

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: «ОПТИМІЗАЦІЯ МЕТОДІВ І МОДЕЛЕЙ
СИСТЕМИ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ
ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ SEAT»

Виконав: студент групи Ат-63

Спеціальності 274 «Автомобільний транспорт»

(шифр і назва)

Кос Роман Миколайович

(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
Косу Роману Миколайовичу

1. Тема роботи: «Оптимізація методів і моделей системи обслуговування та ремонту легкових автомобілів SEAT»

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 SEAT; технічні карти на передпродажне і технічне обслуговування автомобілів SEAT; рекомендації по експлуатації машин сімейства SEAT; каталог деталей автомобілів сімейства SEAT; типові норми часу на ремонт та обслуговування автомобілів SEAT.

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

1. Оцінка технічного стану АТЗ за результатами його діагностування

2. Експериментальні дослідження за надійністю конструкцій підвісок легкових автомобілів

3. Теоретичні дослідження параметрів систем та складання математичної моделі їх діагностування

4. Порівняльні дослідження періодичності діагностування автомобілів

5. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

6. Економічне обґрунтування впровадження удосконаленої методики

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 технічного стану автомобіля за результатами його

діагностування; 3. Рівні діагностування автомобіля; 4-5. Оцінка надійності конструкцій підвісок; 6. Схема рівнів алгоритму діагностування АТЗ при пошуку несправності; 7. Алгоритм пошуку несправності згідно висуненої гіпотези; 8. Схема передньої підвіски легкового автомобіля Seat; 9. Зміна можливих пропусків виконання діагностувань з періодичністю l_{opt} залежно від значень кількості затухаючих коливань підвіски; 10. Залежність зміни коливань підвіски від пробігу автомобіля; 11. Визначення ймовірностей передвідмовного стану, за умови відсутності відмови протягом пробігу.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 4, 6	Барабаш Р.І., к.т.н., доцент, кафедри агроінженерії та технічного сервісу імені професора Олександра Семковича		
5	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва		

7. Дата видачі завдання 28.02.2025 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Написання розділу: «Оцінка технічного стану АТЗ за результатами його діагностування»	28.02.25-31.03.25	
2	Написання розділу: «Експериментальні дослідження за надійністю конструкцій підвісок легкових автомобілів»	01.04.25-10.05.25	
3	Написання розділу: «Теоретичні дослідження параметрів систем та складання математичної моделі їх діагностування»	11.05.25-30.06.25	
4	Написання розділу: «Порівняльні дослідження періодичності діагностування автомобілів»	01.07.25-10.08.25	
5	Написання розділу: «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»	11.08.25-30.09.25	
6	Написання розділу «Економічне обґрунтування впровадження удосконаленої методики»	01.10.25-31.10.25	
7	Завершення роботи в цілому	01.11.25-01.12.25	

Студент _____ Кос Р.М.
(підпис)

Керівник роботи _____ Барабаш Р.І.
(підпис)

УДК: 631.372.004

Кос Р.М. «Оптимізація методів і моделей системи обслуговування та ремонту легкових автомобілів SEAT». Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, 2025. 77 с.

табл. 10; рис. 20; бібліогр. джерел 41.

У роботі проаналізовано теоретичні основи технічної діагностики, показники надійності автомобільних агрегатів та методи визначення оптимальної періодичності технічного обслуговування (ТО) з урахуванням імовірнісних і техніко-економічних критеріїв.

Об'єктом дослідження є підвіски легкових автомобілів *Seat*, предметом – їх експлуатаційна надійність та система діагностування технічного стану. Метою роботи є вдосконалення діагностування підвісок шляхом обґрунтування раціональної номенклатури діагностичних параметрів та визначення оптимальної періодичності їх технічного обслуговування за критерієм мінімуму сумарних затрат і ризику відмов.

На основі статистичної обробки даних про відмови елементів підвіски (амортизаторів, опор стояків, кульових шарнірів, підшипників маточин) визначено основні показники експлуатаційної надійності та встановлено, що процеси втрати працездатності мають випадковий характер із великим розкидом пробігів до відмов.

Запропоновано зменшити кількість діагностичних параметрів, необхідних для оцінювання технічного стану підвіски, з 13 до 4 ключових (сходження та розвал передніх коліс, стан амортизаторів і підшипників маточин), що дає змогу знизити трудомісткість і вартість діагностування без втрати інформативності. Для формалізації процесу пошуку несправностей розроблено матричну модель діагностування підвіски, яка ґрунтується на еквівалентному поданні механіко-гідравлічної системи у вигляді електричного кола з опорами. Це дозволяє виявляти одиничні та кратні дефекти на основі аналізу вимірюваних параметрів.

З використанням ризик-орієнтованого підходу та методики мінімуму сумарного ризику визначено оптимальну періодичність діагностування підвіски автомобілів Seat залежно від фактичного рівня технічного стану, що оцінюється за кількістю затухаючих коливань підвіски після гальмування. Показано, що за певних значень діагностичного параметра можливе обґрунтоване скорочення кількості діагностичних перевірок без зниження безпеки руху та перевищення гранично допустимого стану.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АТЗ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЙОГО ДІАГНОСТУВАННЯ	9
1.1 Основні положення технічної діагностики	9
1.2 Визначення показників надійності автомобіля	12
1.3 Узагальнена блок-схема діагностування	20
1.4 Діагностування агрегатів і систем автомобіля в цілому	22
2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗА НАДІЙНІСТЮ КОНСТРУКЦІЙ ПІДВІСОК ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ	26
2.1 Програма та методика проведення досліджень	26
2.2 Особливості конструкцій підвісок досліджуваних автомобілів	29
2.3 Оцінка надійності конструкцій підвісок та визначення періодичності їх ТО32	
3. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ ТА СКЛАДАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЇХ ДІАГНОСТУВАННЯ	38
3.1. Обґрунтування структурних параметрів систем для визначення фактичного рівня їх технічного стану	38
3.2. Формулювання робочої гіпотези щодо вибору параметрів діагностування систем та агрегатів	43
3.3 Формалізація станів складальних одиниць систем та складання математичної моделі їх діагностування (матричний підхід)	49
4. ПОРІВНЯЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРІОДИЧНОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ	56
4.1. Вибір бази та методу порівняльних досліджень	56

4.2	<i>Результати порівняльних досліджень, їх аналіз та оптимізація періодичності ТО автомобіля Seat</i>	63
4.3	<i>Оцінка результатів порівняльних досліджень</i>	65
5.	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	67
5.1.	<i>Аналіз умов праці на ділянці технічного обслуговування</i>	67
5.2.	<i>Вимоги техніки безпеки при виконанні діагностичних та ремонтних робіт</i>	68
5.3.	<i>Оцінка рівня виробничих ризиків</i>	68
5.4.	<i>Розроблення заходів щодо підвищення безпеки праці</i>	69
5.5.	<i>Безпека у надзвичайних ситуаціях</i>	70
6.	ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ МЕТОДИКИ	72
6.1	<i>Розрахунок трудомісткості та економії часу</i>	72
6.2	<i>Розрахунок економії коштів</i>	73
	ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	74
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	77

ВСТУП

Цілеспрямована технічна політика, що передбачає створення й упровадження нових методів та засобів технічного обслуговування, має бути спрямована на підвищення економічної ефективності роботи автомобільного транспорту в цілому. Одним із реальних інструментів режиму економії є зменшення витрат на технічне обслуговування (ТО) і ремонт автомобілів за рахунок широкого застосування діагностування – визначення технічного стану автомобіля й його агрегатів без розбирання з метою прогнозування можливості подальшої безвідмовної роботи та використання ощадних технологій ТО і ремонту.

Застосування діагностики дає змогу виявляти приховані несправності й запобігати відмовам механізмів, оцінювати їх придатність до подальшої експлуатації, уточнювати обсяг ремонтних і профілактичних робіт, а також контролювати якість виконаного ТО чи ремонту.

Потреба в діагностуванні зумовлена тим, що під час експлуатації автомобіля більшість несправностей стають помітними лише тоді, коли їх вплив уже суттєвий. Дрібні дефекти, які спричиняють незначне падіння потужності, підвищення витрати палива, погіршення геометрії ходової частини, зниження ефективності гальм тощо, можуть залишатися непоміченими навіть досвідченим водієм.

Ідеальним варіантом є безперервне діагностування автомобіля безпосередньо в русі на всіх характерних режимах роботи. У сучасних закордонних автомобілях це реалізується за допомогою бортових комп'ютерних мереж, які містять у базі даних допустимі значення параметрів і постійно порівнюють із ними поточні виміряні величини. Якщо параметр виходить за встановлені межі, система інформує водія про наближення передвідмовного стану, а в окремих випадках навіть блокує подальший рух. Проте такі системи є дорогими, потребують значної кількості давачів і, попри це, не забезпечують діагностику абсолютно всіх агрегатів і механізмів.

Тому широко застосовується підхід із використанням спеціальних діагностичних роз'ємів, що дають змогу через мережу датчиків контролювати всі системи двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) і, за наявності, автоматичну коробку передач. Разом із діагностичним роз'ємом часто використовують електронні зчитувально-запам'ятовуючі пристрої, які фіксують коди сигналів від датчиків під час руху та зберігають їх. Це дає можливість отримувати інформацію про технічний стан систем і механізмів у реальних умовах експлуатації.

Мета роботи: Підвищення ефективності системи технічного обслуговування та ремонту автомобілів *Seat* шляхом розроблення методів оптимізації процесів обслуговування на основі результатів діагностування технічного стану автомобіля.

Об'єкт дослідження є: система технічного обслуговування і ремонту автомобілів *Seat*.

Предмет дослідження є процеси організації, планування та оптимізації технічного обслуговування і ремонту

Задачі дослідження:

1. Провести аналіз сучасних систем технічного обслуговування і ремонту автомобілів, зокрема марок *Seat*.
2. Дослідити існуючі методи та засоби діагностування технічного стану автомобілів.
3. Визначити основні фактори, що впливають на ефективність системи ТО і ремонту.
4. Розробити методику оптимізації процесів технічного обслуговування та ремонту з урахуванням результатів діагностики.
5. Провести моделювання або експериментальну перевірку запропонованої методики.
6. Оцінити економічну ефективність впровадження оптимізованої системи технічного обслуговування.

1. ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АТЗ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЙОГО ДІАГНОСТУВАННЯ

1.1 Основні положення технічної діагностики

Теоретичні засади діагностики технічного стану автомобілів становлять сукупність закономірностей, характеристик і зв'язків між елементами, що формують систему діагностування. Будь-яка система діагностування автомобіля включає такі взаємопов'язані складові: об'єкт діагностування, діагностичні параметри, нормативні показники, засоби діагностування, процедуру виконання діагностики та людину-оператора.

Розроблення системи діагностування конкретного агрегату чи механізму автомобіля передбачає: встановлення закономірностей зміни параметрів технічного стану об'єкта та оцінку його придатності до контролю; вибір діагностичних параметрів і визначення характеру їх змін та взаємозв'язку з параметрами стану об'єкта; установлення нормативних значень діагностичних параметрів; вибір способу формування діагнозу; техніко-економічне обґрунтування методів і засобів вимірювання; розроблення оптимальної процедури чи алгоритму діагностування.

Системи діагностування автомобілів тісно пов'язані з технологічними процесами їх технічного обслуговування і ремонту. На рис. 1.1 подано структурну схему формування процесів діагностування та ТО автомобілів в умовах експлуатації.

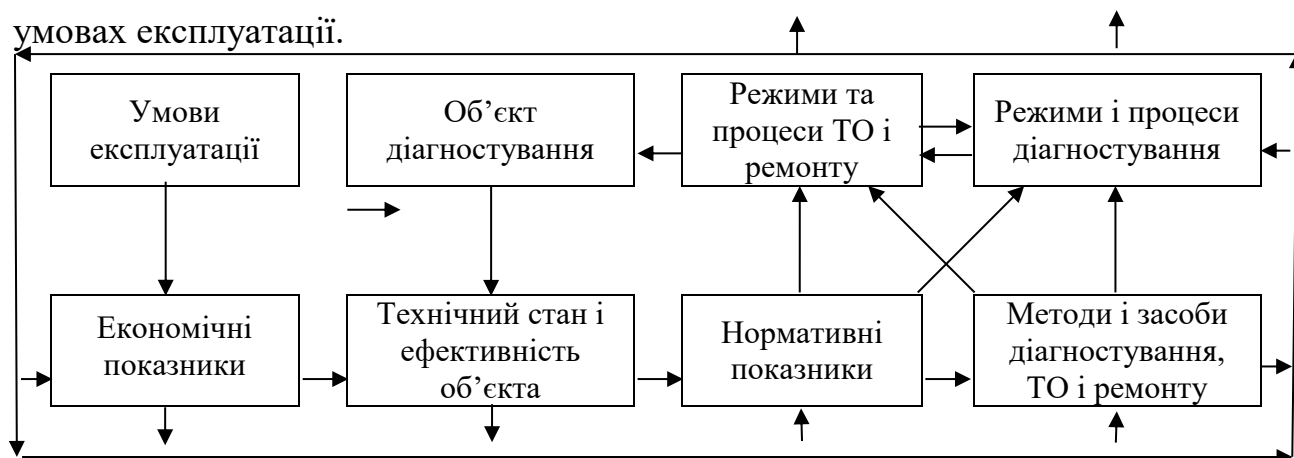


Рисунок 1.1 – Схема формування технологічних процесів діагностування автомобілів в умовах експлуатації

Як видно зі схеми, об'єкт діагностування одночасно зазнає, з одного боку, руйнівного впливу експлуатаційних умов, а з іншого – відновлювального впливу технічного обслуговування і ремонту. Унаслідок цього його технічний стан і ефективність постійно змінюються. Ці зміни зумовлюються різноманітними експлуатаційними й виробничими чинниками та мають імовірнісний характер.

Об'єкт діагностування характеризується:

- складом елементів і їх функціональним призначенням;
- характером взаємодії елементів;
- закономірностями зміни параметрів технічного стану та економічними показниками;
- системою діагностичних параметрів і їх зв'язком із конструктивними (структурними) параметрами;
- пристосованістю агрегатів і механізмів до діагностування [13].

Закономірності зміни технічного стану об'єкта визначають його надійність і витрати на відновлення. Вимірювання параметрів можуть здійснюватися як у безперервному, так і в дискретному режимах. Відповідно виділяють поступові (накопичувальні) відмови та раптові відмови. Останні виникають унаслідок випадкових причин, що спричиняють різкі зміни технічного стану об'єкта.

З огляду на те, що діагностування є процесом опосередкованого вимірювання параметрів технічного стану, одним із його ключових елементів виступає система діагностичних параметрів.

Діагностичні параметри – це фізичні величини, адекватні структурним параметрам, які застосовують для оцінювання технічного стану механізму без його розбирання.

Із широкого набору можливих діагностичних параметрів для практичного використання відбирають лише ті, які відповідають таким вимогам: однозначність, стабільність, достатній діапазон вимірювання, доступність і зручність контролю, висока інформативність і технологічність. Зміст цих вимог графічно проілюстровано на рис. 1.2.

