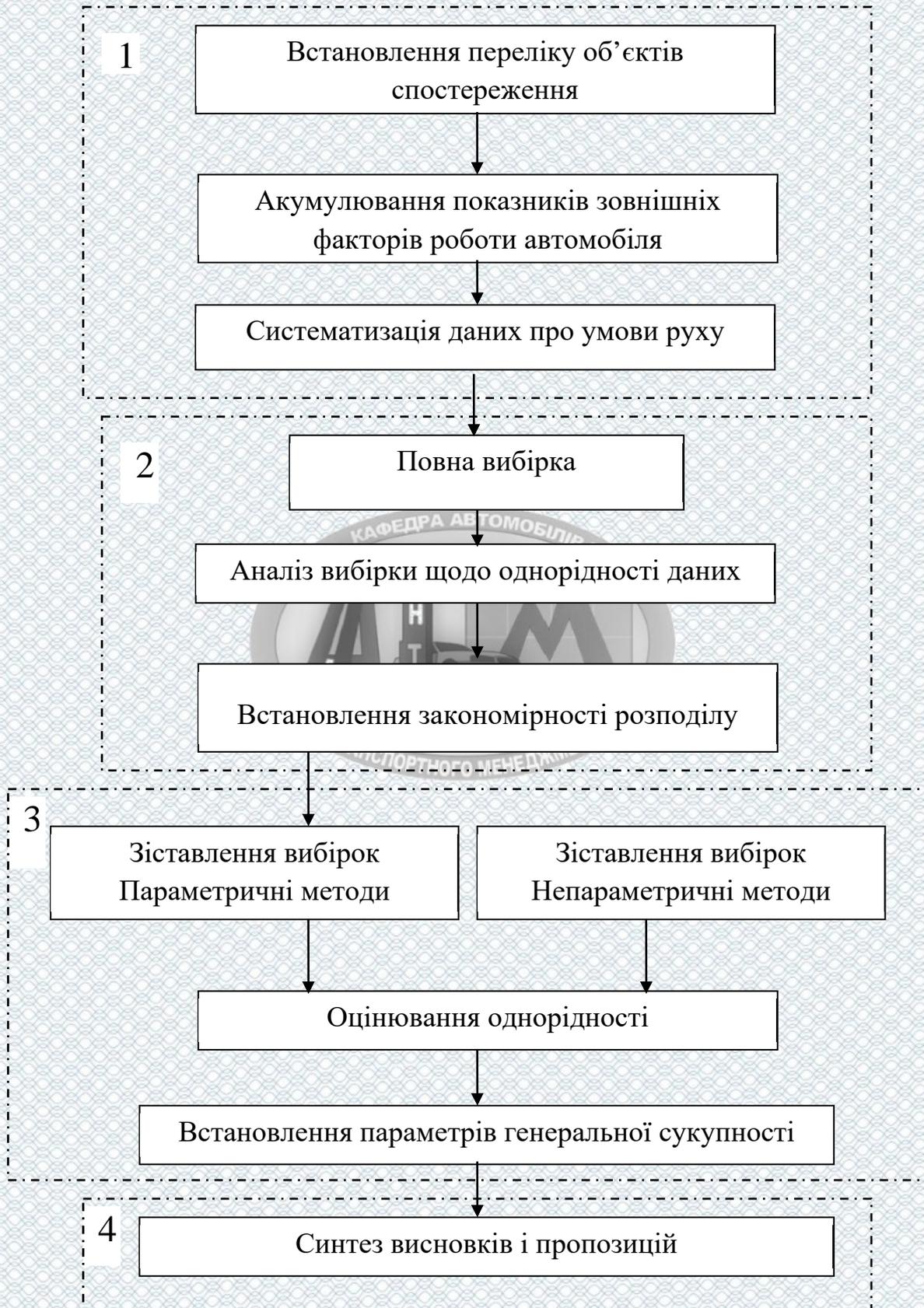
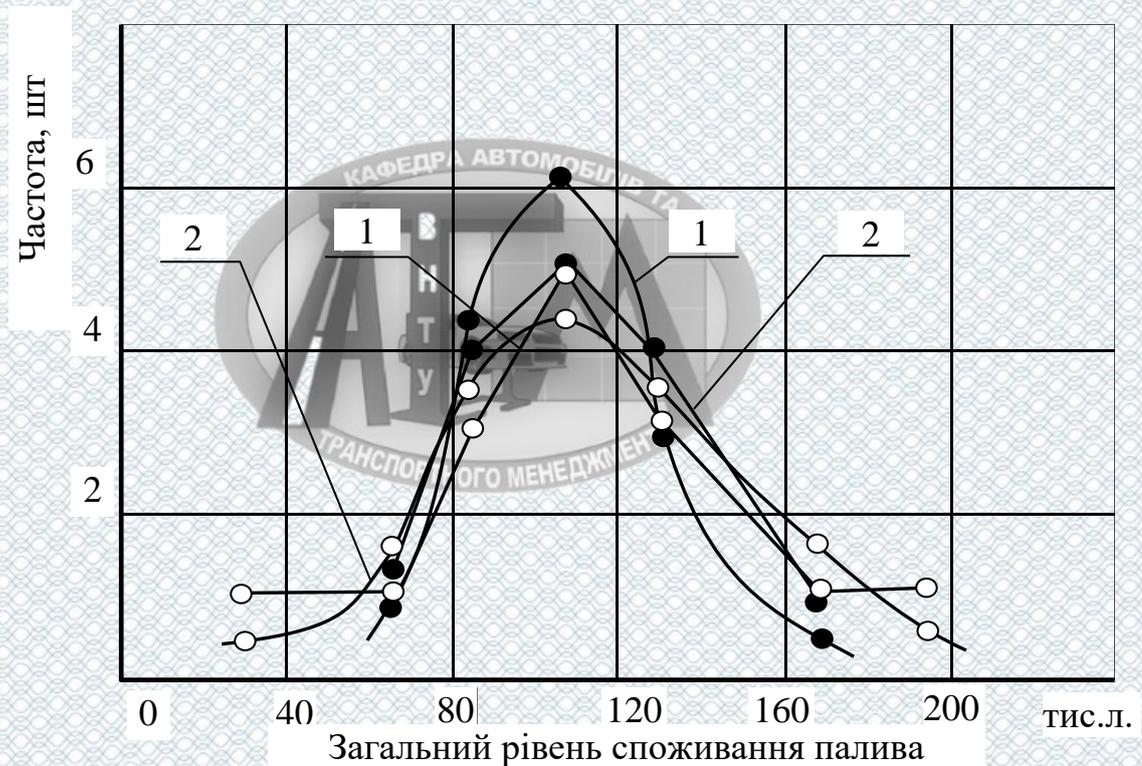


Рисунок 2.9 – Алгоритм обробки даних для прогнозування потреби у запасних частинах

Основні групи причин попиту на запасні частини:

- погіршення екологічних показників (токсичність відпрацьованих газів);
- зниження експлуатаційних та економічних характеристик;
- порушення робочих процесів (розгерметизація, перегрів, вібрації, втрата властивостей мастила);
- зміна геометричних параметрів (зазори, люфти, перекоси);
- аварійні відмови (поломки, тріщини тощо).



1 – полігон розподілу;

2 – функція теоретичного розподілу.

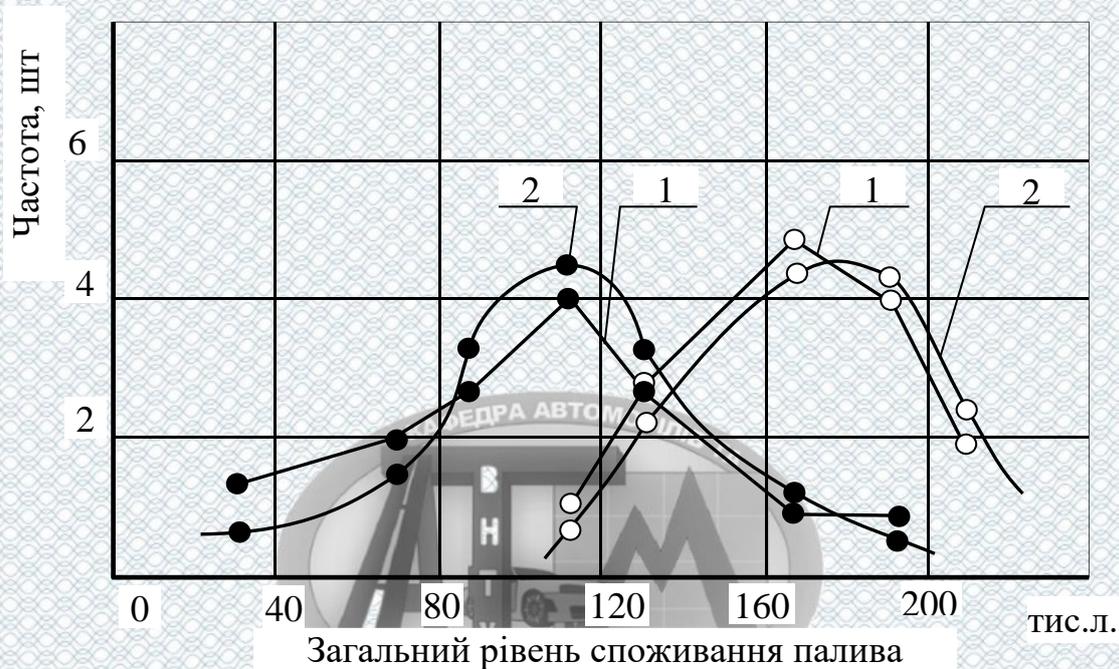
○ — деталі переднього моста;

● — деталі заднього моста

Рисунок 2.10 – Розподіл попиту на деталі групи А мостів автомобіля MAN TGL

У ході експлуатаційних спостережень було зібрано статистичні дані щодо потреби у запасних частинах для силових агрегатів. Встановлено, що деталі

групи В автомобілів MAN характеризуються підвищеною довговічністю серед основних елементів силових агрегатів. Ресурс деталей групи С виявився приблизно однаковим для різних категорій умов експлуатації.



1 – полігон розподілу;

2 – функція теоретичного розподілу.

—○— – деталі групи С;

—●— – деталі групи В.

Рисунок 2.11 – Діаграма попиту на запасні частини груп В та С двигуна АТЗ

Розрахунок статистичних характеристик емпіричних рядів та узгодження емпіричних частот із найбільш поширеними теоретичними законами на ЕОМ засвідчив високу відповідність отриманого розподілу нормальному закону. При цьому були визначені такі значення його параметрів:

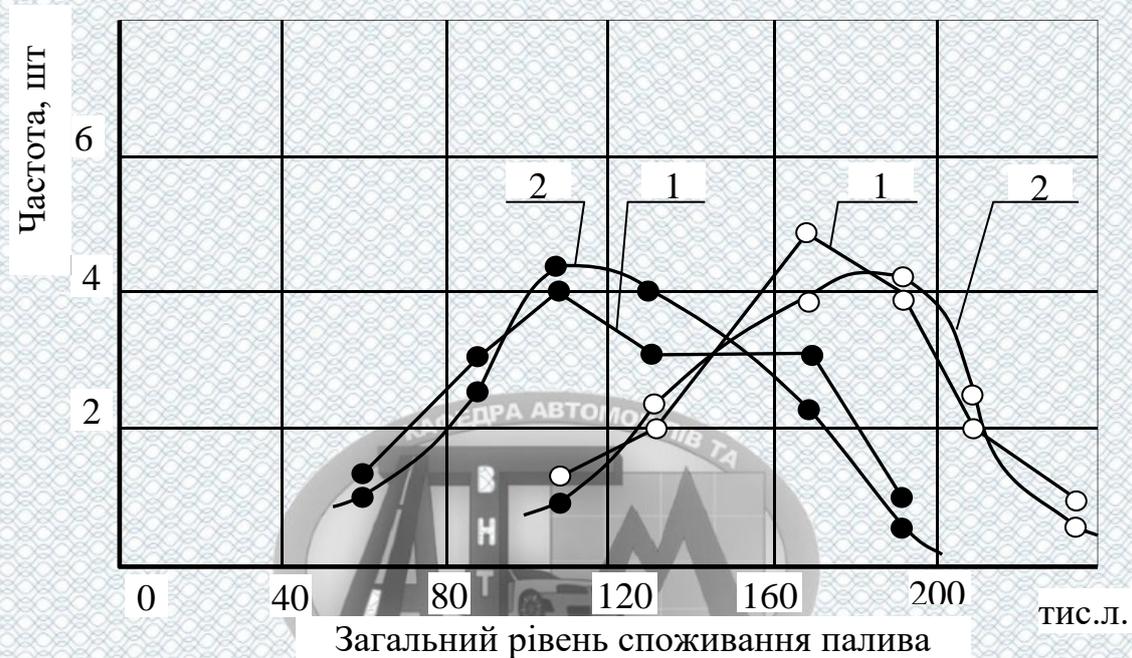
– для ТЗ першої групи – $Q_{сум} = 162000$ л,

$\delta = 6900$ л. та $V = 0,213$;

– для ТЗ другої групи – $Q_{сум} = 170000$ л,

$\delta = 10500$ л. та $V = 0,30$.

Рисунок 2.12 ілюструє полігон розподілу та диференціальну функцію закону розподілу потреби в деталях групи А силових агрегатів MAN, що працюють у вибраних режимах експлуатації.



1 – полігон розподілу;

2 – функція теоретичного розподілу.

—○— – деталі коробки передач;

—●— – деталі головної передачі.

