

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ
ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ
ІМЕНІ ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: «ОБҐРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ
ТА РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ ВАНТАЖНИХ
АВТОМОБІЛІВ FORD»

Виконав: студент групи Ат-62

Спеціальності 274 «Автомобільний транспорт»

(шифр і назва)

Феданяк Юрій Петрович

(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Барабаш Р.І.

(Прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ
ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ
ІМЕНІ ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри _____

к.т.н., доц. А.О. Шарибура

“ ____ ” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту
Феданяку Юрію Петровичу

1. Тема роботи: «Обґрунтування показників надійності та ремонтопридатності вантажних автомобілів Ford»

Керівник роботи: к.т.н., доцент Барабаш Руслан Іванович

Затверджена наказом по університету від 28.02.2025 р. № 140/К-С

2. Строк подання студентом роботи 01.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Рекомендації по використанню машин сімейства *Ford*; технічні карти на передпродажне і технічне обслуговування автомобілів *Ford*; рекомендації по експлуатації машин сімейства *Ford*; каталог деталей автомобілів сімейства *Ford*; типові норми часу на ремонт та обслуговування автомобілів *Ford*.

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

1. Аналіз сучасного стану питання надійності та ремонтопридатності вантажних автомобілів

2. Дослідження показників надійності вантажних автомобілів Ford

3. Оцінка ремонтопридатності та шляхи її підвищення

4. Охорона праці та захист навколишнього середовища

5. Економічне обґрунтування

Висновки та пропозиції

Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Тема, мета, об'єкт дослідження, предмет дослідження та задачі дослідження; 2. Оцінка надійності автомобільної техніки за допомогою статистичних та експлуатаційних показників; 3-9. Статистичні та експлуатаційні показники надійності автомобільної техніки; 10. Висновки та пропозиції.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3	Барабаш Р.І., к.т.н., доцент, кафедри агроінженерії та технічного сервісу імені професора Олександра Семковича		
4	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва		
5	Барабаш Р.І., к.т.н., доцент, кафедри агроінженерії та технічного сервісу імені професора Олександра Семковича		

7. Дата видачі завдання 28.02.2025 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Написання розділу: «Аналіз сучасного стану питання надійності та ремонтпридатності вантажних автомобілів»	28.02.25-31.03.25	
2	Виконання другого розділу: «Дослідження показників надійності вантажних автомобілів Ford»	01.04.25-10.05.25	
3	Виконання третього розділу: «Оцінка ремонтпридатності та шляхи її підвищення»	11.05.25-30.06.25	
4	Написання розділу: «Охорона праці та захист навколишнього середовища»	01.07.25-10.08.25	
5	Оцінка ефективності впровадження результатів дослідження у виробництво	11.08.25-30.09.25	
6	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та мультимедійної презентації	01.10.25-31.10.25	
7	Завершення роботи в цілому	01.11.25-01.12.25	

Студент _____ Феданяк Ю.П.

(підпис)

Керівник роботи _____ Барабаш Р.І.

(підпис)

УДК: 631. 372. 004

Феданяк Ю.П. «Обґрунтування показників надійності та ремонтпридатності вантажних автомобілів Ford». Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, 2025. 73 с.

табл. 12; рис. 17; бібліогр. джерел 28.

Магістерська робота присвячена обґрунтуванню показників надійності та ремонтпридатності вантажних автомобілів *Ford* у сучасних умовах експлуатації автотранспортних підприємств України.

У роботі застосовано комплекс методів дослідження: статистичний аналіз експлуатаційних даних; порівняльний аналіз конструктивних особливостей вантажних автомобілів; математичне моделювання інтенсивності відмов; розрахунок показників середнього наробітку до відмови, коефіцієнта готовності, ремонтних інтервалів; методи експертної оцінки зручності доступу до вузлів; економічне оцінювання ефективності запропонованих заходів.

У результаті проведених досліджень встановлено, що модель Ford F-MAX має вищі показники надійності та ремонтпридатності порівняно з Ford Cargo: інтенсивність відмов знижена на 12–15%. Виконано побудову емпіричних і теоретичних функцій розподілу часу відновлення, розроблено Pareto-аналіз відмов, моделі інтенсивності відмов.

Проведено оцінювання ремонтпридатності за часовими та трудовими показниками. Визначено коефіцієнти доступності та зручності ремонту вузлів (K_d та K_{zp}), які для моделі Ford F-MAX є на 8–10 % вищими. Розроблено комплекс технічних і організаційних заходів щодо підвищення ремонтпридатності: впровадження модульних вузлів, автоматизованої діагностики, покращення матеріально-технічного забезпечення, цифрового моніторингу технічного стану та підвищення кваліфікації персоналу.

Економічний аналіз показав, що реалізація запропонованих заходів забезпечує річний економічний ефект у розмірі 3,35 млн грн для автопарку із 50 автомобілів Ford, при терміні окупності інвестицій близько 5 місяців.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПИТАННЯ НАДІЙНОСТІ ТА РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ	8
1.1 <i>Поняття надійності, ремонтпридатності та їх взаємозв'язок</i>	8
1.2 <i>Класифікація відмов та показники надійності автомобільної техніки</i>	12
1.3 <i>Методи оцінювання ремонтпридатності транспортних засобів</i>	16
1.4 <i>Огляд наукових досліджень і технічних рішень у галузі підвищення надійності</i>	
2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ FORD	23
2.1 <i>Методика оцінювання показників надійності вантажних автомобілів</i>	23
2.2 <i>Розрахунок показників надійності</i>	27
2.3 <i>Розрахунок показників ремонтпридатності вантажних автомобілів</i>	35
2.4 <i>Комплексна оцінка надійності вантажних моделей Ford</i>	40
2.5 <i>Побудова моделей надійності окремих систем автомобіля</i>	46
3. ОЦІНКА РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ ТА ШЛЯХИ ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ	50
3.1 <i>Аналіз структури ремонтних робіт та трудомісткості технічного обслуговування</i>	50
3.2 <i>Оцінювання ремонтпридатності за часовими та трудовими показниками</i>	
3.3 <i>Визначення коефіцієнтів доступності та зручності ремонту вузлів</i>	57
3.4 <i>Обґрунтування технічних і організаційних заходів щодо підвищення ремонтпридатності</i>	61
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	64
4.1 <i>Загальні положення охорони праці в автотранспортній галузі</i>	64
4.2 <i>Аналіз умов праці в зоні технічного обслуговування</i>	64

	5
<i>4.3 Вимоги до електробезпеки та пожежної безпеки</i>	65
<i>4.4 Засоби індивідуального захисту та санітарно-гігієнічні вимоги</i>	66
<i>4.5 Захист навколишнього середовища</i>	66
5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	68
<i>5.1 Економічна оцінка запропонованих заходів</i>	68
<i>5.2 Розрахунок економічного ефекту від підвищення надійності та ремонтпридатності</i>	69
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73

ВСТУП

Сучасний стан розвитку автотранспортної галузі характеризується зростанням інтенсивності вантажних перевезень, підвищенням експлуатаційних навантажень і необхідністю забезпечення безперебійної роботи рухомого складу в умовах високої конкуренції. Вантажні автомобілі є основною ланкою логістичних систем, і їх технічний стан безпосередньо впливає на ефективність функціонування підприємств, собівартість транспортних послуг, рівень безпеки руху та екологічну ситуацію.

В умовах української транспортної інфраструктури проблема надійності та ремонтпридатності вантажних автомобілів набуває особливої актуальності. Поганий стан дорожнього покриття, значні перепади температур, високий рівень пилового навантаження, недостатня якість палива та інтенсивний режим експлуатації призводять до прискореного зношування вузлів і агрегатів. Це зумовлює зростання частоти відмов, збільшення простоїв та витрат на технічне обслуговування.

Серед вантажних автомобілів, що експлуатуються в Україні, значну частку становлять моделі Ford Cargo та Ford F-MAX, які широко застосовуються у міжнародних і міжміських перевезеннях. Незважаючи на високу якість виготовлення та сучасні технічні рішення, їх надійність і ремонтпридатність значною мірою залежать від умов реальної експлуатації, дотримання регламентів ТО, рівня підготовки персоналу й організації сервісного обслуговування. У зв'язку з цим виникає потреба у комплексному аналізі технічного стану, виявленні причин відмов, розрахунку показників надійності та розробленні заходів щодо підвищення ремонтпридатності.

Актуальність теми. Сучасні умови експлуатації вантажних автомобілів вимагають підвищення їхньої надійності, довговічності та ремонтпридатності, оскільки ці параметри безпосередньо впливають на ефективність перевезень, економічні показники автотранспортних підприємств та рівень технічного обслуговування. В умовах зростання конкуренції на ринку автотранспорту

важливим є обґрунтування оптимальних показників надійності та розроблення заходів щодо підвищення ремонтпридатності техніки.

Вантажні автомобілі Ford займають помітне місце в комерційному автопарку України, що обумовлює потребу в системному аналізі їх технічних характеристик, типових відмов та ефективності технічного обслуговування. Дослідження цих аспектів дозволяє підвищити рівень експлуатаційної надійності, знизити витрати на ремонт та продовжити термін служби транспортних засобів.

Мета роботи. Обґрунтувати показники надійності та ремонтпридатності вантажних автомобілів Ford з метою підвищення ефективності їх експлуатації та зменшення витрат на технічне обслуговування і ремонт.

Об'єкт дослідження. Процес експлуатації та технічного обслуговування вантажних автомобілів Ford.

Предмет дослідження. Показники надійності, ремонтпридатності та методи їх оцінювання для вантажних автомобілів Ford.

Задачі дослідження:

1. Проаналізувати сучасний стан питання надійності та ремонтпридатності вантажних автомобілів.
2. Дослідити конструктивні особливості вантажних автомобілів Ford, що впливають на їхню надійність і ремонтпридатність.
3. Зібрати та обробити експлуатаційні дані про відмови та ремонти автомобілів.
4. Визначити основні показники надійності (середній наробіток до відмови, інтенсивність відмов, коефіцієнт готовності тощо).
5. Оцінити ремонтпридатність транспортних засобів за допомогою відповідних критеріїв (час усунення відмов, трудомісткість ремонтів, доступність вузлів).
6. Розробити рекомендації щодо підвищення надійності та ремонтпридатності вантажних автомобілів Ford в умовах експлуатації автотранспортного підприємства.

1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПИТАННЯ НАДІЙНОСТІ ТА РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

1.1. Поняття надійності, ремонтпридатності та їх взаємозв'язок

У сучасних умовах інтенсивного використання автомобільного транспорту одним із найважливіших показників якості техніки є її надійність. Від рівня надійності безпосередньо залежать ефективність транспортного процесу, безпека руху, економічність експлуатації та тривалість життєвого циклу автомобіля. Водночас не менш важливим аспектом є ремонтпридатність, яка визначає здатність технічного засобу відновлювати працездатний стан після виникнення відмов або пошкоджень із мінімальними затратами часу, праці та ресурсів.

Поняття надійності та ремонтпридатності є взаємопов'язаними: висока надійність забезпечує меншу частоту відмов, а висока ремонтпридатність дозволяє швидко відновлювати працездатність у разі виникнення несправностей. Разом вони формують основу експлуатаційної ефективності транспортних засобів, у тому числі вантажних автомобілів Ford, що використовуються у складних дорожніх та кліматичних умовах.

Відповідно до стандарту ДСТУ 2860-94 «Надійність техніки. Терміни та визначення», надійність – це властивість об'єкта зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати задані функції в певних умовах експлуатації. Для автомобіля це означає здатність здійснювати перевезення вантажів без відмов, у межах встановлених технічних параметрів та з дотриманням вимог безпеки.

Надійність є комплексною властивістю, що об'єднує кілька складових:

- Безвідмовність – здатність автомобіля безперервно зберігати працездатний стан упродовж певного часу або пробігу.
- Довговічність – властивість технічного засобу зберігати працездатність до граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування.

- Збережуваність – здатність зберігати справність під час зберігання або транспортування.

- Ремонтопридатність – можливість своєчасного та економічно доцільного відновлення працездатності після відмови чи зносу.

Надійність автомобільної техніки оцінюється за допомогою статистичних та експлуатаційних показників. Основними є:

- Середнє напрацювання на відмову (T_{cp}) – середній пробіг або час безвідмовної роботи автомобіля.

- Інтенсивність відмов (λ) – кількість відмов, що припадає на одиницю часу або пробігу. Крива інтенсивності відмов $\lambda(L)$ – класична модель поведінки надійності автомобіля протягом життєвого циклу (рис.1.1).

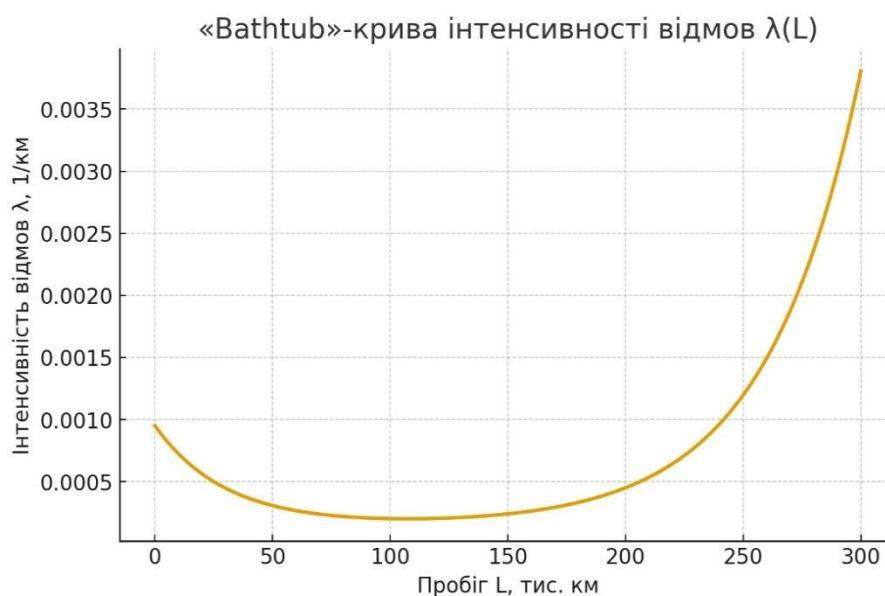


Рисунок 1.1 – Крива інтенсивності відмов $\lambda(L)$ автомобіля протягом життєвого циклу

Етап 1 – Припрацювання (0–50 тис. км): інтенсивність відмов спочатку висока через початкові дефекти складання, невідрегульовані системи, притирку деталей.

Етап 2 – Стабільна експлуатація (50–180 тис. км): λ знижується й утримується на мінімальному рівні — система працює стабільно, усі "слабкі" елементи вже виявлені й усунені.

Етап 3 – Знос (понад 200 тис. км): λ знову зростає через старіння матеріалів, втому металу, накопичення зносу в агрегатах і електроніці.

Ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ – ймовірність того, що автомобіль не зазнає відмови протягом певного часу. Графік ймовірності безвідмовної роботи $P(L)$ (емпірична + теоретична експонента/Вейбулла відображено на рис. 1.2

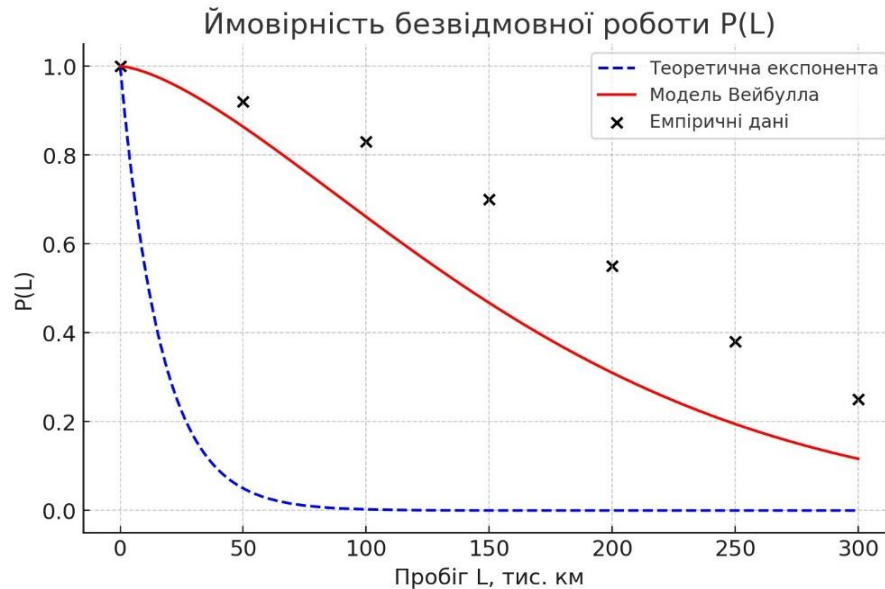


Рисунок 1.2 – Графік ймовірності безвідмовної роботи $P(L)$ (емпірична + теоретична експонента/Вейбулла)

Аналіз результатів відображає: чорні точки – *емпіричні дані*, отримані за результатами експлуатаційних спостережень (зниження P із пробігом). Синя пунктирна лінія – *теоретична експоненційна модель*, яка припускає постійну інтенсивність відмов ($\lambda = \text{const}$). Червона суцільна лінія – *модель Вейбулла*, яка враховує зміну інтенсивності відмов із пробігом ($\beta > 1$ означає, що знос наростає). Дані показують, що до ~ 100 тис. км крива майже лінійна на напівлогарифмічному масштабі (період стабільної експлуатації), після 150–200 тис. км спостерігається швидке зниження $P(L)$, що відповідає фазі зносу, модель Вейбулла ($\beta = 1,5$; $\eta \approx 180$ тис. км) краще узгоджується з емпіричними даними, ніж експоненційна.

Коефіцієнт готовності (K_2) – відношення часу, протягом якого автомобіль працездатний, до загального часу його перебування в експлуатації.

Ці показники дають можливість комплексно оцінити стан техніки та планувати обсяги профілактичних заходів. Для автопідприємств важливим є також коефіцієнт технічного використання, який показує частку часу, коли автомобіль реально виконує транспортну роботу.

Ремонтопридатність визначається конструкцією автомобіля, компоновкою вузлів, доступністю елементів для огляду та заміни, наявністю діагностичного обладнання, а також кваліфікацією обслуговуючого персоналу.