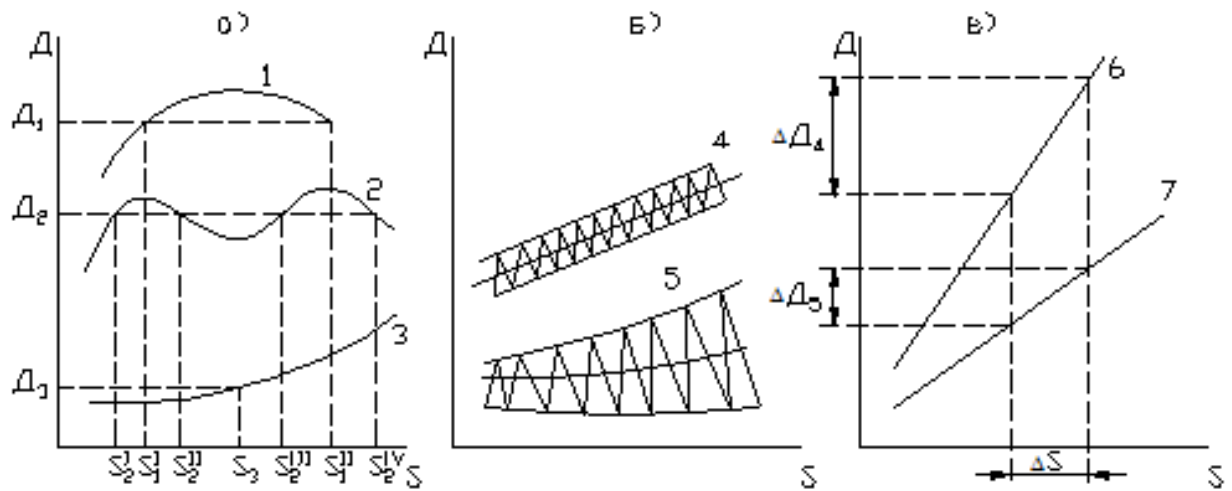


Рисунок 1.2 – Графічна ілюстрація основних вимог до діагностичних параметрів за: а – однозначністю; б – стабільністю; в – діапазоном вимірювання; 1, 2 – криві неоднозначної залежності, 3 – крива однозначної залежності, 4 – рівний коридор розсіювання, 5 – коридор розсіювання, що збільшується, 6 – крива більшої широти вимірювання, 7 – крива меншої широти виміру

Вимога однозначності означає, що кожному значенню структурного чи функціонального параметра повинно відповідати єдине значення діагностичного параметра. Так, залежності 1 і 2 (рис. 1.2, а) не задовольняють умову однозначності, тоді як крива 3 їй відповідає. Це означає, що одному значенню діагностичного параметра D_2 можуть відповідати декілька значень структурного параметра ($S_2^I, S_2^{II}, S_2^{III}, S_2^{IV}$), а параметру D_1 – два значення (S_1^I, S_1^{II}). Натомість будь-якому значенню діагностичного параметра D_3 відповідає єдине значення структурного параметра S_3 .

Вимога стабільності визначає допустимий діапазон відхилень діагностичного параметра від його середнього значення за незмінних структурних параметрів та сталих умов вимірювання. Це відхилення характеризує розсіювання значень параметра.

Вимога широти вимірювання встановлює такий діапазон зміни діагностичного параметра, який відповідає заданій зміні структурного параметра. Чим більший цей діапазон, тим вищою є інформативність параметра.

На рис. 1.2, в крива 6 має більшу широту зміни діагностичного параметра ΔD_4 , ніж крива 7 (ΔD_5). Аналітично ця умова записується у вигляді залежності (1.1).

$$\frac{\Delta D_4}{\Delta S} > \frac{\Delta D_5}{\Delta S}. \quad (1.1)$$

Отже, перед вибором діагностичного параметра необхідно дослідити характер його залежності від структурного параметра, з'ясувати взаємозв'язки між ними та визначити ступінь інформативності діагностичного параметра.

Отримання інформації про технічний стан об'єкта за будь-яким діагностичним параметром пов'язане з певними матеріальними витратами. Економічна виправданість цих витрат залежить, з одного боку, від вартості діагностичних засобів, а з іншого – від ймовірності відмов і вартості їх усунення (вартості ремонту). Тому остаточна оцінка раціональної повноти отриманої інформації базується на вартісних критеріях і показниках надійності об'єкта.

Класифікацію діагностичних параметрів можна подати у вигляді узагальненої схеми (рис. 1.3).

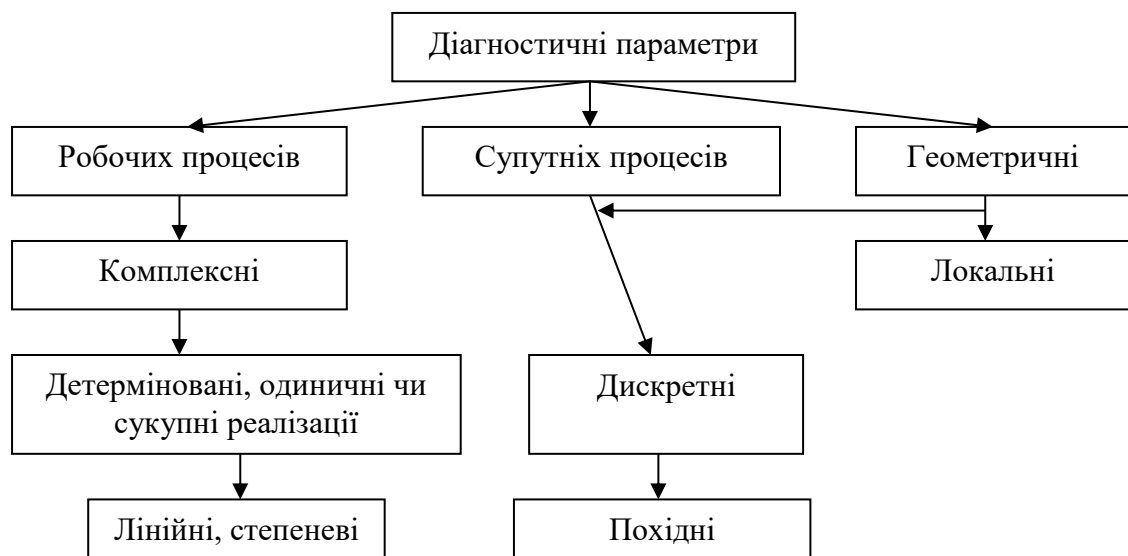


Рисунок – 1.3 Класифікація діагностичних параметрів

1.2. Визначення показників надійності автомобіля

Як зазначалося вище, діагностичні параметри – це фізичні величини, що відображають структурні параметри й дають змогу оцінити технічний стан механізмів без їх розбирання. Із усієї множини можливих параметрів обирають

ті, які задовольняють вимоги однозначності, стабільності, чутливості та інформативності.

Чутливість діагностичного параметра $K_{\text{ч}}$ визначають як приріст діагностичного параметра dS при зміні структурного параметра dU [14] і описують виразом (1.2):

$$K_{\text{ч}} = \frac{dS}{dU} \quad (1.2)$$

Однозначність діагностичного параметра передбачає відсутність екстремумів ($\frac{dS}{dU} \neq 0$) у діапазоні від початкового значення структурного параметра U_n до граничного $U_{\text{гр}}$.

Інформативність є однією з найважливіших властивостей діагностичних параметрів. Вона відображає, наскільки вимірювання конкретного параметра дає змогу зменшити початкову невизначеність (ентропію) щодо технічного стану об'єкта. Ентропія $H(x)$ характеризує кількість можливих станів об'єкта (n), кожен з яких може мати свою ймовірність P_i , що залежить від надійності об'єкта. Якщо вимірювання певного діагностичного параметра повністю розв'язує діагностичну задачу, його інформативність I_x дорівнює ентропії об'єкта $H(x)$ [14] і визначається співвідношенням (1.3).

$$I_x = H(x) = -\sum P_i \cdot \log P_i \quad (1.3)$$

На практиці при діагностуванні механізмів автомобіля часто застосовують кілька діагностичних параметрів. У такому разі значення P_i є різними, а зв'язок між структурними і діагностичними параметрами – неоднозначний. Тоді інформативність параметра оцінюють за обсягом відомостей, які він надає щодо виявлення несправності. Для цього порівнюють розподіл значень діагностичного параметра, виміряних на великій вибірці справних і несправних об'єктів. Якщо розподіли майже збігаються, параметр малоінформативний, оскільки не дозволяє чітко відрізнити справний об'єкт від несправного. Чим більше відрізняються ці розподіли, тим вищою є інформативність параметра. Кількісно різницю розподілів оцінюють коефіцієнтом інформативності [14], що визначається формулою (1.4), де i – ймовірності потрапляння спостереження в j -й діапазон

ознаки для справного (А) та несправного (В) об'єктів відповідно, а n – кількість діапазонів.

$$I_j = 100 \sum_{j=1}^n (P_j^A - P_j^B) \cdot \log \left(\frac{P_j^A}{P_j^B} \right) \quad (1.4)$$

де P_j^A , P_j^B - відповідно ймовірності попадання спостереження в даний діапазон ознаки j при справному (А) і несправному (В) стані об'єктів;

n – кількість діапазонів розподілу величин діагностичного параметра.

У процесі виконання транспортної роботи технічний стан автомобіля погіршується, що з часом може призвести до часткової або повної втрати працездатності. Підтримувати автомобіль у справному стані можна двома шляхами – шляхом планового технічного обслуговування та ремонту. Основна мета ТО полягає в тому, щоб попередити момент відмови та забезпечити безвідмовну роботу автомобіля на заданому пробігу.

Як критерії для визначення оптимальної періодичності профілактичних робіт використовують такі показники експлуатаційної надійності: ймовірність безвідмовної роботи, середнє напрацювання до відмови, інтенсивність відмов, γ -відсоткове напрацювання до відмови, середнє напрацювання на відмову, параметр потоку відмов, математичне сподівання кількості відмов на пробіг [6].

Ймовірність безвідмовної роботи в інтервалі від 0 до l_0 визначають за виразом (1.5):

$$P(l_0) = f(l) - F(l_0) \quad (1.5)$$

де $f(l)$ - густина розподілу напрацювання на відмови;

$F(l_0)$ - функція розподілу напрацювання на відмови.

Середнє напрацювання до відмови трактується як математичне сподівання напрацювання об'єкта до першої відмови обчислюється за формулою (1.6):

$$l = \int_0^{\infty} l \cdot f(k) \cdot d(l) = \int_0^{\infty} [1 - F(l)] dl; \quad (1.6)$$

де $F(l)$ - функція розподілу напрацювання на відмови.

Універсальною характеристикою, що узагальнює поведінку системи, є інтенсивність відмов $\lambda(t)$, яку визначають співвідношенням (1.7):

$$\lambda(t) = \frac{f(l)}{1 - F(l)}. \quad (1.7)$$

γ -відсотковим напрацюванням до відмови називають таке значення ресурсу, протягом якого відмова не виникає з ймовірністю (γ відсотках). Це напрацювання знаходять із рівняння (1.8):

$$1 - F(l_\gamma) = 1 - \int_0^{l_\gamma} f(l) dl = \frac{\gamma}{100} \quad (1.8)$$

Середнє напрацювання на відмову для відновлюваного об'єкта визначають як відношення загального напрацювання до математичного сподівання кількості його відмов за цей період.

Параметр потоку відмов $\omega(l)$ характеризує середню кількість відмов, очікувану в малому інтервалі пробігу, і описується виразом (1.9):

$$\omega(l) = A' i_k - B'_{i_k} V_a \quad (1.9)$$

де V_a - математичне сподівання кількості відмов за пробіг.

При обґрунтуванні режимів технічного обслуговування автомобілів застосовують низку методів визначення періодичності ТО [6–10]:

- за допустимим рівнем безвідмовності;
- за допустимим значенням і закономірністю зміни параметра технічного стану;
- техніко-економічний метод;
- економіко-імовірнісний метод;
- метод статистичних випробувань;
- за параметрами технічного стану;
- за максимальною продуктивністю;
- за зовнішнім виглядом автомобіля і забезпеченням безпеки руху;
- метод коригування періодичності залежно від напрацювання;

- метод визначення періодичності профілактичного обслуговування після безвідмовної роботи 10 км пробігу;
- метод, за яким профілактика виконується після загального напрацювання 11, незалежно від проміжних відмов;
- поглиблене профілактичне обслуговування з уведенням операцій поточного ремонту після k -ої відмови;
- метод визначення оптимальної періодичності ТО за витратою палива.

Метод вибору періодичності ТО за допустимим рівнем безвідмовності ґрунтується на пошуку такої періодичності, за якої ймовірність відмови не перевищує наперед заданого значення. Це формалізують співвідношенням (1.10):

$$P_D \{x_i \geq l_o\} \geq R_D = \gamma, \text{ тобто } l_o = x_\gamma \quad (1.10)$$

де R_D – допустима ймовірність безвідмовної роботи;

x_i - напрацювання на відмову;

l_o - періодичність ТО;

x_γ - гамма-процентний ресурс.

Отримана таким чином періодичність суттєво менша за середнє напрацювання до відмови й пов'язана з ним співвідношенням (1.11):

$$l_o = \beta \cdot \bar{x}, \quad (1.11)$$

де β - коефіцієнт раціональної періодичності, який враховує варіацію напрацювання до відмови та прийняту допустиму ймовірність безвідмовної роботи.

Метод визначення періодичності за допустимим значенням і закономірністю зміни параметра технічного стану [8] передбачає, що за статистичними даними встановлюють середню швидкість зміни параметра. Використовуючи її і допустиме значення параметра, знаходять середнє напрацювання. Однак, якщо саме це значення прийняти за періодичність ТО, то частина виробів із меншим індивідуальним ресурсом досягне граничного стану раніше, що призведе до відмов. Тому призначають таку періодичність, за якої

ймовірність відмови не перевищує заданий ризик F . Для випадку, коли інтенсивність зміни параметра перевищує середню ($\lambda > \lambda_0$, де λ_0 – середня інтенсивність, λ – коефіцієнт максимальної інтенсивності), повинна виконуватися умова (1.12):

$$P_d \{a_i \leq a_d\} = 1 - F = R_d \quad (1.12)$$

Техніко-економічний метод зводиться до мінімізації сумарних питомих витрат на ТО і ремонт. Мінімум витрат досягається при певній оптимальній періодичності ТО l_0 . Питомі витрати на ТО визначають формулою (1.13):

$$C_I = d/l, \quad (1.13)$$

де l - періодичність ТО;

d - вартість виконання операції ТО.

Зі збільшенням періодичності ресурси деталей, як правило, зменшуються, а питомі витрати на ремонт зростають. Це описується співвідношенням (1.14):

$$C_{II} = c/L, \quad (1.14)$$

де c - витрати на ремонт;

L - ресурс до ремонту.

У підсумку $C_{\Sigma} = C_I + C_{II}$ функція питомих витрат є цільовою, і її мінімум відповідає оптимальній періодичності.

Економіко-імовірнісний метод поєднує ймовірнісні та економічні підходи й дозволяє порівнювати різні методики [10]. Періодичність ТО в цьому випадку визначається з виразу (1.15):

$$l_p \cdot \phi(l_p) - q + \frac{\phi(l_p)}{P} \cdot \int_{l_{\min}}^{l_p} l \cdot \phi(l) dl = \frac{d}{c-d} \quad (1.15)$$

де l_p – періодичність ТО, км;

q – ймовірність передчасного ТО (від $l_{\min}$ до l_p);

P – ймовірність ТО з пробігом, який більший від встановленого (від l_p до $l_{\max}$);

d – витрата на одне ТО з періодичністю l_p ;

c – фактичний рівень питомих витрат на ТО.

Це співвідношення дає змогу для будь-якого закону розподілу напрацювання визначити періодичність ТО при заданих характеристиках розподілу і співвідношенні витрат c і d .

Метод статистичних випробувань базується на імітації реальних процесів ТО, що дозволяє прискорити дослідження, виключити вплив сторонніх факторів та суттєво знизити їх вартість [8].