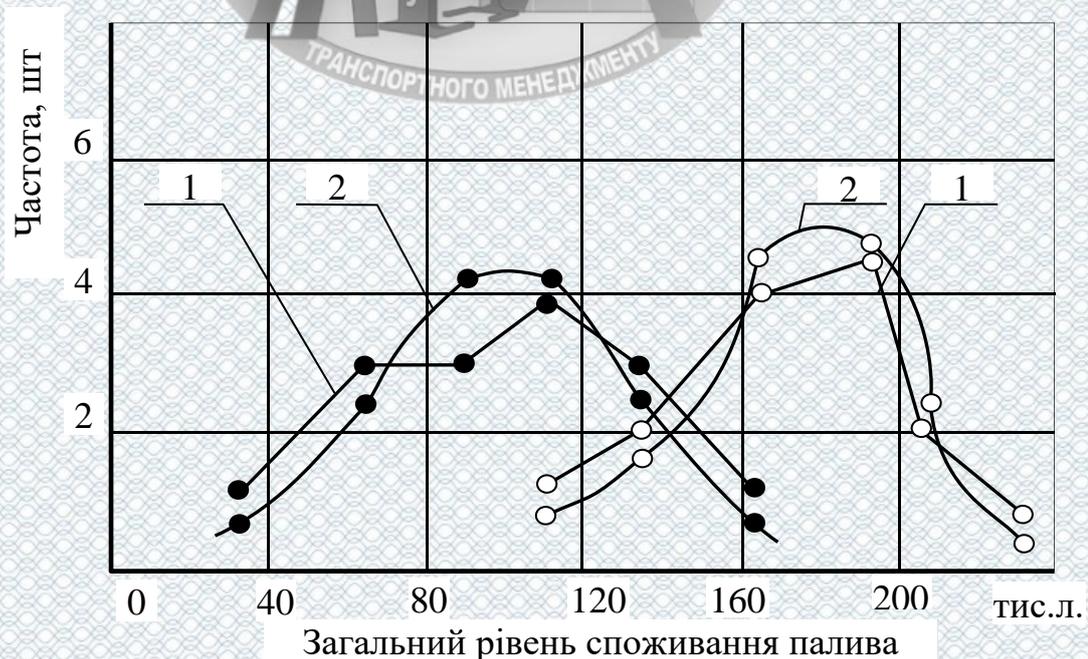
Рисунок 2.12 – Діаграма попиту на запасні частини групи А головної передачі й КПП

Для оцінки відповідності дослідного розподілу теоретичному закону було застосовано критерій узгодженості Пірсона χ^2 . Розрахунки показали, що для автомобілів, які не проходили капітальний ремонт, ймовірність підпорядкування нормальному закону становить 61%, а для автомобілів після ремонту – 93%. Критичною межею прийнято значення ймовірності 10% [27], нижче якого обраний закон вважається непридатним. Таким чином, отримані результати підтверджують, що статистичні дані щодо попиту на запасні частини групи С

автомобілів MAN добре узгоджуються з нормальним законом розподілу. Параметри цього закону наведено у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Узагальнені характеристики потреби у деталях групи С силових агрегатів автомобілів

Найменування агрегату	Середнє значення, тис.	Межі (нижня–верхня), тис.	Середнє квадратичне відхилення, тис.	Коефіцієнт варіації	Критерій узгодженості	Теоретичний закон
Циліндро-поршнева група	108,0 – 113,0	98,26 – 117,72	23,0 – 35,0	0,21 – 0,30	1,1 – 1,9	Нормальний
Кривошипно-шатунний механізм	173,0 – 111,0	95,72 – 185,30	28,0 – 36,0	0,16 – 0,32	0,5 – 1,0	Нормальний
Коробка передач	176,0 – 122,0	107,6 – 190,42	34,0 – 34,0	0,19 – 0,28	0,6 – 0,7	Нормальний
Ведучий міст	117,0 – 152,0	107,67 – 126,33	22,0 – 30,0	0,18 – 0,20	1,7 – 2,5	Нормальний



1 – полігон розподілу; 2 – функція теоретичного розподілу.

—○— – деталі групи С; —●— – деталі групи В;

Рисунок 2.13 – Діаграма попиту на запасні частини груп В і С коробки передач MAN TGL

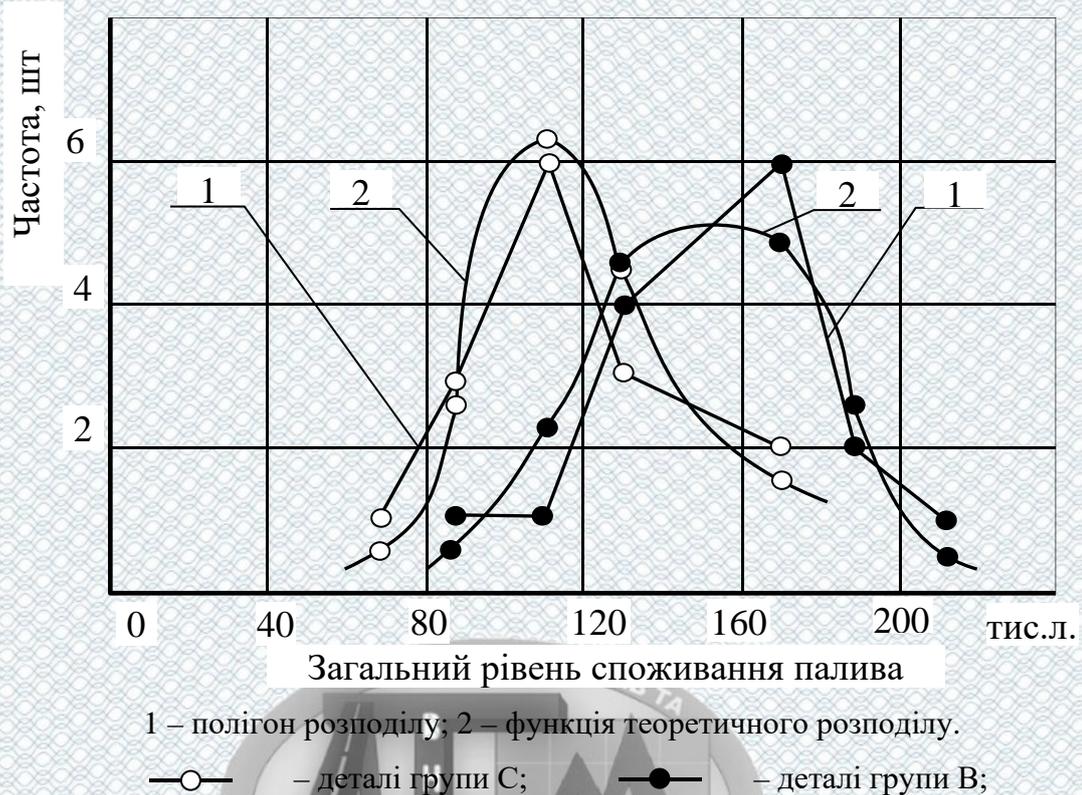


Рисунок 2.14 – Діаграма попиту на запасні частини груп В і С ведучих мостів

Порівняння результатів статистичної обробки даних експериментальних спостережень для деталей групи С нових автомобілів із показниками для машин після капітального ремонту силових агрегатів засвідчило незначні відмінності у величинах. Це підтверджує, що висновки щодо попиту на запасні частини групи С є коректними і для агрегатів після ремонту, оскільки рівень потреби в цих деталях залишається приблизно однаковим.

Зовнішні умови експлуатації визначають навантажувально-швидкісний режим роботи автомобіля, який згідно з рівняннями (2.48), (2.50) характеризується такими факторами: витратою палива (л/100 км), повною масою та швидкістю руху. Ці показники змінюються в певних межах навіть за умови роботи на постійному маршруті. За результатами річних спостережень для групи автомобілів встановлено, що повна маса, швидкість руху та витрата палива відрізнялися відповідно на 10,8–15,4%, 15,1–20,7% та 12,8–14,2%, а потреба у запасних частинах групи А силового агрегату – на 10,8–18,8%.

Загальний аналіз свідчить, що потреба у запасних частинах групи А визначається переважно навантажувально-швидкісним режимом та індивідуальними характеристиками конкретного двигуна. Простежується чітка тенденція зміни попиту протягом усього пробігу автомобіля залежно від витрати палива, повної маси та швидкості руху.

Прогнозування потреби у запасних частинах груп А, В, С має специфічні особливості, оскільки ця сфера не піддається суворій алгоритмізації. Формування прогнозу значною мірою базується на досвіді та інтуїції експерта, а не лише на детальному аналізі фізико-хімічних процесів у силових агрегатах транспортних засобів.

Однією з ключових проблем автомобільного транспорту є необхідність аналізу великого обсягу суперечливої інформації, що надходить до керівників підприємств та об'єднань, і прийняття рішень у динамічних умовах. Основна складність полягає у потребі обробки значних масивів даних, їх зіставлення з наявною інформацією та багатосторонньої оцінки. Використання теорії евристичних рішень дозволяє автоматизувати цей процес, залишаючи керівнику лише функцію морально-правової оцінки запропонованих ЕОМ варіантів дій та їх наслідків. Евристичні методи прогнозування попиту на запасні частини відображають індивідуальну експертну думку щодо майбутнього технічного стану агрегатів і вузлів автомобіля та ґрунтуються на професійному досвіді й інтуїції. Такий підхід доцільно застосовувати для оцінки потреби у деталях групи А, коли агрегати чи системи автомобіля не піддаються повній математичній формалізації або створення адекватної моделі є утрудненим.

Аналіз залежності ресурсу двигуна та трансмісії від середньої технічної швидкості, повної маси автомобіля, витрати палива (л/100 км), а також конструктивних та експлуатаційних чинників засвідчує їх істотний вплив на прогноз залишкового ресурсу сполучень. Тому при евристичному визначенні потреби у запасних частинах груп А і В силових агрегатів доцільно враховувати закономірності зношування елементів під дією зазначених факторів. У цьому

контексті робота експерта з оцінки потреби у запасних частинах здійснюється виходячи з кількості рухомого складу та базується на відповідному рівнянні

$$N_{34}'' = \frac{m_3 A_{en}}{100} K_{ey}, \quad (2.55)$$

або за сумарною витратою палива, що визначається рівнянням

$$N_{34}'' = \frac{100 Q_{sum}'' K_{ey}}{H}, \quad (2.56)$$

де N_{34}'' - характеристика попиту на запасні частини груп А та В силових агрегатів;

K_{ey} - Коригувальний коефіцієнт для майбутніх умов функціонування транспортних засобів.

Чисельні значення коефіцієнта, що характеризує зовнішні умови експлуатації силового агрегату автомобіля, можуть бути визначені за такою залежністю

$$K_{ey} = 1,1 V_{opt} / V_a - 0,1 (G_a / G_n - 1). \quad (2.57)$$

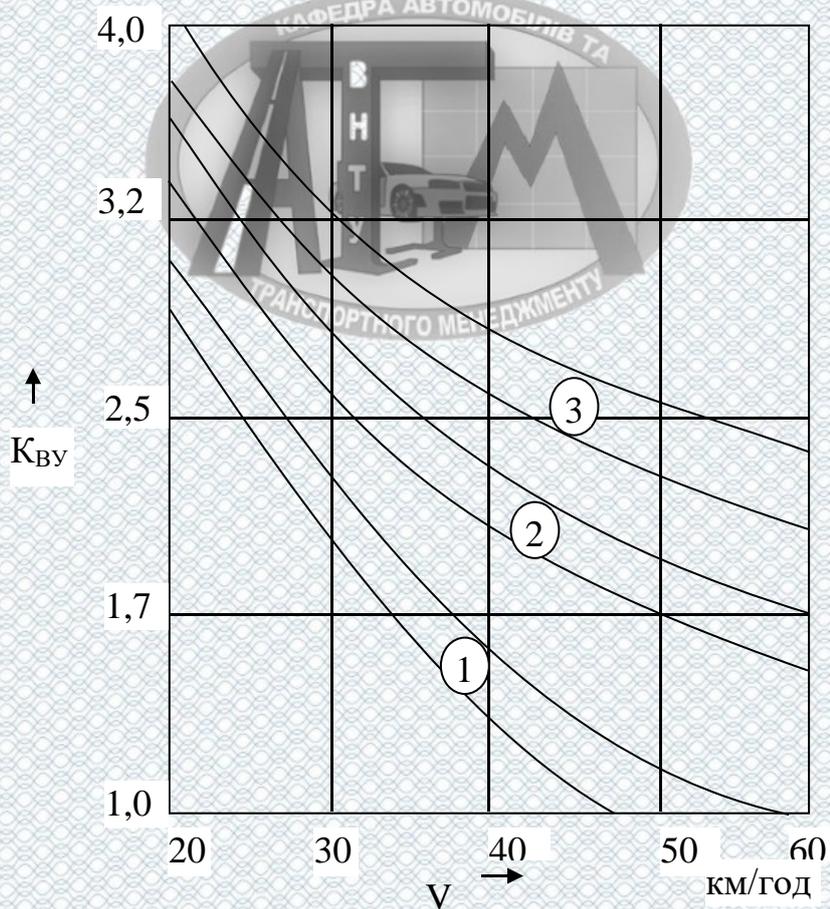
Для спрощення процедури визначення потреби у запасних частинах груп А та В силових агрегатів експерт може користуватися значеннями коефіцієнтів, наведеними у таблиці 2.6.