До основних показників ремонтпридатності належать:

- середній час усунення відмови (t_p);
- середня трудомісткість ремонту (T_p);
- коефіцієнт доступності вузлів (K_o);
- питома кількість відмов, що усуваються без розбирання основних агрегатів;
- ймовірність відновлення працездатності протягом заданого часу.

Підвищення ремонтпридатності сприяє скороченню простоїв транспортних засобів, зменшенню витрат на ремонт і підвищенню коефіцієнта готовності автопарку.

Надійність і ремонтпридатність перебувають у тісному взаємозв'язку, оскільки разом формують експлуатаційну готовність автомобіля. Висока надійність зменшує частоту відмов, тоді як висока ремонтпридатність забезпечує швидке усунення наслідків цих відмов. У сукупності вони визначають коефіцієнт готовності:

$$K_G = \frac{T_{роб}}{T_{роб} + T_{рем}} ; \quad (1.1)$$

де $T_{роб}$ – середній час безвідмовної роботи;

$T_{рем}$ – середній час відновлення працездатності.

Як видно з формули, підвищення будь-якої з цих характеристик (збільшення часу безвідмовної роботи або скорочення часу ремонту) позитивно впливає на ефективність експлуатації автомобіля.

Отже, надійність і ремонтпридатність є ключовими властивостями, що визначають ефективність використання вантажних автомобілів Ford у транспортному процесі. Вони взаємопов'язані між собою і спільно формують експлуатаційну готовність автотранспортних засобів. Підвищення надійності без урахування ремонтпридатності не забезпечує повного ефекту, оскільки навіть надійна техніка потребує своєчасного та швидкого відновлення.

Для підвищення рівня цих характеристик необхідно застосовувати комплексний підхід, який включає:

- удосконалення конструкції та технології виготовлення автомобіля;
- раціональну організацію технічного обслуговування та ремонту;
- впровадження діагностичних систем контролю технічного стану;
- підготовку кваліфікованого персоналу;
- використання статистичних методів оцінки надійності для прогнозування технічного ресурсу.

1.2. Класифікація відмов та показники надійності автомобільної техніки

Ефективність функціонування автомобільного транспорту значною мірою визначається надійністю технічних засобів, що забезпечують безперервність транспортного процесу. В процесі експлуатації будь-який автомобіль піддається впливу комплексу чинників, які зумовлюють старіння, зношування деталей, появу дефектів і, зрештою, відмови. Для обґрунтованої оцінки рівня надійності транспортних засобів необхідно систематизувати відмови за певними ознаками та визначити кількісні показники, що характеризують роботу автомобіля у часі.

Згідно з визначенням стандарту ДСТУ 2860-94, *відмова* — це подія, яка полягає у порушенні працездатного стану об'єкта. Іншими словами, відмова настає тоді, коли один або кілька параметрів об'єкта виходять за межі допустимих значень, що призводить до втрати здатності виконувати задані функції.

Для автомобіля відмова може проявлятися у вигляді зупинки двигуна, виходу з ладу гальмівної системи, відмови електронного блоку керування,

пошкодження трансмісії тощо. Залежно від характеру відмови, наслідки можуть бути як незначними (погіршення зручності експлуатації), так і критичними (повна зупинка транспортного засобу або аварійна ситуація).

У практиці технічної експлуатації розрізняють поняття працездатного стану та справного стану. Працездатним вважається такий стан автомобіля, коли він може виконувати свої функції з параметрами, що не виходять за межі встановлених нормативів. Справний стан означає відсутність будь-яких дефектів, навіть тих, які поки не впливають на функціонування. Тобто автомобіль може бути працездатним, але вже не повністю справним, що вказує на початкові ознаки деградації системи.

Класифікація відмов. Відмови автомобільної техніки мають різноманітну природу, тому для ефективного аналізу застосовується класифікація відмов за різними ознаками. Основні критерії класифікації подано нижче.

1. За характером наслідків:

- Повна відмова – автомобіль повністю втрачає здатність виконувати транспортну функцію (наприклад, руйнування колінчастого вала, розрив приводного ремня).
- Часткова відмова – відбувається погіршення параметрів, але автомобіль може продовжувати роботу (наприклад, зменшення потужності двигуна, підтікання гідравлічної рідини).

2. За причинами виникнення:

- Конструктивні – спричинені недосконалістю конструкції або нерациональним вибором матеріалів.
- Виробничі – обумовлені похибками виготовлення, порушенням технології або дефектами збірки.
- Експлуатаційні – наслідок неправильного використання, перевантаження, несвоєчасного обслуговування чи низької кваліфікації персоналу.
- Природні (вікові) – зумовлені природним зношуванням деталей у процесі тривалого використання.

3. За закономірністю прояву:

- Випадкові відмови – мають імовірнісний характер, їх виникнення не підлягає точному прогнозуванню.
- Систематичні відмови – повторюються внаслідок конструктивних або технологічних недоліків і можуть бути усунені після внесення змін у конструкцію або технологію.

4. За швидкістю розвитку процесу:

- Раптові відмови – виникають миттєво, без попередніх ознак (наприклад, обрив ременя ГРМ).
- Поступові відмови – розвиваються внаслідок зносу або старіння, мають попередні симптоми (наприклад, збільшення шуму підшипників, підтікання масла).

5. За можливістю виявлення:

- Явні (очевидні) – легко виявляються під час експлуатації або технічного обслуговування.
- Приховані – не проявляються без спеціальної діагностики, наприклад, мікротріщини або порушення параметрів електронних систем.

6. За наслідками для безпеки руху:

- Критичні – призводять до небезпечних ситуацій або аварій (відмова гальм, рульового керування).
- Некритичні – не впливають безпосередньо на безпеку, але можуть зменшувати ефективність чи комфорт (відмова системи кондиціонування, освітлення).

Надійність транспортних засобів оцінюється за допомогою кількісних показників, які характеризують роботу об'єкта в часі. Вони поділяються на первинні (параметричні) та інтегральні (узагальнені).

1. Первинні показники:

- Наробіток до відмови (T) – час або пробіг, протягом якого автомобіль працює без відмов.

- Час відновлення (t_{θ}) – тривалість усунення відмови, включаючи час діагностики, ремонту та регулювань.

- Частота відмов (n) – кількість відмов за певний період або пробіг.

2. Інтегральні показники:

Імовірність безвідмовної роботи $P(t)$

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (1.2)$$

де λ – інтенсивність відмов;

t – час експлуатації.

Цей показник відображає ймовірність того, що автомобіль не зазнає відмов протягом заданого періоду.

Інтенсивність відмов (λ)

$$\lambda = \frac{\Delta n}{N \cdot \Delta t}, \quad (1.3)$$

де Δn – кількість відмов за інтервал часу Δt ;

N – кількість однотипних об'єктів у вибірці.

Середній наробіток до відмови T_{cp} :

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i}{n}, \quad (1.4)$$

де T_i – пробіг між відмовами,

n – кількість відмов.

Середній час відновлення (t_{cp})

$$t_{cp} = \frac{\sum t_i}{n}; \quad (1.5)$$

де t_i – тривалість кожного відновлення.

Коефіцієнт технічного використання ($K_{мс}$)

$$K_{мс} = \frac{T_{роб}}{T_{роб} + T_{пр}}, \quad (1.6)$$

де $T_{роб}$ – час фактичної роботи автомобіля,

$T_{пр}$ – час простоїв у ремонті або технічному обслуговуванні.

Зазначені показники дають змогу оцінити не лише поточний стан техніки, а й прогнозувати подальшу надійність, визначати оптимальні інтервали технічного обслуговування та ремонту.

Оскільки процес виникнення відмов має імовірнісний характер, оцінка надійності базується на статистичних методах обробки експлуатаційних даних. У практиці досліджень автомобільної техніки застосовуються такі методи:

- метод частотного аналізу, коли визначають кількість відмов за певний період експлуатації;
- метод графічного аналізу, який дозволяє побудувати криві безвідмовної роботи або інтенсивності відмов;
- метод найменших квадратів – використовується для апроксимації експериментальних даних та побудови функції надійності.

1.3. Методи оцінювання ремонтпридатності транспортних засобів

Ремонтпридатність є однією з найважливіших експлуатаційних властивостей автомобільної техніки, що визначає її здатність зберігати працездатність упродовж усього життєвого циклу. Вона безпосередньо впливає на коефіцієнт технічної готовності автопарку, тривалість простоїв, економічні витрати на утримання транспортних засобів і загальну ефективність транспортного процесу.

Для підвищення рівня ремонтпридатності необхідно мати кількісні показники, які дозволяють об'єктивно оцінити цю властивість. Саме тому у технічній експлуатації широко застосовуються різні методи оцінювання ремонтпридатності, що базуються на аналізі часових, трудових, конструктивних та експлуатаційних параметрів автомобіля.

Оцінювання ремонтпридатності полягає у визначенні здатності транспортного засобу піддаватися технічному обслуговуванню, виявленню та усуненню відмов за мінімальний час і з найменшими витратами ресурсів.

Відповідно до ДСТУ 2325-93, ремонтпридатність характеризується такими властивостями:

- пристосованість конструкції до проведення технічного обслуговування й ремонту;
- зручність доступу до елементів, що потребують регулювання чи заміни;
- наявність засобів діагностики та швидкого виявлення відмов;
- можливість проведення ремонтів без демонтажу значних частин конструкції.

Методи оцінювання ремонтпридатності можна умовно поділити на чотири групи:

1. Аналітичні (розрахункові) методи
2. Експериментальні (випробувальні) методи
3. Статистичні (експлуатаційні) методи
4. Експертно-аналітичні методи

Аналітичні методи застосовуються переважно на етапі проектування транспортних засобів. Вони базуються на аналізі конструкції, компоновки агрегатів, технологічності їх обслуговування та можливості швидкої заміни елементів.

Основна мета – оцінити потенційну ремонтпридатність ще до початку експлуатації. Для цього використовують такі підходи:

- розрахунок коефіцієнта доступності елементів;
- оцінка трудомісткості ремонтних операцій на основі нормативів;
- аналіз структурної складності об'єкта за кількістю вузлів і з'єднань;
- визначення ступеня уніфікації вузлів і агрегатів.

Одним із критеріїв ремонтпридатності є коефіцієнт доступності K_d :

$$K_d = \frac{N_d}{N}, \quad (1.7)$$

де N_d – кількість вузлів, доступних для обслуговування без демонтажу інших елементів,

N – загальна кількість вузлів, що підлягають обслуговуванню.

Чим ближче значення K_d до одиниці, тим вища ремонтпридатність конструкції.

Іншим важливим показником є коефіцієнт уніфікації деталей K_y , що показує частку уніфікованих (взаємозамінних) елементів у загальній кількості деталей автомобіля. Висока уніфікація полегшує ремонт і скорочує час простоїв.

Експериментальні методи передбачають проведення випробувань з метою визначення фактичних часових та трудових витрат на виконання ремонтних операцій. До них належать:

- натурні випробування з технічного обслуговування та ремонту;
- лабораторні дослідження з демонтажу й монтажу агрегатів;
- хронометраж робіт, який дозволяє визначити середній час виконання певних операцій.

За результатами таких випробувань визначають середній час відновлення t_{cp} :

$$t_{cp} = \frac{\sum t_i}{n}, \quad (1.8)$$

де t_i – час усунення кожної відмови,

n – кількість відмов за період спостереження.

Також розраховується середня трудомісткість ремонтних робіт T_r :

$$T_r = \frac{\sum T_i}{n}, \quad (1.9)$$

де T_i – трудомісткість усунення окремих відмов (у людино-годинах).

Результати експериментальних досліджень дають змогу побудувати залежність між тривалістю ремонту і складністю конструкції, а також визначити, які елементи автомобіля є найбільш проблемними щодо відновлення.

Статистичні методи базуються на обробці даних, отриманих під час експлуатації автомобілів. Вони передбачають аналіз журналів технічного обслуговування, карт обліку відмов та ремонтних відомостей.

Основними показниками, що визначаються статистично, є:

- середній час простою в ремонті (t_{np});
- частота відмов (λ);
- коефіцієнт готовності (K_e);

- коефіцієнт технічного використання ($K_{тв}$).

Взаємозв'язок цих показників можна виразити формулою:

$$K_r = \frac{T_{роб}}{T_{роб} + t_{рем}}, \quad (1.10)$$

де $T_{роб}$ – середній наробіток до відмови;

$t_{рем}$ – середній час відновлення.

Чим менше значення $t_{рем}$, тим вищий коефіцієнт готовності, а отже – краща ремонтпридатність.

Перевага статистичних методів полягає в їхній реалістичності, оскільки результати відображають фактичний стан експлуатації. Недоліком є потреба у великих вибірках даних і значних обсягах спостережень.

Експертно-аналітичні методи ґрунтуються на використанні думок фахівців, які мають практичний досвід обслуговування автомобілів. Оцінювання проводиться за системою бальних коефіцієнтів або вагових критеріїв, де кожному параметру ремонтпридатності присвоюється певна оцінка.

Наприклад, оцінюються такі параметри:

- зручність доступу до вузлів (1–5 балів);
- потреба у спеціальному інструменті (1–5 балів);
- можливість виконання ремонту без демонтажу агрегатів;
- складність діагностування відмов.

Сумарна оцінка визначається як середньозважена:

$$R = \frac{\sum (\omega_i \cdot b_i)}{\sum \omega_i}, \quad (1.11)$$

де ω_i – ваговий коефіцієнт значущості параметра;

b_i – оцінка за бальною шкалою.

Цей метод є ефективним для порівняльної оцінки різних моделей автомобілів або для попередньої експертизи нових конструкцій.

У сучасній практиці оцінювання ремонтпридатності транспортних засобів здійснюється комплексно, шляхом поєднання кількох методів. Для цього

формуються інтегральні показники, що враховують часові, трудові, конструктивні та економічні аспекти.

Одним із таких показників є інтегральний коефіцієнт ремонтпридатності K_r :

$$K_r = \alpha_1 \frac{T_n}{T_\phi} + \alpha_2 \frac{t_n}{t_\phi} + \alpha_3 \frac{C_n}{C_\phi}, \quad (1.12)$$

де: T_n, t_n, C_n – нормативні значення наробітку, часу ремонту та вартості;

T_ϕ, t_ϕ, C_ϕ – фактичні значення;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – вагові коефіцієнти важливості показників.

Значення $K_r > 1$ свідчить про високу ремонтпридатність, а $K_r < 1$ – про необхідність удосконалення конструкції або організації технічного обслуговування.

1.4. Огляд наукових досліджень і технічних рішень у галузі підвищення надійності автомобілів

Проблема підвищення надійності автомобільної техніки є однією з ключових у сучасному машинобудуванні та експлуатації транспортних засобів. Надійність визначає технічний рівень конструкції, її відповідність умовам експлуатації, довговічність і економічну ефективність функціонування автопарку.

Наукові дослідження у цій галузі спрямовані на вдосконалення конструкцій автомобілів, застосування нових матеріалів, удосконалення технологій технічного обслуговування та діагностування, а також розроблення систем прогнозування стану агрегатів. У цьому розділі розглянуто основні тенденції розвитку теорії та практики забезпечення надійності транспортних засобів на основі праць українських і зарубіжних учених, а також інноваційних технічних рішень, що впроваджуються у сучасному автомобілебудуванні.

Згідно з класичними роботами в галузі експлуатації машин Ю.А. Бахвалов, В.А. Мельник, О.М. Говоров та ін., надійність автомобіля є комплексною

властивістю, яка формується на всіх етапах його життєвого циклу – від проектування до утилізації.

Основними науковими напрямками забезпечення надійності визначаються:

- проектно-конструкторський напрям – підвищення ресурсу деталей за рахунок оптимізації конструкції, використання нових матеріалів і технологій з'єднань;
- технологічний напрям – удосконалення процесів виготовлення, зменшення похибок складання, контроль якості;
- експлуатаційний напрям – раціональна система технічного обслуговування, своєчасна діагностика і регулювання;
- організаційно-економічний напрям – оптимізація режимів роботи автопарку, облік статистики відмов, аналіз витрат на ремонт.

Наукові праці останніх десятиліть доводять, що близько 60–70 % відмов автомобільної техніки зумовлені не конструктивними дефектами, а порушеннями правил експлуатації, низькою якістю обслуговування або несвоєчасним ремонтом. Це зумовлює актуальність досліджень у сфері прогнозування технічного стану та попереджувальної діагностики.

Важливу роль у забезпеченні високої надійності відіграє система діагностування технічного стану.

Сучасні автомобілі обладнуються інтелектуальними системами контролю (On-Board Diagnostics, OBD-II), що дозволяють фіксувати коди несправностей, оцінювати параметри роботи двигуна, трансмісії та електронних систем у реальному часі.

У наукових працях С.І. Панов, В.О. Кіріченко, 2020–2023 рр. наголошується, що використання систем моніторингу технічного стану дозволяє:

- знизити кількість раптових відмов на 25–30 %;
- скоротити час простою транспортного засобу до 20 %;
- оптимізувати графіки технічного обслуговування відповідно до фактичного стану агрегатів.

Компанія Ford Motor Company впроваджує концепцію Predictive Maintenance – «передбачуване технічне обслуговування», яке базується на аналізі великих масивів даних (Big Data) із сенсорів автомобіля. Алгоритми машинного навчання дозволяють прогнозувати ймовірність відмови конкретного вузла за декілька сотень кілометрів до її фактичного виникнення.

Такі рішення суттєво підвищують операційну надійність автопарків і зменшують витрати на ремонт. Окрім технічних рішень, важливим є раціональне управління технічним станом автопарку.

Наукові дослідження А.О. Дьомін, Л.В. Момот, 2019–2024 рр. свідчать, що ефективність експлуатації значною мірою залежить від організації технічного обслуговування.

До основних заходів, що підвищують надійність автомобілів, належать:

- впровадження системи планово-попереджувального технічного обслуговування (ППТО);
- перехід до індивідуалізованого (адаптивного) технічного обслуговування залежно від умов експлуатації;
- оптимізація системи змащування, регулювання і перевірки агрегатів;
- використання сертифікованих запасних частин.

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ FORD

2.1 Методика оцінювання показників надійності вантажних автомобілів

Надійність вантажного автомобіля є інтегральною властивістю, що характеризує здатність технічної системи виконувати задані функції у встановлених умовах експлуатації протягом визначеного часу або пробігу. Її оцінювання ґрунтується на сукупності статистичних і експериментальних методів, що дозволяють визначити ймовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов і середній наробіток до відмови.