Суть методу визначення періодичності ТО за закономірністю зміни й допустимими значеннями параметрів технічного стану автомобіля полягає в тому, що технічний стан описують раціональною функцією n -го порядку [6] (1.16):

$$y = a_0 + a_1 \cdot l^1 + a_2 \cdot l^2 + \dots + a_n \cdot l^n \quad (1.16)$$

де y - параметр технічного стану;

a_0 - початкове значення параметра технічного стану (при $l = 0$);

l - пробіг;

$a_1, \dots, a_n$ - коефіцієнти, що визначають характер і ступінь залежності параметра y від пробігу або часу.

Знаючи цю залежність і допустиме значення параметра, можна визначити оптимальну періодичність ТО за формулою (1.17).

$$y_d = a_0 + a_1 \cdot l_0 + a_2 \cdot l_0^2 + \dots + a_n \cdot l_0^n \quad (1.17)$$

Метод визначення періодичності ТО за максимальною продуктивністю рухомого складу виходить із припущення, що при оптимальному режимі ТО приріст продуктивності повинен бути не меншим за втрати продуктивності через простої [10]. Це формалізують виразом (1.18):

$$l_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot l' \cdot N_e^M}{d_1}} \quad (1.18)$$

де l_0 – найвигідніша періодичність ТО;

l' – тривалість простою в ТО або ремонті;

N_e^M – максимальна ефективна потужність;

d_1 – інтенсивність спадання потужності на км пробігу або годину роботи двигуна.

Використання як критерію оптимізації зовнішнього вигляду автомобіля доцільне лише для визначення періодичності виконання прибирально-мийних і частини кріпильних операцій; цей підхід має обмежену сферу застосування [6].

У [9] запропоновано метод коригування періодичності ТО залежно від напружування, за яким пробіги між сусідніми ТО-2 зменшуються у процесі «старіння» автомобіля. Передбачається, що пробіг між першим і другим ТО-2 є максимальним, а між передостаннім і останнім – мінімальним. Пробіг між i -м та $(i+1)$ -м ТО-2 визначають за формулою (1.19):

$$L_i = \left[1, 1 - 0, 2 \cdot \frac{i-1}{n-1} \right] \cdot L^H; \quad i = \overline{1, n} \quad (1.19)$$

де L^H – нормативний пробіг між i -м та $(i+1)$ -м ТО-2, км;

n – кількість ТО-2, які необхідно провести автомобілю під час його експлуатації:

$$n = L^C / L^H \quad (1.20)$$

де L^C – пробіг автомобіля до списання, км.

Інший метод передбачає проведення профілактичного обслуговування після безвідмовної роботи км пробігу [10]. Якщо відмова виникає раніше, обслуговування проводять під час її усунення, а момент наступного ТО переплановується. Загальний вираз для визначення оптимальної періодичності наведено у формулі (1.21):

$$\lambda(l_0) \cdot \int_0^{l_0} [1 - F(l)] \cdot dl - F(l_0) = \frac{C_{\pi}}{C_p - C_{\pi}} \quad (1.21)$$

де C_{π} , C_p – відповідно вартість профілактики та поточного ремонту.

З допомогою цього методу, визначивши з рівняння l_0 , найбільш ефективно попереджаються відмови, які виникають у результаті процесів зношування.

Метод, за яким профілактичне обслуговування проводять після загального пробігу незалежно від проміжних відмов, передбачає виконання лише

мінімально необхідного ремонту в разі відмови. У цьому випадку використовують формулу (1.22):

$$l_1 \cdot \lambda(l_1) - \int_0^{l_1} \lambda(l) \cdot dl = \frac{S_{\Pi}}{S_P} \quad (1.22)$$

де S_{Π} і S_P – математичне очікування втрат пробігу за час простою відповідно при виконанні планового обслуговування і поточного ремонту.

Поглиблене профілактичне обслуговування з введенням операцій поточного ремонту після k -ої відмови передбачає виконання мінімальних ремонтних робіт до k -ої відмови. Оптимальне значення k визначають з нерівності (1.23):

$$\frac{k \cdot U(k) - (k-1) \cdot U(k+1) + S_{\Pi}}{U(k+1) - U(k) + S_{\Pi}} < \frac{C_0 \cdot S_{\Pi} + C_{\Pi}}{C_0 \cdot S_P + C_P} \quad (1.23)$$

де $U(k)$ – напрацювання до k -ої відмови,

C_0 – втрати транспортної роботи при ремонтах і технічному обслуговуванні на одиницю пробігу.

Метод визначення оптимальної періодичності ТО за витратою палива [9] базується на використанні сумарної витрати палива за пробіг. Якщо відома загальна витрата палива до ТО, то, маючи поточне значення сумарної витрати, можна прогнозувати оптимальний пробіг АТЗ до наступного ТО за формулою (1.24):

$$l_0 = 100(Q_c - Q_{\Pi}) / Q \approx 100 \cdot Q_0 / Q \quad (1.24)$$

де Q_c – сумарна витрата палива за весь пробіг АТЗ до ТО, л;

Q_{Π} – поточне значення сумарної витрати палива, л;

Q_0 – залишковий пробіг АТЗ за витратою палива до виконання ТО, л;

Q – питома витрата палива в даних умовах експлуатації АТЗ, л/100 км.

1.3. Узагальнена блок-схема діагностування автомобіля

Діагностування автомобіля як у цілому, так і за його окремими елементами має здійснюватися в певній логічній послідовності з використанням умовних, послідовних перевірок. Для цього весь автомобіль доцільно розділити на кілька рівнів діагностування (рис. 1.4).

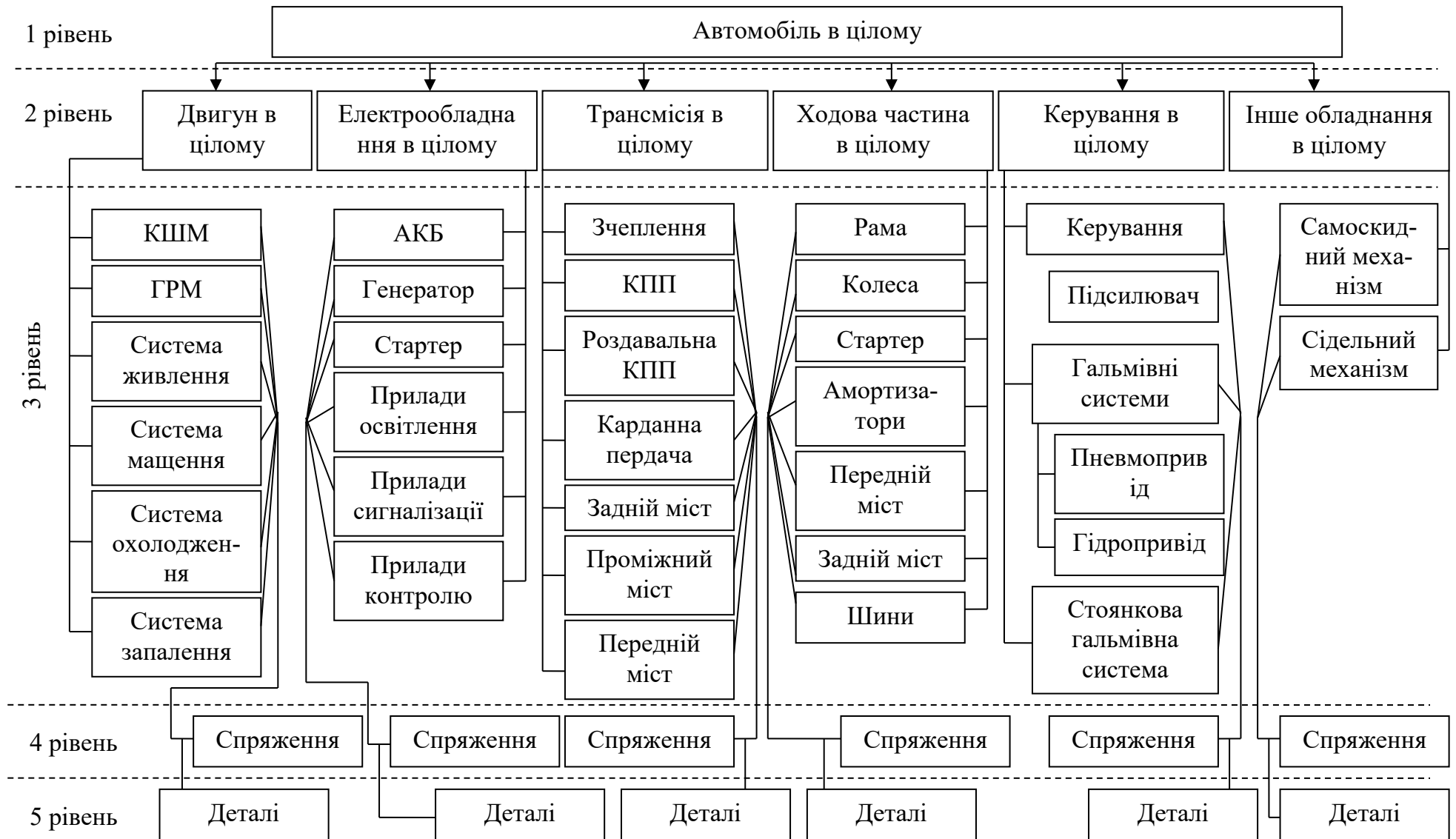


Рисунок 1.4 – Рівні діагностування автомобіля

Перший рівень включає загальне діагностування автомобіля з метою визначення його основних вихідних показників – продуктивності та економічної ефективності.

На другому рівні проводять діагностику основних частин автомобіля: двигуна, електрообладнання, трансмісії, ходової частини, рульового керування, гальмівних систем і додаткового обладнання в цілому.

Третій рівень охоплює діагностування агрегатів, механізмів, систем, приладів і пристроїв.

Четвертий рівень передбачає діагностування рухомих з'єднань типу «деталь–деталь» або «деталь–зовнішнє середовище».

На п'ятому рівні розглядають окремі деталі.

Запропонована багаторівнева класифікація дозволяє системно й послідовно розглядати весь комплекс питань діагностування – від оцінки загального стану автомобіля до контролю окремих з'єднань і, за потреби, деталей, зокрема елементів підвіски.

Сучасні досягнення у сфері методів і засобів діагностування забезпечують реальну можливість оцінювати технічний стан на перших трьох рівнях. Водночас забезпеченість засобами діагностики четвертого рівня не перевищує 20 %.

Діагностування окремих деталей поза контекстом з'єднань, як правило, є малодоцільним, оскільки основні зміни стану елементів автомобіля відбуваються саме в рухомих та інших з'єднаннях під час робочих процесів. Оцінювання стану деталей зазвичай здійснюється під час розбирання при виконанні поточних і капітальних ремонтів.

1.4. Діагностування агрегатів і систем автомобіля в цілому

Під загальним діагностуванням розуміють оцінювання автомобіля за параметрами, що характеризують його інтегральний технічний стан без детального визначення конкретних несправностей чи відмов, за принципом «придатний – непридатний», «справний – несправний».

Продуктивність автомобіля – тобто кількість вантажів або пасажирів, перевезених на задану відстань за годину, зміну чи рік – у значній мірі залежить від його технічного стану. Такі параметри, як потужність двигуна, тягове зусилля, інтенсивність розгону, безпосередньо впливають на показники продуктивності.

Паливна економічність характеризується витратами палива на різних режимах роботи й залежить від технічного стану тих елементів автомобіля, які забезпечують його рух. Отже, за величиною тягового зусилля на колесах, інтенсивністю розгону та витратою палива на режимах холостого ходу, руху й розгону можна робити висновки щодо загального технічного стану автомобіля.

Попередню оцінку технічного стану здійснюють за параметрами суб'єктивної діагностики – за допомогою органів чуття та простих засобів посилення сигналів.

Інтенсивність розгону автомобіля можна визначити на дорозі, рухаючись на прямій передачі з мінімальної швидкості, різко натискаючи на педаль дроселя й оцінюючи час розгону до заданої швидкості. Паралельно візуально оцінюють роботу двигуна на мінімальній частоті обертання в режимі холостого ходу, герметичність систем мащення, охолодження та живлення.

Аналогічно визначають величину вибігу – від максимальної швидкості до повної зупинки. За кольором відпрацьованих газів роблять висновки про склад паливоповітряної суміші: чорний дим свідчить про її збагачення.

У русі перевіряють роботу зчеплення, коробки передач, трансмісії. Шуми та стукоті прослуховують, зокрема стетоскопом, з локалізацією джерела. Додатково оцінюють гальмовий шлях, уповільнення при гальмуванні та одночасність спрацювання гальм на колесах.

Для об'єктивного діагностування автомобіля в цілому з використанням контрольно-вимірювальних засобів застосовують стенди з біговими барабанами, обладнані гальмовими установками та витратомірами.

Перевірку роботи ходової частини виконують за допомогою спеціальних діагностичних засобів. Ходова частина працює в складних умовах – через

постійний контакт із дорожнім покриттям, дію ударних навантажень, вплив пилю й бруду. Тому під час щоденного обслуговування виконують зовнішній огляд, перевіряють затягування гайок кріплення коліс, періодично контролюють тиск у шинах. При ТО-1, як правило, оцінюють стан і кріплення елементів підвіски.

Основні діагностичні операції щодо ходової частини виконуються під час ТО-2. На цьому етапі перевіряють відповідність кутів сходження, розвалу й повороту коліс нормативним значенням, а також кути нахилу шворнів. В елементах переднього моста визначають люфти у шкворневих з'єднаннях і підшипниках маточин керованих коліс. За нерівномірного зносу протектора шин перевіряють балансування коліс, жорсткість підвіски та ефективність роботи амортизаторів. Причиною нерівномірного або прискореного зносу може бути перекіс осей.

При діагностиці ходової частини особливу увагу приділяють елементам підвіски – ресорам, пружинам, амортизаторам. Від їх працездатності залежать плавність ходу, стійкість і безпека руху. Незадовільна плавність ходу призводить до підвищеної втоми водія й пасажирів, зростання динамічних навантажень на елементи автомобіля, скорочення його ресурсу та зниження продуктивності.

Встановлено, що на елементи передньої та задньої підвіски припадає до 10 % загальної кількості поточних ремонтів автомобіля. Найтипівішими несправностями підвіски є: поломка листів ресор і пружин, знос пальців і втулок ресор, пошкодження гумових буферів, знос амортизаторів, втулок стабілізаторів тощо.

Зовнішніми ознаками таких відмов є поява стукотів і шумів під час руху, а також слабо загасаючі коливання кузова при наїзді на нерівності. Загальний стан підвіски можна оцінити за величиною загасання коливань, викликаних, наприклад, скиданням колеса з невеликої висоти. Загасання вільних коливань відбувається внаслідок тертя між листами ресори, у шарнірах, амортизаторах та шинах.

Під час візуального контролю елементів підвіски перевіряють:

– наявність тріщин, поломок пружин і кронштейнів;

- люфти у сполученнях важелів, стійок амортизаторів і ресор;
- зазор між кузовом і кронштейнами осей важелів передньої підвіски;
- стан і якість гумових упорів.

Пружні властивості пружин і ресор оцінюють найпростішим способом – вимірюванням стріли прогину спеціальною лінійкою.

Діагностування пружин, ресор та амортизаторів безпосередньо на автомобілі може виконуватися на спеціальних площадках або барабанних стендах. У першому випадку колеса встановлюють на окремі майданчики, до яких прикладається вимушене вертикальне збудження. Після його вимкнення реєструючий пристрій фіксує процес загасання коливань. За величиною амплітуди роблять висновок про технічний стан амортизатора та, за необхідності, уточнюють характер несправності.