Розрахунок оптимальної середньої технічної швидкості автомобіля виконується наближено відповідно до рівняння

$$V_{opt} = (0,6 \dots 0,7) V_{max} \text{ [км/год.]}, \quad (2.58)$$

Таблиця 2.6 – Нормативні значення коефіцієнта впливу зовнішніх умов експлуатації

Умови експлуатації	Середня технічна швидкість, км/год	Порожній	З вантажем	З причепом
I	45–55	0,97–1,05	1,20–1,30	1,40–1,60
II	35–45	1,05–1,15	1,30–1,70	1,70–2,05
III	28–35	1,15–1,50	1,70–2,05	2,05–2,56
IV	23–28	1,30–1,70	2,05–2,56	1,56–3,30
V	20–23	2,00–2,05	2,56–2,90	3,30–3,90



1 – порожній автомобіль; 2 – автомобіль, повністю завантажений;

3 – автомобіль, повністю завантажений з причепом

Рисунок 2.15 – Взаємозв'язок коефіцієнта зовнішніх умов із технічною швидкістю та завантаженням автомобіля

Менші значення оптимальної середньої технічної швидкості доцільно приймати для порожнього автомобіля, тоді як проміжні та вищі значення – для транспортного засобу з вантажем та з причепом відповідно.

Запропоновані евристичні методи прогнозування можуть бути використані спеціалістами автомобільного транспорту при плануванні та організації роботи технічної служби автопідприємств, а також під час вибору зовнішніх умов експлуатації з метою підвищення ресурсу силових агрегатів.

Висновки до розділу 2

Виявлено закономірності оцінювання потреби у запасних частинах, що мають індивідуально-детермінований характер та включають коефіцієнт корекції, який враховує зовнішні умови експлуатації.

Сформовано закономірності прогнозування потреби у запасних частинах груп А, В, С для силових агрегатів, що базуються на енергетичних витратах транспортної роботи та конструктивних особливостях автомобілів.

Як енергетичні витрати транспортної роботи прийнято сумарну витрату палива, середню швидкість руху автомобіля та обсяг перевезеного вантажу. У зв'язку з цим для формування номенклатури запасних частин, на які виникає попит, слід використовувати показники зміни ресурсу вузлів у магістральному та міському циклах за різних ступенів завантаження.

Експериментальні дослідження засвідчили, що найбільш доцільними для визначення оптимальної потреби у запасних частинах груп А, В, С є розрахункові методи, побудовані на використанні фізичної сутності процесів, які зумовлюють відмови.

Розроблено методику статистичного аналізу для визначення потреби у запасних частинах силових агрегатів за групами деталей. Встановлено закони розподілу потреби у запасних частинах груп А, В, С відповідно до енергетичних

параметрів (витрата палива, середня швидкість руху та обсяг виконаної транспортної роботи).

Визначено закономірності формування потреби у запасних частинах груп деталей силових агрегатів залежно від кількості рухомого складу та сумарної витрати палива, скориговані коефіцієнтом, що враховує зовнішні умови на заданий період експлуатації автомобілів.



РОЗДІЛ 3.

ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТРЕБИ В ЗАПАСНИХ ЧАСТИНАХ У ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ

3.1 Практичні аспекти прогнозування потреби в запасних частинах для силових агрегатів автотранспорту

Методика ґрунтується на процесах функціонування силових агрегатів автомобільного транспорту, що визначають їх працездатність та відмови. Точність аналізу зовнішніх умов і технічного стану забезпечує якість прогнозування потреби у запасних частинах та ефективність управління надійністю рухомого складу. Система аналізу працездатності включає основні програмні блоки, наведені на рисунку 3.1.

Керуюча програма виконує головну роль у системі, забезпечуючи взаємозв'язок її елементів та інформаційне узгодження. Вона відповідає за введення й контроль вихідних даних, формування структури та її подальшу корекцію, а також за захист внутрішніх блоків від випадкових порушень. Крім того, програма здійснює попередній аналіз результатів розрахунків системи управління.

Проблемно-орієнтовані блоки призначені для визначення потреби у запасних частинах силових агрегатів конкретних транспортних засобів. Вони несуть основне навантаження у процесі аналізу функціонування АТЗ, отримують інформацію від керуючої програми та керуються нею. На відміну від керуючої програми, їх структура є більш гнучкою і може змінюватися відповідно до вдосконалення математичних моделей зношування деталей та методів діагностування технічного стану агрегатів.

Виведення результатів роботи блоків здійснюється керуючою програмою, тоді як самі блоки формують лише контрольну інформацію для перевірки

коректності їх функціонування. Управління проблемно-орієнтованими блоками забезпечують допоміжні програми, які створюють розрахункові структури та дозволяють уточнювати потребу й номенклатуру запасних частин для конкретних силових агрегатів автомобільного транспорту з урахуванням модернізацій вузлів і систем.

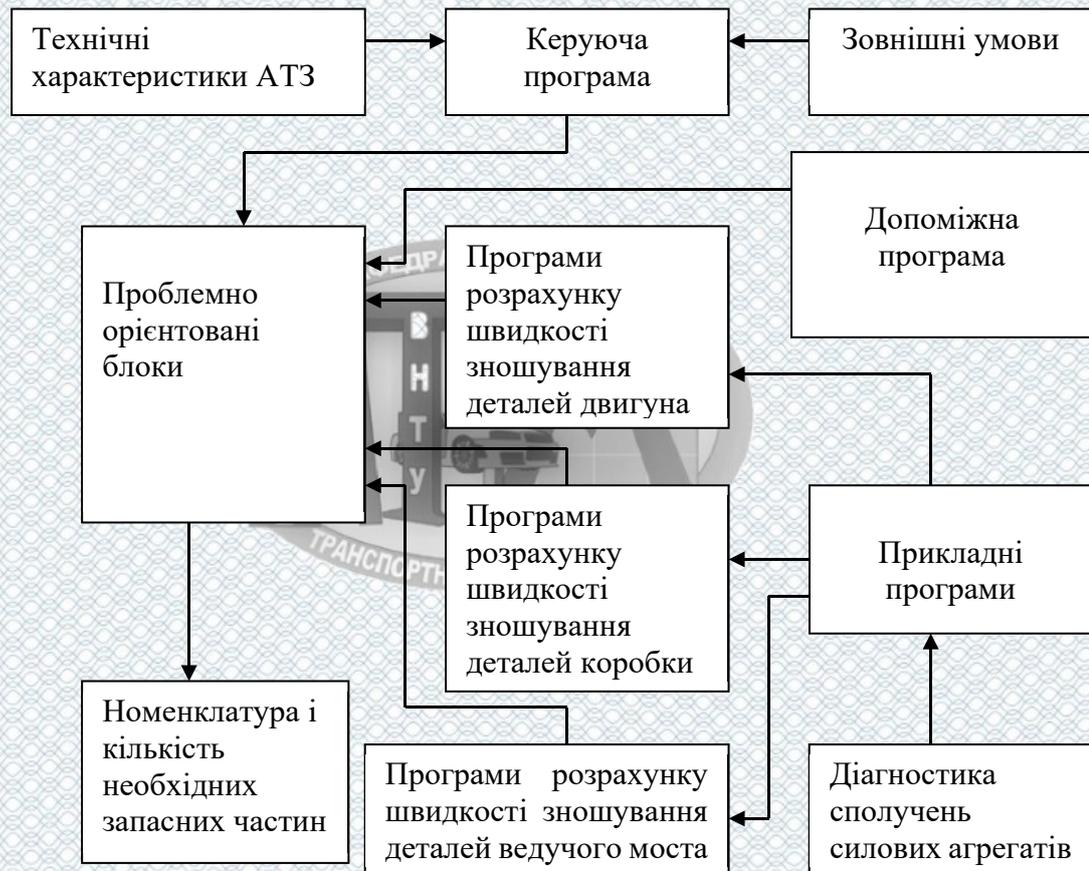


Рисунок 3.1 – Узагальнена схема прогнозування потреби у запасних частинах силових агрегатів

Пакет прикладних програм використовується для оцінювання ступеня зношеності сполучень силових агрегатів за результатами діагностики, а його склад може розширюватися зі вдосконаленням методів контролю. Основними елементами системи є проблемно-орієнтовані блоки, що забезпечують

визначення номенклатури запасних частин для конкретних транспортних засобів та управління їх постачанням за марками і моделями силових агрегатів. Для повного прогнозування потреби у запасних частинах на визначений період доцільно об'єднувати 4–5 таких блоків.

При розробці методики прогнозування потреби у запасних частинах слід враховувати, що обчислювальна машина є лише інструментом, який виконує закладені функції та не формує власної логіки прийняття рішень щодо номенклатури деталей груп АВС. Це завдання належить до функцій управління. Тому для створення системи автоматизованого визначення потреби у запасних частинах необхідно визначити та проаналізувати основні етапи її розробки.

Початковим етапом методики прогнозування є формування переліку деталей та вузлів за групами А, В, С, що визначають номенклатуру запасних частин. Такий перелік встановлюється заводом-виробником і може коригуватися користувачем у процесі експлуатації залежно від зовнішніх умов. Виконання аналізу за допомогою обчислювальної техніки створює передумови для автоматизації цього етапу.

Наступним кроком є вибір підтипу системи, що відповідає нормативним вимогам. У цьому контексті виникає потреба у нових або вдосконалених методах діагностичної оцінки зношеності деталей, вузлів та агрегатів, оскільки існуючі методи не завжди забезпечують необхідну точність при визначенні потреби у запасних частинах силових агрегатів.

Енергетична концепція прогнозування потреби у запасних частинах [13, 14] потребує створення нових моделей визначення швидкості зношування сполучень силових агрегатів, що базуються на результатах діагностичної оцінки їх стану. Такі завдання належать до четвертого та п'ятого рівнів складності й можуть бути автоматизовані лише частково. Враховуючи рівень складності, на цьому етапі розробки методики визначається допустима ступінь автоматизації оцінки потреби у запасних частинах.

3.2 Розроблення архітектури інтернет-платформи забезпечення автотранспорту запасними частинами

Зростаюча конкуренція змушує автомобільні компанії впроваджувати нові форми організації збуту продукції та послуг, а також сучасні способи взаємодії з підрозділами автосервісу, орієнтованими на ефективну роботу з клієнтом. У результаті в автосервісі сформувався новий напрям – надання інформаційних послуг.

Одним із сучасних рішень є створення на базі дилерських автосервісних центрів спеціального підрозділу із забезпечення запасними частинами. Основним інструментом такого підрозділу виступає вебсайт, розміщений на сервері з доступом через Інтернет. Його структура наведена на рисунку 3.2.

Створення та підтримка сайту повинні здійснюватися за участю організацій, що спеціалізуються на виробництві запасних частин для автомобілів. У процесі реалізації проекту необхідно вирішити ключові завдання: розробку функціональної структури служби, визначення цілей і принципів роботи, створення та розміщення сайту, а також забезпечення можливості онлайн-оплати послуг.

У процесі розвитку дилерських центрів та складів регіонального рівня обсяги продажів можуть істотно зростати, що супроводжується розширенням асортименту та кількості запасних частин. Проте збільшення складських потужностей не завжди можливе оперативно, тому при обмеженнях на зберігання скорочується періодичність поставок і зростає частота замовлень на поповнення складу. Реалізація функції автоматичного формування замовлень призводить до підвищеного навантаження на обчислювальні ресурси, що може спричиняти затримки у видачі необхідної інформації. На продуктивність ПК також впливають додаткові чинники, зокрема встановлення нових програмних комплексів управління складом.

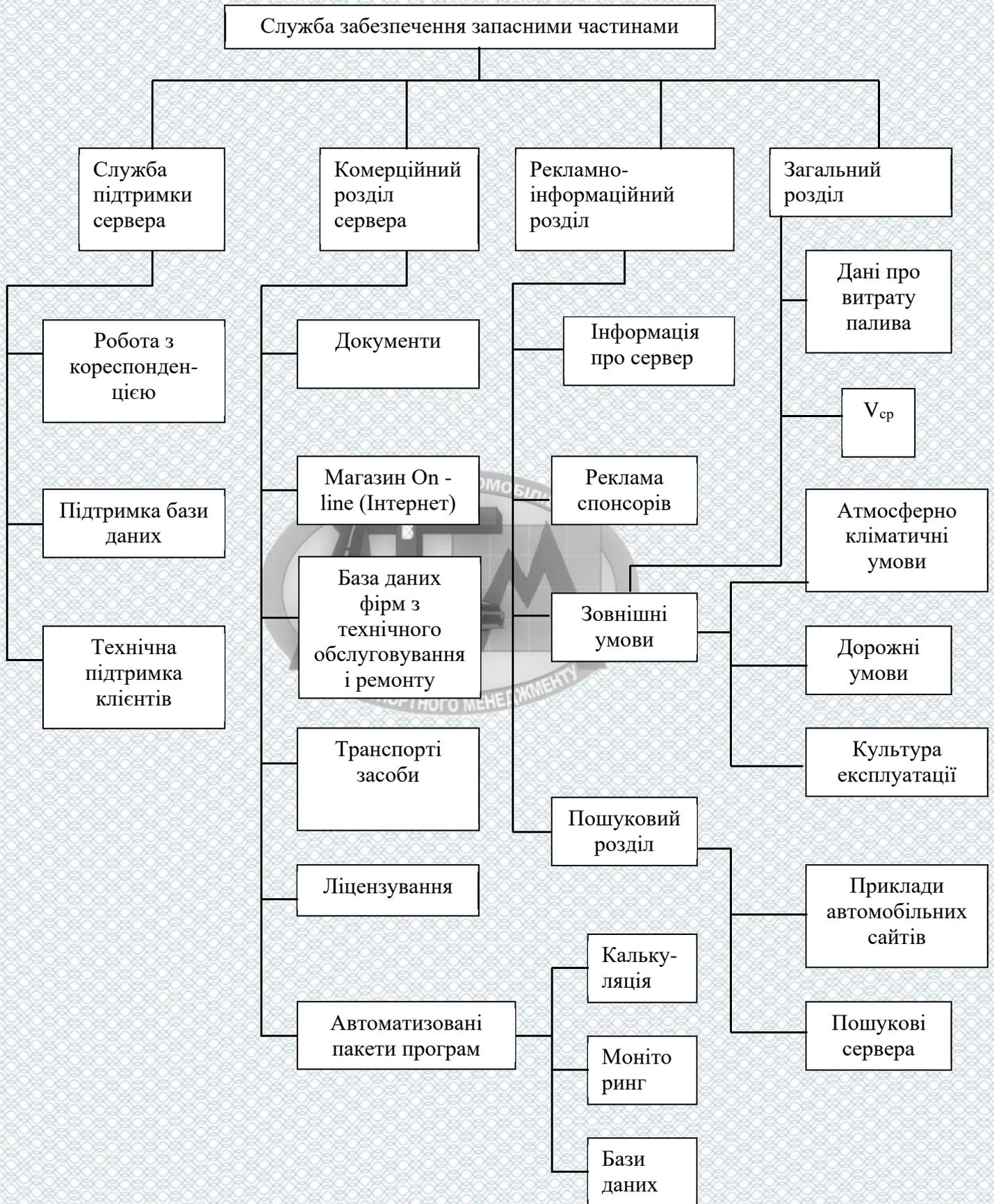


Рисунок 3.2 – Узагальнена схема організації сайту забезпечення запасними частинами

Проблему нестачі обчислювальних потужностей можна вирішувати шляхом модернізації обладнання, придбання додаткових ресурсів або використання програмних рішень із меншими системними вимогами. Проведені дослідження показали, що більшість офісних ПК у локальній мережі завантажені менш ніж на 12%, тоді як сервер працює на межі можливостей. Це обґрунтовує необхідність перерозподілу навантаження між сервером та іншими комп'ютерами шляхом удосконалення алгоритму забезпечення запасними частинами, що дозволить виконувати розрахунки паралельно.