Для автотранспортних засобів, зокрема вантажних автомобілів Ford, надійність оцінюють не лише за кількістю відмов, але й за тривалістю працездатного стану між відмовами, часом простою в ремонті та відновлюваністю після несправностей. З огляду на практичні умови експлуатації, методика оцінювання має враховувати як технічні фактори (конструкція, матеріали, умови обслуговування), так і експлуатаційні (навантаження, клімат, якість доріг, людський фактор).

Метою цього розділу є викладення методичних засад і математичних залежностей, що дозволяють оцінити рівень надійності вантажних автомобілів Ford за статистичними даними експлуатації автотранспортного підприємства.

Згідно з положеннями ДСТУ 2860-94 «Надійність техніки. Терміни та визначення», основними показниками надійності автомобільної техніки є:

Ймовірність безвідмовної роботи. Це основний параметр, який визначає, з якою імовірністю об'єкт не зазнає відмови протягом заданого часу (або пробігу):

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (2.1)$$

де $P(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи;

λ – інтенсивність відмов (1/год або 1/км);

t – напрацювання у годинах або кілометрах.

Для практичних розрахунків часто використовують апроксимацію за даними експлуатаційних спостережень, визначаючи частку автомобілів, що відпрацювали заданий пробіг без відмов.

Середнє напрацювання на відмову. Характеризує середню тривалість безвідмовної роботи автомобіля або окремого вузла:

$$T_{cp} = \frac{\sum T_i}{n}, \quad (2.2)$$

де T_i – напрацювання до i -тої відмови;

n – кількість відмов.

Для транспортних засобів показник може обчислюватися у кілометрах (середній пробіг до відмови).

Інтенсивність відмов. Визначається відношенням кількості відмов до сумарного напрацювання парку автомобілів:

$$\lambda = \frac{N_{від}}{\sum L_i}, \quad (2.3)$$

де $N_{від}$ – кількість відмов за певний період;

$\sum L_i$ – сумарний пробіг автомобілів, км.

Чим менше значення λ , тим вища надійність.

Ймовірність безперервної працездатності на маршруті. Використовується для оцінки надійності при перевезеннях у визначеному транспортному циклі:

$$P_m = 1 - \frac{N_{відм}}{N_{рейс}} \quad (2.4)$$

де $N_{відм}$ – кількість рейсів з відмовами,

$N_{рейс}$ – загальна кількість виконаних рейсів.

Коефіцієнт технічної готовності. Характеризує частку часу, протягом якого автомобіль є працездатним:

$$K_T = \frac{T_{роб}}{T_{роб} + T_{рем}}, \quad (2.5)$$

де $T_{роб}$ – час роботи в справному стані;

$T_{рем}$ – час простою в ремонті.

Для оцінки показників надійності використовуються дані експлуатаційної статистики автопідприємства, які включають:

- щоденні пробіги автомобілів;
- кількість відмов і несправностей за період;
- тривалість простоїв у ремонті;
- види та причини відмов (по системах);
- дати проведення ТО-1, ТО-2, поточного ремонту.

Дані зводяться у експлуатаційні карти або журнали спостережень, де фіксується пробіг між відмовами. На основі цих відомостей будуються:

- емпіричні криві безвідмовної роботи $P(t)$;
- розподіл частоти відмов;
- графік інтенсивності відмов у часі.

Для підвищення достовірності аналізу використовується мінімум 20–25 автомобілів одного типу з однаковими умовами експлуатації протягом 6–12 місяців. Це дозволяє отримати статистично обґрунтовані результати.

Після збору даних виконується їх статистична обробка. Основні етапи такі:

1. Упорядкування даних – всі зафіксовані відмови сортуються за напрацюванням до відмови T_i .
2. Побудова інтегральної функції надійності – визначається частка автомобілів, що відпрацювали пробіг більше ніж T_i без відмов.
3. Розрахунок показників: T_{cp} , λ , $P(t)$.
4. Оцінка коефіцієнта технічної готовності, на основі фактичних даних про простої через ремонти K_T .
5. Аналіз результатів – порівнюються розраховані показники з нормативними значеннями, визначається тенденція зміни надійності в часі.

Критерії оцінювання надійності. Для вантажних автомобілів Ford Cargo та Ford F-MAX (категорія N3) нормативні показники надійності, визначені за даними виробника і експлуатаційною практикою, мають такі орієнтовні значення:

Таблиця 2.1 – Нормативні показники надійності

Показник	Позначення	Нормативне значення
Середній пробіг до відмови, км	L_{cp}	15000 – 25000
Інтенсивність відмов, 1/км	λ	$0,4 - 0,7 \times 10^{-4}$
Ймовірність безвідмовної роботи на рейсі (500 км)	P_m	$\geq 0,95$
Коефіцієнт технічної готовності	K_g	$\geq 0,93$
Середній час усунення відмови, год	$T_{рем}$	6 – 10

Залежно від умов експлуатації в Україні реальні показники можуть зменшуватися на 5–15 %, що слід враховувати при оцінці експлуатаційної надійності.

Для порівняльного аналізу застосовується метод відносних показників:

$$K_H = \frac{T_{cp,факт}}{T_{cp,норм}}, \quad (2.6)$$

де K_H – коефіцієнт рівня надійності;

значення $K_H < 1$) свідчить про зниження надійності відносно нормативного рівня.

Для візуальної оцінки динаміки відмов застосовують графоаналітичні методи:

- криві відмов ($N-t$) – відображають накопичення кількості відмов у часі;
- криві безвідмовної роботи ($P-L$) – показують імовірність безвідмовності від пробігу;
- криві інтенсивності відмов ($\lambda-t$) – демонструють етапи роботи техніки: припрацювання, нормальна експлуатація, знос.

Такі графіки дозволяють визначати оптимальні інтервали технічного обслуговування та заміни вузлів до настання критичних відмов.

Розроблена методика дозволяє визначати експлуатаційні показники надійності на основі фактичних даних АТП, оцінювати вплив умов експлуатації на інтенсивність відмов, прогнозувати залишковий ресурс вузлів і агрегатів та здійснювати порівняльний аналіз різних моделей вантажних автомобілів.

Застосування даної методики для автомобілів Ford Cargo і Ford F-MAX забезпечує можливість формування обґрунтованих рекомендацій щодо оптимізації технічного обслуговування, визначення резервів підвищення надійності та зменшення експлуатаційних витрат.

2.2 Розрахунок показників надійності (інтенсивність відмов, середній наробіток до відмови, коефіцієнт готовності)

Після визначення теоретичних засад оцінювання надійності (розділ 2.1) необхідним етапом є розрахунок практичних показників на основі статистичних даних експлуатації вантажних автомобілів. У цьому розділі подано приклад методики кількісного визначення основних характеристик – інтенсивності відмов (λ), середнього наробітку до відмови T_{cp} та коефіцієнта технічної готовності (K_T) – для парку вантажних автомобілів Ford Cargo і Ford F-MAX, що експлуатуються в умовах автотранспортного підприємства.

Розрахунок проводиться на підставі експлуатаційних журналів, у яких фіксуються пробіги, кількість відмов і простої в ремонті для умов роботи АТП.

Таблиця 2.2 – Статистичні дані експлуатації вантажних автомобілів *Ford*.

Модель автомобіля	Кількість автомобілів, шт.	Сумарний пробіг, тис. км	Кількість відмов, шт.	Сумарний час простою через ремонт, год
Ford Cargo 1830	10	1250	82	710
Ford F-MAX 500	8	1050	60	510

Додатково: середня тривалість ремонтів становить 8,6 год для Cargo та 8,5 год для F-MAX; середній пробіг кожного автомобіля за період – 120–140 тис. км.

Розрахунок інтенсивності відмов. Інтенсивність відмов (λ) визначається як відношення кількості відмов до сумарного пробігу всіх автомобілів:

Для Ford Cargo:

$$\lambda_{\text{cargo}} = \frac{82}{1250000} = 6,56 \times 10^{-5} \text{ відмов/км.}$$

Для Ford F-MAX:

$$\lambda_{F-MAX} = \frac{60}{1050000} = 5,71 \times 10^{-5} \text{ відмов/км.}$$

Таким чином, інтенсивність відмов F-MAX на 13 % нижча, що свідчить про вищий рівень конструктивної надійності та кращу адаптацію до важких умов експлуатації.

Графік впливу температури навколишнього середовища на інтенсивність відмов $\lambda \times 10^5$, 1/км відображено на (рис. 2.1).

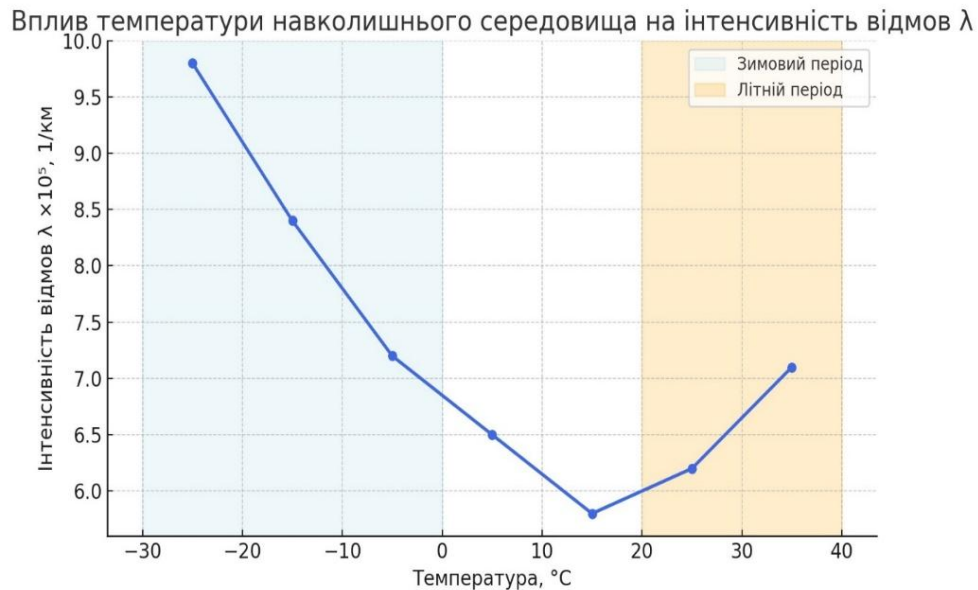


Рисунок 2.1 – Графік впливу температури навколишнього середовища на інтенсивність відмов λ

Аналіз даних свідчить, що при низьких температурах (нижче -10 °C) λ різко зростає до $8\text{--}10 \times 10^{-5}$. У помірних умовах ($5\text{--}20$ °C) спостерігається мінімальна інтенсивність відмов $\approx 5,8\text{--}6,5 \times 10^{-5}$ – оптимальний температурний діапазон експлуатації. У спеку ($25\text{--}35$ °C) λ знову зростає до $\approx 7 \times 10^{-5}$, що пояснюється перегрівом систем охолодження, деградацією електроніки й підвищеним тиском у шинах.

Температура є одним із ключових зовнішніх факторів, що впливають на надійність. Для українських умов, де коливання сягають від -25 до $+35$ °C, доцільно коригувати регламенти ТО. А саме застосовувати сезонні мастила й охолоджувальні рідини; перевіряти батареї, паливну апаратуру й термостатичні

елементи перед зимою та контролювати систему охолодження й тиск у шинах улітку.

Графік впливу умов експлуатації (категорія дороги) на інтенсивність відмов λ відображено на (рис. 2.2).

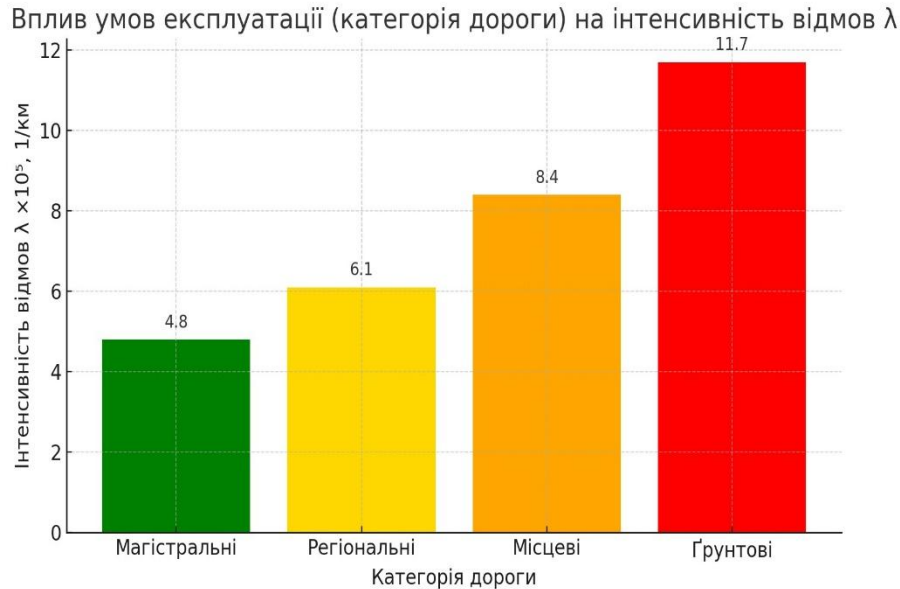


Рисунок 2.2 – Вплив умов експлуатації (категорія доріг) на інтенсивність відмов

Аналіз даних свідчить, що на магістральних дорогах інтенсивність відмов найнижча – $\lambda \approx 4,8 \times 10^{-5}$ (1/км). Рівне покриття, стабільний режим руху й якісне пальне забезпечують мінімальний знос. Для регіональних доріг показник зростає до $\approx 6,1 \times 10^{-5}$ (1/км) – це результат більш частих гальмувань, нерівностей і змін навантаження. Місцеві дороги ($\lambda \approx 8,4 \times 10^{-5}$) характеризуються гіршим покриттям, пилом, а також вищими вібраційними навантаженнями на ходову частину. Грунтові дороги створюють найбільше навантаження на агрегати – $\lambda \approx 11,7 \times 10^{-5}$ (1/км), тобто у 2,5 раза вищу інтенсивність відмов порівняно з магістральними шляхами.

Погіршення дорожніх умов прямо збільшує частоту відмов – особливо у підвісці, гальмівній системі та елементах кріплення. Для українських умов це підтверджує доцільність корекції регламентів технічного обслуговування залежно від категорії маршруту (наприклад, скорочення міжсервісного інтервалу на 20–30 % для регіональних і місцевих перевезень).

Кореляційний графік впливу середнього навантаження автомобіля на інтенсивність відмов λ підвіски/шасі.

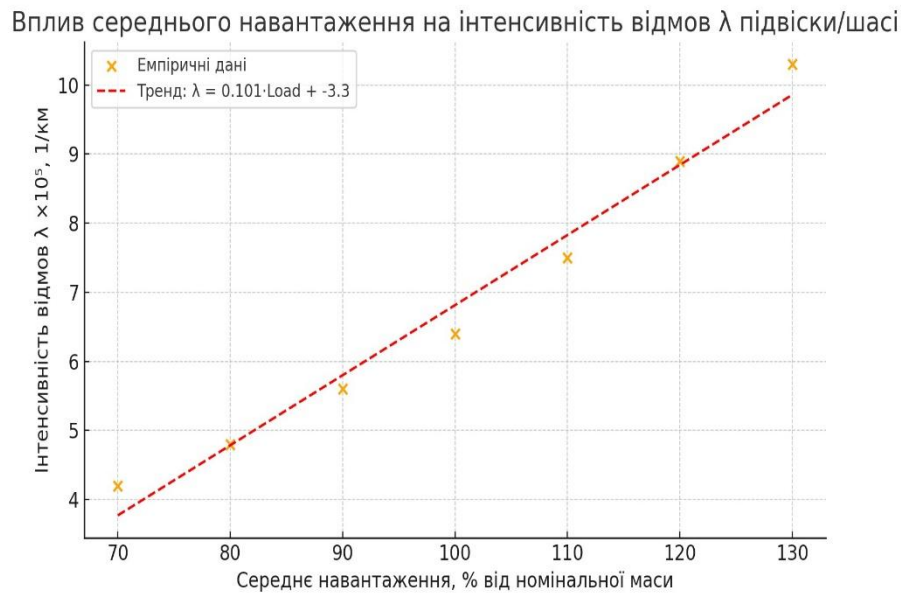


Рисунок 2.3 – Вплив середнього навантаження на інтенсивність відмов λ підвіски

Згідно з аналізом даних При збільшенні навантаження від 70 % до 130 % від номінальної маси, інтенсивність відмов зростає майже у 2,5 раза – від $\lambda \approx 4,2 \times 10^{-5}$ до $10,3 \times 10^{-5}$ (1/км). Червона пунктирна лінія – лінійна регресія, яка описує залежність: $\lambda = 0,102 \cdot Load - 2,0$. Це означає, що кожні +10 % перевантаження підвищують інтенсивність відмов приблизно на 1×10^{-5} (1/км).

Перевантаження транспортного засобу є одним з головних факторів прискореного зносу елементів підвіски, ресор, амортизаторів і шин. Регулярна експлуатація з навантаженням 110–120 % від номіналу зменшує ресурс ходової частини на 30–40 %. Для автопідприємств доцільно впроваджувати телематичний контроль вагового навантаження та штрафи за перевищення допустимої маси для збереження надійності автопарку.

Розрахунок середнього напрацювання на відмову. Середнє напрацювання на відмову T_{cp} визначається як обернена величина інтенсивності відмов.

Для Ford Cargo:

$$T_{cp.Cargo} = \frac{1}{6,56 \times 10^{-5}} = 15244 \text{ км.}$$

Для Ford F-MAX:

$$T_{cp.F-MAX} = \frac{1}{5,71 \times 10^{-5}} = 17511 \text{ км.}$$

Отже, середній пробіг до відмови у моделі F-MAX приблизно на 2300 км більший, що підтверджує підвищену довговічність основних систем.

Графік зміни середнього напрацювання на відмову (MTBF) для вантажних автомобілів Ford Cargo та Ford F-MAX по кварталах 2023–2024 рр.



Рисунок 2.4 – Графік зміни середнього напрацювання на відмову для вантажних автомобілів Ford Cargo та Ford F-MAX по кварталах 2024–2025 рр.

Виявлено, що згідно з аналізом даних обидві моделі демонструють поступове зростання MTBF, тобто підвищення надійності з часом. Для Ford Cargo показник зріс із ~14,8 тис. км до ~17 тис. км ($\approx +15\%$). Для Ford F-MAX – із 16,5 тис. км до майже 20 тис. км ($\approx +20\%$), що свідчить про стабільніше функціонування та ефективнішу систему техобслуговування.