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗА НАДІЙНІСТЮ КОНСТРУКЦІЙ ПІДВІСОК ЛЕГКОВИХ АТЗ

2.1 Програма та методика проведення досліджень

На погіршення технічного стану автомобілів впливає широкий спектр чинників, основні з яких були розглянуті в розділі 1. Аналізу впливу кожної з груп цих чинників на надійність АТЗ присвячено значну кількість праць [15]. Проте, з огляду на те, що система експлуатації автомобільного транспорту є динамічною як з точки зору змін у конструкціях АТЗ, так і в умовах руху та режимах їх використання, закономірності зниження експлуатаційних властивостей і технічного стану АТЗ постійно трансформуються й потребують подальших досліджень. Це особливо актуально в умовах дії законів ринкової економіки в галузях машинобудування, автомобільного транспорту, технічного сервісу, будівництва та утримання автомобільних доріг.

Отримані в результаті таких досліджень дані мають слугувати основою для коригування як стратегічних, так і тактичних напрямів розвитку конструкцій АТЗ, дорожньої інфраструктури, підвищення якості дорожніх покриттів тощо. Найбільш суттєвий вплив стану дорожнього покриття на інтенсивність погіршення технічного стану легкових автомобілів проявляється саме на елементах їх підвіски, що безпосередньо знижує рівень безпеки транспортних процесів.

Для визначення показників експлуатаційної надійності елементів підвісок легкових автомобілів у магістерській кваліфікаційній роботі використано результати раніше проведених досліджень, базованих на експлуатації різних моделей автомобілів марки Seat у місті Львові.

Під час досліджень інформацію щодо експлуатаційної надійності елементів підвісок збирали протягом першого півріччя 2025 року за результатами діагностування технічного стану автомобілів на лінії інструментального контролю Bosch SDL-260, встановленій на станції технічного обслуговування БАТ «Галичина-Авто» (м. Львів).

Електронна діагностична лінія динамічної перевірки автомобілів Bosch SDL-260 (Німеччина) забезпечує:

- вимірювання гальмівних сил робочої та стоянкової гальмівних систем;
- визначення сумарного сходження коліс обох осей;
- оцінку стану підвіски автомобіля за амплітудою коливань після гальмування.

До складу лінії входять вимірювальні платформи, пристрій для визначення сумарного сходження коліс, спеціалізований дисплей та принтер.

Під час гальмування давачі фіксують силу, що діє на поверхню платформи. Сигнал із давачів безперервно сканується протягом усього часу гальмування й обробляється комп'ютерним блоком. На дисплеї висвітлюється максимальне значення гальмівної сили (у Н), а всі поточні значення з інтервалом 0,05 с виводяться на принтер у вигляді роздруківки. Дисплей обладнано кольоровим індикатором (зелений, жовтий, червоний), який відображає ефективність гальмування та нерівномірність гальмівних сил за осями.

Сумарне сходження коліс кожної осі визначають під час проїзду автомобіля через спеціальний пристрій, що складається з двох паралельно встановлених платформ – рухомої та нерухомої. Поперечне зміщення рухомої платформи, спричинене наявністю кута сходження, вимірюється вбудованим давачем і подається на оброблення комп'ютерним блоком. Величина сумарного сходження (у мм) відображається на дисплеї та друкується на принтері.

Застосування динамічного методу вимірювання дозволяє коректно визначати гальмівні зусилля навіть на автомобілях із постійним повним приводом. Під час проходження тесту швидкість автомобіля становить 5–10 км/год. Інформація про швидкість руху вимірюється автоматично й також виводиться на принтер. Уведення необхідних вихідних даних і керування роботою лінії здійснює майстер безпосередньо з автомобіля за допомогою пульта дистанційного керування.

Програма проведення досліджень передбачала:

а) збирання інформації про потоки надходжень АТЗ на СТО: час і кількість прийнятих автомобілів, їх пробіг, особливості прояву дефектів за суб'єктивними відомостями від водіїв;

б) діагностування підвісок АТЗ на лінії інструментального контролю та встановлення причин відмов;

в) опрацювання статистичними методами даних щодо вхідних потоків АТЗ на СТО та результатів діагностики елементів підвісок;

г) узагальнення отриманих результатів.

Спостереження й збір інформації виконували від моменту прийняття автомобіля на обслуговування. Під час первинного опитування водія уточнювали характер прояву несправностей. Далі проводили діагностичні операції на лінії інструментального контролю, аналізували їх результати з подальшим розбиранням дефектних вузлів підвіски та оцінюванням їх технічного стану. Завершальним етапом було виконання замінних і ремонтних операцій, оформлення записів у комп'ютерній базі даних СТО та супровідній документації. На основі сформованої бази даних отримано статистичні масиви щодо експлуатаційної надійності підвісок досліджуваних АТЗ.

За результатами проведених досліджень зроблено такі узагальнення:

1. Процеси втрати працездатності підвісок мають випадковий характер і відзначаються нестабільністю моментів настання відмов, значними значеннями дисперсії, середньоквадратичного відхилення та коефіцієнта варіації нерівномірності.

2. Широкий розкид показників надійності за окремими конструктивними елементами підвіски та моделями автомобілів свідчить, очевидно, про істотний вплив на їхню надійність низької якості дорожніх покриттів, значної кривини вуличної мережі в плані та високої інтенсивності транспортних потоків.

3. Отримані результати можуть бути використані як база для обґрунтування інженерних рішень, спрямованих на підвищення:

а) стабільності завантаження ремонтно-технологічного та діагностичного обладнання СТО;

- б) параметричної надійності підвісок АТЗ;
- в) якості дорожніх покриттів.

4. Вибір пріоритетних напрямів розвитку інженерних рішень щодо підвищення експлуатаційної надійності АТЗ доцільно здійснювати на основі порівняння показників «ціни надійності» транспортних засобів та обсягів інвестицій в утримання й розвиток мережі автомобільних доріг і об'єктів інфраструктури технічного сервісу.

Відповідно до пункту 4 наведених висновків у магістерській кваліфікаційній роботі виконано додаткове опрацювання результатів досліджень з метою визначення оптимальної періодичності технічного обслуговування підвіски легкових автомобілів Seat за техніко-економічним критерієм – на основі мінімізації сукупних витрат на проведення чергового діагностування та поточного ремонту.

2.2 Особливості конструкцій підвісок досліджуваних автомобілів

Конструктивні схеми підвісок досліджуваних автомобілів марки Seat є ідентичними, а їхні деталі уніфіковано з деталями підвісок автомобілів концерну Volkswagen AG.

У всіх розглянутих АТЗ застосовано незалежну передню підвіску важільно-телескопічного типу. Вона складається з таких основних елементів:

- амортизаційної стійки (переднього стояка), на якій розташовано пружину та буфер стиску (пружні елементи підвіски);
- поворотного кулака;
- поперечного важеля з штангою, що має кульовий шарнір.

Функції демпферного елемента виконує гідравлічний телескопічний амортизатор. Стабілізатор поперечної стійкості реалізовано у вигляді пружного П-подібного стрижня, розміщеного в передній частині автомобіля за напрямком руху.

Конструкція передньої підвіски автомобілів Seat для усіх досліджуваних моделей є однотипною, а її основні елементи наведено на рисунку 2.1.

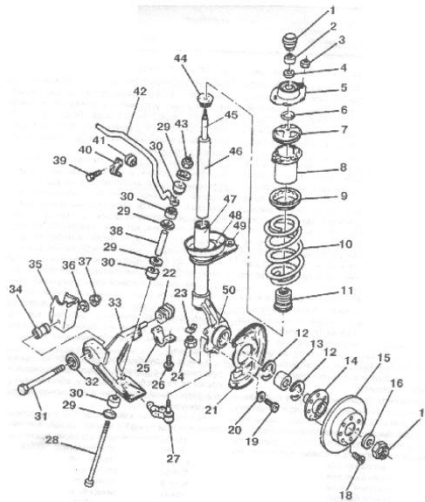


Рисунок 2.1 – Елементи конструкції підвіски переднього колеса автомобілів Seat: 1 - захисний ковпачок; 2, 3, 24, 37, 43 - гайки; 4, 20, 29, 32, 36 - шайби; 5 - верхня опора амортизаторної стійки; 6 - упорна шайба; 7 - пластмасова опора; 8 - захисна склянка; 9 - верхня опорна чашка; 10 - пружина підвіски; 11 - буфер ходу стиску; 12 - стопорне кільце; 13 - підшипник маточини; 14 - маточина колеса; 15 - гальмівний диск; 16 - стопорна шайба; 17 - фасонна гайка; 18, 19 - гвинт; 21 - захисний кожух; 22 - втулка заднього шарніра важеля підвіски; 23 - чека; 25, 40 - кронштейни; 26, 28, 31, 39 - болти; 27 - кульова опора; 30 - втулка стабілізатора; 33 - важіль підвіски; 34 - втулка переднього шарніра важеля підвіски; 35 - елемент корпусу кузова автомобіля; 38 - розпірна втулка; 41 - подушка стрижня стабілізатора; 42 - стрижень стабілізатора; 44 - гайка корпусу стійки; 45 - шток; 46 - циліндр; 47 - корпус стійки; 48 - нижня опорна чашка; 49 - поворотний важіль; 50 - поворотний кулак

У верхній опорі амортизаційної стійки розміщено гумовий пружний елемент, який забезпечує можливість просторового хитання стійки під час роботи підвіски та додаткове гасіння вібрацій. Тут же встановлено упорний кульковий підшипник, що слугує опорою для верхньої чашки пружини і забезпечує вільне обертання стійки під час повороту колеса.

У середній частині корпусу стійки приварено поворотний важіль, через який здійснюється поворот стійки, необхідний для зміни напрямку руху автомобіля.

Корпус стійки конструктивно об'єднаний із поворотним кулаком. До поворотного кулака кріпиться захисний кожух гальмового диска. В отворі

поворотного кулака за допомогою стопорних кілець закріплено дворядний підшипник маточини колеса.

Нижня частина поворотного кулака шарнірно з'єднана з важелем підвіски через кульову опору. Палець кульової опори фіксується в поворотному кулаку гайкою, тоді як корпус опори закріплений на важелі підвіски шляхом заклепкового з'єднання.

Задня підвіска автомобіля Seat є незалежною. Її основним елементом є балка, що складається з двох подовжніх важелів, пружно з'єднаних поперечним елементом. Важелі та з'єднувач мають У-подібний переріз, при цьому поперечний з'єднувач зміщений уперед відносно осі коліс і розташований поблизу точок шарнірного кріплення важелів до кузова. Така схема балки задньої підвіски забезпечує високу жорсткість на згин і водночас малу жорсткість на кручення, що дозволяє колесам переміщуватися відносно одне одного практично незалежно при русі по нерівній дорозі.

Балка задньої підвіски виконує функції напрямного елемента. Пружними елементами слугують дві циліндричні гвинтові пружини. Демпфування коливань здійснюється гідравлічними телескопічними амортизаторами. Роль стабілізатора поперечної стійкості виконує пружний стрижень.

Окремі елементи конструкції задньої підвіски автомобіля Seat наведено на рисунку 2.2.

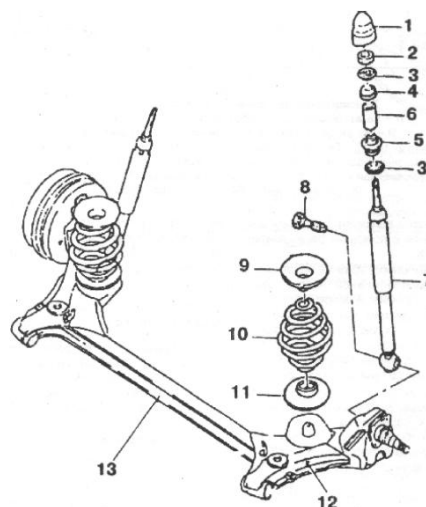


Рисунок 2.2 – Елементи конструкції пружного, направляючого і демпферного пристроїв задньої підвіски:

1 - захисний ковпачок; 2 - гайка; 3 - верхня (нижня) обойма подушки; 4 - верхня подушка амортизатора; 5 - нижня подушка амортизатора; 6 - втулка; 7 - амортизатор; 8 - болт; 9 - верхня опорна чашка; 10 - пружина підвіски; 11 - нижня опорна чашка; 12 - важіль; 13 - з'єднувач.

2.3 Оцінка надійності конструкцій підвісок та визначення періодичності їх технічного обслуговування

У межах проведених досліджень увагу зосереджено на тих елементах підвіски, які найчастіше виходили з ладу та потребували ремонту. До них належать:

- задній амортизатор;
- верхня опора переднього амортизаційного стояка;
- кульовий шарнір передньої підвіски;
- підшипники маточин коліс.

Упродовж досліджуваного періоду (1.03.25–9.09.25) на СТО було прийнято 144 автомобілі Seat, які надійшли саме через відмови зазначених конструктивних елементів підвіски. Із цієї кількості 25 автомобіль моделі Seat Leon мав пробіги в межах 3100–42100 км, тоді як 25 автомобілів моделі Seat Ateca – пробіги 4100–49120 км.

За результатами опитування водіїв встановлено, що основними проявами дефектів були: сторонні стуки в зоні підвіски та підтікання робочої рідини з верхньої частини амортизаторів, що свідчить про деградацію їх робочих властивостей.

Для оброблення експериментальних даних у середовищі Statistica 6.0 було використано масиви інформації (див. додаток А). На їх основі проведено статистичний аналіз пробігів автомобілів Seat до відмов елементів підвіски та виконано спробу узгодження фактичних даних зі стандартними законами розподілу.

У ході опрацювання даних було виконано такі етапи:

1. Сформовано варіаційний ряд – значення пробігу автомобілів Seat на відмови елементів підвіски впорядковано за зростанням.

2. Визначено параметри статистичного ряду, зокрема: кількість інтервалів; ширину інтервалів; математичне сподівання; дисперсію; середньоквадратичне відхилення; коефіцієнт варіації пробігу до відмови.

3. Побудовано гістограми розподілу пробігів до відмов для різних конструктивних елементів підвіски з подальшою оцінкою форми та характеру розподілу.

Як приклад, у таблиці 2.1 наведено статистичний ряд для пробігів до відмов елементів підвіски автомобілів Seat, складений на основі отриманого масиву даних.

Таблиця 2.1 – Статистичний ряд розподілу пробігу автомобілів Seat (разом) на відмови елементів їх підвіски

C	$Kарман$	$Частота$	$C_{r-1}; C_i$	$\sum r(\Delta t)$	N_{cp}	$\frac{\sum r(\Delta t) \times (\sum r(\Delta t) \times h)}{h}$	w_i	$w_i \times 100\%$	$\sum r(t)$	$Q(t)$	$N_{CP-t_{exp}}$	$(N_{CP-t_{exp}}) \sum r(\Delta t)$	$P(t)$
C_1	8	6	2;8	6	5	0,020000	0,12	12%	6	0,12	-20,64	-123,8	0,88
C_2	14	8	8;14	8	11	0,026700	0,16	16%	14	0,28	-14,64	-117,1	0,72
C_3	20	7	14;20	7	17	0,023300	0,14	14%	21	0,42	-8,64	-60,5	0,58
C_4	26	3	20;26	3	23	0,010000	0,06	6%	24	0,48	-2,64	-7,9	0,52
C_5	32	7	26;32	7	29	0,023300	0,14	14%	31	0,62	3,36	23,5	0,38
C_6	38	5	32;38	5	35	0,016700	0,1	10%	36	0,72	9,36	46,8	0,28
C_7	44	10	38;44	10	41	0,033300	0,2	20%	46	0,92	15,36	153,6	0,08
C_8	50	4	44;50	4	47	0,013300	0,08	8%	50	1	21,36	85,4	0

На основі даних таблиці 2.1 визначаємо:

- математичне сподівання пробігу на відмови - 23,6 тис. км;
- дисперсія пробігу на відмови - 172,5 тис. км;
- середньоквадратичне відхилення - 13,1 тис. км;
- коефіцієнт варіації – 55,6 %.