Система розподілених обчислень може базуватися на наявному сервері, комп'ютерах станцій технічного обслуговування, складах запасних частин та засобах комунікації (локальна мережа, інтернет). У такій системі сервер розподіляє завдання між клієнтами, які виконують частину розрахунків і повертають результати для узагальнення.

Програмне забезпечення сервера, побудоване на базі систем управління базами даних, виконує ключові функції: розподіл задач між клієнтами, прийом переліку запасних частин за марками автомобілів, перевірку їх оригінальності для уникнення дублювання, узагальнення даних по групах та розрахунок загальної потреби відповідно до номенклатури. Крім того, система веде статистику по клієнтах, що замовляють запасні частини.

Запропонований підхід до вирішення проблеми нестачі обчислювальних потужностей має переваги над альтернативними варіантами, зокрема нижчі витрати на впровадження, більшу гнучкість та можливість масштабування.

3.3 Практичне управління потребою в запасних частинах

Управління експлуатацією автомобільного транспорту здійснюється на основі нормативів, що визначають періодичність технічного обслуговування, витрату запасних частин та термін служби агрегатів. Чим об'єктивніше встановлені норми, тим ефективніше управління, що забезпечує підвищення

результативності перевезень та зниження витрат ресурсів. Норми коригуються залежно від умов і тривалості експлуатації з урахуванням рівня надійності автомобілів, який відрізняється для різних марок і моделей та потребує застосування відповідних коефіцієнтів.

Збереження надійності досягається економним використанням ресурсу силових агрегатів, зменшенням негативного впливу технологічних та експлуатаційних факторів і оптимізацією навантажувально-швидкісних режимів роботи автомобілів у конкретних умовах.

Оцінювання потреби у запасних частинах до силових агрегатів здійснюється за параметрами, що визначають навантажувально-швидкісний режим роботи автомобіля: швидкість руху, витрата палива, повна маса та конструктивні особливості. Витрата ресурсу агрегату формується з показників ресурсу окремих деталей, які групуються за категоріями А, В, С. Для коректного прогнозування необхідно визначити вагу кожного показника у загальному балансі витрат запасних частин. Сума вагових коефіцієнтів усіх груп повинна становити 100%, що відображає загальну потребу у запасних частинах протягом усього періоду експлуатації

$$\sum \lambda_i = 1.$$

Для зручності аналізу доцільно перейти від абсолютних значень ресурсу L_p до безрозмірних величин R_i . При цьому слід дотримуватись таких умов: якщо ресурс має початкове значення L_n , то на момент введення агрегату в експлуатацію $R_i = 0$; якщо ресурс досягає критичного значення $L_{кр}$, що потребує ремонту, то $R_i = 1$, тобто витрачено повний обсяг деталей груп А, В, С; у процесі експлуатації та витрачання ресурсу значення R_i поступово зростає.

Варто підкреслити наступне: при переході від L_p до показника R_i величина $L_{кр}$ набуває граничного значення $R_i_{пред}$. При цьому, за умови дотримання

рекомендованих вимог, значення $L_{кр} = 0$ відповідає мінімально допустимому рівню параметра R_i .

Конкретний механізм переходу від $L_{кр i}$ до R_i може реалізовуватися кількома способами:

- за показником сумарної витрати палива;
- за пробігом силового агрегату від початку експлуатації;
- за результатами діагностичної оцінки ступеня зношеності його сполучень.

Для силового агрегату (його вузлових сполучень) процес переходу від критичного значення $L_{кр i}$ до параметра R_i реалізується як окремий етап оцінювання технічного стану:

за пробігом



$$R_i = \left(\frac{L_H}{L_{кр i}} \right) \quad (3.1)$$

за сумарною витратою палива

$$R_i = \left(\frac{Q_{изр}}{Q_{сум}} \right) \quad (3.2)$$

на основі діагностичного аналізу рівня зношування вузлових сполучень

$$R_i = \left(\frac{\delta_{изм}}{\delta_{дон}} \right), \quad (3.3)$$

де L_H – пробіг силового агрегату з початку його використання, км;

$L_{кр i}$ – регламентований ресурс агрегату до проведення капітального ремонту, км;

$Q_{изр}$ – кумулятивна витрата палива з початку експлуатаційного періоду автомобіля, л;

$Q_{\text{сум}}$ – кумулятивна витрата пального, що визначає момент необхідності капітального ремонту агрегату, л;

$\delta_{\text{изм}}, \delta_{\text{доп}}$ – фактичний результат вимірювання та допустиме значення показника ступеня зношеності сполучень силового агрегату групи С.

Для визначення загальної витрати палива доцільно обирати такі режими роботи двигуна, за яких питомі витрати мінімізуються, тобто $g_e = g_{e\text{min}}$. У цьому випадку середній ефективний тиск становить $P_e = 0,5P_{e\text{max}}$, частота обертання колінчастого вала дорівнює $n = 0,6n_{\text{max}}$, а потужність двигуна відповідає рівню $N_{об} = 0,3N_{\text{max}}$, при якому питомі витрати палива є найменшими. Додатково слід встановити швидкість руху автомобіля, що забезпечує максимальний ресурс силового агрегату, тобто оптимальне значення $V_a = DV_{\text{max}}$ у км/год.

Таким чином



$$Q_{\text{сум}} = \frac{0,3N_{\text{max}} g_{e\text{min}} L_n}{\rho_m \delta V_{\text{max}}}, \text{ л.} \quad (3.4)$$

Зведені результати витрати палива для основних вантажних автомобілів подані у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Інформація про повну витрату пального

Модель автомобіля	Загальна витрата палива, л
УАЗ 3909	88300
Citroën Jumper	74500
MAN TGL	112500
ГАЗ 3302	85900

Загальна витрата палива на виконання транспортної роботи протягом запланованого періоду експлуатації рухомого складу визначається наступним чином

$$Q_{\text{тр}} = L_{\text{на}} H = L_{\text{на}} (H_o + H_o q_{\text{ср}} \gamma \beta), \text{ л} \quad (3.5)$$

де $L_{пл}$ – загальний пробіг автомобілів протягом запланованого періоду, км;
 H_o, H_d – базові та додаткові показники витрати пального у л/100 км;
 $q_{ср}$ – показник середньої вантажопідйомності рухомого складу, т;
 γ, β – параметри використання вантажопідйомності автомобіля та його пробігу.

Додаткові нормативи витрати палива при перевезенні вантажу (л/100 ткм) для бензинових та дизельних автомобілів визначаються так

$$\begin{aligned} H_{д}^Б &= 1,12V_{\max} / V_a, \\ H_{д}^Д &= 0,64V_{\max} / V_a. \end{aligned} \quad (3.6)$$

- Загальний індикатор потреби в запасних частинах для силових агрегатів автомобіля рекомендується визначати так

$$K_p^T = \sum_{i=1}^n \lambda_i R_i, \quad (3.7)$$

- Іншими словами, показник визначається як сума часткових індикаторів R_i потреби в запасних деталях окремих силових агрегатів з урахуванням їхніх вагових коефіцієнтів.

Номенклатура запасних деталей, розрахована на 100 одиниць автотранспорту, коригується з урахуванням показника потреби

$$N_3 = n_3 \cdot K_n / A_{сн}, \quad (3.8)$$

де n_3 - показник забезпечення запасними частинами на 100 автомобілів.

За результатами експертного аналізу встановлено, що вагові коефіцієнти показників ресурсу деталей розподілені між силовими агрегатами у пропорціях, наведених у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Вагові параметри оцінки ресурсу силових агрегатів

Категорія агрегату	Двовісний автомобіль – групи деталей (А, В, С)	Тривісний автомобіль – групи деталей (А, В, С)
Циліндро-поршнева група	0,30 / 0,25 / 0,20	0,30 / 0,20 / 0,20
Кривошипно-шатунний механізм	0,20 / 0,25 / 0,20	0,20 / 0,20 / 0,20
Коробка передач	0,20 / 0,25 / 0,15	0,20 / 0,20 / 0,20
Середній міст	– / – / –	0,10 / 0,20 / 0,20
Задній міст	0,20 / 0,25 / 0,20	0,10 / 0,20 / 0,20

Витрата пального та швидкість руху виступають енергетичними характеристиками використання автомобільного транспорту в конкретних умовах експлуатації. Транспортні засоби, що відзначаються нижчим рівнем споживання палива та вищими швидкісними показниками, мають більший ресурс силових агрегатів. Ресурс АТЗ може бути виражений через обсяг пального, витраченого на пробіг від початку експлуатації до моменту списання або проведення капітального ремонту.

Враховуючи співвідношення, наведені у формулах (3.2) та (3.3), критерій визначення потреби в запасних частинах з урахуванням витрат палива та швидкісних параметрів для АТЗ набуває наступного вигляду

$$K_n = 1 / [Q_\phi V_a / 0,7 \cdot Q_{\min} V_{\max}] \geq 1,0, \quad (3.9)$$

де Q_ϕ , Q_{\min} - сумарне споживання палива АТЗ: фактичний та мінімальний обсяг, л;

V_a , V_{\max} - Показники середньої технічної та максимальної швидкості АТЗ, км/год.

Нормативні витрати пального для бортових вантажних автомобілів, тягачів у складі автопоїздів, фургонів та вантажопасажирських транспортних засобів, які здійснюють роботу, виражену в тонно-кілометрах, розраховуються за формулою

$$Q_H = 0,01(H_{san} \cdot S + H_W \cdot W) \cdot (1 + 0,01K_\Sigma), \text{ л} \quad (3.10)$$

де H_{san} - норма споживання палива на пробіг у л/100 км ($\text{м}^3/100$ км);

H_W - нормативний рівень витрати палива для транспортної роботи, л/100 ткм;

W - обсяг виконаних перевезень у тонно-кілометрах;



$$W = q_H \cdot \gamma \cdot \beta \cdot L_H, \quad (3.11)$$

де q_H - паспортна вантажопідйомність транспортного засобу, т;

γ - показник ефективності використання вантажопідйомності;

β - показник ефективності використання пробігу.

З урахуванням співвідношень (3.8), (3.10), (3.11) та необхідних перетворень критерій потреби в запасних частинах для силових агрегатів вантажних автомобілів і тягачів у складі автопоїздів та автомобілів-фургонів розраховується за формулою

$$K_{нГА} = 1 / \left[\frac{0,05V_a \cdot \rho_m \cdot \delta}{N_{\max} \cdot g_{e \min}} \times (H_{san} + H_W \cdot q_H \cdot \gamma \cdot \beta)(1 + 0,01K_\Sigma) \right] \leq 1,0. \quad (3.12)$$

Нормативний рівень споживання палива автомобілями-самоскидами та самоскидальними автопоїздами встановлюється формулою

$$Q_H = 0,01H_{sanc} \cdot S \cdot (1 + 0,01K_\Sigma) + H_Z \cdot Z, \quad (3.13)$$

де H_{sanc} - нормативна витрата пального для самоскидного автопоїзда на кожні 100 км, л;

H_z - витрата палива на одну поїздку з вантажем самоскидного транспортного засобу, л;

Z - число рейсів із вантажем, од.

З урахуванням співвідношень (3.8) та (3.12) критерій визначення потреби в запасних частинах для автомобілів-самоскидів і самоскидальних автопоїздів набуває такого вигляду

$$K_{nc} = 1 / \left\{ \frac{0,05V_a \cdot \rho_m \cdot \delta}{N_{\max} \cdot g_{e\min}} \times [H_{sanc} (1 + 0,01K_z) + H_z \cdot Z] \right\} \leq 1,0. \quad (3.14)$$

Наведений показник дає змогу оцінити організацію транспортного процесу (табл. 3.3).