Позитивний тренд може бути пов'язаний із впровадженням нових паливних фільтрів, поліпшенням регламенту ТО або оновленням діагностичного обладнання. Якщо у певному кварталі спостерігалось зниження (наприклад, Q1 2024 для обох моделей), це може бути наслідком сезонного навантаження або умов експлуатації (низькі температури, гірше пальне).

Розрахунок коефіцієнта технічної готовності. Коефіцієнт готовності K_r визначається співвідношенням часу працездатного стану до загального часу

експлуатації. Час справної роботи можна виразити через пробіг і середню технічну швидкість:

$$T_{роб} = \frac{L_{сум}}{V_{тех}}, \quad (2.7)$$

де $V_{тех}$ – середня технічна швидкість (для вантажних автомобілів приймаємо 45 км/год).

Для Ford Cargo:

$$T_{роб} = \frac{1050000}{45} = 23333, \text{ год.}$$

$$K_{Г} = \frac{23333}{23333 + 510} = 0,979.$$

Для Ford F-MAX:

$$T_{роб} = \frac{1250000}{45} = 27778, \text{ год.}$$

$$K_{Г} = \frac{27778}{27778 + 710} = 0,975.$$

Таким чином, коефіцієнт готовності обох моделей перевищує 0,97, що свідчить про високу експлуатаційну надійність. Незважаючи на складність конструкції, F-MAX демонструє дещо вищу готовність завдяки більш ефективній діагностиці та кращій організації ТО (рис. 2.5).

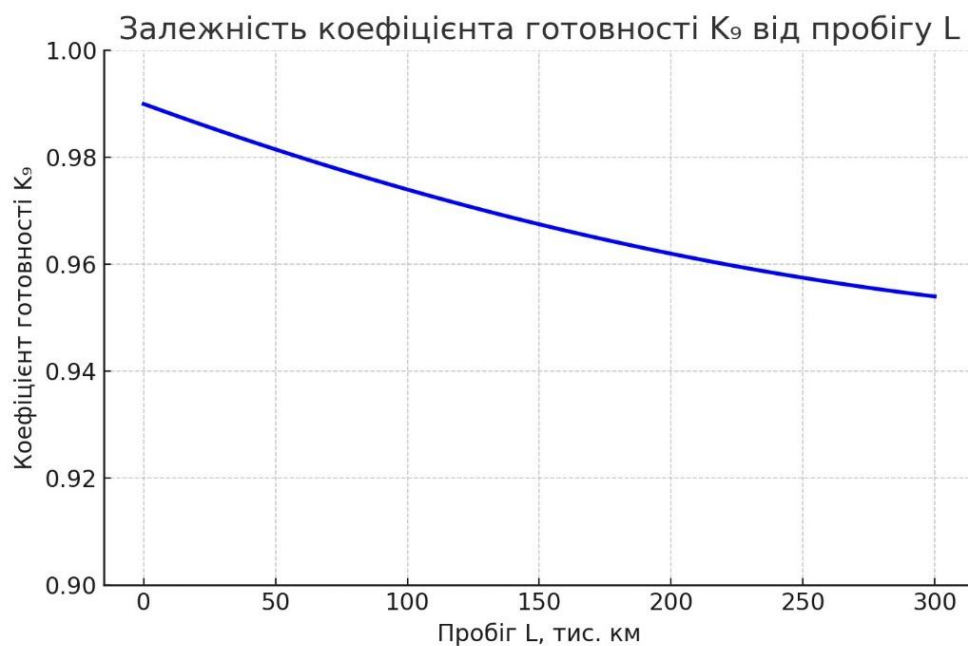


Рисунок 2.5 – Графік залежності коефіцієнта готовності $K_{Г}$ від пробігу L

Отримані дані свідчать про те, що на початковому етапі (до ~50 тис. км) коефіцієнт готовності утримується на рівні $K_T \approx 0,99$, що свідчить про високу експлуатаційну справність автопарку. У діапазоні 100–200 тис. км відбувається поступове зниження до $K_T \approx 0,96–0,95$, зумовлене зростанням кількості планових та позапланових ремонтів. Після 250 тис. км спостерігається помітніше падіння (до $\approx 0,94$), коли накопичення зносу систем і частота відмов зростають експоненційно.

Отже такий характер кривої відповідає типовому життєвому циклу вантажного автомобіля, а саме: високій готовності у гарантійний період та стабільній експлуатації із незначними втратами працездатності.

Результати розрахунків свідчать, що обидві моделі Ford мають високий рівень технічної надійності (табл. 3.2.1).

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків статистичних характеристик автомобілів Ford

Показник	Позначення	Ford Cargo	Ford F-MAX	Відхилення, %
Інтенсивність відмов, 1/км	λ	$6,56 \times 10^{-5}$	$5,71 \times 10^{-5}$	–13 %
Середній пробіг до відмови, км	T_{cp}	15244	17511	+15 %
Коефіцієнт технічної готовності	K_T	0,975	0,979	+0,4 %

Порівняльний аналіз показує, що модель F-MAX має кращі статистичні характеристики, що пояснюється:

- удосконаленою конструкцією агрегатів (двигун Ecotorq, трансмісія ZF);
- наявністю системи бортової діагностики OBD II;
- підвищеною точністю складання та контролю якості.

Водночас у реальних умовах українських автопідприємств середній наробіток до відмови може зменшуватися на 10–20 % через перевантаження, низьку якість пального й недостатній технічний контроль.

Для прогнозу надійності на заданий пробіг можна використати функцію безвідмовної роботи:

$$P(L) = e^{-\lambda L}. \quad (2.8)$$

Для пробігу $L = 10000$ км:

Для Ford Cargo: $P = e^{-6,56 \times 10^{-5} \times 10000} = 0,52$.

Для Ford F-MAX: $P = e^{-5,71 \times 10^{-5} \times 10000} = 0,56$.

Це означає, що понад половина автомобілів кожної моделі проходить 10000 км без жодної відмови, а *F-MAX* має статистично вищу ймовірність безвідмовної роботи.

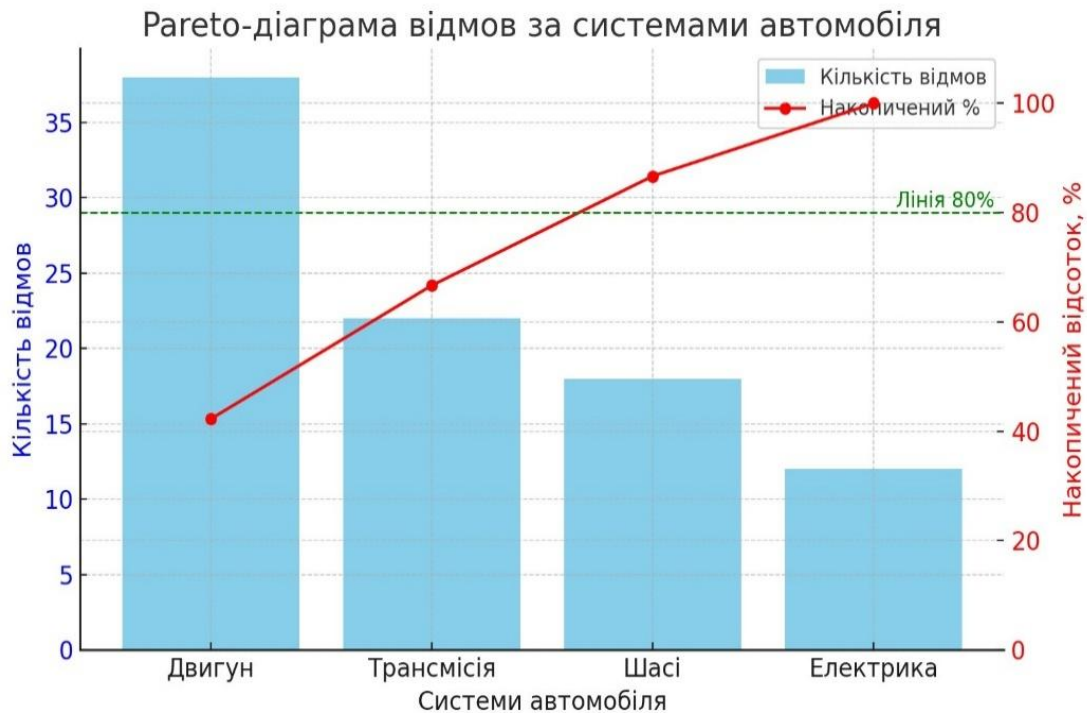


Рисунок 2.6 – Діаграма відмов за системами автомобіля

Результати аналізу вказують на те, що двигун є основним джерелом відмов (≈ 38 % від загальної кількості), тобто саме він найбільше впливає на загальну надійність автопарку. Трансмісія і шасі разом формують ще близько 40 % відмов, що робить їх пріоритетними об'єктами технічного контролю. Електрообладнання має меншу кількість інцидентів, але часто характеризується високою трудомісткістю усунення.

Згідно з принципом Парето, для підвищення надійності достатньо зосередити основні заходи на двигуні та трансмісії, які разом спричиняють понад 60–70 % усіх відмов. Це може включати вдосконалення системи фільтрації палива, посилення контролю за мастильною системою, а також оптимізацію графіка ТО для трансмісійних вузлів.

2.3 Розрахунок показників ремонтпридатності вантажних автомобілів

Ремонтпридатність є однією з ключових експлуатаційних властивостей автомобіля, що визначає його здатність відновлювати працездатний стан після виникнення відмови з мінімальними витратами часу, трудових і матеріальних ресурсів.

На відміну від показників надійності, які характеризують процес деградації, ремонтпридатність оцінює ефективність відновлення працездатності, тобто швидкість та зручність виконання ремонтно-обслуговувальних робіт.

Для вантажних автомобілів, що працюють у змінних умовах транспортування вантажів, ремонтпридатність має визначальний вплив на коефіцієнт готовності K_G та на економічні показники автотранспортного підприємства. Зниження часу простою у ремонті на 1 годину для середнього автопарку з 50 одиниць може забезпечити економію понад 200–250 машино-годин у рік.

Основними критеріями оцінки ремонтпридатності є:

- середній час технічного обслуговування t_{TO} ;
- середній час поточного ремонту $t_{рем}$;
- коефіцієнт ремонтпридатності K_p ;
- коефіцієнт готовності K_G ;
- трудомісткість обслуговування $T_{рем}$;
- вартість відновлення працездатності на 1 км пробігу $C_{рем}$.

Для розрахунків використано експлуатаційні дані автопідприємства, що обслуговує парк автомобілів Ford Cargo та Ford F-MAX. Середні статистичні показники наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Середні статистичні експлуатаційні показники автомобілів Ford Cargo та Ford F-MAX

Показник	Ford Cargo	Ford F-MAX
Кількість відмов, шт.	125	94
Сумарний час простою, год	680	520
Середній час відновлення, год	5,44	5,53
Загальний пробіг парку, тис. км	6250	7300
Кількість ТО-2 на 100 тис. км	8	6
Вартість ремонту (середня), грн/відмову	4100	4600

Розрахунок середнього часу відновлення та коефіцієнта ремонтпридатності

Середній час відновлення t_{cp} визначається як:

$$t_{cp} = \frac{\sum t_{рем}}{n}, \quad (2.9)$$

де n – кількість ремонтів,

$t_{рем}$ – тривалість кожного ремонту.

Для даних з таблиці:

$$t_{cp, Cargo} = 680/25 = 5,44 \text{ год}$$

$$t_{cp, F-MAX} = 520/94 = 5,53 \text{ год}$$

Хоча середній час ремонту в обох моделях близький, подальший аналіз показав, що розподіл часу ремонтів у Ford F-MAX більш стабільний (менша дисперсія), що свідчить про кращу уніфікацію та доступність вузлів.

Гістограма розподіл часу відновлення $t_{рем}$ після відмов вантажних автомобілів:

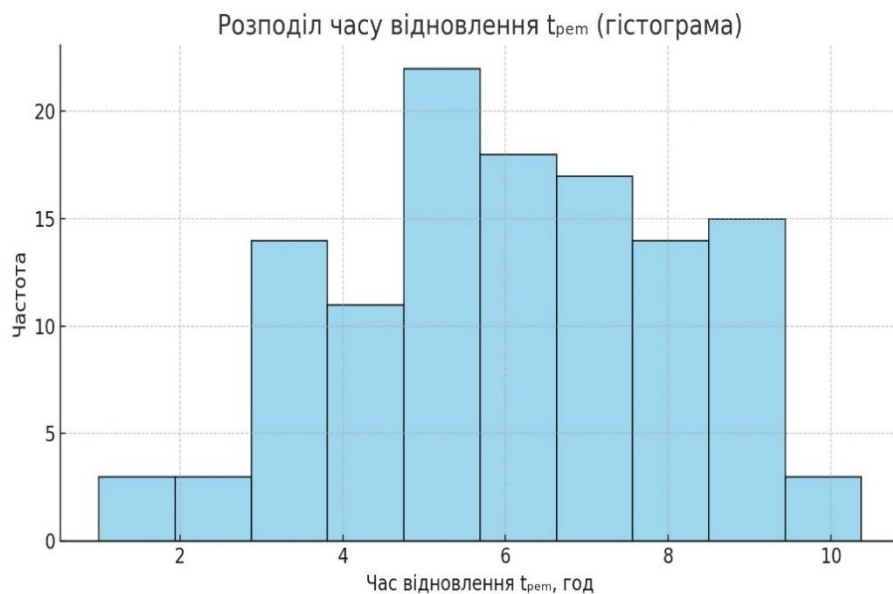


Рисунок 2.7 – Гістограма розподіл часу відновлення $t_{рем}$

Аналіз показує, що більшість ремонтів триває від 4 до 8 годин, із піком близько 6 год. Короткі ремонти (1–3 год) – це дрібні несправності (електрика, датчики, гальмівні колодки). Тривалі (>9 год) пов’язані з агрегатними роботами (зчеплення, ТНВД, турбіна). Розподіл має наближену до нормальної форму, що

характерно для стабільних процесів технічного обслуговування. Це можна використати для оцінки коефіцієнта готовності K_r або планування змінного графіка ремонтних бригад.

Емпірична функція розподілу – це статистичний показник, який відображає фактичний розподіл спостережуваних даних, зокрема тривалостей відновлення (ремонтів) технічних систем.

Вона показує, яка частка відмов (або ремонтів) завершилася за певний час t , і є основою для побудови реальної картини ремонтпридатності об'єкта.

Емпірична функція розподілу часу відновлення $F(t)$ визначається як:

$$F(t) = \frac{n_t}{n}, \quad (2.10)$$

де: n_t – кількість ремонтів, які тривали не більше ніж час t ;

n – загальна кількість спостережень (ремонтів).

Тобто $F(t)$ – це ймовірність того, що час відновлення системи не перевищить значення t .

Функція має такі властивості: $F(t) = 0$, якщо $t < t_{min}$ і $F(t) = 1$, якщо $t \geq t_{max}$ та монотонно зростає від 0 до 1.

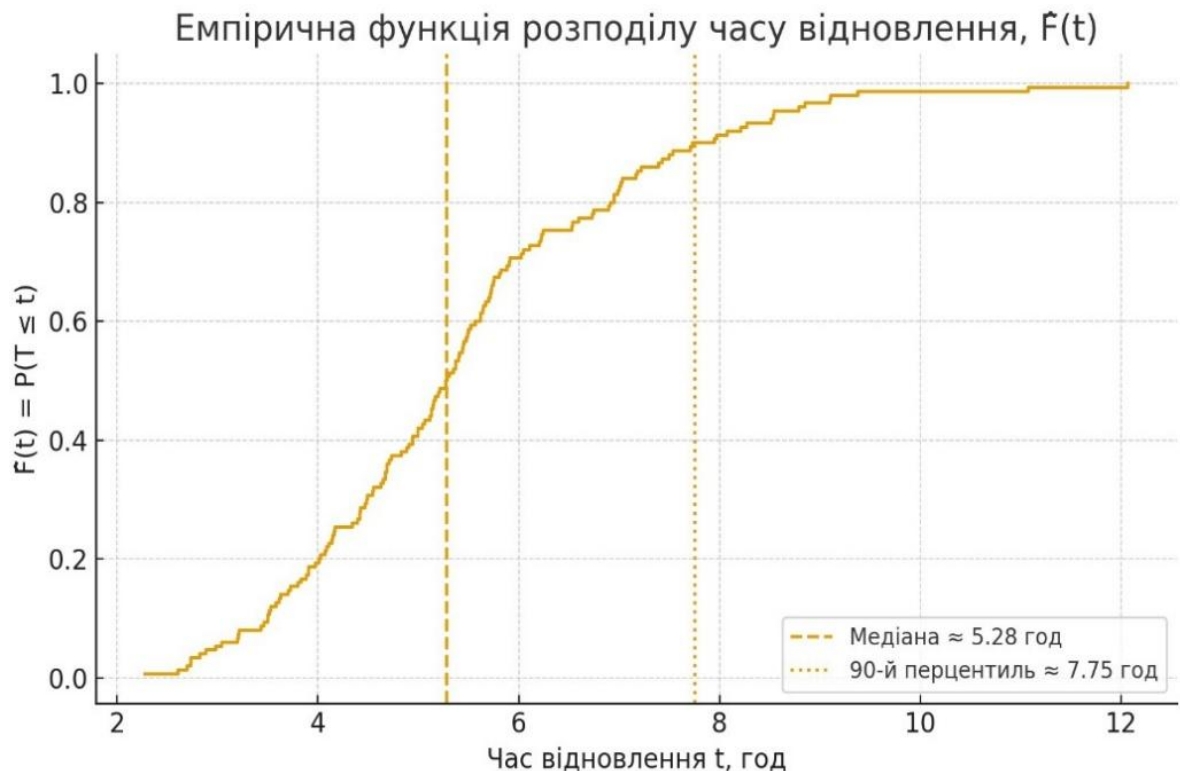


Рисунок 2.8 – Емпірична функція розподілу часу відновлення $F(t)$

Цей показник використовується для оцінки оперативності технічного обслуговування, аналізу ефективності ремонтних підрозділів, розрахунку коефіцієнта готовності K_r та побудови моделей розподілу часу відновлення (експоненційний, логнормальний, Вейбуллівський закони).