На рис. 2.3 показано гістограми розподілу пробігів автомобілів Seat на відмови через втрату працездатності їх підвісок. На рис. 2.3, а показано спробу узгодження з розподілом Вейбула, а на рис. 2.3, б – нормальним.

Через великий розкид і нерівномірність пробігів автомобілів Seat на відмови узгодження їх з законами розподілу неможливе. Значення математичного сподівання пробігів на відмови для автомобілів Seat складає 50837 км (50 автомобілів). При коефіцієнтах варіації відповідно 69 % і 97 %.

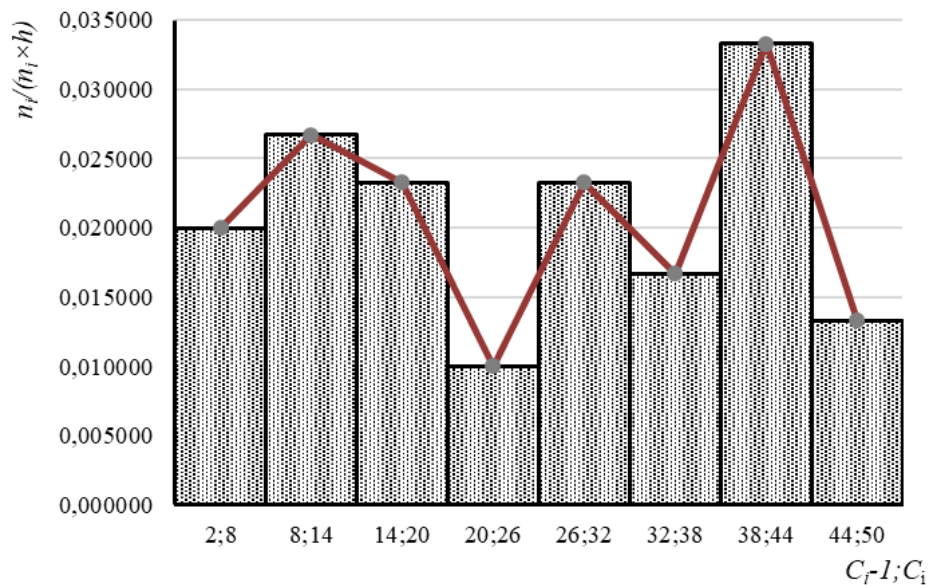


Рисунок 2.3 – Гістограми розподілу пробігів автомобілів *Seat* на відмови через втрату працездатності їх підвісок

На рис. 2.4. показано емпірична функція розподілу $Q(t)$ – це *статистичний опис того, як розподілені дані у вибірці*. Вона показує, яка частка всіх елементів не перевищує заданого значення t .

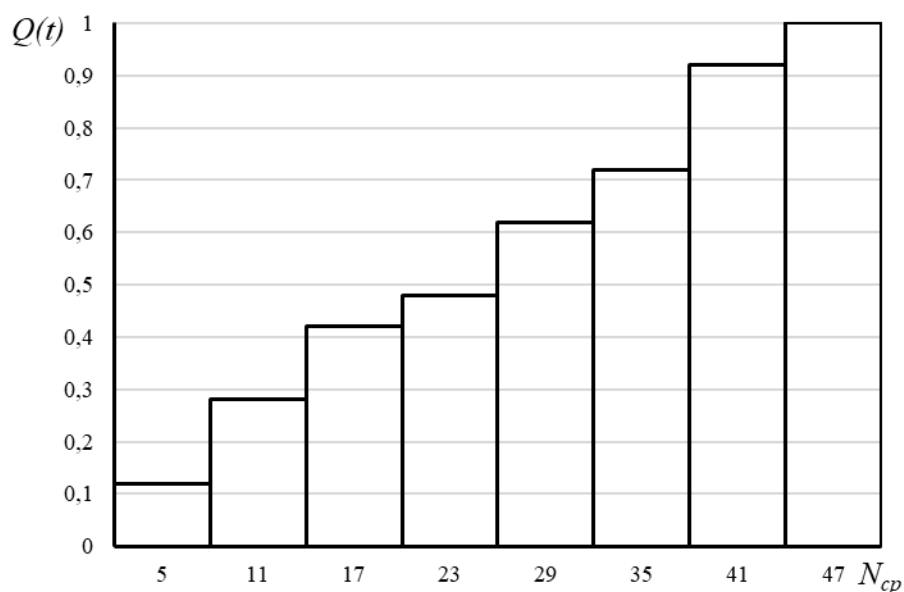


Рисунок – 2.4 – Емпірична функція розподілу $Q(t)$

Результатом проведених досліджень стало отримання математичного сподівання пробігу автомобілів *Seat* на відмови, яке склало 23,6 тис. км.

Результати будуть використані при плануванні оптимальної періодичності технічного обслуговування підвісок АТЗ за мінімальних сумарних затрат з критерієм оптимізації періодичності ТО з використанням мінімуму функції сумарного ризику.

Порівнювалися також аналогічні показники експлуатаційної надійності конструкцій підвісок окремих марок вітчизняних та закордонних автомобілів (табл. 2.2). За показниками розподілів інтервалів вхідних потоків лінії інструментального контролю СТО $\bar{t}_B$ та інтенсивності відмов $\bar{x}$ найнадійнішими є конструкції підвісок автомобілів *Seat* ($\bar{t}_B=9,38$ дн; $\bar{x}=0,12$ од/дн).

Таблиця 2.2 – Показники надійності конструкцій підвісок автомобілів *Seat*

Автомобілі	Кількість АТЗ, од	Інтервали між замовленнями/щоденні надходження			
		t_B , дн/ $\bar{x}$, од/дн	D_t , дн/ D_x , од	σ_t , дн/ D_x , од	v_t , %/ v_x , %
Leon	25	6,19/0,17	96,04/45,21	9,80/26,47	158,32/155,29
Ateca	25	9,38/0,12	172,70/62,32	13,14/20,42	140,16/170,17

Графік зміни ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$ в залежності від напрацювання – це крива надійності або функція надійності. Це функція надійності, яка показує, з якою ймовірністю автомобілі *Seat* буде працювати без відмови до моменту часу t .

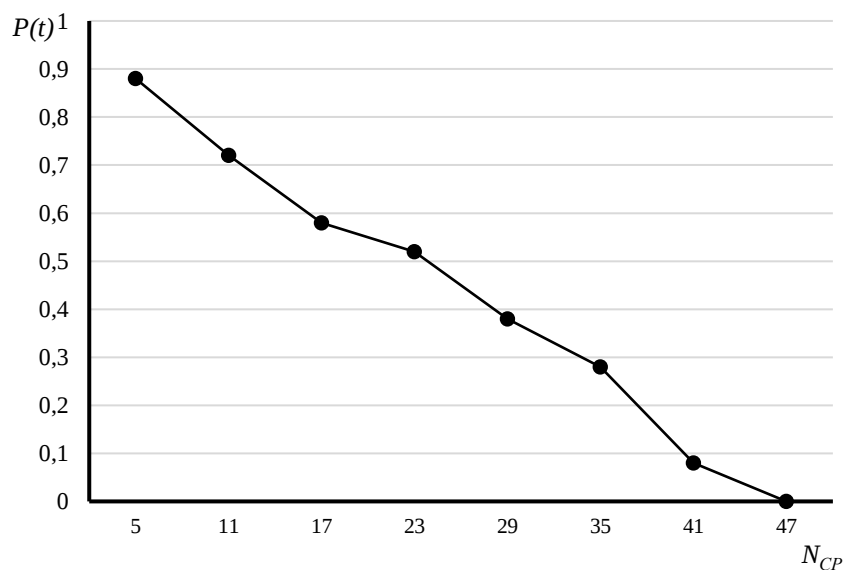


Рисунок 2.5 – Графік зміни ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$ в залежності від напрацювання

Графік зміни ймовірності відмови $Q(t)$ в залежності від напрацювання – це функція розподілу часу до відмови або крива відмов. Це функція розподілу відмов, яка показує, з якою ймовірністю автомобілі Seat вже відмовили до моменту часу t .

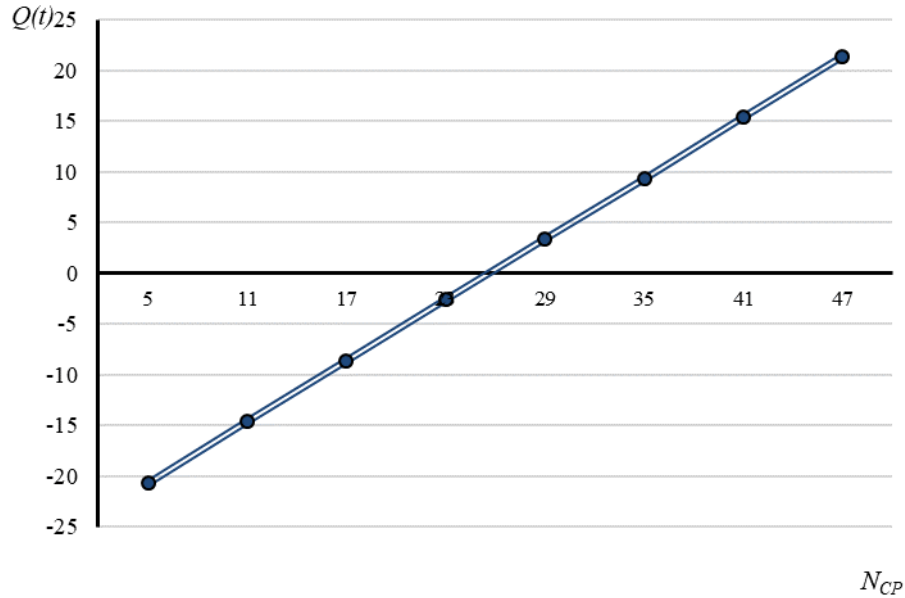


Рисунок 2.6 – Графік зміни ймовірності відмови $Q(t)$ в залежності від напрацювання

Графік зміни частоти відмов – це крива інтенсивності відмов або функція інтенсивності відмов. Він показує як часто відбуваються відмови в різні моменти часу при зростанні напрацювання та описує ймовірність відмови в одиницю часу, якщо об'єкт ще працює до моменту t .

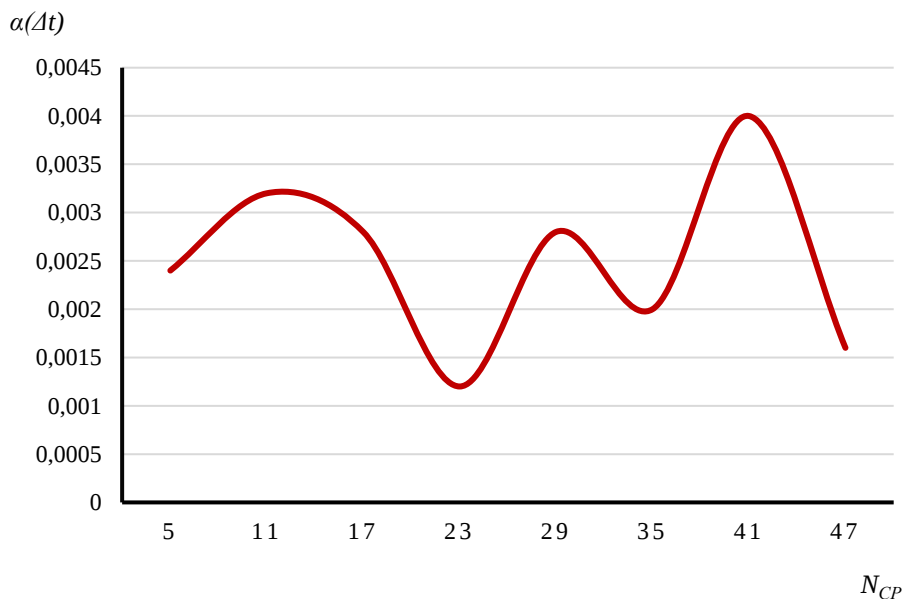


Рисунок 2.7 – Графік зміни частоти відмов залежно від напрацювання

Графік зміни інтенсивності відмов $\lambda(\Delta t)$ – це крива, яка показує, як змінюється імовірність відмови в одиницю часу, якщо система допрацювала до цього моменту. Це один із ключових графіків у теорії надійності. Графік $\lambda(\Delta t)$ показує як часто відмовляє система на різних етапах свого ресурсу. Це умовна ймовірність відмови саме в інтервалі часу Δt , за умови, що автомобіль ще не відмовив до цього моменту.

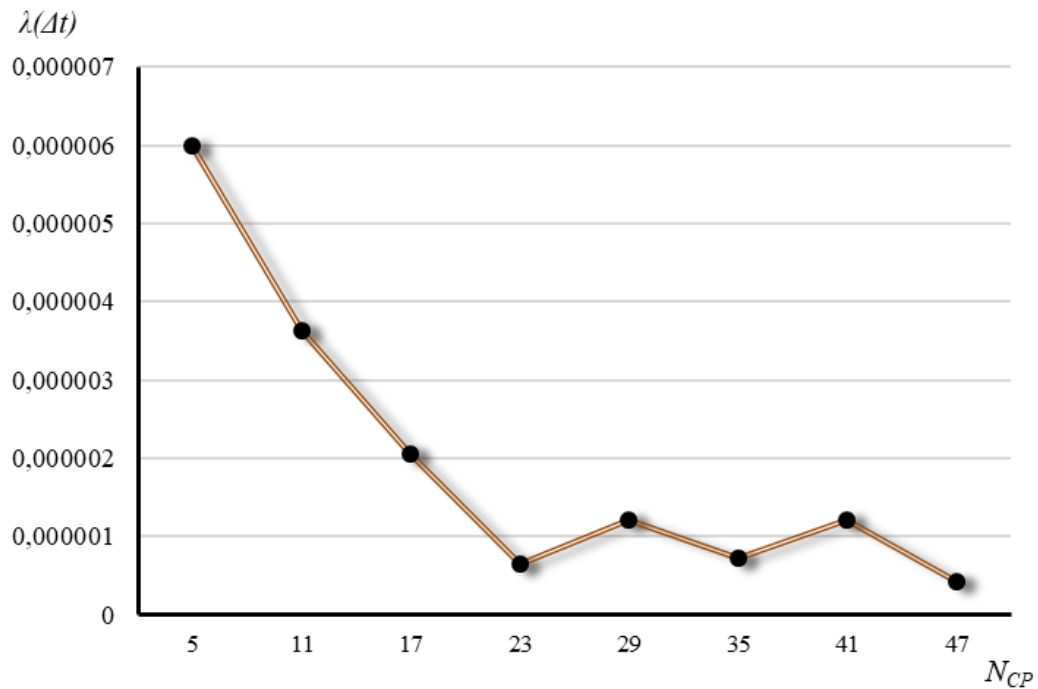


Рисунок 2.8 – Графік зміни інтенсивності відмов $\lambda(\Delta t)$ залежно від напрацювання.

3. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ ТА СКЛАДАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЇХ ДІАГНОСТУВАННЯ

3.1. Обґрунтування структурних параметрів систем для визначення фактичного рівня їх технічного стану

Ефективне розв'язання задач технічного діагностування автомобілів можливе лише за умови наявності науково обґрунтованих, експериментально перевірених і зручних у практичному застосуванні методів та засобів визначення технічного стану агрегатів, систем, спряжень і прогнозування їх ресурсу.

У процесі діагностування автомобілів застосовують широкий спектр методів та діагностичних засобів, які постійно удосконалюються завдяки розвитку сучасних науково-технічних рішень. Широке впровадження обчислювальної техніки суттєво розширило можливості діагностування. Доведено, що чим більш досконалішими є методи і засоби діагностики, тим точніше та надійніше визначаються фактичний технічний стан автомобіля і його залишковий ресурс.

Основу процесу діагностування становить фіксація змін конструктивно-технологічних параметрів машини за сукупністю ознак – діагностичних параметрів, що підлягають вимірюванню. Останні визначаються за зовнішніми проявами, які відображають зміну технічного стану систем та спряжень машини. Частина таких зовнішніх ознак одночасно є параметрами робочих процесів [22]. Для АТЗ до них належать, наприклад, потужність двигуна, витрата палива чи моторної оливи, гальмівний шлях тощо. Зазвичай ці параметри вимірюють під час роботи автомобіля, переважно на найбільш типовими режимами, які відповідають реальним умовам експлуатації або є наближеними до них.

Параметри робочих процесів найбільш повно і комплексно відтворюють технічний стан окремого агрегату, механізму або автомобіля в цілому. Водночас зовнішні ознаки типу стуку, шуму, вібрації, димності, підвищеного нагрівання тощо характеризують стан конкретних механізмів чи спряжень – тобто окремих елементів (або систем) автомобіля. Частина таких параметрів

може контролюватися в неробочому (статичному) стані, коли досліджувані елементи не виконують своїх функцій. Подібні вимірювання, як правило, є простішими в організації, але не завжди дозволяють адекватно оцінити стан деталей та вузлів під час реальної експлуатаційної роботи.

Особливістю діагностичних параметрів складальних одиниць механізмів та агрегатів автомобіля є те, що вони можуть мати як механічну, так і електричну природу сигналів. Стосовно ходової частини автомобіля Seat, у його підвісці відсутні електричні сигнали, оскільки конструкцією не передбачено систем керування кліренсом, активної підвіски, контролю зносу шин чи тиску в них тощо.

Під час розроблення методик діагностування діагностичні параметри обирають із множини принципово можливих, звужуючи їх до обмеженого набору, який згодом аналізують на предмет інформативності. Якість діагностування значною мірою визначається коректністю вибору цих параметрів.

Якщо розглядати процес діагностування ходової частини автомобіля, то найбільш складною в цьому аспекті є підвіска. Для її перевірки необхідне використання спеціалізованих вимірювальних засобів, які забезпечують достовірне визначення технічного стану елементів і правильне формулювання діагнозу. Про складність діагностики підвіски свідчить значна кількість відмов і несправностей, що виникають у вузлах ходової частини (табл. 3.1).

Велика кількість можливих ознак ускладнює процес діагностування, оскільки вимагає:

- застосування складних вимірювально-обчислювальних засобів;
- наявності бази нормативних значень параметрів технічного стану;
- розширеної бази знань щодо характеру можливих відмов.

У таблиці 3.2 наведено основні параметри, які використовують для контролю та регулювання підвіски автомобілів сімейства Seat.

Таблиця 3.1. – Основні ознаки несправностей, можливий діагноз і прилади для перевірки ходової частини автомобіля

Вид	Ознака несправності	Діагноз (несправність)	Прилад для перевірки
1	2	3	4
Ходова частина автомобіля	Плямистий знос шин передніх коліс	незадовільна робота передніх амортизаторів; послаблені різьбові з'єднання кріплення передньої підвіски; значний від'ємний кут поздовжнього нахилу осі повороту передніх коліс; значний дисбаланс керованих коліс; значний зазор у підшипниках маточини керованих коліс; биття гальмівного диску; значне радіальне чи осьове биття шин; значний знос втулок важеля підвіски; значне від'ємне чи додатне сходження керованих коліс.	Bosch SDL-260, балансувальний стенд
	Зношення центральної частини протектора	експлуатація шин при підвищеному тиску у шинах	Манометр
Ходова частина автомобіля	Зношення зовнішніх частин протектора	експлуатація шин при пониженому тиску у шинах; неправильна робота кермової трапеції.	Манометр, ПКО-4
	Конусне зношення шин керованих коліс	великий розвал коліс при збільшеному сходженні керованих коліс	Bosch SDL-260
	Прискорене зношення шин керованих коліс	велике сходження керованих коліс	Bosch SDL-260
	Зношення шин задніх коліс з правої частини	задній міст повернений за годинниковою стрілкою	Bosch SDL-260
	Зношення шин задніх коліс з лівої частини	задній міст повернений проти годинникової стрілки	Bosch SDL-260
	Зношення внутрішніх частин протектора коліс заднього моста	балка заднього моста деформована так, що колеса мають великий від'ємний розвал	Bosch SDL-260
	Слід від задніх і передніх коліс не співпадає	задній міст зміщений	Bosch SDL-260

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4
Ходова частина автомобіля	Зношення зовнішніх частин протектора коліс заднього моста	балка заднього моста деформована так, що колеса мають великий додатний розвал	Bosch SDL-260
	Зношення шин коліс заднього моста рівномірний, але пришвидшений відносно переднього моста	балка заднього моста деформована так, що наявне сходження задніх коліс	Bosch SDL-260
	Автомобіль на великій швидкості відводить то вліво, то вправо	задній міст зміщений	Bosch SDL-260
	Автомобіль відводить вліво або вправо	різний кут поздовжнього нахилу осі повороту передніх коліс; різний розвал передніх коліс	Bosch SDL-260
Ходова частина автомобіля	Крен кузова	поломка витків пружини з того боку, куди нахилений кузов; залишкова деформація пружин	Візуально
	Підтікання рідини із амортизаторів	усадка ущільнюючого кільця резервуара чи послаблення затягування гайки; знос гумових сальників штока; задири або риски на штоці; знос штока; недостатня кількість рідини	Візуально
	Постійні пробої задньої підвіски і удари при переїзді нерівностей	перевантажений автомобіль; пружини втратили пружність; поломка витків пружини; незадовільна робота амортизаторів	Bosch SDL-260
	Пробої які супроводжуються металевими стуками	пошкоджені гумові відбійники, які обмежують хід підвіски	Візуально
Ходова частина автомобіля	Скрип у передньому мості	знос гумових втулок; відсутність змащення в кульових шарнірах	Візуально
	На великій швидкості кермо вібрує	великий дисбаланс передніх коліс; змінені кути встановлення передніх коліс	Bosch SDL-260, балансувальний стенд
	Незадовільне зусилля при ході віддачі	нещільне прилягання клапана віддачі; поломка чи надмірний знос ущільнюючих кілець; задири на поршні, кільцях чи циліндрі	Візуально

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4
	Незадовільне зусилля при ході стиску	деформація тарілки великого клапана; наявність нерівностей під тарілку на корпусі клапана стиску; нещільне перекриття клапана стиску через попадання сторонніх предметів	Візуально
	Стуки і скрипи в амортизаторі	ослаблення кріплення або не співпадають осі кріплення; завелика кількість рідини в амортизаторі;	Візуально

Таблиця 3.2 – Основні дані для регулювання і контролю підвіски автомобілів сімейства Seat

Назва параметру технічного стану	Значення параметра
Передня підвіска	
Відстань від опорної поверхні до передньої частини важеля, мм	195
Відстань від опорної поверхні до задньої частини важеля, мм	191
Кут розвалу передніх коліс	-1°10'...20'
Різниця між кутами розвалу передніх коліс	1°
Кут сходження передніх коліс (завантаження автомобіля – 2 особи)	-10'...10'
Кут поздовжнього нахилу осі повороту колеса (кермове колесо без підсилювача)	30'...2°30'
Кут поздовжнього нахилу осі повороту колеса (кермове колесо з підсилювачем)	1°45'...3°45'
Різниця між кутами поздовжнього нахилу осі повороту передніх коліс, не більше	1°
Задня підвіска	
Довжина різі штока амортизатора над торцем гайки кріплення, мм	9,0
Кут розвалу задніх коліс	-2°...-1°10'
Різниця між кутами розвалу задніх коліс	30'
Кут сходження задніх коліс (завантаження автомобіля – 2 особи)	-10'...40'
Різниця між кутами сходження задніх коліс, не більше	15'

На основі аналізу даних табл. 3.1 усі параметри технічного стану (структурні параметри), зміна яких призводить до виникнення несправностей, доцільно згрупувати залежно від способу вимірювання:

- параметри, що визначаються як зноси;
- параметри, які виражаються кутовими величинами (у градусах);
- параметри, що характеризують тиск.

Вже на цьому етапі можна відзначити суттєву відмінність між контролем тиску в шинах та визначенням решти показників.

Для підвіски легкового автомобіля вирішальне значення мають саме величини зносу окремих елементів. Однак їх вимірювання без розбирання механізмів, як правило, є неможливим, що зумовлює потребу у застосуванні складних технічних засобів діагностики.

Зважаючи на те, що вплив окремих параметрів на технічний стан системи є нерівнозначним, з усієї їх множини необхідно виділити ті, які найбільше впливають на зміну працездатності підвіски. Саме вони й мають стати основою для побудови раціональної системи діагностування.

3.2. Формулювання робочої гіпотези щодо вибору параметрів діагностування систем та агрегатів

Як показують результати аналізу (підрозділ 3.1, табл. 3.1, 3.2), для оцінювання технічного стану підвіски легкового автомобіля використовується 12 діагностичних параметрів. Вихід кожного з них за допустимі межі свідчить про певний ступінь погіршення технічного стану і відповідно – про зниження працездатності підвіски АТЗ.

Під час проектування технологічного процесу діагностування виникає задача раціонального скорочення числа контрольно-вимірювальних операцій за одночасного підвищення точності вимірювання та достовірності діагнозу [18]. З іншого боку, потрібно дотримуватися загального критерію мінімізації витрат на експлуатацію, технічне обслуговування і ремонт об'єкта діагностування.

Як зазначено в розділі 1, технічне діагностування спрямоване на розв'язання трьох основних задач:

1. встановлення факту працездатності об'єкта;
2. виявлення та локалізація несправності й відмови;
3. визначення залишкового ресурсу.

Для кожної з цих задач формується окремий методологічний підхід, на основі якого будують відповідний алгоритм діагностування.

Побудові алгоритму завжди передуює аналіз статистичної інформації щодо відмов та несправностей, що найчастіше повторюються. На базі такого аналізу формують структурні схеми, які відображають логічний ланцюг:

об'єкт діагностування (автомобіль) → агрегат → система / механізм → вузол → елемент → структурний параметр.

Кількість ланок може змінюватися залежно від складності системи чи агрегату. Кожна з них відповідає певному рівню пошуку несправності (технологічному кроку).

У спрощеній схемі алгоритму діагностування АТЗ (рис. 3.1) для пошуку несправностей передбачено 7 рівнів. Для підвіски автомобіля ці рівні можна подати так:

Перший (найвищий) рівень – оцінка загального технічного стану автомобіля.

Другий рівень – контроль основних агрегатів: 1.1 – двигун; 1.2 – ходова частина; 1.3 – коробка передач; 1.4 – гальмівна система; 1.5 – трансмісія; 1.6 – кузов.

Третій рівень – діагностування по вузлах, механізмах і системах окремих агрегатів: 2.1 – рама (несучий кузов); 2.2 – колеса; 2.3 – підвіска; 2.4 – мости.

Четвертий рівень – контроль основних вузлів, що формують механізм або систему (для передньої підвіски): 3.1 – важіль підвіски в зборі; 3.2 – стійка передньої підвіски в зборі; 3.3 – стабілізатор поперечної стійкості в зборі; 3.4 – маточина колеса в зборі.

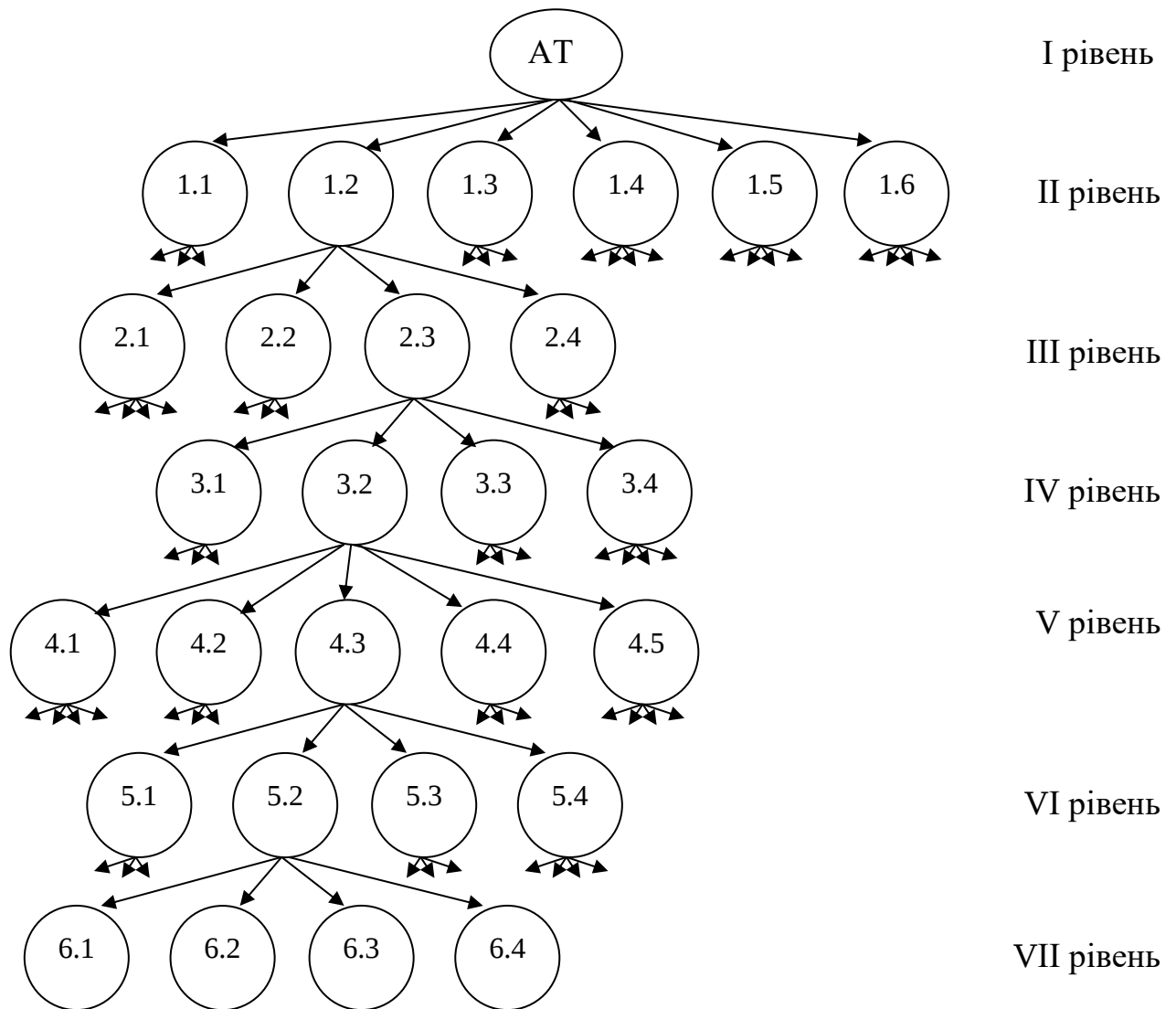


Рисунок 3.1 – Спрощена схема рівнів алгоритму діагностування АТЗ при пошуку несправності

П'ятий рівень – контроль деталей, за якими найбільш часто фіксуються відмови: 4.1 – верхня опора амортизаційної стійки; 4.2 – пружина; 4.3 – амортизатор; 4.4 – нижня опорна чашка; 4.5 – верхня опорна чашка.