Таблиця 3.3 – Узагальнені показники організації транспортного процесу

Рівень організації процесу	Показник потреби в запасних частинах
Відмінний	1,00 – 1,05
Хороший	1,06 – 1,35
Задовільний	1,36 – 1,66
Незадовільний	1,67 і більше

Аналіз даних таблиці 3.3 дає підстави стверджувати, що будь-які заходи, спрямовані на зниження витрат пального або підвищення швидкісних характеристик транспортного засобу, сприятимуть зменшенню потреби у запасних частинах силових агрегатів. Водночас необхідно розрізняти загальний показник ресурсу автомобіля та його експлуатаційний ресурс. Експлуатаційний показник ресурсу транспортного засобу визначається за найменшим значенням R_i серед силових агрегатів, тобто

$$K_p^{\exists} = R_{i_{\min}}. \quad (3.15)$$

Для сукупності автомобілів (автотранспортне підприємство, регіон) показник використання ресурсу силових агрегатів визначається за формулою

$$K_{АТП}^T = \frac{\sum_{i=1}^n K_{pi}^T A_i}{A_n}, \quad (3.16)$$

де A_n – чисельність парку автомобілів.

Для автопарку експлуатаційний показник витрачання ресурсу силових агрегатів встановлюється за мінімальним розрахунковим значенням автомобіля відповідно до рівняння



$$K_{АТП}^{\exists} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{ip}^{\exists}}{A_n} \quad (3.17)$$

Для кількісної оцінки технічного стану автопарку традиційно застосовується коефіцієнт технічної готовності. Однак цей показник не відображає повною мірою реальний стан транспортних засобів, оскільки не враховує таких факторів, як тривалість експлуатації, величина пробігу та ступінь зношеності агрегатних сполучень. З метою більш об'єктивної оцінки технічного стану парку автомобілів доцільно використовувати залежність

$$K_{п} = K_{АТП}^{\exists} / \alpha_T, \quad (3.18)$$

де α_T - коефіцієнт технічної готовності.

Як показали проведені розрахунки та експериментальні дослідження, отримані значення $K_{п} \geq 1,70$ свідчать про необхідність списання автомобільного парку.

Ефективність експлуатації транспортних засобів визначається як відношення показника потреби в запасних частинах для силових агрегатів до показника витрат на технічне обслуговування, запасні частини та експлуатаційні матеріали, тобто

$$E = \frac{K_{\Pi}}{3}, \quad (3.19)$$

де 3 – показник витрат, пов'язаних із технічним обслуговуванням. Методика його визначення викладена у чинних нормативних документах.

На відміну від коефіцієнта технічної готовності, показник потреби в запасних частинах дозволяє оцінити технічний стан рухомого складу не лише на поточний момент, але й на перспективний період експлуатації (місяць, квартал, рік тощо), враховуючи очікувані умови роботи автомобілів.

3.4 Оцінка прикладної ефективності виконаних досліджень

На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень потреби в запасних частинах для силових агрегатів встановлено, що застосування методів нормування та прогнозування витрат забезпечує економічний ефект за рахунок збільшення часу роботи автомобілів на лінії та зменшення втрат від простоїв, спричинених дефіцитом необхідних запасних частин. У такому випадку економічний ефект від впровадження результатів дослідження визначається залежністю

$$E = (\Pi_2 - \Pi_1) \cdot A_{cn} = \Delta\Pi \cdot A_{cn}, \quad (3.20)$$

де E – економічний ефект за рік, грн.;

A_{cn} – облікова чисельність рухомого складу, од;

P_1, P_2 – прибуток від використання результатів дослідження у поєднанні з методикою нормування та прогнозування потреби в запасних частинах, грн.

Варто підкреслити, що для реалізації результатів проведених досліджень не передбачаються додаткові капітальні вкладення.

Згідно з положеннями роботи [3], прибуток від експлуатації автомобіля визначається наступною залежністю

$$P = D - Z_m - Z_c - Z_{ш} - Z_{то} - Z_n - Z_o - Z_{зн}, \quad (3.21)$$

де D - дохід, отриманий від виконання транспортної роботи ТЗ, грн;

Z_c - витрати на мастильні матеріали, грн;

Z_m - витрати на паливо, грн;

$Z_{ш}, Z_{то}$ - витрати, відповідно, на шини та технічне обслуговування, грн;

Z_o - плата за основні фонди, грн;

Z_n - накладні витрати, грн;

$Z_{зн}$ - заробітна плата водія без простою, грн.

Включення витрат на технічне обслуговування та ремонт до зазначеної групи пояснюється тим, що несправності, а особливо зношування сполучень силових агрегатів автомобіля, виникають у процесі його роботи, тобто виконання транспортної роботи. Крім того, проведення ТО і ремонтних заходів забезпечує підтримання автомобіля у працездатному стані.

У випадку простою транспортний засіб не приносить доходу, проте витрати при цьому залишаються. До них належать: накладні витрати, плата за використання основних фондів, амортизаційні відрахування на повне відновлення рухомого складу, а також заробітна плата водія, що нараховується залежно від характеру виконаної роботи.

У такій ситуації збиток від простою автомобіля визначається за рівнянням

$$\Pi = D - Z_n - Z_a - Z_o - Z_{zn}^{np}, \quad (3.22)$$

де Z_{zn}^{np} - витрати на оплату праці водія при простої ТЗ в ремонті, грн.;

Z_a - амортизаційні нарахування для повного відновлення ТЗ, грн.

Оскільки витрати на технічне обслуговування та ремонт у період простою автомобіля дорівнюють нулю (зношування не відбувається, а старіння в розрахунок не враховується), то, віднімаючи вираз (4.22) від виразу (4.21), отримуємо величину збитку від простою

$$\Delta\Pi = D - Z_m - Z_c - Z_{ш} - Z_{то} - Z_{zn} - Z_{zn}^{np}. \quad (3.23)$$

Дохід, отриманий автовласником від експлуатації одного автомобіля протягом робочого дня, визначається за виразом

$$D = l_c \cdot C_{км}, \text{ грн} \quad (3.24)$$

чи

$$D = T_{раб} \cdot C_{ч}, \text{ грн} \quad (3.25)$$

де l_c - кількість кілометрів, пройдена автомобілем за добу;

$T_{раб}$ - тривалість використання автомобіля клієнтом, год.;

$C_{км}, C_{ч}$ - тарифна величина вартості транспортної роботи: грн/км або грн/год.

- Усі елементи рівнянь визначаються за даними звітів автопідприємства. Наднормативні простої під час ТО і поточного ремонту розглядаються як такі, що спричиняють економічні втрат

$$\Pi_y = \Pi_\phi - \Pi_n, \quad (3.26)$$

де Π_{ϕ}, Π_n - фактична та нормативна тривалість простою автомобіля, дн/тис.км.

Простої транспортного засобу, обумовлені відсутністю запасної частини і-го найменування, які призводять до економічних втрат

$$\Pi_{y_{3ч}} = \Pi_{\phi} \cdot K_i, \quad (3.27)$$

де K_i - питома вага простою автомобіля, спричиненого відсутністю запасної частини і-го найменування на складі.

За рік збитки, що виникають унаслідок відсутності на складі необхідних деталей силових агрегатів, для одного автомобіля визначаються за виразом



$$\Pi_{z_{3ч}} = \Pi_{y_{3ч}} \cdot \bar{L}_2, \quad (3.28)$$

де \bar{L}_2 - річний середній пробіг транспортних засобів, тис.км.

Таким чином, річна величина збитку від простою автомобіля, спричиненого відсутністю деталей необхідного найменування, визначається за виразом

$$\Delta\Pi_2 = \Delta\Pi + \Pi_{z_{3ч}}. \quad (3.29)$$

За умови оперативного постачання потрібних запасних частин, застосування запропонованої методики дозволяє визначити річний економічний ефект витрат на один автомобіль за формулою

$$\mathcal{E}_2 = \Pi_2. \quad (3.30)$$

У табл. 3.4 представлено вихідні показники та основні результати розрахунків економічної ефективності нормування і прогнозування потреби в запасних частинах для одного автомобіля.

Таблиця 3.4 – Економічна результативність нормування й прогнозування потреби в запасних частинах для силових агрегатів

Найменування показника	Умовне позначення	Значення
1. Розмір втрат від простою автомобіля, грн/доба	$\Delta\Pi$	1650
2. Нормативна тривалість простою автомобіля, дн/тис.км	Π_n	0,30
3. Фактична тривалість простою автомобіля, дн/тис.км	Π_f	0,65
4. Частка простою автомобіля через дефіцит деталей силових агрегатів досліджуваного найменування, %	K_i	3,1
5. Простою автомобіля через відсутність деталі або вузла i -го найменування, дн/тис.км	$\Pi_{y_{3ч}}$	0,0203
6. Середньорічний пробіг автомобіля, тис.км	\bar{L}_e	40
7. Річний простою автомобіля через відсутність необхідної деталі, дн/тис.км	$\Pi_{2y_{3ч}}$	0,11
8. Загальний економічний ефект, грн/рік	E	32500

Згідно з даними табл. 3.4, нормування і прогнозування потреби в запасних частинах силових агрегатів конкретної групи забезпечує вагомий економічний ефект, враховуючи зовнішні умови експлуатації та необхідність практичного використання резервів для підвищення надійності автомобіля.

Висновки до розділу 3

Сформульовано основні вимоги до сучасних систем управління постачанням запасних частин для автотранспортних засобів. Виявлено, що визначення попиту на деталі, вузли та агрегати конкретного автомобіля може бути ефективно реалізоване за допомогою індивідуальних методів, які враховують енергетичні

витрати на виконання транспортної роботи. Це відкриває можливості для автоматизації процесів формування замовлень на необхідні запасні частини, що підвищує швидкість обробки інформації та точність прогнозування потреби на визначений період.

Доведено, що оцінювання потреби в запасних частинах силових агрегатів слід здійснювати за спеціальним показником потреби. На відміну від коефіцієнта технічної готовності, цей показник дозволяє оцінити стан рухомого складу не лише в поточний момент, а й прогнозувати його на майбутні етапи експлуатації.

Встановлено, що економічна стратегія автосервісу, спрямована на перехід до нового рівня розвитку бізнесу, має базуватися на ефективному нормуванні та прогнозуванні потреби в запасних частинах для силових агрегатів. Для одного автомобіля така потреба становить 32 500 грн.

Потреба в запасних частинах для силових агрегатів визначається показником їх витрати. Якщо значення цього показника перевищує 1,70, виникає необхідність зняття агрегату з експлуатації або його списання разом із автомобілем.

ВИСНОВКИ

Аналіз показав, що чинні методики визначення потреби в запасних частинах не враховують реальні фактори їх витрати. Це спричиняє значний розрив між нормативними показниками та фактичними потребами, який може перевищувати 100%. Відсутність у розрахунках урахування фізичних параметрів умов експлуатації призводить до істотних похибок при встановленні нормативів для груп А, В, С.

Запропоновано наукове рішення проблеми комплексного управління забезпеченням силових агрегатів запасними частинами, що сприяє підвищенню продуктивності та рівня технічної готовності автотранспортних засобів. Підтримання працездатності агрегатів здійснюється на основі нових методів і моделей, які дозволяють визначати необхідну номенклатуру деталей.

Складено перелік конструктивних чинників та проведено їх кількісну оцінку, що впливають на зміну потреби в запасних частинах конкретного автомобіля. Встановлено залежність між потребою в деталях для силових агрегатів груп А, В, С та умовами експлуатації рухомого складу.

Розроблено методику прогнозування потреби в запасних частинах силових агрегатів за групами А, В, С, яка враховує технічний стан агрегату, виконану транспортну роботу, зовнішні умови експлуатації (обсяг перевезень, швидкісний режим, витрату палива), а також конструктивні особливості автомобіля.

Створено методику визначення оптимальної потреби в запасних частинах силових агрегатів автотранспортних засобів за групами А, В, С, що базується на врахуванні енергетичних витрат при виконанні транспортної роботи, конструктивно-технологічних характеристик, ступеня зношеності вузлів та агрегатів, а також культури експлуатації.

Проведено оцінку значущості зовнішніх чинників (швидкість руху, питомі витрати палива), які суттєво впливають на потребу в запасних частинах силових агрегатів.

Встановлено, що мінімальна потреба в запасних частинах спостерігається при швидкостях, які відповідають мінімальній витраті палива – у межах $(0,6...0,7) V_{\max}$. Такий режим рекомендовано приймати як базовий. Відхилення середньої швидкості на 20–30 км/год від оптимальної призводить до зростання потреби в запасних частинах на 150–370%. Аналогічний ефект має збільшення питомої витрати палива.

Зміни конструкції автомобіля (ефективність трансмісії, радіус кочення колеса, передавальні числа головної передачі) можуть підвищувати попит на запасні частини до 12%. Рух із оптимальною швидкістю знижує потребу в деталях для агрегатів груп А та В у 1,3-1,8 рази. Якщо ж швидкість менша за 20 км/год, різко зростає потреба в деталях групи С.



СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кашканов А.А., Дишкант С.П. Методологічні підходи до управління надійністю автотранспортних засобів у процесі експлуатації. Матеріали LV науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2026/paper/view/26554>.
2. Мигаль В. Д. Інтелектуальні системи в технічній експлуатації автомобілів: монографія. Харків: Майдан, 2018. 262 с.
3. Варфоломєєв В.М., Волошина Н.А. Економіко-математичне моделювання в оптимізації функціонування транспортних машин. Харків: ХНАДУ, 2005. 160 с.
4. Кашканов А.А., Кашканова Г.Г., Стенжицька І.Є. Оцінка якості автотранспортного обслуговування пасажирських перевезень в умовах нечітко визначених очікувань споживачів. Наукові нотатки. 2010. Вип. 28. С. 246-251.
5. Принципи та інструменти управління якістю: Навчальний посібник / Укл.: С.І. Андрусенко, О.С. Бугайчук. К.: НТУ, 2006. 72 с.
6. Кашканов А.А., Грисюк О.Г. Критерії оцінювання якості розслідування та проведення автотехнічних експертиз дорожньо-транспортних пригод. Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. 2012. Вип. 134. С. 117-121.
7. Редзюк А.М. Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку. К.: ДП «Державтотранс НДІ » 2005. 400с.
8. Говорущенко М.Я., Туренко А.М. Системотехніка проектування транспортних машин. Навчальний посібник. Вид. 3-е, випр. та доп. Харків: ХНАДУ, 2004. 208 с.
9. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. Підручник. К.: Знання–Принт, 2003. 511с.