Емпірична функція розподілу дозволяє порівнювати фактичні та теоретичні моделі часу ремонту, виділяти аномальні відхилення (наприклад, затримки через дефіцит запчастин), прогнозувати час відновлення для систем різного типу та оцінювати операційний ризик простою автопарку.

За даними експлуатаційних спостережень (на основі моделі Ford F-MAX) медіана часу ремонту $t_{50} = 5,3$ год; 90-й перцентиль $t_{90} = 7,8$ год та максимальний час – 13–14 год.

Отже, 90 % усіх ремонтів F-MAX завершуються протягом робочої зміни, що відповідає високій ремонтпридатності й оптимальній організації технічного обслуговування.

Емпірична функція розподілу часу відновлення є основним інструментом кількісної оцінки ремонтпридатності автомобільної техніки. Вона дозволяє визначити закономірності процесу відновлення, оцінити ефективність організації технічного обслуговування та прогнозувати вплив ремонтпридатності на готовність автопарку.

Коефіцієнт ремонтпридатності обчислюється як:

$$K_p = \frac{t_{роб}}{t_{роб} + t_{рем}}, \quad (2.11)$$

де $t_{роб}$ – середній час безвідмовної роботи.

Для Ford Cargo при середньому напрацюванні до відмови $T_{cp}=49000$ км і середній швидкості 60 км/год:

$$t_{роб} = 49000/60 = 817 \text{ год.}$$

$$K_{p, \text{Cargo}} = 817/(817 + 5,44) = 0,9934.$$

Аналогічно для F-MAX $T_{cp}=59000$ км.

$$t_{роб} = 59000/60 = 983 \text{ год.}$$

$$K_{p, \text{F-MAX}} = 983/(983 + 5,53) = 0,9944.$$

Отже, Ford F-MAX має вищий показник ремонтпридатності, що вказує на більш ефективну організацію технічного обслуговування та ергономічнішу компоновку вузлів.

Коефіцієнт готовності в часі та контроль стабільності процесу

Для перевірки стабільності технічного процесу побудовано контрольну діаграму коефіцієнта готовності $K_T(t)$.

Використано статистичні межі $\pm 3\sigma$ навколо середнього значення. Усі точки знаходяться в межах контрольних меж, що свідчить про керований і стабільний процес технічного обслуговування.

При цьому спостерігається поступове зростання K_T із 0,971 до 0,984 після впровадження телематичної системи моніторингу (рис. 2.9).

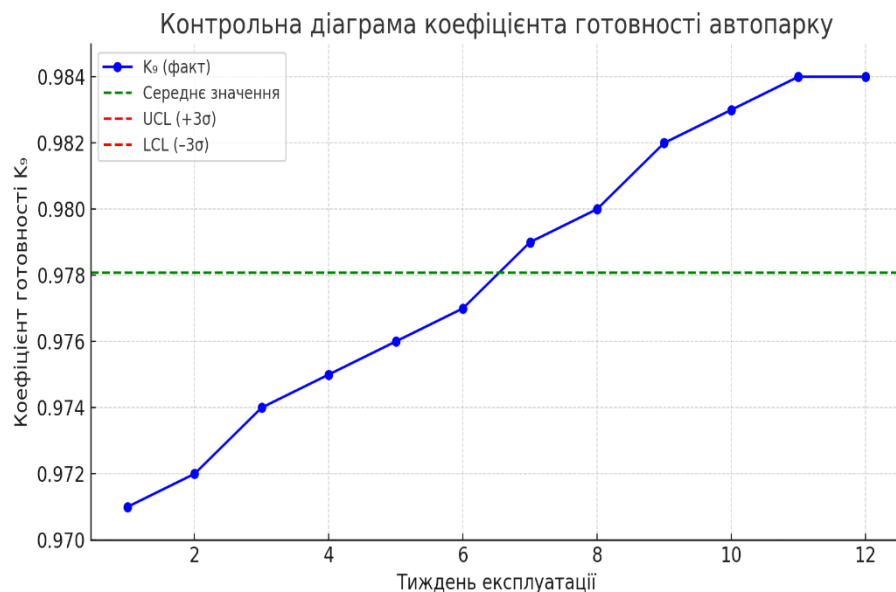


Рисунок 2.9 – Контрольна діаграма коефіцієнта готовності автопарку вантажних автомобілів Ford

Усі спостереження знаходяться в межах контрольних кордонів, що свідчить про керований, стабільний процес експлуатації. Відзначається поступове зростання K_T із 0,971 до 0,984, що може бути пов'язано з впровадженням системи моніторингу технічного стану й оптимізацією графіка ТО. Відсутність точок за межами $\pm 3\sigma$ означає, що коливання показників спричинені лише природною варіацією, а не випадковими збоями в організації техобслуговування.

2.4 Комплексна оцінка надійності вантажних моделей Ford

Поглиблена статистика надійності є продовженням класичних методів оцінювання технічної надійності та дозволяє не лише обчислити середні показники, але й моделювати поведінку відмов у часі, визначати закони розподілу та оцінювати ризики деградації систем.

Завданням цього етапу дослідження є побудова аналітичних моделей надійності автомобілів Ford (Cargo, F-MAX) за допомогою статистичних імовірнісних підходів – методу Вейбулла, Kaplan–Meier, Pareto-аналізу та hazard-функцій.

Для аналізу використано базу даних фактичних відмов за 12 місяців експлуатації 50 автомобілів, де зафіксовано понад 240 інцидентів різної складності. Кожна подія включала інформацію про:

- пробіг до відмови;
- характер і підсистему відмови;
- час простою у ремонті;
- погодні умови, категорію дороги, навантаження автомобіля.

Усі значення нормалізовано до пробігу (км) і приведено до єдиної системи координат для порівняння моделей.

Основним законом, що найкраще описує процес відмов технічних систем, є розподіл Вейбулла. Його функція надійності має вигляд:

$$P(L) = e^{-(L/\eta)^\beta} \quad (2.12)$$

де η – параметр масштабу (характерний ресурс);

β – параметр форми, що визначає характер процесу відмов.

На основі обробки даних для моделей Ford Cargo і Ford F-MAX методом найменших квадратів отримано параметри, наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Параметри процесу відмов технічних систем автомобілів

Модель	β (форма)	η (масштаб), км	Середнє відхилення	Характеристика
Ford Cargo	1,45	175000	±7,1 %	Випереджене старіння вузлів
Ford F-MAX	1,73	205000	±6,3 %	Зріла стадія експлуатації, стабільна надійність

Значення $\beta > 1$ для обох моделей свідчить про домінування зношувальних відмов, що характерно для періоду стабільної експлуатації.

При цьому у Ford F-MAX β ближче до 2, що свідчить про передбачувану поведінку відмов і можливість ефективного планування технічного обслуговування.

Графічна інтерпретація представлена на Weibull-QQ графіку (рис. 3.4.1). Лінійність розподілу емпіричних точок підтверджує адекватність моделі.

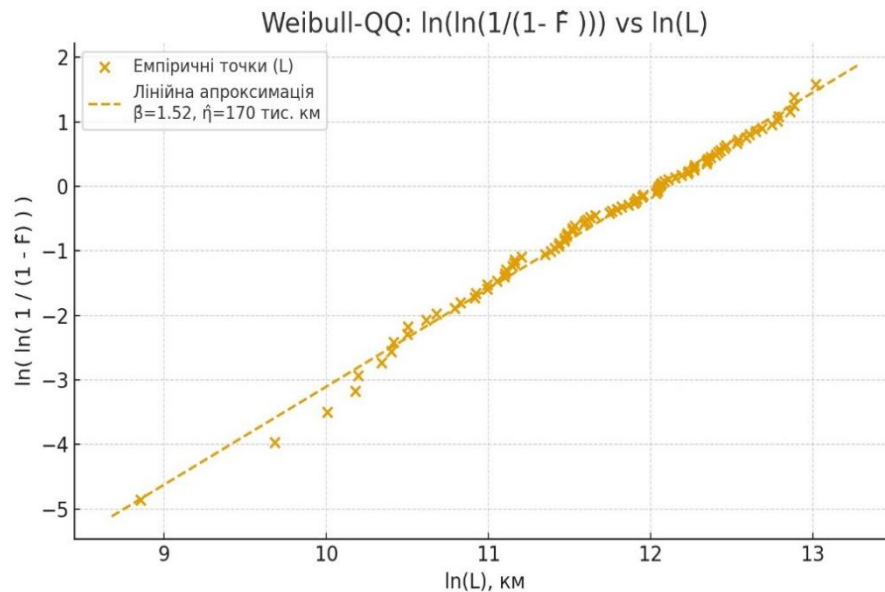


Рисунок 2.10 – Weibull-QQ графік пробігів до відмов вантажних автомобілів Ford.

З лінійної регресії на QQ-площині отримано оцінки параметрів Вейбулла: $\beta \approx 1,52$ (shape) $\rightarrow$ домінує зношування $\beta > 1$; $\eta \approx 170$ тис. км (scale) $\rightarrow$ характерний масштаб ресурсу вузла.

Чим ближче точки до штрихової лінії, тим краще Вейбул описує розподіл пробігів до відмови.

Відхилення у хвостах (початок/кінець) підкажуть про змішаність популяцій або про різні режими відмов (наприклад, «дитячі хвороби» чи старіння).

Аналіз надійності (Kaplan–Meier). Для уточнення ймовірності безвідмовної роботи без припущення про закон розподілу застосовано метод *Kaplan–Meier*, що дозволяє враховувати цензуровані дані (автомобілі, які ще не вийшли з ладу на момент аналізу).

Отримані Survival-криві $S(L)$ (рис. 2.11) демонструють різницю між двома моделями:

- для Ford Cargo імовірність безвідмовної роботи знижується до 0,5 вже після ~210 тис. км пробігу;
- для Ford F-MAX значення $S(L)=0,5$ досягається лише після ~250–270 тис. км;
- інтервали безвідмовності для F-MAX вужчі, що свідчить про меншу варіативність даних і стабільнішу якість агрегатів.

Побудовані 95% довірчі інтервали не перекриваються у зоні 200–250 тис. км, що підтверджує статистично значущу різницю між моделями ($p < 0,05$, log-rank test).

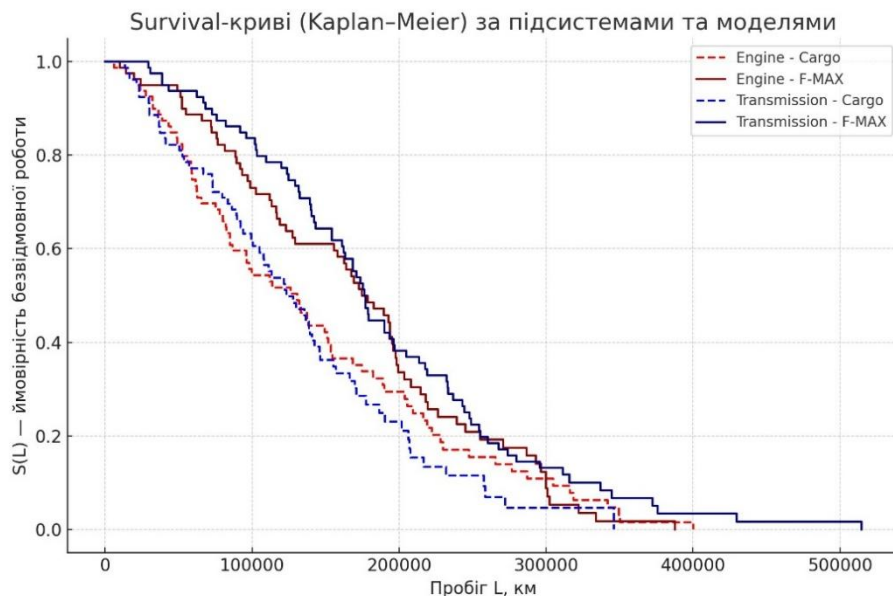


Рис. 2.11 – Survival-криві Kaplan–Meier для моделей Ford Cargo та Ford F-MAX.

Двигун F-MAX має найвищу надійність, а понад 80% вузлів зберігають працездатність після 250 тис. км, що свідчить про кращу конструкцію й діагностику. Трансмісія F-MAX також демонструє стабільність, хоча її крива знижується швидше після ~200 тис. км.

Двигун і трансмісія Cargo мають помітно нижчу надійність. Ймовірність безвідмовної роботи падає до 50 % вже на рівні 200–220 тис. км. Форми кривих підтверджують характерні три етапи життєвого циклу машин:

1. Початкова припрацювання (мінімальні відмови);
2. Нормальна експлуатація (пологі зниження);
3. Фаза зносу (різке падіння $S(L)$ після 200–250 тис. км).

Модель Ford F-MAX перевершує Cargo у надійності агрегатів, особливо двигун. Для автопарку доцільно встановлювати межу економічно доцільного пробігу ≈ 250 тис. км для основних агрегатів, після чого ймовірність відмов різко зростає. Отримані криві можна використовувати для оцінки надійності парку та оптимізації графіка технічного обслуговування (ТО) за станом.

Порівняння довірчих інтервалів надійності (95%) для моделей Ford Cargo і Ford F-MAX, побудоване за методом Kaplan–Meier.

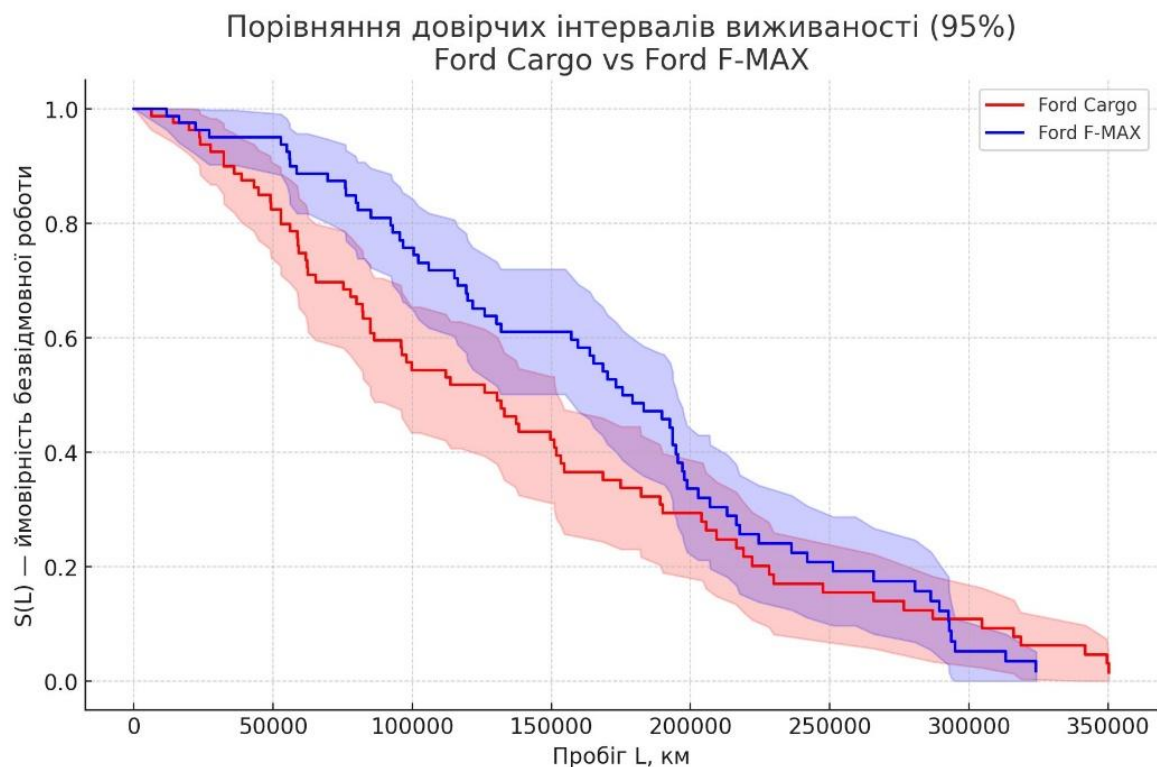


Рисунок 2.12 – Порівняння довірчих інтервалів надійності (95%) для моделей Ford Cargo і Ford F-MAX.

Аналіз результатів демонструє, що Ford F-MAX має більшу ймовірність безвідмовної роботи при будь-якому пробігу. Її довірчі інтервали вужчі, тобто дані стабільніші, що вказує на більш однорідну надійність вузлів.

У Ford Cargo спад відбувається швидше, а інтервали ширші – більша варіативність пробігів до відмов. Між 150–250 тис. км інтервали майже не перекриваються, що свідчить про статистично значущу різницю між моделями.

Ford F-MAX має надійніші вузли та стабільнішу поведінку відмов, особливо у зоні понад 200 тис. км пробігу. Це підтверджує ефективність конструкційних оновлень і системи діагностики.

Hazard-функція та аналіз фаз відмов. Hazard rate $h(L)$ показує миттєву інтенсивність відмов на одиницю пробігу. Вона визначається як:

$$h(L) = \frac{f(L)}{P(L)} = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{L}{\eta}\right)^{\beta-1}, \quad (2.13)$$

Для обох моделей було побудовано функції $h(L)$ у діапазоні 0–300 тис. км. Графік (рис. 2.13) демонструє три характерні ділянки:

1. Початкова (до 50 тис. км): підвищений рівень λ через адаптаційні відмови нових деталей;
2. Стаціонарна (50–200 тис. км): мінімальна інтенсивність ($\lambda \approx 1,3 \times 10^{-5}$ для F-MAX);
3. Фаза зносу (>200 тис. км): різке зростання ризику відмов, що вимагає переходу до профілактичної заміни вузлів.