Шостий рівень – контроль елементів і спряжень, визначених на основі аналізу статистики відмов з урахуванням показників надійності: 5.1 – клапан віддачі – сідло; 5.2 – ущільнювальне кільце – шток; 5.3 – ущільнювальне кільце – циліндр; 5.4 – клапан стиску – сідло.

Сьомий рівень – оцінка структурних параметрів, що безпосередньо визначають технічний стан системи чи механізму, зокрема: 6.1 – наявність задирів на поверхні штока; 6.2 – цілісність ущільнювального кільця; 6.3 –

геометричні розміри ущільнювального кільця; 6.4 – геометричні розміри штока (діаметр, конусність, овальність).

У більш складних схемах додатково показують взаємозв'язок між структурними й діагностичними параметрами, що дає змогу за зміною останніх однозначно встановлювати, в яких деталях виникла відмова. Побудова таких схем потребує значних масивів статистичних даних і потужних засобів діагностики для зчитування та обробки параметрів.

З метою скорочення тривалості, трудомісткості та вартості діагностування важливо обрати обмежену, але достатньо інформативну групу діагностичних параметрів. Їх фактичні значення порівнюються з нормативними, що дає можливість приймати однозначні рішення щодо необхідних регулювань, ремонту або заміни.

Враховуючи наведене, формулюється робоча гіпотеза:

у системі існує один або декілька структурних параметрів, які функціонально та однозначно впливають на перебіг робочих процесів і, відповідно, на технічний стан. Серед усієї множини таких параметрів можливо виділити невелику підмножину, яка (за умови застосування відповідних засобів діагностування, бази знань і бази даних) забезпечує прийняття оперативних рішень щодо подальших ремонтно-обслуговувальних і діагностичних дій.

Загальноприйнято, що для повної діагностики підвіски автомобіля необхідно виконати такі операції:

- вимірювання сходження передніх і задніх коліс;
- перевірка кутів розвалу передніх і задніх коліс;
- визначення кутів поздовжнього нахилу осі повороту передніх коліс;
- оцінювання різниці між кутами поздовжнього нахилу осі повороту;
- вимірювання відстані від опорної поверхні до задньої частини важеля;
- вимірювання відстані від опорної поверхні до передньої частини важеля;
- контроль стану втулок стабілізатора передніх коліс;
- контроль стану втулок важеля підвіски;
- перевірка стану кульових шарнірів;

- оцінювання стану підшипників маточин передніх і задніх коліс;
- перевірка працездатності амортизаторів;
- оцінка стану верхніх і нижніх опор стояків;
- перевірка стану пружин підвіски.

Кути розвалу та поздовжнього нахилу осі повороту передніх коліс, як правило, не підлягають регулюванню, а їх номінальні значення відновлюють заміною відповідних деталей.

Повний обсяг таких перевірок потребує значних зусиль та витрат, тому виникає необхідність звужити номенклатуру діагностичних операцій без втрати інформативності.

З урахуванням висунутої гіпотези, з усієї сукупності діагностичних параметрів виділяють чотири основні:

- сходження передніх коліс;
- розвал передніх коліс;
- стан амортизаторів передніх і задніх коліс;
- стан підшипників маточин передніх і задніх коліс.

Кожен із цих параметрів опосередковано відображає цілу групу структурних параметрів і суттєво впливає на показники роботи підвіски автомобіля Seat.

Отже, саме за значенням цих чотирьох діагностичних параметрів доцільно оцінювати загальний технічний стан підвіски легкового автомобіля Seat (справний / несправний). Вони охоплюють усю номенклатуру структурних показників, а отже, забезпечують комплексну оцінку стану підвіски.

Узагальнений вигляд алгоритму діагностування відповідно до запропонованої гіпотези подано на рис. 3.2.

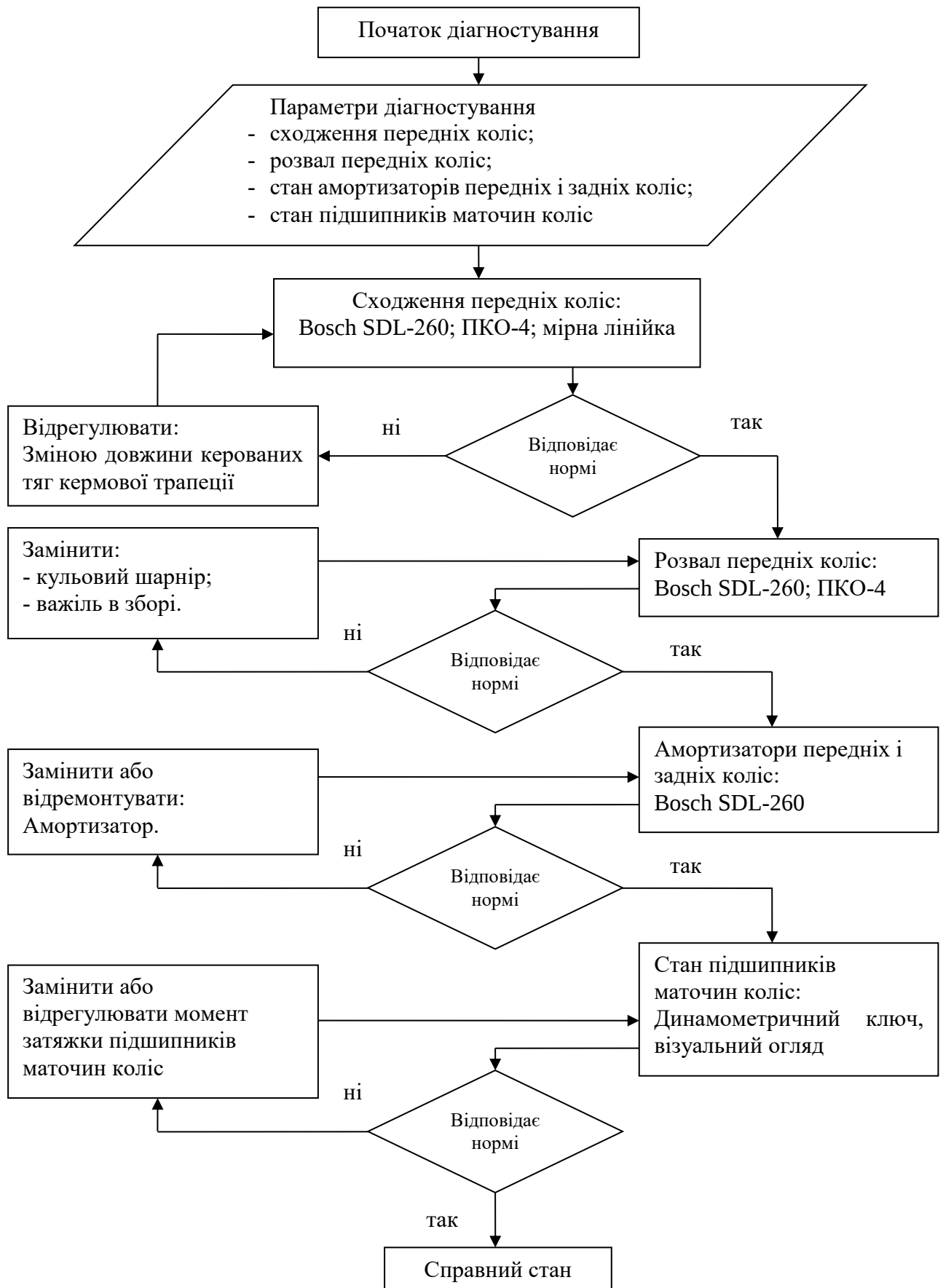


Рисунок 3.2 – Алгоритм пошуку несправності згідно висуненої гіпотези

3.3 Формалізація станів складальних одиниць систем та складання математичної моделі їх діагностування (матричний підхід)

Безпосереднє моделювання складної технічної системи як єдиного цілого, як правило, є утрудненим через велику кількість елементів і складність зв'язків між ними. Тому при побудові математичної моделі систему розбивають на окремі елементи, які розглядаються як неподільні складові. Єдиною незалежною неперервною змінною, яку при цьому зазвичай залишають, є час.

Поведінку більшості фізичних підсистем можна описати за допомогою так званих фазових змінних – величин, що характеризують фізичний чи інформаційний стан моделі. Наприклад:

- для електричних підсистем фазовими змінними є струм і напруга;
- для механічних – сили, переміщення, швидкості;
- для гідравлічних – витрата і тиск.

Закони функціонування елементів підсистем задаються компонентними рівняннями, які встановлюють зв'язки між відповідними фазовими змінними для кожного елемента технічної системи.

У більшості фізичних підсистем виділяють три базові типи елементів:

- елементи дисипації (розсіювання) енергії – аналог елементів типу опору R ;
- елементи накопичення потенціальної енергії – аналог ємності C ;
- елементи накопичення кінетичної енергії – аналог індуктивності L .

Сукупність таких елементів, а також джерел фазових змінних (напруги E , потоку I тощо) може бути використана як основа для побудови математичних моделей технічних систем практично будь-якої складності. Взаємні аналогії між компонентами та фазовими змінними підсистем різної фізичної природи наведено в табл. 3.3.

Конструкція підвіски автомобіля поєднує елементи механічної поступальної підсистеми (пружина, важіль, стабілізатор, кермова трапеція, кульові шарніри), обертової підсистеми (підшипники маточин коліс) та гідравлічної (амортизатори). Виділення теплових потоків, пов'язаних із тертям

(наприклад, у демпфуючих елементах), на цьому етапі моделювання можна знехтувати.

Таблиця 3.3 – Компоненти і фазові змінні підсистем технічних систем

Підсистема	Фазові змінні		Компоненти		
	Сила	Швидкість	Опір тертя	Маса	Пружність
Механічна поступальна	Сила	Швидкість	Опір тертя	Маса	Пружність
Електрична	Струм	Напруга	Опір	Ємність	Індуктивність
Механічна обертальна	Момент сил	Кутова швидкість	Опір тертя	Момент інерції	Обертальна гнучкість
Гідравлічна/ пневматична	Розхід рідини/ газу	Тиск	Опір тертя	Гідравлічна ємність	Гідравлічна індуктивність
Теплова	Тепловий потік	Температура	Тепловий опір	Теплоємність	Немає фізичного змісту

Аналіз літературних джерел показав, що для опису процесів у структурно складних системах доцільним є матричний підхід, широко застосовуваний для діагностування лінійних електричних кіл. Такий підхід дозволяє виявляти одиничні та кратні дефекти елементів схеми.

Зазначений метод орієнтований на електричні кола, що містять практично довільну кількість резистивних елементів. Глибина діагностування визначається кількістю вузлів кола, до яких можна під'єднати вимірювальні засоби (контрольні виводи).

У даній роботі запропоновано замінити механічно-гідравлічну підсистему підвіски еквівалентною електричною схемою з метою подальшого застосування матричного підходу. Метод проілюстровано на прикладі діагностування передньої підвіски легкового автомобіля.

На рис. 3.3 наведено: а) спрощену принципову схему передньої підвіски автомобіля *Seat*; б) еквівалентну електричну схему підвіски у вигляді послідовності опорів.

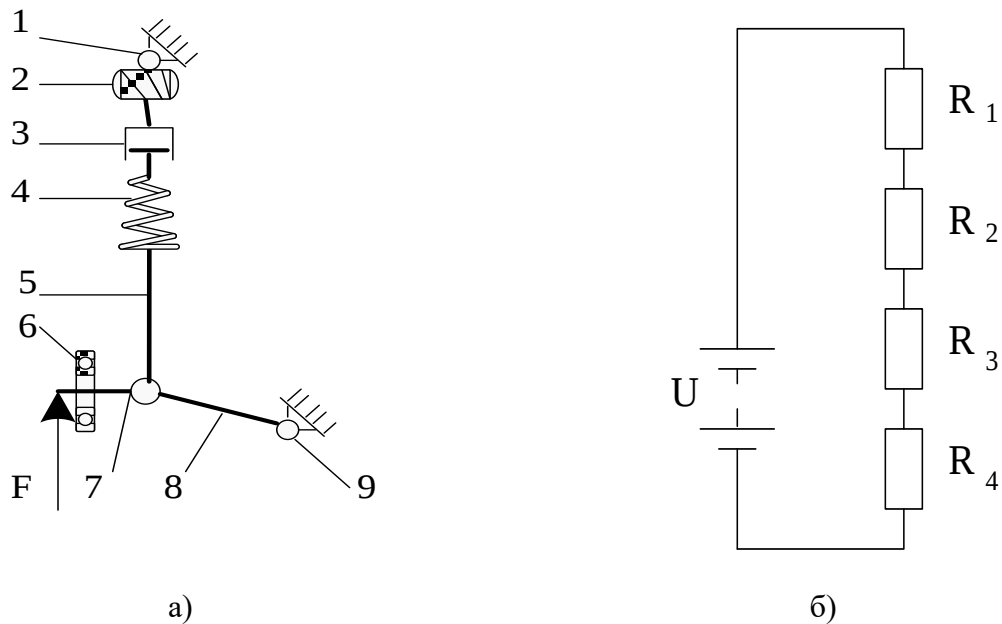


Рисунок 3.3. Принципова спрощена схема передньої підвіски легкового автомобіля Seat (а) спрощену принципову схему передньої підвіски автомобіля *Seat*; (б) еквівалентну електричну схему підвіски у вигляді послідовності опорів

На рис. 3.3, а використано такі позначення: 1 – верхня опора амортизаційної стійки; 2 – верхня опорна чашка; 3 – амортизатор; 4 – пружина підвіски; 5 – корпус амортизаційної стійки; 6 – підшипник маточини; 7 – поворотний кулак; 8 – важіль; 9 – втулка переднього шарніра важеля підвіски; F – сила, що діє з боку нерівностей дорожнього покриття.

На рис. 3.3, б прийнято такі еквівалентні електричні позначення: R_1 – еквівалентний електричний опір верхньої опорної чашки; R_2 – еквівалентний опір амортизатора; R_3 – еквівалентний опір пружини; R_4 – еквівалентний опір підшипника маточини; U – еквівалентна напруга, що моделює дію нерівностей дороги.

Очевидно, повністю врахувати всі опори конструкції неможливо й з точки зору демонстрації методу в цьому немає потреби. Тому на рис. 3.3 наведено принципову схему опорів, де умовно: R_1 – опір вимикача, R_2 – додатковий опір, R_3 – опір провідників, R_4 – опір первинного кола котушки запалювання.

Для спрощення розрахунків приймаються наближені значення: $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = 0,5 \text{ Ом}$, $R_3 = 0,5 \text{ Ом}$, $R_4 = 1 \text{ Ом}$.

Процедура пошуку дефектів у такій схемі передбачає два основні етапи.

А. Підготовчий етап

1. Задається кратність дефекту k , який підлягає виявленню. На початковому етапі приймається $k = 1$ (одиничний дефект).

2. Вибірково визначаються пари контрольних виводів (n), до яких може під'єднуватись вимірювальний пристрій. Їх кількість має перевищувати кратність дефекту ($n > k$). Для демонстрації методу приймається $n = 2$ (рис. 3.4).