10. Кашканов А. А., Кашканов В. А., Кужель В. П. Транспортно-експлуатаційні якості автомобільних доріг та міських вулиць : навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2018. 113 с.
11. Бажинов О.В. Наукові основи оцінки ресурсу силових агрегатів транспортних машин з урахуванням умов експлуатації. Автореферат дисертації докт. техн. наук: 05.22.20. ХНАДУ. Х., 2001. 32с.
12. Zhang S., Huang K., Yuan Y. Spare Parts Inventory Management: A Literature Review. Sustainability. 2021. 13(5), 2460. <https://doi.org/10.3390/su13052460>.
13. Кашканов А.А., Москалюк М.Л. Методи обґрунтування запасів запасних частин у системі управління транспортним процесом. Вісник машинобудування та транспорту, 2024. №1(19), С. 68-74. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2024-19-1-68-74>.
14. Кашканов А.А., Москалюк М.Л. Невизначеність та її вплив на формування запасів запасних частин для забезпечення ефективності транспортних процесів. Вісник машинобудування та транспорту, 2024. №2. С. 74-80. <https://doi.org/10.63341/vjmet/2.2024.74>.
15. Sherly A., Christo M. S., Elizabeth J. V. A hybrid approach to time series forecasting: Integrating ARIMA and Prophet for improved accuracy. Results in Engineering. 2025, 27, 105703. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105703>.
16. Singh U., Saurabh K., Trehan N. et al. GA-LSTM: Performance Optimization of LSTM driven Time Series Forecasting. Computational Economics. 2025, 66, P. 2873–2908. <https://doi.org/10.1007/s10614-024-10769-0>.
17. Кашканов А. А., Біліченко В. В. Експлуатація та обслуговування транспортних машин: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2004. 136 с.
18. Кравченко О.П., Мухин Р.Г., Мерьємов С.В. Систематизація відмов та несправностей автомобілів-тягачів VOLVO. Збірник наукових праць Національного гірничого університету. Дніпропетровськ: НГУ. 2005. №21. С. 78-82.

19. Boylan J., Syntetos A. Intermittent Demand Forecasting: Context, Methods and Applications. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2021. 400 p. <https://doi.org/10.1002/9781119135289>.
20. Kashkanova A. Methods for assessing the risk of accidents in the driver-vehicle-road-environment system. The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. 2025, vol. 109, no 3, 41-61. <https://doi.org/10.14669/AM/207102>.
21. Колісні транспортні засоби: вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання ДСТУ 3649:2010. [Прийнято та надано чинності: наказ Держспоживстандарту України від 28 грудня 2010 р. № 630]. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2011. 32 с.
22. Буренніков Ю. А., Кашканов А. А., Ребедайло В. М. Автомобілі: робочі процеси та основи розрахунку : навчальний посібник МОНМС України. Вінниця: ВНТУ, 2013. 283 с.
23. Dixon J. C. Tires, Suspension, and Handling. Second ed. 1996, Warrendale, Pa: Society of Automotive Engineers. 621 p.
24. Wong J. Y. Theory of Ground Vehicles. John Wiley & Sons, 2001. 528 p.
25. Burckhardt M. Fahrwerktechnik: Radschlupf-Regelsysteme. Wurzburg: Vogel, 1993. 432 p.
26. Ремонт автомобілів: Навчальний посібник/ Упор. В.Я. Чабанний. Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2007. 720 с.
27. Системологія на транспорті: підручник у 5 кн. / Е. В. Гаврилов, М. Ф. Дмитриченко, В. К. Доля та ін.; за заг. ред. М. Ф. Дмитриченка. – Київ : Знання України, 2009.
28. A. Vacchetti, N. Saccani. Spare parts classification and demand forecasting for stock control: Investigating the gap between research and practice. Omega. Volume 40, Issue 6, December 2012, Pages 722-737. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2011.06.008>

29. John E. Boylan, Aris A. Syntetos. Spare parts management: a review of forecasting research and extensions, IMA Journal of Management Mathematics, Volume 21, Issue 3, July 2010, Pages 227-237. <https://doi.org/10.1093/imaman/dpp016>.

30. Kaya, B., Karabağ, O., Fadiloğlu, M.M. (2024). Maintenance Decision and Spare Part Selection for Multi-component System. In: Durakbasa, N.M., Gençyılmaz, M.G. (eds) Industrial Engineering in the Industry 4.0 Era. ISPR 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-53991-6_34.

31. Bondarenko, E., Dryuchin, D., Goncharov, A., Bulatov, S., Feklin, E. (2023). Improving the Efficiency of Vehicle Operation by Defining the Organizational and Methodological Parameters of the Spare Parts Incoming Inspection System. In: Guda, A. (eds) Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles. NN 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 509. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11058-0_110.

32. Strelnikov V.P., Strelnikov P.V. Defining the nomenclature of the spare parts sets and calculating the number of single sets of spare parts. Mathematical machines and systems. 2022. N 2. C. 83–90. <https://doi.org/10.34121/1028-9763-2022-2-83-90>.

33. Q. Wang, C. Liu, M. Zheng, D. Wang and E. Pan, "Integrated Planning of Multiple Spare Parts Inventory, Warranty, and Service Engineers for a Service-Oriented Manufacturer," in IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. 2024. 1-14. <https://doi.org/10.1109/TASE.2024.3354422>.

34. Макаренко М.Г., Орлов В.Ф., Павленко В.О. Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів. Частина 1 / за ред. М.Г. Макаренко. Київ: "Грамота", 2005. 348 с.

35. Субочев О. І., Завалій Т. А., Погорелов М. Г. Удосконалення забезпечення запасними частинами сервісних підприємств.

Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2019. Вип. 1(32). С. 58-67.

36. Кукурудзяк Ю. Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Технологія обслуговування : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2023. 227 с.

37. Кукурудзяк Ю. Ю., Рудь О. В., Кукурудзяк Л. В. Дипломне проектування виробничих підрозділів підприємств автомобільного транспорту: навчальний посібник. Вінниця : ПП "Едельвейс і К", 2010. 336 с.

38. Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти. СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:21. [Електронний ресурс]. URL: <https://iq.vntu.edu.ua/repository/getfile.php/3091.pdf>.



ДОДАТОК А (обов'язковий). Ілюстративна частина

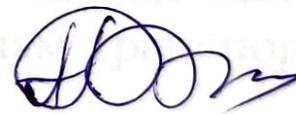


Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування і транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Підвищення ефективності використання автотранспортних засобів Вінницької дирекції акціонерного товариства «Укрпошта» на основі удосконалення методів планування запасів запасних частин

Ілюстративна частина
до магістерської кваліфікаційної роботи
зі спеціальності 274 – Автомобільний транспорт

Керівник роботи д.т.н., професор каф. АТМ



Кашканов А.А.

Розробив студент гр. 1АТ-24м



Дишкант С.П.

Вінниця ВНТУ 2025

Мета і завдання дослідження.

Основною **метою дослідження** є підвищення результативності використання автомобільного транспорту через удосконалення підходів до визначення потреби у запасних частинах.

Для досягнення цієї мети передбачається виконання таких **завдань**:

- проаналізувати зміну потреби в запасних частинах для автотранспортних засобів залежно від конструктивних особливостей та умов експлуатації;
- здійснити теоретичне обґрунтування методичних підходів до кількісного оцінювання зміни номенклатури та обсягів запасних частин з урахуванням транспортної роботи та технічного стану конкретного автомобіля;
- розробити методику прогнозування потреби в запасних частинах, яка враховує індивідуальні умови експлуатації, технічний стан, ступінь зносу та транспортну роботу окремого транспортного засобу.

Об'єкт дослідження – процес забезпечення надійності окремих вузлів та агрегатів автотранспортних засобів у різних умовах їх експлуатації.

Предмет дослідження – методи прогнозування потреби в запасних частинах для автотранспортних засобів з урахуванням умов експлуатації та технічного стану.

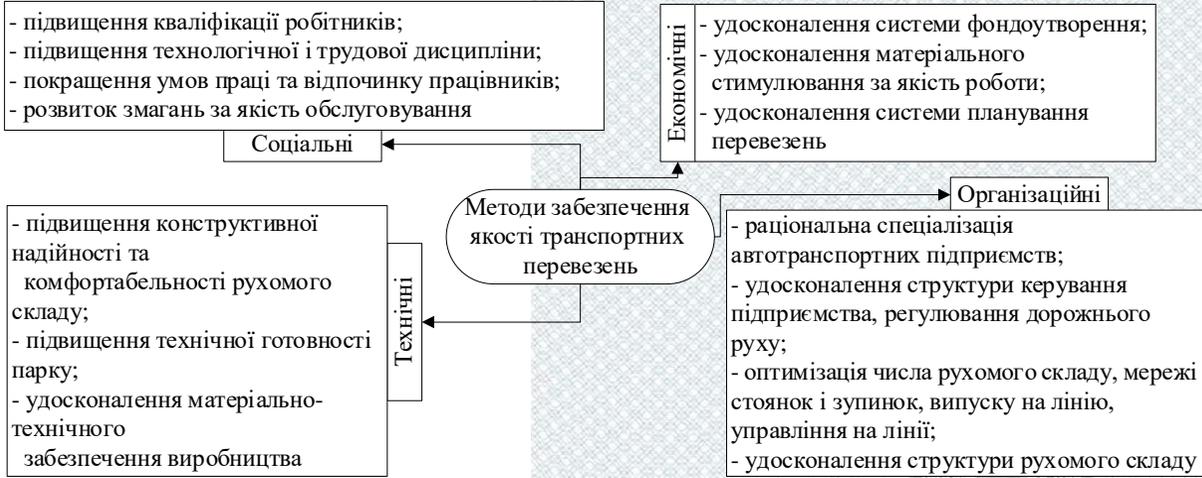
Наукова новизна одержаних результатів

Удосконалено методи оцінювання потреби в запасних частинах на основі аналізу витрат палива та технічного стану автомобіля. Це дозволяє точніше визначати реальну потребу, мінімізувати надлишковий попит і підвищити ефективність експлуатації автотранспорту.

Практичне значення одержаних результатів

Розроблено методику нормування та прогнозування потреби в запасних частинах, яка враховує дорожні, транспортні та кліматичні умови, культуру експлуатації й індивідуальні особливості автомобіля. Запропоновані методи забезпечують ефективніше використання ресурсу транспортних засобів та сприяють отриманню вагомого економічного ефекту при їх експлуатації та ремонті.

Методичні аспекти оцінювання якості функціонування автомобільного парку АТП



Методи підвищення якості перевезень

Схема забезпечення якості функціонування автопарку АТП



Показники якості

$$Q_i = \frac{Q_i^f}{Q_i^b}$$

$$Q_i = \frac{Q_i^b}{Q_i^f}$$

$$QG_k = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \alpha_i \cdot Q_i}$$

$$QP = \sqrt[m]{\prod_{k=1}^m \beta_k \cdot QG_k}$$

Задача оцінювання якості варіанту функціонування автомобільного парку АТП

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$$

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_m\}$$

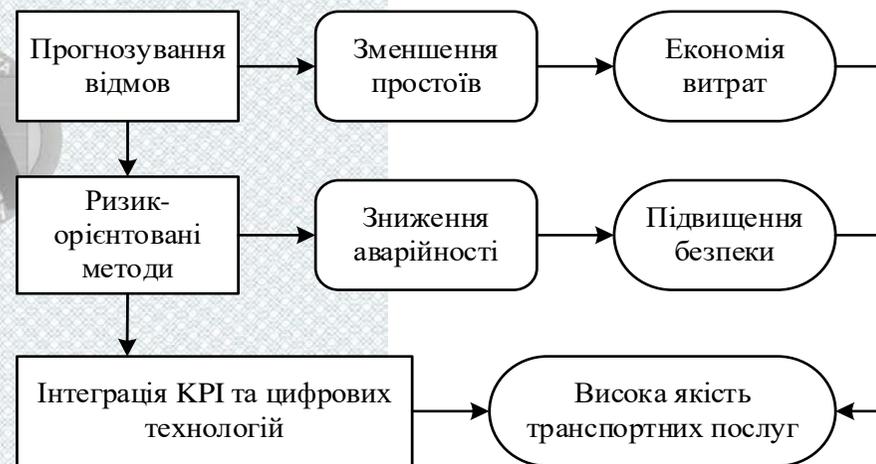
$$R = \{\mu_{ij} \mid i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m\}$$

$$x^* = opt(X, Y, R, M)$$

Методологічні підходи до управління надійністю автотранспортних засобів у процесі експлуатації

Підхід	Переваги	Недоліки	Приклади застосування
Статистичні моделі	Простота, математична обґрунтованість	Не враховують зовнішні фактори	Прогноз відмов за пробігом
Ризик-орієнтовані методи	Врахування наслідків, системність	Висока трудомісткість	FMEA, Fault Tree Analysis
KPI-системи	Кількісна оцінка ефективності	Потребують якісних даних	Оцінка готовності автопарку
Цифрові технології	Висока точність, автоматизація	Висока вартість впровадження	Телематика, IoT, ML-моделі