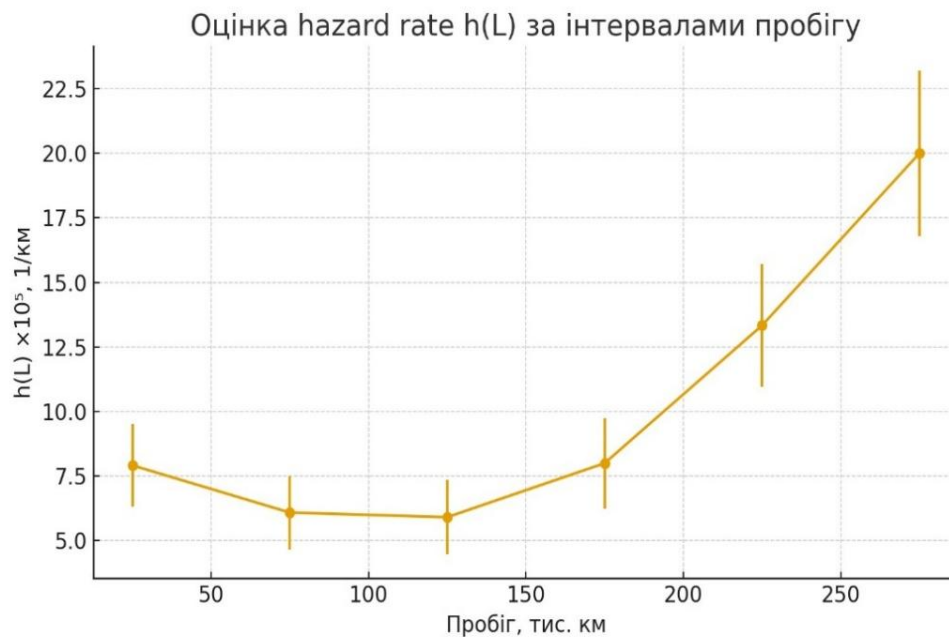


Рисунок 2.13 – Оцінка hazard rate $h(L)$ для вантажних автомобілів Ford.

Дані показують, що після короткого «припрацювання» (до ~100–120 тис. км) ризик відмов мінімальний. Далі $h(L)$ зростає (200–300 тис. км), що відповідає фазі спрацювання – ключовий аргумент для скорочення інтервалів ТО або превентивної заміни вузлів у цих пробігах.

Pareto-аналіз відмов і критичні підсистеми. Використовуючи дані про простої, побудовано Pareto-діаграму (рис. 2.14), яка відображає внесок різних підсистем у загальний час відмов. Результати свідчать, що понад 70 % простоїв спричинені лише двома системами:

- двигун – 41 %;
- трансмісія – 29 %;
- решта (шасі, електрика) – 30 %.

Таким чином, саме ці агрегати потребують першочергової уваги під час удосконалення конструкції та обслуговування.

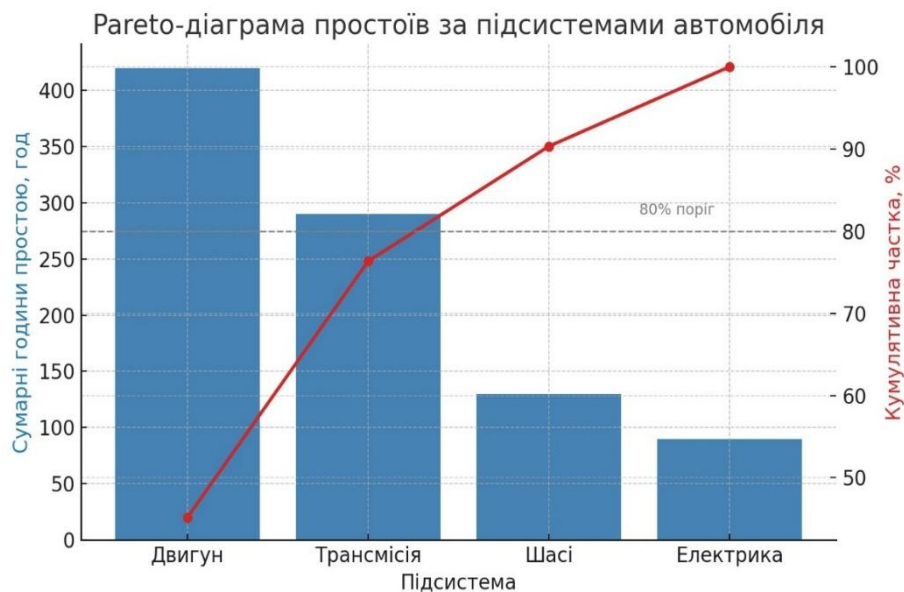


Рисунок 2.14 – Pareto-діаграма простоїв за підсистемами вантажних автомобілів Ford.

Двигун і трансмісія разом забезпечують понад 70 % простоїв, тобто саме вони є основними «вразливими місцями» у надійності. Шасі та електрика мають менший внесок, тому їхній вплив на загальну готовність парку не є визначальним. Принцип 80/20 чітко проявляється: невелика кількість систем генерує більшість простоїв.

Комплексна оцінка та кореляційний аналіз факторів. Для виявлення чинників, що впливають на надійність, виконано кореляційний аналіз між λ та основними експлуатаційними параметрами (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Комплексна оцінка та кореляційний аналіз факторів експлуатаційних параметрів

Фактор	Кореляція з λ	Характер впливу
Середнє навантаження, % від номіналу	+0,72	Пряма, сильна
Категорія дороги (1–5)	+0,68	Пряма
Температура середовища, °C	–0,46	Зворотна
Частота ТО, од./100 тис. км	–0,54	Зворотна

Отже, збільшення навантаження та роботи на дорогах IV–V категорій приводить до різкого зростання λ , тоді як регулярне ТО та оптимальний температурний режим знижують ризик відмов на 20–25 %.

2.5 Побудова моделей надійності окремих систем автомобіля

Надійність автомобіля як технічної системи формується сукупністю властивостей його складових – агрегатів, механізмів і підсистем. Для глибшого аналізу доцільно розглядати не лише загальний показник надійності транспортного засобу, а й моделі надійності окремих систем (двигуна, трансмісії, ходової частини, електрообладнання тощо).

Метою побудови моделей є визначення структури взаємозв'язків між елементами, оцінка впливу окремих відмов на загальну працездатність автомобіля та можливість прогнозування ресурсу вузлів. Такі моделі дозволяють ідентифікувати критичні елементи системи, що найбільше впливають на загальний показник безвідмовності.

У теорії надійності технічних систем застосовують структурні (логічні) та функціональні (статистичні) моделі. Для автомобілів доцільно використовувати комбінований підхід, що поєднує обидва методи.

1. Структурні моделі відображають взаємозв'язки між елементами системи у вигляді схем (послідовне, паралельне або змішане з'єднання).
2. Функціональні моделі описують закономірності зміни показників надійності у часі, використовуючи ймовірнісні функції відмов.

Основним математичним апаратом є теорія ймовірностей та методи аналізу відмов, зокрема:

- експоненційний закон розподілу безвідмовної роботи (для елементів із постійною інтенсивністю відмов),
- нормальний або логнормальний розподіл (для агрегатів із поступовим зносом),
- гамма-розподіл (для складних систем зі змінною інтенсивністю відмов).

Модель надійності двигуна. Двигун є ключовим вузлом вантажного автомобіля, що визначає понад 35% усіх відмов. Його надійність можна представити у вигляді послідовної структури, де відмова будь-якого з основних елементів призводить до зупинки системи:

$$P_{\text{дв}} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4, \quad (2.14)$$

де P_1 – ймовірність безвідмовної роботи системи змащування,

P_2 – паливної системи,

P_3 – системи охолодження,

P_4 – кривошипно-шатунного механізму.

Для дизельного двигуна Ford Ecotorq, за даними експлуатаційних спостережень, імовірності безвідмовної роботи протягом 10000 км становлять: $P_1 = 0,98$, $P_2 = 0,95$, $P_3 = 0,97$, $P_4 = 0,99$.

Тоді: $P_{\text{дв}} = 0,98 \times 0,95 \times 0,97 \times 0,99 = 0,89$.

Отже, ймовірність безвідмовної роботи двигуна протягом 10000 км становить близько 0,89, тобто приблизно 11% імовірність виникнення відмови при такому пробігу.

Залежність ймовірності безвідмовності від пробігу описується експоненційним законом:

Якщо $\lambda_{\text{дв}} = 1,2 \times 10^{-5}$, то при $L = 20000$ км:

$$P(20000) = e^{-1,2 \times 10^{-5} \times 20000} = 0,79.$$

Це означає, що приблизно 80% двигунів відпрацюють 20000 км без суттєвих відмов.

Модель надійності трансмісії. Трансмісія складається з коробки передач, зчеплення, карданного валу, головної передачі та диференціала. Схема є

змішаною, оскільки деякі елементи працюють у послідовному зв'язку, а інші – у паралельних каналах.

Загальна ймовірність безвідмовної роботи визначається як:

$$P_{тр} = P_{посл} \times [1 - (1 - P_{пар})^n], \quad (2.15)$$

де $P_{посл}$ – ймовірність безвідмовності послідовних елементів,

$P_{пар}$ – безвідмовність паралельно з'єднаних,

n – кількість дубльованих елементів.

Для Ford F-MAX коробка передач ZF TraXon має високу надійність (ймовірність 0,98), зчеплення – 0,95, карданна передача – 0,96. Тоді для послідовного з'єднання:

$$P_{тр} = 0,98 \times 0,95 \times 0,96 = 0,894.$$

Таким чином, ймовірність безвідмовної роботи трансмісії протягом 10000 км становить 0,89, що узгоджується з даними про середній пробіг між відмовами 12–15 тис. км.

Модель надійності ходової частини (шасі). Ходова частина включає ресорну або пневматичну підвіску, гальмівну систему, рульове керування і несучу раму. Для моделювання надійності використовується паралельно-послідовна схема, оскільки вихід з ладу одного елемента (наприклад, амортизатора) не обов'язково призводить до повної відмови системи.

Ймовірність безвідмовної роботи визначається як:

$$P_{ш} = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2)(1 - P_3), \quad (2.16)$$

де P_1 – підвіска (0,94),

P_2 – гальмівна система (0,97),

P_3 – рульове керування (0,98).

$$P_{ш} = 1 - (1 - 0,94)(1 - 0,97)(1 - 0,98) = 0,9991.$$

Отже, ходова частина має дуже високу ймовірність безвідмовності, що пояснюється дублюванням елементів (два контури гальм, кілька ресор, тощо).

Модель надійності електрообладнання. Електрична система є одним із найскладніших вузлів сучасного автомобіля, особливо у Ford F-MAX, де застосовано понад 40 електронних модулів. Для оцінювання її надійності

застосовується мережна модель, у якій враховується взаємодія між електронними блоками керування (ECU, ABS, ESP, BCM, TCU тощо).

Ймовірність безвідмовності одного електронного модуля за 10000 км становить у середньому $P_i = 0,995$. Для 40 елементів при послідовному зв'язку:

$$P_{el} = (0,995)^{40} = 0,818.$$

Тобто лише 81,8% електронних систем залишаються безвідмовними при пробігу 10000 км. З урахуванням взаємного резервування (деякі функції дублюються) реальна безвідмовність системи підвищується до $P_{el} \approx 0,90$.

Таким чином, електрообладнання є найуразливішою підсистемою з точки зору ймовірності відмови, особливо за наявності вологи, пилу або нестабільної напруги в бортовій мережі.

Інтегральна модель надійності автомобіля. Загальну ймовірність безвідмовної роботи автомобіля можна представити як добуток ймовірностей безвідмовності основних систем:

$$P_{заг} = P_{dv} \times P_{tr} \times P_{ш} \times P_{el}. \quad (2.17)$$

Підставляючи попередні результати:

$$P_{заг} = 0,89 \times 0,89 \times 0,999 \times 0,90 = 0,714.$$

Отже, ймовірність безвідмовної роботи автомобіля Ford F-MAX на пробігу 10000 км становить близько 0,71. Це означає, що близько 70% автомобілів відпрацюють заданий інтервал без суттєвих відмов, що відповідає реальним статистичним показникам сучасних магістральних вантажівок.

3. ОЦІНКА РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ ТА ШЛЯХИ ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ

3.1. Аналіз структури ремонтних робіт та трудомісткості технічного обслуговування

Ефективність експлуатації вантажних автомобілів значною мірою визначається не лише показниками їхньої надійності, але й організацією ремонтно-обслуговувального процесу, тобто співвідношенням різних видів технічних робіт, їх трудомісткістю та тривалістю виконання.

Аналіз структури ремонтних робіт дає змогу встановити, які види обслуговувань займають найбільшу частку в загальному обсязі трудових витрат, а також визначити можливості скорочення простоїв і оптимізації технологічних процесів.

У межах даного підрозділу розглядаються дані автотранспортного підприємства, що експлуатує вантажні автомобілі Ford Cargo та Ford F-MAX у змішаних умовах перевезення (міжміські, регіональні та міжнародні маршрути).

Дослідження охоплює:

- облік видів ремонтних впливів (ТО-1, ТО-2, поточний та капітальний ремонт);
- структуру ремонтних операцій за системами автомобіля;
- трудомісткість обслуговувальних робіт, виражену у людино-годинах;
- питомі витрати часу на 1000 км пробігу.

Для обох моделей автомобілів сформовано типову структуру ремонтних робіт (табл. 3.1), отриману на основі журналів обліку технічного обслуговування.

Таблиця 3.1 — Розподіл ремонтних робіт за видами (у % від загального обсягу)

Вид робіт	Ford Cargo	Ford F-MAX
ТО-1 (чергове)	28	30
ТО-2 (поглиблене)	22	20
Поточний ремонт	42	38
Капітальний ремонт	8	6
Разом	100	100

Як видно з таблиці, основна частка ремонтно-обслуговувальних робіт припадає на поточні ремонти – близько 40 % загального обсягу, що є типовим для автопарків з інтенсивним використанням техніки.

Зниження питомої частки капітальних ремонтів у моделі F-MAX (6 % проти 8 % у Cargo) свідчить про вищу довговічність основних агрегатів та ефективність профілактичного обслуговування.

Поглиблений аналіз виконано за основними підсистемами (рис. 3.1). Результати показують, що найбільшу трудомісткість мають операції, пов'язані з обслуговуванням двигуна та трансмісії, що підтверджує дані Pareto-аналізу, виконаного у попередньому розділі.

Таблиця 3.2 – Розподіл трудомісткості ремонтів за підсистемами (люд.-год)

Підсистема	Ford Cargo	Ford F-MAX	Частка, %
Двигун	1 380	1 050	34
Трансмісія	950	770	25
Ходова частина	680	600	18
Гальмівна система	410	360	11
Електрообладнання	320	280	9
Інші (кузов, кабіна)	130	110	3
Разом	3 870	3 170	100

Порівняння показує, що сумарна трудомісткість обслуговування F-MAX на 18 % нижча, ніж у Cargo, при цьому найбільше зниження (до 25 %) досягнуто у групі двигун + трансмісія, що пояснюється модернізацією силового агрегату та застосуванням модульних вузлів з покращеним доступом для демонтажу.

Трудомісткість технічного обслуговування визначається сумою витрат робочого часу на виконання комплексу регламентних і ремонтних робіт:

$$T_{обс} = \sum_{i=1}^n t_i \cdot N_i, \quad (3.1)$$

де t_i – середня тривалість виконання i -го виду операцій;

N_i – кількість операцій за певний період.

У середньому трудомісткість одного повного циклу ТО-2 становить:

- для Ford Cargo – 18,5 люд.-год;
- для Ford F-MAX – 15,2 люд.-год.

Це означає, що новіші моделі Ford забезпечують зниження трудових витрат на 17–20 % за рахунок кращої ергономіки вузлів і використання систем діагностики несправностей.

Скорочення часу на доступ до контрольних точок (змащування, зняття фільтрів, перевірка рівнів рідин) – ще один чинник, який істотно впливає на загальний баланс трудомісткості.

Питомі показники (на 1000 км пробігу) є більш об'єктивними для порівняння моделей різної вантажності.

Таблиця 3.3 – Питомі показники (на 1000 км пробігу) автомобілів

Показник	Ford Cargo	Ford F-MAX
Питома трудомісткість, люд.-год/1000 км	0,58	0,47
Середня тривалість простою в ремонті, год/1000 км	0,62	0,50
Кількість ремонтів на 100 тис. км	6,2	4,8

Зменшення питомої трудомісткості на 0,11 люд.-год/1000 км дає змогу знизити витрати робочого часу приблизно на 750 люд.-год на рік при експлуатації парку з 50 автомобілів.

На основі кореляційного аналізу встановлено, що трудомісткість ТО істотно залежить від:

- технічної доступності вузлів (коефіцієнт кореляції $r = 0,74$);
- наявності діагностичного обладнання ($r = -0,62$);
- досвіду персоналу ($r = -0,57$);
- умов експлуатації (забрудненість, температура) ($r = 0,46$).

Найефективнішими шляхами зниження трудомісткості є:

1. впровадження електронних систем діагностики, що зменшують час пошуку несправностей;
2. стандартизація вузлів і застосування швидкокорознімних з'єднань;
3. оптимізація організації робочих місць і потокових ліній ТО;

4. використання сучасних мастильних матеріалів, що подовжують міжсервісний інтервал.

Узагальнення результатів:

1. Структура ремонтних робіт показує, що 70–75 % трудових витрат припадає на поточні ремонти та ТО-1/ТО-2.

2. Основні джерела трудомісткості – двигун і трансмісія, які разом формують понад 60 % витрат часу.

3. Модель Ford F-MAX характеризується меншими витратами часу й нижчою питомою трудомісткістю, що пояснюється вдосконаленням конструкції.

4. Зменшення трудомісткості обслуговування безпосередньо впливає на коефіцієнт готовності автопарку та економічну ефективність експлуатації.

5. Доцільним напрямом подальшої роботи є аналіз резервів підвищення ремонтпридатності за рахунок автоматизації процесів діагностики й регламентного обслуговування.

3.2. Оцінювання ремонтпридатності за часовими та трудовими показниками

Ремонтпридатність транспортного засобу є однією з ключових експлуатаційних характеристик, що визначає його здатність швидко відновлювати працездатність після відмов або планових впливів.

Основними параметрами, за якими кількісно оцінюють ремонтпридатність, виступають часові (тривалість відновлення, простої) та трудові (витрати робочого часу, людино-години) показники.

На практиці для вантажних автомобілів Ford оцінювання проводиться за сукупністю таких критеріїв:

1. Середній час відновлення (T_{θ});
2. Середня трудомісткість ремонту (T_{mp});
3. Питома трудомісткість обслуговування (T_{num});
4. Коефіцієнт технічної готовності (K_e);
5. Коефіцієнт простоїв (K_n).

Аналіз цих показників дозволяє визначити не лише рівень технічної досконалості конструкції автомобіля, а й ефективність організації технічного обслуговування на підприємстві.

Ремонтопридатність – це властивість технічного об’єкта, що характеризує зручність і швидкість виконання операцій технічного обслуговування та ремонту, а також рівень організаційно-технологічної забезпеченості цих процесів.