Узагальнена схема ефектів



ймовірність безвідмовної роботи $P(t) = e^{-\lambda t}$

коефіцієнт технічної готовності $K_{ig} = \frac{T_R}{T_R + T_{PR}}$

середній час простою $T_{PR} = \frac{\sum t_{rem}}{N_{vid}}$

Методи розрахунку потреби в запасних частинах

Характеристики потоку відмов

$$P_m(L) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(\lambda \cdot L)^m}{m!} \cdot e^{-\lambda L} \quad P\{v(t) \leq n\} = \sum_{s=0}^n \frac{[H(t)]^s}{s!} \cdot e^{-H(t)}$$

$$\Pi_{зч} = N \cdot \lambda \cdot l \cdot K_j \cdot \sqrt{N_d \cdot \lambda \cdot l}$$

$$Z_{cp} = K_n \cdot K_v \cdot K_3 \cdot \lambda_{\max} \cdot \sum l$$

Середні значення ресурсів, вузлів, агрегатів

$$N = \frac{(L_{cn} - R_n) \cdot 100 \cdot n}{R_{зч} T_{cn}} \quad N_{\phi} = N \cdot K_r \cdot \frac{L_{cn} \cdot K_{ам} - R_{зн} \cdot K_p}{(L_{cn} - R_n) \cdot K_p \cdot K_{ам}}$$

$$K_p = K_d \cdot K_{np} \cdot K_{ед} \cdot K_p \cdot K_{кз}$$

Асимптотичні формули процесів відновлення

$$H(t) = F(t) + \int_{\tau}^t H(t-\tau) \cdot q(\tau) d\tau$$

Фактичні витрати запасних частин за минулий період експлуатації

$$N = 100 \cdot \left(\bar{P} + t_{\beta} \cdot \frac{\sqrt{D}}{\sqrt{\Pi^{\theta}}} \right)$$

Швидкість зношування сполучень

$$m(L) = \frac{L \cdot P_c(k)}{\delta \cdot P_1(k)} \cdot \left\{ 1 + x_{\alpha} \sqrt{\frac{P_2(k)}{P_1(k)} - \frac{P_1(k)}{P_2(k)}} \right\}$$

Імовірнісний критерій

$$\Delta = N' \cdot \pi \cdot \sum_{x=1}^h P_x \cdot h$$

$$\Omega(x) = \sum_{k=1}^{\infty} F_k(x) = \sum_{k=1}^{\infty} \Phi\left(\frac{x - k \cdot \eta \cdot \bar{x}_t}{\sigma \cdot k}\right)$$

Економіко-математичний критерій

$$TC(Q) = P \times R + \frac{C \times S}{Q} + \frac{P \times F \times Q}{2}$$

Загальна характеристика Вінницької дирекції ПАТ «Укрпошта»



Вінницька дирекція Укрпошти (вул. Соборна, 59, 8 поверх)

До складу дирекції входять:

- 6 Центрів поштового зв'язку
- Поштамт у місті Вінниця
- 6 районних центрів
- Основні виробничі підрозділи:
- Цех оброблення пошти (ЦОП)
- Центр перевезення пошти (ЦПП)

Парк транспортних засобів у 2025 році становить близько 150 автомобілів, які забезпечують перевезення поштових відправлень на внутрішньообласних та магістральних маршрутах.

Еволюція автопарку Вінницької дирекції «Укрпошта»

Категорія авто	Приклади моделей	Період використання	Призначення	Стан
Старі моделі	УАЗ-3741, УАЗ-3909, ГАЗ-2705, ГАЗ-3302	1990–2000-ті	Доставка пошти, вантажів, обслуговування відділень	Поступово списуються, частина виставлена на продаж
Нові закупівлі	Ford Transit, Renault Master, Citroën Jumper, MAN TGL	2020–2025	Пересувні поштові відділення, швидка доставка	Активно експлуатуються
Спеціалізовані авто	Fiat Doblo Maxi, Citroën Berlingo (версія Worker)	2021–2025	Мобільні поштові відділення для віддалених сіл	Використовуються для розширення доступності послуг



Новий підхід в оціненні потреби в запасних частинах для автотранспортних засобів

Пропонований аналітичний метод оцінки потреби в запасних частинах принципово відрізняється тим, що математична модель базується на швидкості зношування сполучень силових агрегатів, що враховує енергетичні витрати на виконання транспортної роботи, індивідуальні особливості і технічний стан конкретного автомобіля.

Потреба в запасних частинах еквівалентна кількості витраченого двигуном палива, яке характеризує енерговитрати на виконану транспортну роботу

$$N_3 = \frac{0,0 \cdot H_n \cdot l_c \cdot (1,0 - 0,04 \cdot t_e) \cdot G_3 \cdot D_p \cdot \alpha_m}{Q_c \cdot K_p}$$

$$Q_c = \frac{A_H \cdot V_m^2 \cdot \eta_{ema}}{V_h \cdot \eta_m} \cdot (0,0^n \cdot G_H + 0,0 \cdot k \cdot \sigma_m^2)$$

$$q_{omm} = \sqrt{\frac{0,02 \cdot 3_H l_{cc} (1,045 - 0,003 t_B) n_3 D_p \alpha_m}{r \zeta_3 Q_c K_p}}$$

$$K_{исп} = \frac{H_n l_{cc} B}{Q_{изр} \cdot (O_c + \Pi_p)}$$

$$O_c = \frac{H_n l_c B}{Q_{узр}} - \Pi_p \geq 1,0$$

$$K_o = \frac{K_3}{K_{ск}}$$

При $K_o = 1,5 \dots 5,0$ деталь відноситься до групи В, а при K_o більше 5,0 – до групи А або при менших значеннях K_o – до групи С.

По А, В, С - аналізу всі деталі, що утворюють запасні частини до силових агрегатів поділяються на три групи: А - нечисленні, але найбільш затребувані запасні частини, на які припадає більша частина вкладень (75-80%); В - запасні частини, які є другорядними і затребувані в меншій мірі, ніж запчастини групи А. Зазвичай на придбання деталей групи В витрачається до 20%; С - складають значну частину номенклатури всіх використовуваних запасних частин, але ці деталі недорогі, і на них припадає менша частина вкладень в запаси (5%).

Аналіз XYZ використовується для оцінки значущості запчастин в залежності від частоти їх споживання на підприємстві. Він дозволяє виявити групи деталей і комплектуючих, на які є постійний і стабільний попит на підприємстві, витрата яких піддана коливанням, а також ті, витрата яких носить випадковий характер. На основі аналізу формуються групи X, Y і Z.

Методика проведення XYZ - аналізу включає етапи:

Встановлюється середня витрата кожної деталі за ряд місяців або кварталів.

Розраховується середньоквадратичне відхилення попиту на деталі від його середньої величини.

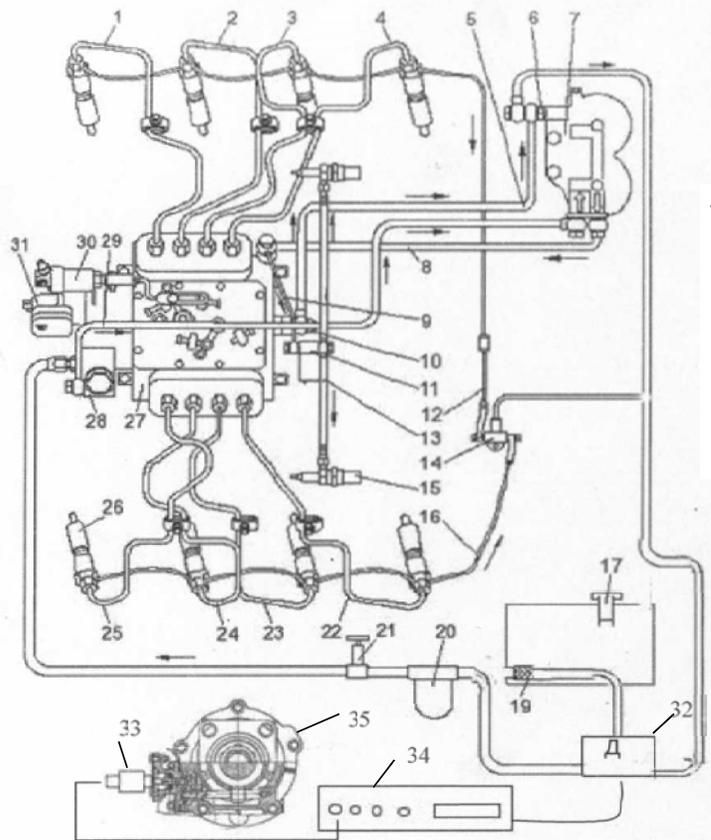
Розраховується коефіцієнт варіації по кожній деталі.

Деталі, вузли розташовуються у напрямку зниження коефіцієнта варіації. $v = \left(\delta / n_{cp} \right) \cdot 100$

Дані про кількість деталей підсумовуються і розподіляються по групах в залежності від значень коефіцієнта варіації.

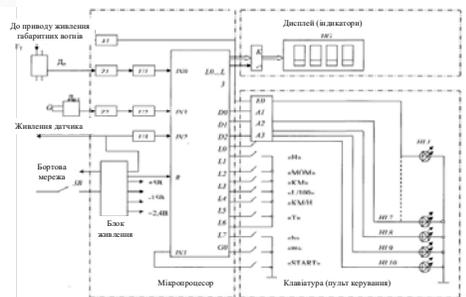
Апаратура та результати експериментальних досліджень

Схема підключення бортового комп'ютера



Спостереження велися за силовими агрегатами (двигун, коробка передач, головна передача) автомобілів, що працюють в різних експлуатаційних умовах. Для диференціювання режимів роботи за умовами експлуатації були визначені дві характеристики групи автомобілів по переважній експлуатації: на замських (міжміських, міжнародних) і міських дорогах.

Принципова схема маршрутного комп'ютера



Зовнішній вигляд бортового комп'ютера МК-93



Датчик пройденого



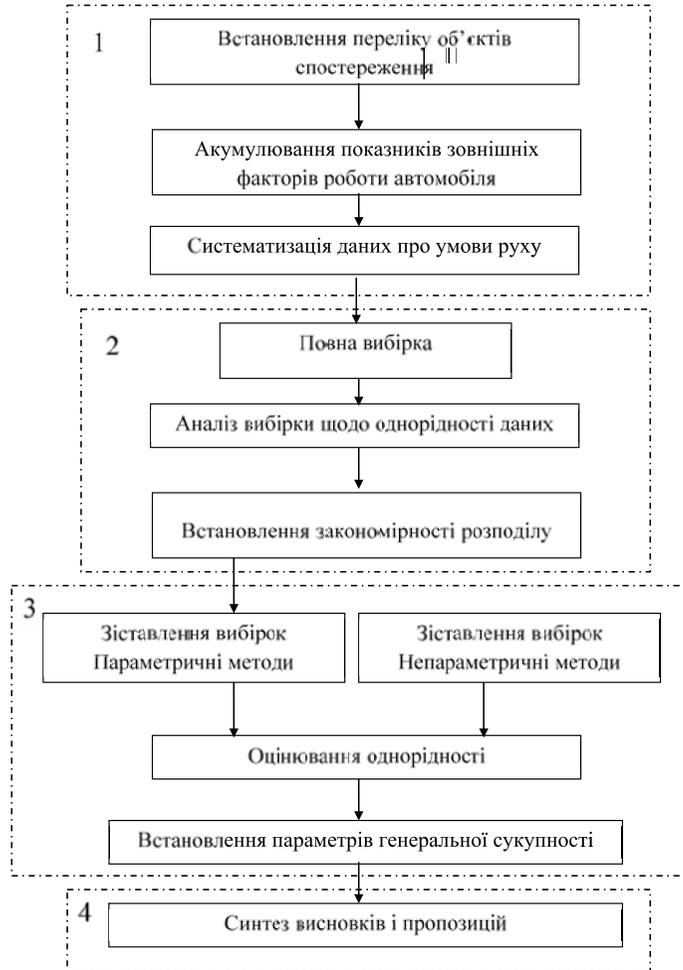
Датчик витрати



Параметри, розраховані інформаційно-вимірювальною системою автомобіля

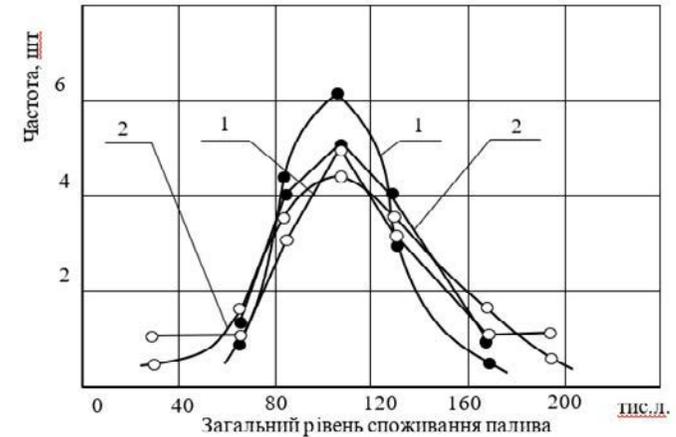
Параметр	Позначення (клавіша)	Діапазон	Крок відліку
Час доби (год:хв)	«Н»	00:00 – 23:59	1
Миттєва витрата палива, л/100 км	«МOM»	0 – 62,5	0,1
Середня витрата палива за поїздку, л/100 км	«L/100»	0 – 99,9	0,1
Сумарна витрата палива, л	«L»	0 – 624,9	0,1
Пробіг поїздки, км	«KM»	0 – 999,9	0,1
Середня швидкість, км/год	«KM/H»	0 – 199,9	0,1
Тривалість поїздки (год:хв)	«T»	00,00 – 99,59	1

Принципова схема обробки даних по вивченню потреби в запасних частинах



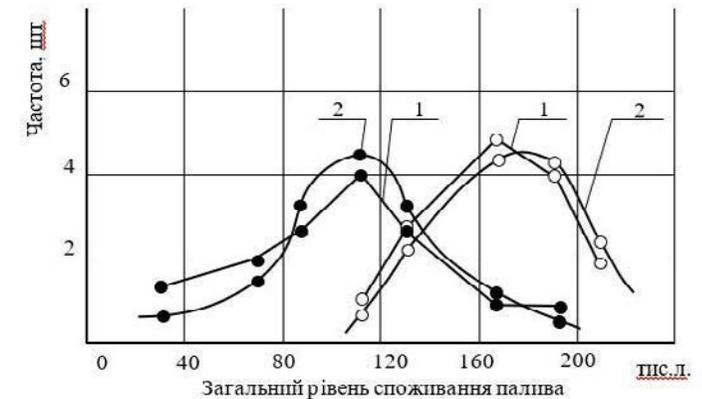
- 1 - збір даних про технічний стан і їх систематизація;
- 2 - статистична обробка вибірок для визначення параметрів і видів законів розподілу;
- 3 - визначення параметрів генеральної сукупності;
- 4 - розробка висновків і пропозицій по номенклатурі запасних частин.