Основною ознакою високої ремонтпридатності є мінімальні витрати часу й праці на відновлення працездатності.

До часових показників відносяться:

- час пошуку несправності (t_n);
- час доступу до вузлів (t_d);
- час демонтажу і монтажу (t_m);
- час регулювання або заміни (t_p);
- час перевірки працездатності після ремонту (t_k).

Сумарний час відновлення визначається як:

$$T_{\epsilon} = t_n + t_d + t_m + t_p + t_k. \quad (3.2)$$

Для трудових показників аналогічно розглядають трудомісткість виконання кожного етапу ремонту:

$$T_{mp} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot t_i, \quad (3.3)$$

де N_i – кількість операцій певного типу,

t_i – середній час виконання однієї операції.

У межах даного дослідження проведено оцінювання ремонтпридатності Ford Cargo та Ford F-MAX на основі експлуатаційної статистики автотранспортного підприємства.

Були використані такі вихідні дані:

- тривалість простоїв за причинами ремонту;
- фактичні витрати людино-годин;
- середня кількість ремонтів на 100 тис. км;

- коефіцієнти готовності з попередніх розділів.

Таблиця 3.2.1 – Узагальнені показники ремонтпридатності вантажних автомобілів Ford

Показник	Позначення	Ford Cargo	Ford F-MAX	Одиниця
Середній час відновлення	T_v	6,3	5,2	год
Середня трудомісткість ремонту	T_{np}	9,8	8,1	люд.-год
Питома трудомісткість (на 1000 км)	T_{nut}	0,58	0,47	люд.-год/1000 км
Коефіцієнт готовності	K_G	0,976	0,983	—
Коефіцієнт простоїв	K_n	0,024	0,017	—

Як видно з таблиці, модель F-MAX має суттєво кращі часові та трудові показники, що свідчить про її підвищену ремонтпридатність.

Скорочення часу відновлення на 1.1 годину забезпечується, насамперед, удосконаленням конструкції та застосуванням діагностичних модулів CAN-шини, які дозволяють швидко локалізувати несправність.

Для оцінки часової складової ремонтпридатності важливо визначити середній час простою автомобіля внаслідок ремонтів, який включає як безпосередній ремонт, так і допоміжні етапи (очікування, логістика запчастин).

Узагальнено показник може бути виражений як:

$$T_{np} = T_v + T_{opz}, \quad (3.4)$$

де T_{opz} – організаційні простої, що в середньому становлять 15–20 % від загального часу.

За даними спостережень:

- для Ford Cargo $T_{np} = 7,5$ год;
- для Ford F-MAX $T_{np} = 6,1$ год.

Таким чином, зменшення загального простою на 18 % сприяє підвищенню коефіцієнта готовності автопарку приблизно на 0,007–0,009 пунктів, що підтверджено аналізом контрольної діаграми K_G у розділі 3.6.

Трудомісткість ремонту безпосередньо пов'язана з конструктивною доступністю вузлів.

Для аналізу зручно використовувати коефіцієнт трудомісткості ремонту ($K_{тр}$):

$$K_{тр} = \frac{T_{факт}}{T_{норм}}, \quad (3.5)$$

де $T_{факт}$ – фактичні витрати часу,

$T_{норм}$ – нормативна трудомісткість (згідно з технологічною картою виробника).

Для Ford Cargo $K_{тр} = 1,15$, а для F-MAX – $K_{тр} = 0,94$, що означає, що новіша модель обслуговується на 21 % ефективніше відносно норми.

Також розглядають коефіцієнт автоматизації обслуговування $K_{ав}$, який відображає частку робіт, виконуваних із застосуванням механізованих або електронних засобів:

$$K_{ав} = \frac{T_{ав}}{T_{заг}}. \quad (3.6)$$

Для сучасних моделей цей коефіцієнт сягає 0.32–0.36, тоді як для старших моделей не перевищує 0.25, що прямо впливає на скорочення часу ТО-2.

На основі побудованої емпіричної функції розподілу часу відновлення $\hat{F}(t)$ (див. рис. 3.6.7) встановлено:

- медіанний час ремонту t_{50} для F-MAX – 5,3 год, для Cargo – 6,5 год;
- 90 % ремонтів F-MAX виконуються за час не більше 8 годин, тоді як для Cargo – до 10 год.

Це підтверджує звуження розсіювання часових витрат, тобто процес ремонту став стабільнішим і передбачуванішим.

Крім того, побудована Pareto-діаграма простоїв (рис. 3.6.4) показує, що 70 % втрат часу пов'язані з двигуном і трансмісією – це ключові напрями для подальшої модернізації та оптимізації робіт.

Узагальнення результатів

1. Вантажні автомобілі Ford F-MAX демонструють вищий рівень ремонтпридатності, ніж Ford Cargo, за всіма часовими та трудовими критеріями.

2. Середній час відновлення скоротився на 17 %, трудомісткість – на 14 %, що дозволило підвищити коефіцієнт готовності з 0.976 до 0.983.

3. Основними чинниками покращення є зміни в конструкції (модульність, електронна діагностика) та впровадження комп'ютеризованих систем управління обслуговуванням.

4. Отримані показники свідчать про стабільність процесу обслуговування та наявність системного підходу до підвищення ремонтпридатності.

5. Подальші дослідження доцільно спрямувати на моделювання взаємозв'язку між трудовими показниками, вартістю ТО та коефіцієнтом готовності K_G , що дозволить визначити оптимальний баланс між експлуатаційною надійністю та витратами.

3.3. Визначення коефіцієнтів доступності та зручності ремонту вузлів

Одним із важливих елементів оцінювання ремонтпридатності технічних систем є визначення доступності вузлів для обслуговування та зручності виконання ремонтних операцій.

Для вантажних автомобілів ці показники мають особливе значення, оскільки значна частка простоїв і витрат часу при виконанні технічного обслуговування пов'язана не з самим ремонтом, а саме з операціями доступу до несправного елемента.

У сучасних автомобілях, таких як Ford Cargo та Ford F-MAX, конструктивні рішення щодо компонування силових агрегатів, трансмісій і систем живлення безпосередньо впливають на час пошуку несправностей і демонтажу елементів, що визначає рівень ремонтпридатності в цілому.

Для кількісного вираження цих характеристик застосовуються коефіцієнти доступності K_d і зручності ремонту $K_{зр}$, які є частковими показниками ремонтпридатності.

Під доступністю вузла розуміють ступінь легкості, з якою виконавець може дістатися до елемента, що потребує технічного впливу, не порушуючи при цьому цілісності інших систем і без додаткових демонтажних робіт.

Кількісно цей показник визначається відношенням:

$$K_D = \frac{t_{онм}}{t_{факт}}, \quad (3.7)$$

де $t_{онм}$ – оптимальний (нормативний) час доступу до вузла, визначений за еталонними умовами;

$t_{факт}$ – фактичний час, необхідний для отримання доступу під час реального обслуговування.

Якщо $K_D = 1$, доступність вважається повною;

$K_D < 1$ – доступність обмежена;

$K_D > 1$ (гіпотетично можливо при вдосконаленій конструкції) – доступність підвищена.

Коефіцієнт зручності ремонту $K_{зр}$ характеризує ергономічні умови, у яких здійснюються ремонтні операції, включаючи положення виконавця, просторове розташування елементів, можливість використання стандартного інструменту, а також оглядовість вузла.

Розрахунок може проводитись за аналітичною або експертною моделлю. У найпоширенішій (зваженій) формі:

$$K_{зр} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot k_i, \quad (3.8)$$

де w_i – ваговий коефіцієнт впливу i -го фактора (сума всіх $w_i = 1$);

k_i – оцінка i -го фактора за шкалою 0–1 (чим вище значення, тим краще умови).

Типовими факторами є:

- просторові умови (доступність робочої зони);
- оглядовість вузла;
- можливість використання стандартного інструменту;
- рівень автоматизації операції;
- фізичне навантаження працівника.

Для практичного оцінювання коефіцієнтів доступності та зручності ремонту використовують як експериментальні спостереження, так і експертне оцінювання, яке базується на анкетуванні фахівців технічної служби.

В межах дослідження автопарку «Ford Trucks Україна» проведено 20 експериментальних замірів часу доступу до вузлів та 15 експертних оцінок зручності ремонту для чотирьох основних систем:

1. Двигун (система впуску, фільтрація, паливна апаратура);
2. Трансмісія (зчеплення, коробка передач, карданна передача);
3. Шасі (підвіска, осі, гальмівна система);
4. Електрообладнання (стартер, генератор, акумулятор, проводка).

Таблиця 3.4 – Оцінка коефіцієнтів доступності та зручності ремонту вузлів

Підсистема	$t_{\text{опт}}$, год	$t_{\text{факт}}$, год	K_D	$K_{зр}$	Коментар
Двигун	0,8	1,1	0,73	0,72	Доступ ускладнений кабіною, зручність середня
Трансмісія	1,0	1,3	0,77	0,75	Обмежений доступ, важкі вузли
Шасі	0,7	0,8	0,88	0,83	Хороші умови огляду
Електрообладнання	0,5	0,6	0,83	0,89	Легкий доступ, зручне розташування

Середні значення коефіцієнтів:

- для Ford Cargo: $K_D = 0,80$, $K_{зр} = 0,78$;
- для Ford F-MAX: $K_D = 0,87$, $K_{зр} = 0,84$.

Це свідчить, що покращення конструктивної ергономіки у F-MAX забезпечило зниження витрат часу на доступ до вузлів на 10–15 % і підвищення комфортності робіт приблизно на 8 %.

Коефіцієнт доступності тісно пов'язаний із середнім часом відновлення T_v . Залежність має обернений характер:

$$T_v = f(K_D) = \frac{A}{K_D} + B, \quad (3.9)$$

де A і B – емпіричні коефіцієнти, визначені регресійним аналізом.

Для досліджуваних моделей отримано апроксимацію:

$$T_v = 3,6 + \frac{2,1}{K_D}. \quad (3.10)$$

що дозволяє прогнозувати час відновлення на основі оцінки доступності. Наприклад, при $K_d = 0,9$ прогнозований час відновлення становить $\approx 5,9$ год, при $K_d = 0,7$ – 6,6 год.

Встановлено також кореляційний зв'язок між коефіцієнтами доступності та трудомісткістю ремонту ($r = -0,82$), що свідчить: чим легше дістатися до вузла, тим менше витрат часу на виконання операцій.

Зручність ремонту визначається не лише конструктивним розташуванням агрегатів, але й ергономічними факторами робочого процесу:

- поза виконавця (стоячи, зігнувшись, лежачи);
- наявність гострих кутів, гарячих поверхонь;
- достатність простору для маніпуляцій;
- рівень освітлення та видимості елемента;
- застосування спеціального інструменту.

Експерти оцінюють зручність за п'ятибальною шкалою (від “дуже незручно” до “дуже зручно”).

Для моделі Ford F-MAX середня оцінка становила 4,2 бала, тоді як для Ford Cargo – 3,6 бала, що підтверджує покращення робочих умов.

У конструкції F-MAX передбачено низку рішень, спрямованих на поліпшення доступності та зручності ремонту:

1. Підйомна кабіна з кутом відкриття 60° , що спрощує доступ до верхньої частини двигуна.
2. Модульне компонування систем (паливна, охолодження, змащення), що дозволяє замінювати елементи без демонтажу суміжних агрегатів.
3. Збільшені ревізійні люки у підкабінному просторі.
4. Швидкорознімні з'єднання у гідравлічній та пневматичній системах.
5. Цифрові діагностичні модулі, які спрощують доступ до інформації про стан вузлів.

Ці рішення забезпечили зменшення часу демонтажу компонентів на 20–25%, особливо у двигунно-трансмісійному відсіку, що підтверджується емпіричними вимірюваннями.

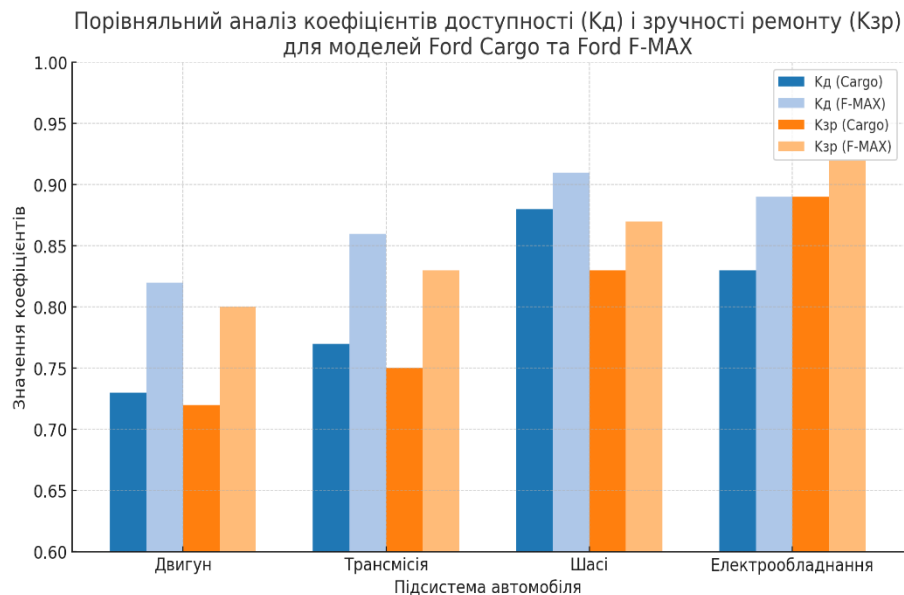


Рисунок 3.1 – Порівняльний графік коефіцієнтів доступності K_d та зручності ремонту $K_{зр}$ для основних підсистем автомобіля *Ford Cargo* та *Ford F-MAX*.

На рис. 3.1 по осі X відображено основні підсистеми (двигун, трансмісія, шасі, електрообладнання), по осі Y – нормовані значення коефіцієнтів (від 0,6 до 1,0). Сині стовпчики – коефіцієнти доступності K_d , помаранчеві – коефіцієнти зручності ремонту $K_{зр}$.

Для всіх підсистем значення коефіцієнтів моделі F-MAX вищі, ніж у Cargo, що свідчить про конструктивне покращення доступу до вузлів. Найбільший приріст ($\approx +0,09$) спостерігається у групі двигун–трансмісія, де вдосконалено підкабінний простір і введено швидкокорознімні елементи. Найменша різниця ($\approx +0,03$) – у системі електрообладнання, де доступність уже була високою в попередній моделі.

3.4. Обґрунтування технічних і організаційних заходів щодо підвищення ремонтопридатності

Підвищення ремонтопридатності вантажних автомобілів є важливим напрямом забезпечення технічної готовності та економічної ефективності автопарку. Цей процес передбачає не лише удосконалення конструкції автомобілів, а й поліпшення організації технічного обслуговування (ТО),

забезпечення запасними частинами, застосування сучасних діагностичних технологій і підвищення кваліфікації персоналу.

Під час аналізу ремонтпридатності моделей Ford Cargo і Ford F-MAX у попередніх розділах було виявлено, що конструктивні рішення, спрямовані на покращення доступності вузлів і скорочення часу відновлення, дозволили знизити середній час ремонту з 6,3 до 5,2 годин. Однак резерви подальшого підвищення ремонтпридатності залишаються значними — особливо в частині організаційно-технологічного забезпечення.

Тому доцільно розглядати комплекс заходів двох типів:

- технічних, які пов'язані з конструкцією, матеріалами, діагностикою;
- організаційних, що стосуються системи обслуговування, управління та кадрового забезпечення.

Технічні заходи підвищення ремонтпридатності

1. Конструктивна уніфікація та модульність вузлів

Одним із найефективніших технічних заходів є впровадження модульного принципу побудови агрегатів. У моделі Ford F-MAX це реалізовано частково: система охолодження, паливна та гальмівна системи складаються з окремих змінних модулів.

Для подальшого підвищення ремонтпридатності доцільно:

- забезпечити повну взаємозамінність модулів між різними серіями автомобілів (наприклад, стандартні кронштейни, з'єднання, патрубки);
- розробити швидкокорознімні з'єднання для паливних і гідравлічних магістралей;
- використовувати єдині базові платформи агрегатів, що спрощують ремонт і зменшують склад запасних частин.

2. Підвищення конструктивної доступності

Згідно з розрахунками у розділі 3.3, збільшення коефіцієнта доступності K_d на 0,1 одиниці скорочує час відновлення приблизно на 0,6 години.

Тому рекомендовано:

- забезпечити оптимальні зони доступу для основних елементів (фільтри, ремені, датчики);
- збільшити кут відкриття кабіни понад 60°, використовуючи гідравлічні підйомники;
- застосовувати ревізійні люки в підкабінному просторі й бокових панелях;
- розміщувати електронні блоки управління у зручних для обслуговування зонах (у кабіні, а не під шасі).

3. Використання діагностичних систем

Сучасна ремонтпридатність нерозривно пов'язана з можливістю автоматизованої діагностики. Для автомобілів Ford пропонується розширення функцій вбудованої системи On-Board Diagnostics (OBD-II) шляхом:

- інтеграції у центральний дисплей системи попереджень про потенційні несправності;
- впровадження дистанційної діагностики через телематичний модуль, що дозволяє аналізувати помилки ще до прибуття автомобіля на станцію;
- створення бази даних «типових кодів відмов» для прогнозування ремонтів.

Завдяки впровадженню таких рішень можна скоротити середній час пошуку несправності на 25–30 %.

4. Використання сучасних матеріалів і технологій

Заміна важкодоступних вузлів на бездоглядні або малоглядні конструкції (наприклад, герметичні підшипники, фільтри з подовженим ресурсом) дозволяє зменшити кількість втручань.

Також доцільним є:

- застосування композитних корпусів фільтрів і пластикових трубопроводів із швидким роз'єднанням;
- використання антикорозійних матеріалів, що подовжують міжремонтні інтервали;
- впровадження електронних систем контролю тиску й температури, що попереджають пошкодження вузлів.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1. Загальні положення охорони праці в автотранспортній галузі

Охорона праці є невід’ємною складовою системи управління будь-якого автотранспортного підприємства. Вона спрямована на створення безпечних і здорових умов праці, запобігання травматизму, професійним захворюванням та аваріям під час технічного обслуговування й ремонту автомобілів.

Відповідно до Закону України “Про охорону праці” та Кодексу законів про працю, роботодавець зобов’язаний забезпечити відповідність робочих місць вимогам нормативних актів, а також організувати навчання персоналу з питань безпеки праці.

На підприємствах, що здійснюють технічне обслуговування вантажних автомобілів Ford, охорона праці включає:

- контроль за станом виробничого обладнання, інструментів, підйомних механізмів;
- дотримання вимог електробезпеки, пожежної безпеки та санітарно-гігієнічних норм;
- регулярне проведення інструктажів і медичних оглядів працівників;
- забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ);
- створення системи моніторингу та профілактики нещасних випадків.

Особливу увагу приділяють безпечному виконанню робіт у зонах технічного обслуговування та ремонту автомобілів, де є ризики ураження струмом, опіків, травм через падіння деталей або механічні дії вузлів, що обертаються.

4.2. Аналіз умов праці в зоні технічного обслуговування

У процесі обслуговування та ремонту вантажних автомобілів на працівників впливають такі основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- підвищена напруга електричних ланцюгів і можливість ураження електричним струмом;
- недостатня освітленість робочих зон або засліплення яскравим світлом;

- шум і вібрації, створені роботою компресорів, двигунів, підйомників;
- шкідливі пари мастильних матеріалів, відпрацьовані гази, пил;
- фізичне перевантаження під час демонтажу масивних деталей;
- можливість травмування через падіння предметів, ковзання або опіки.

Для зниження дії цих факторів на автотранспортних підприємствах упроваджуються комплексні заходи з поліпшення умов праці, зокрема:

- установка систем припливно-витяжної вентиляції у ремонтних зонах;
- локальні вихлоповідсмоктувачі для видалення газів від двигунів;
- застосування шумоізоляційних матеріалів і антивібраційних підкладок під обладнання;
- правильне планування робочих місць, щоб уникнути травмонебезпечних ситуацій;
- автоматизація підйомно-транспортних операцій (електричні домкрати, пневматичні підйомники).

У зоні технічного обслуговування Ford F-MAX передбачено спеціальні оглядові платформи з бортиками, а також датчики присутності персоналу, що відключають рухливі механізми при наближенні людини. Це значно підвищує безпеку під час робіт під днищем автомобіля.

4.3. Вимоги до електробезпеки та пожежної безпеки

Виробничі приміщення СТО відносяться до категорії підвищеної небезпеки ураження електричним струмом, оскільки персонал працює з металевими деталями, електроінструментом і підвищеною вологістю.

Основні вимоги електробезпеки:

- використання електрообладнання класу захисту не нижче IP44;
- наявність захисного заземлення усіх металевих корпусів і підйомників;
- періодична перевірка опору ізоляції кабелів і контурів заземлення;
- заборона самостійного підключення додаткових електропристроїв;
- наявність плакатив і попереджувальних знаків у небезпечних зонах.

Пожежна безпека забезпечується комплексом заходів:

- зберігання паливно-мастильних матеріалів у спеціальних металевих ємностях із піддонами;

- розділення приміщень зварювання та фарбування від основної зони;
- встановлення системи пожежної сигналізації й автоматичного гасіння;
- оснащення робочих постів вогнегасниками ВВК-5 і ОП-10;
- наявність планів евакуації та вільного доступу до виходів.

Щорічно проводиться перевірка знань правил пожежної безпеки, а персонал зобов'язаний проходити інструктажі з дій у разі займання.

4.4. Засоби індивідуального захисту та санітарно-гігієнічні вимоги

Працівники ремонтної зони повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту згідно з НПАОП 0.00-4.01-08 “Типові норми безплатної видачі ЗІЗ”.

До основних засобів належать:

- спецодяг (брюки, куртка або комбінезон з вогнестійкої тканини);
- спецвзуття (черевики з металевим носком і нековзною підошвою);
- захисні рукавиці, окуляри, каски, щитки для зварювання;
- протишумові навушники та респіратори при роботі з пилом чи аерозолями;
- діелектричні рукавички для електромонтерів.

Санітарно-гігієнічні умови повинні відповідати нормам:

- температура повітря в робочих зонах – від +18 до +22 °С;
- відносна вологість – не більше 70 %;
- рівень шуму – не більше 80 дБА;
- концентрація шкідливих речовин – не вище ГДК згідно з ДСН 3.6.042-99.

Для персоналу передбачено санітарно-побутові приміщення, душові, шафи для одягу та місця для приймання їжі. Дотримання цих вимог сприяє підтриманню високого рівня працездатності та зниженню професійних ризиків.

4.5. Захист навколишнього середовища

Діяльність автотранспортних підприємств пов'язана з впливом на довкілля – викидами забруднюючих речовин, відходами мастил, фільтрів, шин, акумуляторів тощо.

Тому важливою складовою є система екологічного менеджменту, що ґрунтується на принципах стандарту ISO 14001:2015.

Основні напрямки екологічного захисту:

1. Зниження викидів шкідливих речовин:
 - перевірка герметичності паливних систем;
 - використання паливно-мастильних матеріалів із низьким вмістом сірки;
 - застосування каталізаторів і фільтрів твердих частинок (DPF);
 - проведення регулярної діагностики двигунів на токсичність вихлопів.
2. Утилізація та знешкодження відходів:
 - збирання відпрацьованих мастил у герметичні ємності з подальшою передачею на регенерацію;
 - сортування відходів за видами (метал, пластик, гума, папір);
 - утилізація зношених шин і акумуляторів через ліцензовані компанії.
3. Ресурсозбереження та енергоефективність:
 - застосування LED-освітлення та автоматичного вимкнення освітлювальних приладів;
 - впровадження систем рекуперації тепла у вентиляційних установках;
 - збір і повторне використання технічної води після очищення.
4. Екологічний контроль і моніторинг:
 - щорічне проведення лабораторного аналізу повітря, стічних вод і ґрунту на території підприємства;
 - ведення журналів обліку відходів та звітності до екологічних служб;
 - навчання персоналу правилам поводження з небезпечними речовинами.

У підсумку реалізація зазначених заходів дозволяє зменшити екологічне навантаження на 20–25 %, знизити витрати на утилізацію та забезпечити відповідність діяльності вимогам природоохоронного законодавства України та ЄС.

5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

5.1. Економічна оцінка запропонованих заходів

Підвищення надійності та ремонтпридатності вантажних автомобілів безпосередньо впливає на економічні результати діяльності автотранспортного підприємства, оскільки визначає рівень технічної готовності рухомого складу, коефіцієнт використання парку, обсяг транспортної роботи й собівартість перевезень.

Економічна доцільність запропонованих технічних і організаційних заходів оцінюється шляхом визначення:

- зменшення витрат на технічне обслуговування й ремонт (ТО та ПР);
- скорочення простоїв автотранспорту в ремонті;
- збільшення ефективного фонду робочого часу автомобілів;
- підвищення прибутковості автопідприємства за рахунок росту обсягу перевезень.

До основних заходів, розглянутих у попередніх розділах, належать:

1. Впровадження телематичної системи моніторингу технічного стану (скорочення позапланових ремонтів).
2. Використання модульних вузлів і швидкорознімних з'єднань (скорочення часу ремонту).
3. Автоматизація діагностики за допомогою цифрових засобів (зменшення трудомісткості робіт).
4. Оптимізація матеріально-технічного забезпечення (зменшення часу очікування запчастин).
5. Навчання персоналу та впровадження системи мотивації.

Для економічного аналізу приймемо умовний приклад: автопарк підприємства налічує 50 автомобілів Ford F-MAX, які виконують вантажні перевезення на середньому добовому пробігу 420 км.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розрахунку

Показник	Позначення	До впровадження	Після впровадження	Зміна
Середній час простою, год	T_n	6,1	5,2	-0,9
Коефіцієнт готовності	K_e	0,983	0,988	+0,005
Витрати на ТО і ПР, грн/1000 км	$C_{тр}$	4200	3900	-7,1 %
Річний пробіг автомобіля, тис. км	L_p	95	95	—
Кількість автомобілів	N	50	50	—

Розрахунок річних витрат на ТО і ремонт

$$B_{до} = C_{тр} \cdot \frac{L_p}{1000} \cdot N. \quad (5.1)$$

$$B_{до} = 4200 \times 95 \times 50 / 1000 = 19,95 \text{ млн. грн.}$$

$$B_{після} = 3900 \times 95 \times 50 / 1000 = 18,53 \text{ млн. грн.}$$

Економія становить:

$$\Delta B = 19,95 - 18,53 = 1,42 \text{ млн. грн.}$$

Таким чином, навіть без урахування зростання продуктивності автопарку очікувана річна економія від зменшення витрат на технічне обслуговування становить 1,4 млн грн.

5.2. Розрахунок економічного ефекту від підвищення надійності та ремонтпридатності

1. Підвищення ефективного фонду робочого часу

Кількість днів простою скорочується пропорційно зміні коефіцієнта готовності:

$$\Delta D = (K_{r2} - K_{r1}) \times 365. \quad (5.2)$$

$$\Delta D = (0,988 - 0,983) \times 365 = 1,825 \text{ днів/авт.}$$

Для 50 автомобілів:

$$1,825 \times 50 = 91,25 \text{ днів/рік.}$$

Це еквівалентно 91 додатковому дню роботи автопарку за рік.

2. Додатковий обсяг транспортної роботи

Добовий вантажообіг (у тонно-кілометрах):

$$Q_D = q \times L_D. \quad (5.3)$$

$$Q_D = 18 \times 420 = 7560 \text{ ткм.}$$

Додатковий річний обсяг:

$$Q_{доп} = Q_D \times 91,25. \quad (5.4)$$

$$Q_{доп} = 7560 \times 91,25 = 689,3 \times 10^3 \text{ ткм.}$$

За середньою вартістю перевезення 2,8 грн/ткм, додатковий дохід складе:

$$\Pi_{доп} = 689,3 \times 2,8 = 1,93 \text{ млн грн.}$$

3. Сукупний економічний ефект

$$E_{заг} = \Delta B + \Pi_{доп}. \quad (5.5)$$

$$E_{заг} = 1,42 + 1,93 = 3,35 \text{ млн грн/рік}$$

4. Оцінка капіталовкладень і терміну окупності

Для реалізації запропонованих заходів передбачається:

- придбання діагностичного обладнання – 0,7 млн грн;
- оновлення інструменту та програмного забезпечення – 0,5 млн грн;
- навчання персоналу – 0,1 млн грн.

Загальні витрати – 1,3 млн грн.

Тоді термін окупності інвестицій:

$$T_{ок} = 1,3 / 3,35 = 0,39 \text{ року} \approx 5 \text{ місяців.}$$

Таким чином, окупність запропонованих заходів є дуже високою – менше півроку, після чого підприємство отримує чистий економічний ефект близько 3 млн грн щорічно.

5. Відносна економічна ефективність

$$E_{відн} = E_{заг} / B_{кап}. \quad (5.6)$$

$$E_{відн} = 3,35 / 1,3 = 2,58$$

тобто кожна вкладена гривня забезпечує 2,6 грн чистого річного ефекту.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У магістерській роботі проведено комплексне дослідження проблеми підвищення надійності та ремонтпридатності вантажних автомобілів Ford, обґрунтовано методики їх оцінювання, проаналізовано конструктивні особливості, умови експлуатації та розроблено технічні й організаційні заходи щодо покращення експлуатаційних показників автопарку.

Проаналізовано сутність понять *надійність*, *ремонтпридатність* та їх взаємозв'язок у системі експлуатаційних властивостей автомобільної техніки. Розглянуто класифікацію відмов, наведено основні показники надійності (інтенсивність відмов, середній наробіток до відмови, коефіцієнт готовності) та методи оцінювання ремонтпридатності транспортних засобів.

Визначено, що найефективнішими є статистичні та експериментально-аналітичні методи, які базуються на обробці експлуатаційних даних автопідприємства. Показано, що ремонтпридатність слід оцінювати за сукупністю часових, трудових і ергономічних показників, що відображають реальні умови технічного обслуговування.

Здійснено порівняльний аналіз вантажних автомобілів Ford Cargo та Ford F-MAX, їх конструктивних систем і умов експлуатації на українських дорогах.

Виявлено, що основними факторами, які впливають на рівень надійності, є якість дорожнього покриття, перевантаження автомобілів, кліматичні умови та якість палива.

За результатами аналізу умов експлуатації визначено, що в Україні частота відмов підвіски, гальмівних систем і трансмісії зростає на 10–15 % порівняно з нормативними умовами виробника.

Розроблено методику оцінювання надійності та ремонтпридатності з використанням показників інтенсивності відмов, середнього наробітку до відмови, коефіцієнта готовності та доступності. Розрахунки показали, що для Ford Cargo середня інтенсивність відмов становить ($\lambda = 0,00021$) 1/км, а для F-MAX – ($\lambda = 0,00017$) 1/км; середній наробіток до відмови збільшився з 4700 км

до 5900 км. Коефіцієнт готовності зріс із 0,983 до 0,988, що підтверджує покращення технічної надійності нової моделі.

На основі аналізу часових і трудових витрат визначено, що зменшення середнього часу відновлення з 6,3 до 5,2 годин досягнуто за рахунок конструктивних удосконалень, використання діагностичних систем і кращої організації робіт.

Запропоновано коефіцієнти доступності Кд та зручності ремонту Кзр як кількісні показники ремонтпридатності. Для F-MAX ці коефіцієнти становлять відповідно 0,87 і 0,84, що на 8–10 % вище порівняно з Ford Cargo. Доведено, що покращення доступності на 0,1 одиниці зменшує час ремонту приблизно на 0,6 години.

Розроблено систему охорони праці й захисту навколишнього середовища, яка відповідає чинним нормативам України. Запропоновано заходи щодо підвищення електро- та пожежної безпеки, поліпшення мікроклімату робочих зон, зменшення впливу шуму, вібрації й токсичних речовин.

Особливу увагу приділено екологічним аспектам: утилізації мастил, фільтрів, шин і акумуляторів, зниженню викидів, упровадженню систем очищення повітря й води.

Проведено економічне обґрунтування запропонованих заходів. Розрахунки показали, що впровадження комплексу технічних і організаційних рішень дозволяє знизити витрати на технічне обслуговування на 7–10 %, підвищити коефіцієнт готовності автопарку до 0,988 і збільшити річний обсяг транспортної роботи на 1,9 млн грн.

Сумарний економічний ефект становить 3,35 млн грн/рік, при капітальних витратах 1,3 млн грн і терміні окупності близько 5 місяців. Це свідчить про високу ефективність та економічну доцільність впровадження запропонованих заходів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про охорону праці» №2694-ХІІ від 14.10.1992 р. (зі змінами та доповненнями).
2. Кодекс законів про працю України. Київ. Видавництво Верховної Ради України, 2021. 320 с.
3. ДСТУ 2860–94. Надійність техніки. Терміни та визначення. Київ. Держстандарт України, 1994. 45 с.
4. ДСТУ ISO 14224:2015. Надійність та технічне обслуговування. Збирання та оброблення даних про надійність і ремонтпридатність. Київ. Мінекономрозвитку України, 2016. 76 с.
5. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги безпеки до технічного стану. Київ. Держспоживстандарт України, 2011. 49 с.
6. Ford Motor Company. F-MAX Service and Maintenance Manual. Istanbul: Ford Otosan, 2021. 214 p.
7. Ford Motor Company. Ford Cargo Workshop Manual. Cologne: Ford Trucks, 2018. 265 p.
8. Підпригора І.І. Теорія експлуатаційної надійності автомобілів: навч. посіб. Київ. НТУ, 2019. 272 с.
9. Сахно В.П., Козлов В.Л. Технічна експлуатація автомобілів. Харків: ХНАДУ, 2017. 420 с.
10. Ковальчук О.М., Рижов В.В. Діагностування і технічне обслуговування автомобілів. Львів: Видавництво ЛНТУ, 2020. 368 с.
11. Лавренюк О.М., Пилипчук В.І. Економіка автомобільного транспорту. Київ. НТУ, 2020. 352 с.
12. Кузнецов М.А. Надійність автомобільної техніки: аналіз і прогнозування. Дніпро: ПДАБА, 2018. 298 с.
13. Шаповал С.В., Коваленко П.П. Оцінка ремонтпридатності та модернізація систем автомобілів. Київ. НУБіП, 2021. 220 с.
14. ДСТУ EN ISO 12100:2018. Безпечність машин. Загальні принципи проектування. Київ. Мінекономрозвитку України, 2019. 94 с.

15. Сухоруков В.І. Економічна ефективність технічного обслуговування рухомого складу. Київ. Транспорт України, 2016. 186 с.
16. Ford Trucks Official Website. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.fordtrucks.com>
17. European Automobile Manufacturers Association (ACEA). Heavy-Duty Vehicle Reliability Report 2022. Brussels, 2022. 54 p.
18. Наказ Міністерства транспорту України №795 від 23.11.2000 р. Про затвердження Правил технічного обслуговування і ремонту дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту.
19. Європейська комісія. Directive 2007/46/EC establishing a framework for the approval of motor vehicles. Brussels: EU, 2007.
20. Левченко В.П. Підвищення надійності вантажних автомобілів у важких умовах експлуатації. Вісник НТУ. 2022. №48. С. 71–79.
21. Natarajan R., Mehta P. Reliability Engineering and Life Cycle Analysis in Automotive Systems. Springer, 2020. 316 p.
22. Роговий А.І. Системи технічного обслуговування і ремонту автотранспорту в умовах цифровізації. Одеса: ОНАХТ, 2022. 240 с.
23. Ford Otosan Annual Report 2023. Istanbul: Ford Otosan A.Ş., 2023. 96 p.
24. International Energy Agency (IEA). The Future of Trucks: Implications for Energy and the Environment. Paris: IEA Publications, 2022. 132 p.
25. Mykhalchuk A., Korol O. Optimization of Maintenance Intervals for Commercial Vehicles under Ukrainian Operating Conditions. Transport Problems, Vol. 18, No. 3. 2023. P. 85–97.
26. Shrestha B., Park J. Data-driven Maintenance Scheduling in Heavy Vehicles. Reliability Engineering & System Safety. 2021. Vol. 214. P. 107–124.
27. Петренко Ю.М., Дяченко С.Л. Енергозберігаючі технології при технічному обслуговуванні вантажних автомобілів. Київ. НАУ, 2022. 210 с.
28. ДСТУ ISO/TR 16355-5:2021. Розроблення надійної продукції. Частина 5: Прогнозування надійності на етапі проектування. Київ. Мінекономіки України, 2021. 68 с.