Розподіл попиту на деталі групи А мостів автомобіля MAN TGL



- 1 - полігон розподілу;
2 - функція теоретичного розподілу.
- - деталі переднього моста;
● - деталі заднього моста

Розподіл попиту на деталі групи В і С двигуна АТЗ



- - деталі групи С;
● - деталі групи В.

Евристична оцінка попиту на запасні частини

$$N_{зч}^н = \frac{m_3 A_{ен}}{100} K_{\text{ев}} \quad N_{зч}^н = \frac{100 Q_{\text{сум}} K_{\text{ев}}}{H}$$

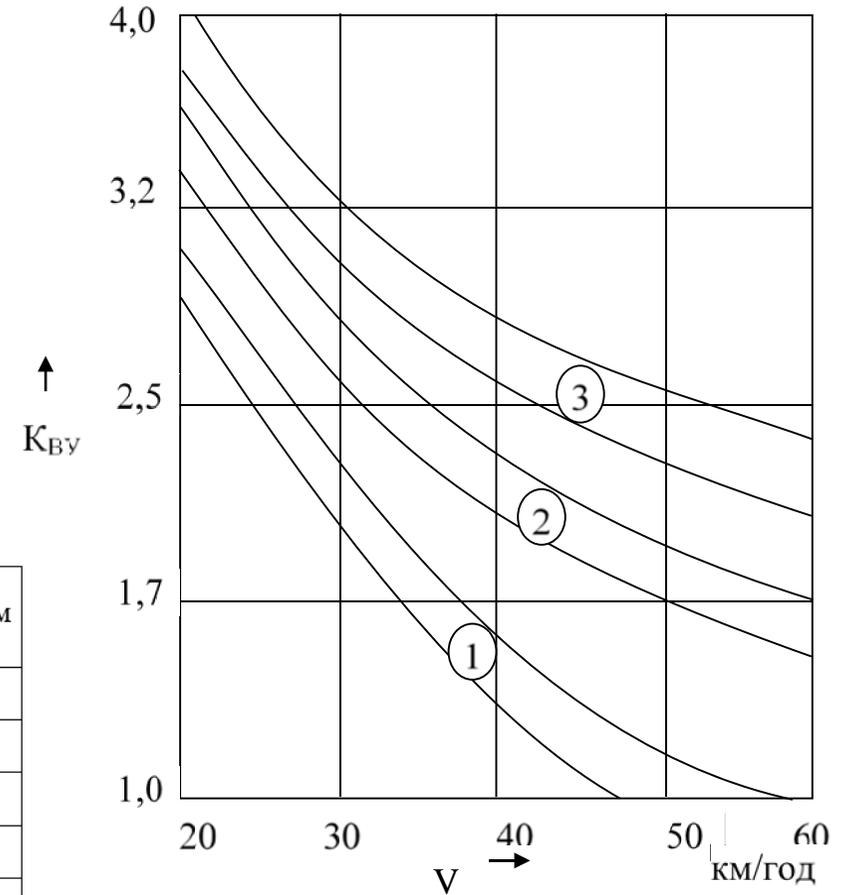
$$K_{\text{ев}} = 1,1 V_{\text{онм}} / V_a - 0,1 (G_a / G_n - 1)$$

$$V_{\text{онм}} = (0,6 \dots 0,7) V_{\text{max}}$$

Нормативні значення коефіцієнта впливу зовнішніх умов експлуатації

Умови експлуатації	Середня технічна швидкість, км/год	Порожній	З вантажем	З причепом
I	45–55	0,97–1,05	1,20–1,30	1,40–1,60
II	35–45	1,05–1,15	1,30–1,70	1,70–2,05
III	28–35	1,15–1,50	1,70–2,05	2,05–2,56
IV	23–28	1,30–1,70	2,05–2,56	1,56–3,30
V	20–23	2,00–2,05	2,56–2,90	3,30–3,90

Взаємозв'язок коефіцієнта зовнішніх умов із технічною швидкістю та завантаженням автомобіля



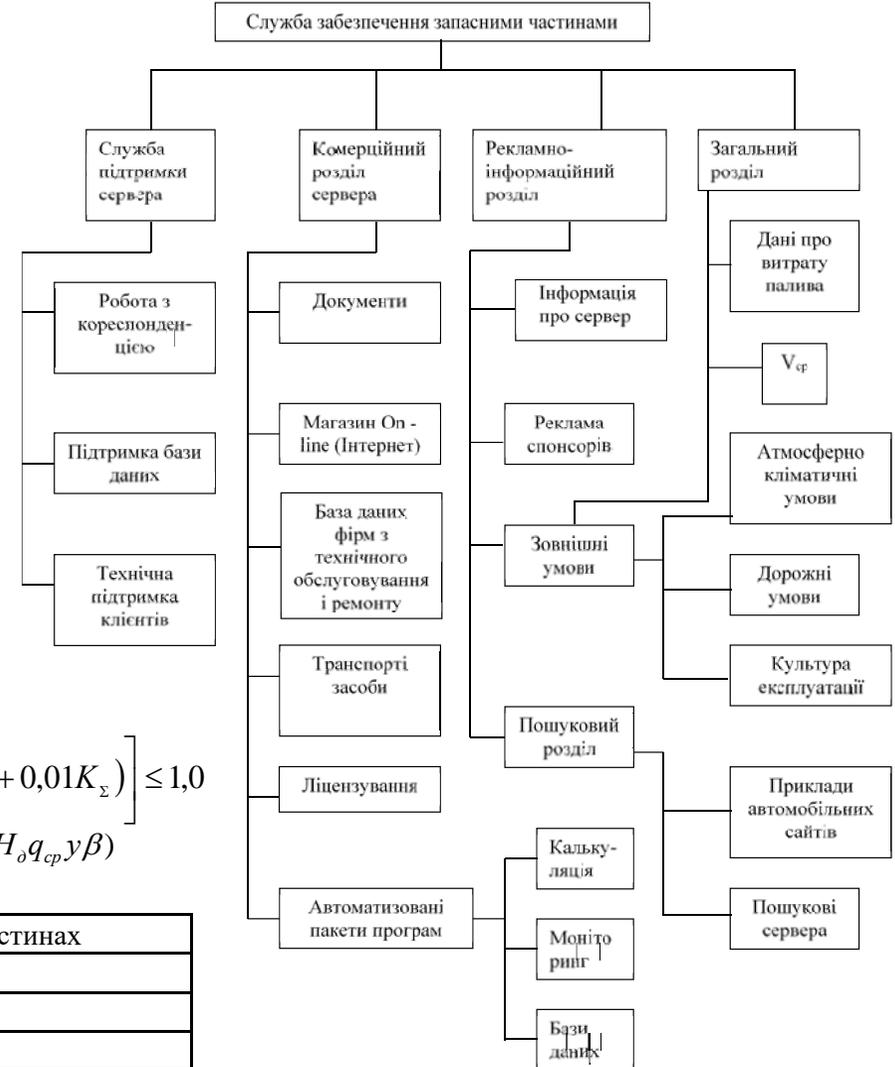
1 – порожній автомобіль; 2 – повністю завантажений;
3 – повністю завантажений з причепом

Методика прогнозування потреби в запасних частинах до силових агрегатів АТЗ

Узагальнена схема прогнозування потреби у запасних частинах силових агрегатів



Узагальнена схема організації сайту забезпечення запасними частинами



$$Q_{сум} = \frac{0,3N_{max} g_{e min} L_n}{\rho_m \delta V_{max}} \quad K_{n_{га}} = 1 / \left[\frac{0,05V_a \cdot \rho_m \cdot \delta}{N_{max} \cdot g_{e min}} \times (H_{san} + H_w \cdot q_H \cdot \gamma \cdot \beta)(1 + 0,01K_{\Sigma}) \right] \leq 1,0$$

$$Q_{mp} = L_{nl} H = L_{nl} (H_o + H_o q_{cp} \gamma \beta)$$

Узагальнені показники організації транспортного процесу

Рівень організації процесу	Показник потреби в запасних частинах
Відмінний	1,00 – 1,05
Хороший	1,06 – 1,35
Задовільний	1,36 – 1,66
Незадовільний	1,67 і більше

Результати розрахунку техніко-економічної ефективності виконаних досліджень

Економічна результативність нормування й прогнозування потреби в запасних частинах для силових агрегатів

Економічний ефект від впровадження результатів дослідження

$$E = (П_2 - П_1) \cdot A_{cn} = \Delta П \cdot A_{cn}$$

$$\Delta П = Д - З_m - З_c - З_{ш} - З_{mo} - З_{zn} - З_{zn}^{np}$$

Прибуток при роботі автомобіля

$$П = Д - З_m - З_c - З_{ш} - З_{mo} - З_n - З_o - З_{zn}$$

$$Д = l_c \cdot C_{km} \quad Д = T_{раб} \cdot C_ч$$

Найменування показника	Умовне позначення	Значення
1. Розмір втрат від простою автомобіля, грн/доба	$\Delta П$	1650
2. Нормативна тривалість простою автомобіля, дн/тис.км	$П_n$	0,30
3. Фактична тривалість простою автомобіля, дн/тис.км	$П_\phi$	0,65
4. Частка простою автомобіля через дефіцит деталей силових агрегатів досліджуваного найменування, %	K_i	3,1
5. Простій автомобіля через відсутність деталі або вузла i -го найменування, дн/тис.км	$П_{y_{зч}}$	0,0203
6. Середньорічний пробіг автомобіля, тис.км	\bar{L}_c	40
7. Річний простій автомобіля через відсутність необхідної деталі, дн/тис.км	$П_{cy_{зч}}$	0,11
8. Загальний економічний ефект, грн/рік	E	32500

ВИСНОВКИ

Аналіз показав, що чинні методики визначення потреби в запасних частинах не враховують реальні фактори їх витрати. Це спричиняє значний розрив між нормативними показниками та фактичними потребами, який може перевищувати 100%. Відсутність у розрахунках урахування фізичних параметрів умов експлуатації призводить до істотних похибок при встановленні нормативів для груп А, В, С.

Запропоновано наукове рішення проблеми комплексного управління забезпеченням силових агрегатів запасними частинами, що сприяє підвищенню продуктивності та рівня технічної готовності автотранспортних засобів. Підтримання працездатності агрегатів здійснюється на основі нових методів і моделей, які дозволяють визначати необхідну номенклатуру деталей.

Складено перелік конструктивних чинників та проведено їх кількісну оцінку, що впливають на зміну потреби в запасних частинах конкретного автомобіля. Встановлено залежність між потребою в деталях для силових агрегатів груп А, В, С та умовами експлуатації рухомого складу.

Розроблено методику прогнозування потреби в запасних частинах силових агрегатів за групами А, В, С, яка враховує технічний стан агрегату, виконану транспортну роботу, зовнішні умови експлуатації (обсяг перевезень, швидкісний режим, витрату палива), а також конструктивні особливості автомобіля.

Створено методику визначення оптимальної потреби в запасних частинах силових агрегатів автотранспортних засобів за групами А, В, С, що базується на врахуванні енергетичних витрат при виконанні транспортної роботи, конструктивно-технологічних характеристик, ступеня зношеності вузлів та агрегатів, а також культури експлуатації.

Проведено оцінку значущості зовнішніх чинників (швидкість руху, питомі витрати палива), які суттєво впливають на потребу в запасних частинах силових агрегатів.

Встановлено, що мінімальна потреба в запасних частинах спостерігається при швидкостях, які відповідають мінімальній витраті палива – у межах $(0,6 \dots 0,7) V_{\max}$. Такий режим рекомендовано приймати як базовий. Відхилення середньої швидкості на 20–30 км/год від оптимальної призводить до зростання потреби в запасних частинах на 150–370%. Аналогічний ефект має збільшення питомої витрати палива.

Зміни конструкції автомобіля (ефективність трансмісії, радіус кочення колеса, передавальні числа головної передачі) можуть підвищувати попит на запасні частини до 12%. Рух із оптимальною швидкістю знижує потребу в деталях для агрегатів груп А та В у 1,3-1,8 рази. Якщо ж швидкість менша за 20 км/год, різко зростає потреба в деталях групи С.

ДОДАТОК Б (обов'язковий). Протокол перевірки на плагіат



ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Підвищення ефективності використання автотранспортних засобів Вінницької дирекції акціонерного товариства «Укрпошта» на основі удосконалення методів планування запасів запасних частин

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КП1) 16 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- У роботі виявлено ознаки академічного плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Цимбал С.В., завідувач кафедри АТМ

(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

Кужель В.П., доцент кафедри АТМ

(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Цимбал О.В.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник


(підпис)

Кашканов А.А., професор кафедри АТМ

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач


(підпис)

Дишкант С.П.

(прізвище, ініціали)