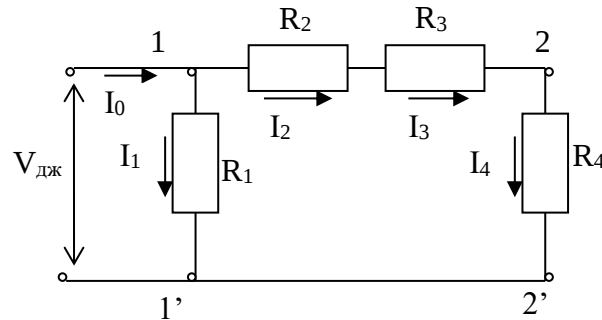


Рисунок 3.4 – Принципова еківалентна електрична схема для визначення справності підвіски: $V_{дж}$ – напруга тестера, $V_{дж} = 5$ В (реально джерело збурення), I_0, I_1, I_2, I_3, I_4 – номінальні значення сили струму, на відповідних елементах підвіски

Виходячи з номінальних значень опорів, розраховують номінальні напруги на вибраних парах виводів ($V_{01}, V_{02}, \dots, V_{0n}$) при заданій напрузі $V_{дж}$.

$$V_{01} = V_{дж} = 5 \text{ В};$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = V_{01} / R_1 = 5 / 2 = 2,5 \text{ А};$$

$$V_{02} = I_4 \cdot R_4 = 2,5 \cdot 1 = 2,5 \text{ В}$$

Здійснюється перехід до спряженої схеми (рис. 3.5).

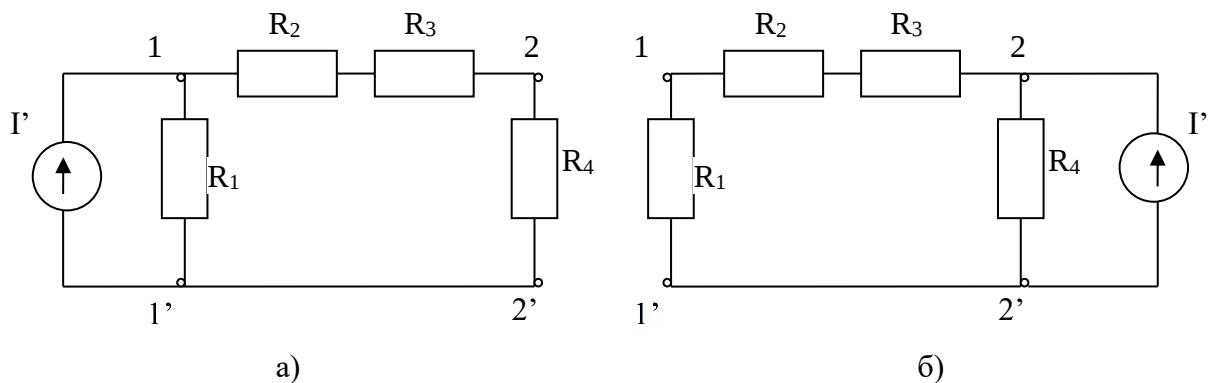


Рисунок 3.5 – Спряжена схема:

Далі, послідовно під'єднуючи одиничне джерело струму до кожної з пар контрольних виводів (1–1', 2–2' тощо), обчислюють напруги на всіх елементах електричного кола ($V_1, V_2, \dots, V_p$), де p – кількість елементів.

Зокрема, для пари виводів 1–1' визначають напруги на кожному опорі за законами лінійних електричних кіл (далі в роботі це буде оформлено у вигляді системи рівнянь та матриць провідностей/опорів).

$$V_{11} = 1 \text{ В}$$

$$V_{21} = 1/4 \text{ В}$$

$$V_{31} = 1/4 \text{ В}$$

$$V_{41} = 1/2 \text{ В}$$

Знаходимо значення напруги, якщо одиничне джерело під'єднання до виводів 2–2':

$$V_{12} = 1/2 \text{ В}$$

$$V_{22} = 1/8 \text{ В}$$

$$V_{32} = 1/8 \text{ В}$$

$$V_{42} = 1/4 \text{ В}$$

Із отриманих значень напруг складаємо матриці Z , розмірністю $n \cdot k$. Число таких матриць дорівнює числу комбінацій можливих дефектів з заданою кратністю:

$$Z^{13} = \begin{vmatrix} 1 & 1/4 \\ 1/2 & -1/8 \end{vmatrix}$$

$$Z^{14} = \begin{vmatrix} 1 & 1/2 \\ 1/2 & -1/4 \end{vmatrix}$$

$$Z^{23} = \begin{vmatrix} 1/4 & 1/4 \\ -1/8 & 1/8 \end{vmatrix}$$

$$Z^{24} = \begin{vmatrix} 1/4 & 1/2 \\ -1/8 & 1/4 \end{vmatrix}$$

$$Z^{34} = \begin{vmatrix} 1/4 & 1/2 \\ -1/8 & 1/4 \end{vmatrix}$$

$$Z^{12} = \begin{vmatrix} 1 & 1/4 \\ 1/2 & -1/8 \end{vmatrix}$$

Для всіх матриць Z визначається вираз

$$Z = Z (ZT \cdot Z)^{-1} ZT$$

$$Z^{12} = \frac{1}{8} \cdot \begin{vmatrix} 8 & 2 \\ 4 & -1 \end{vmatrix} \cdot 64 \cdot \left(\begin{vmatrix} 8 & 4 \\ 2 & -1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 8 & 2 \\ 4 & -1 \end{vmatrix} \right)^{-1} \cdot \frac{1}{8} \cdot \begin{vmatrix} 8 & 4 \\ 2 & -1 \end{vmatrix} = \frac{1}{256} \cdot \begin{vmatrix} 560 & 200 \\ 1160 & -52 \end{vmatrix}$$

$$Z^{13} = \frac{1}{8} \cdot \begin{vmatrix} 8 & 2 \\ 4 & -1 \end{vmatrix} \cdot 64 \cdot \left(\begin{vmatrix} 8 & 4 \\ 2 & -1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 8 & 2 \\ 4 & -1 \end{vmatrix} \right)^{-1} \cdot \frac{1}{8} \cdot \begin{vmatrix} 8 & 4 \\ 2 & -1 \end{vmatrix} = \frac{1}{256} \cdot \begin{vmatrix} 560 & 200 \\ 1160 & -52 \end{vmatrix}$$

$$Z^{14} = \frac{1}{4} \cdot \begin{vmatrix} 4 & 2 \\ 2 & -1 \end{vmatrix} \cdot 16 \cdot \left(\begin{vmatrix} 4 & 2 \\ 2 & -1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 4 & 2 \\ 2 & -1 \end{vmatrix} \right)^{-1} \cdot \frac{1}{4} \cdot \begin{vmatrix} 4 & 2 \\ 2 & -1 \end{vmatrix} = \frac{1}{16} \cdot \begin{vmatrix} 8 & 0 \\ 16 & 0 \end{vmatrix}$$

$$Z^{23} = \frac{1}{8} \cdot \begin{vmatrix} 2 & 2 \\ -1 & 1 \end{vmatrix} \cdot 64 \cdot \left(\begin{vmatrix} 2 & -1 \\ 2 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 2 & 2 \\ -1 & 1 \end{vmatrix} \right)^{-1} \cdot \frac{1}{8} \cdot \begin{vmatrix} 2 & -1 \\ 2 & 1 \end{vmatrix} = \frac{1}{16} \cdot \begin{vmatrix} 22 & 6 \\ 3 & 19 \end{vmatrix}$$

$$Z^{24} = \frac{1}{8} \cdot \begin{vmatrix} 2 & 4 \\ -1 & 2 \end{vmatrix} \cdot 64 \cdot \left(\begin{vmatrix} 2 & -1 \\ 4 & 2 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 2 & 4 \\ -1 & 2 \end{vmatrix} \right)^{-1} \cdot \frac{1}{8} \cdot \begin{vmatrix} 2 & 4 \\ -1 & 2 \end{vmatrix} = \frac{1}{64} \cdot \begin{vmatrix} 216 & 100 \\ 150 & 113 \end{vmatrix}$$

$$Z^{34} = \frac{1}{8} \cdot \begin{vmatrix} 2 & 4 \\ -1 & 2 \end{vmatrix} \cdot 64 \cdot \left(\begin{vmatrix} 2 & -1 \\ 4 & 2 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 2 & 4 \\ -1 & 2 \end{vmatrix} \right)^{-1} \cdot \frac{1}{8} \cdot \begin{vmatrix} 2 & 4 \\ -1 & 2 \end{vmatrix} = \frac{1}{64} \cdot \begin{vmatrix} 216 & 100 \\ 150 & 113 \end{vmatrix}$$

По обрахованих значеннях Z всі можливі дефекти розбиваються на класи еквівалентних дефектів (дефекти з однаковим значенням Z належать одному класу).

Отримаємо чотири класи еквівалентності дефектів:

- | | |
|----------------------|----------------------|
| 1). Z_{12}, Z_{13} | 2). Z_{24}, Z_{34} |
| 3). Z_{23} | 4). Z_{14} |

Б. Метрологічний етап.

В схемах проводяться виміри напруги на вибраних контрольних парах виводів ($V_{m1}, V_{m2}, \dots, V_{mn}$).

Припустимо, що значення напруги будуть: $V_{11} = 4$ В, $V_{11} = 3,5$ В.

Складаються матриці V_0 і V_m :

$$V_0 = [5 \quad 2,5]; \quad V_m = [4 \quad 3,5]$$

Вираховується матриця ΔV :

$$\Delta V = V_0 - V_m \tag{4.1}$$

В нашому випадку: $\Delta V = [1 \quad -1]m$.

Якщо виконується рівність $\Delta V = 0$, то рахується, що дефект в колі відсутній.

При нерівності $\Delta V \neq 0$ рахується, що в колі присутній дефект. В такому випадку для всіх матриць Z визначається вираз

$$(Z - 1) \Delta V_m \quad (4.2)$$

$$Z^1 = \frac{1}{256} \cdot \begin{vmatrix} 304 & 200 \\ 1160 & -308 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 \\ -1 \end{vmatrix} = \frac{1}{256} \begin{vmatrix} 104 \\ 852 \end{vmatrix}$$

$$Z^2 = \frac{1}{64} \cdot \begin{vmatrix} 216 & 100 \\ 150 & 113 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 \\ -1 \end{vmatrix} = \frac{1}{64} \begin{vmatrix} 52 \\ 101 \end{vmatrix}$$

$$Z^3 = \frac{1}{16} \cdot \begin{vmatrix} 6 & 6 \\ 3 & 3 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 \\ -1 \end{vmatrix} = \frac{1}{16} \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

$$Z^4 = \frac{1}{16} \cdot \begin{vmatrix} -8 & 0 \\ 16 & -16 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 \\ -1 \end{vmatrix} = \frac{1}{16} \begin{vmatrix} -8 \\ 32 \end{vmatrix}$$

При виконанні рівності $(Z - 1) \Delta V_m = 0$ робиться висновок, що в колі присутній дефект заданої кратності, що належить даному класу еквівалентності дефектів.

В нашому випадку вираз Z^3 рівний нулю, тому робимо висновок, що в колі присутній дефект кратності один, а дефектними елементами є опори R_2 і R_3 .

При нерівності $(Z - 1) \Delta V_m \neq 0$ необхідно перейти до дефектів більш високої кратності і повторити процедуру пошуку дефектів з початку.

4. ПОРІВНЯЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРІОДИЧНОСТІ ДІАГНОСТУВАННЯ АТЗ

4.1. Вибір бази та методу порівняльних досліджень

Для забезпечення належного технічного стану автомобіля принципово важливо своєчасно зафіксувати момент настання передвідмовного стану агрегату чи системи, тобто такого стану, за якого для збереження працездатності необхідно провести профілактичні заходи або замінити окремі деталі, не допускаючи власне відмови.

У роботі розглядається модель передвідмовного технічного стану агрегату (системи) автомобіля, в основу якої покладено закономірності зміни діагностичних параметрів із пробігом та оптимальний інтервал (періодичність) діагностування.

Передвідмовним вважається стан, при якому діагностичний параметр (де – пробіг автомобіля) на момент пробігу досягає гранично допустимого значення:

$$\ell_{don} = \ell_c - \tau_{opt} \quad (4.1)$$

де ℓ_c – середній пробіг на відмову, км;

τ_{opt} – оптимальна періодичність діагностування, км.

Отже, згідно з (4.1) передвідмовний стан завжди буде своєчасно виявлений.

Оптимальну періодичність діагностування τ_{opt} прийнято вибирати з огляду на техніко-економічний критерій, а саме на основі мінімуму затрат на виконання чергового діагностування C_o та поточного ремонту C_{np} [Помилка! Джерело посилання не знайдено.]. На практиці користуються графічним методом визначення оптимальної періодичності діагностування τ_{opt} на основі побудованих кривих залежності коефіцієнта оптимальності t від відношення затрат $\frac{C_o}{C_{np}}$ для різних законів розподілу відмов. Коефіцієнт оптимальності t показує, у скільки разів оптимальна періодичність діагностування більша або

менша за середній пробіг на відмову. Задавши відношення затрат $\frac{C_o}{C_{np}}$, з графіка знаходять значення t . Оптимальна періодичність діагностування дорівнює:

$$\tau_{opt} = \ell_c \cdot t \quad (4.2)$$

Зазначимо, що техніко-економічне обґрунтування (4.2) може бути застосоване до всіх агрегатів і механізмів автомобіля, окрім тих, що безпосередньо забезпечують безпеку руху – для них періодичність перевірок визначається більш жорсткими нормативними вимогами.

Для нормального (найдовшого) періоду експлуатації, за результатами статистичних спостережень, відмови зазвичай описуються експоненційним законом розподілу. У цьому випадку коефіцієнт оптимальності t не залежить від параметрів закону розподілу і визначається графічно.

Використовуючи діагностичні карти агрегатів, можна отримати аналітичну залежність зміни діагностичного параметра від пробігу. Узагальнено її записують так:

$$Z(\ell) = Z_n + V \cdot \ell^\alpha \quad (4.3)$$

де Z_n - номінальне значення параметра;

V, α - const (V - інтенсивність зміни параметра, якщо $\ell=1$, зменшена у α разів, α - показник степеня, який визначає характер зміни параметра).

Формула (4.3) дає можливість встановити гранично-допустиме значення параметра Z_{od} , що відповідає пробігу ℓ_{oon} . Для цього спочатку знаходять τ_{opt} та ℓ_{oon} згідно з (4.2) та (4.1).

Задача прогнозування працездатного стану на період до наступного діагностування розв'язується на основі моделі, яка базується на теоремі Байєса [Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

Якщо відомі значення показників надійності - інтенсивності раптових (λ_0) та зношувальних (λ_1) відмов, а також закономірності зміни діагностичних параметрів, необхідно визначити ймовірність відсутності відмови у період пробігу з моменту останнього діагностування ℓ до наступного $\ell + \ell_n$ (ℓ_n -

періодичність діагностування), за умови, що жоден діагностичний параметр за цей час не вийде за межі гранично-допустимого значення Z_{20} .

Апостеріорна ймовірність (така, що ґрунтується на досвіді) відсутності відмови за умови, що передвідмовний стан не настане протягом пробігу $[\ell; \ell + \ell_n]$, визначається за формулою Байєса:

$$P(H_2/A) = \frac{P(H_2) \cdot P(A/H_2)}{P(H_1) \cdot P(A/H_1) + P(H_2) \cdot P(A/H_2)}. \quad (4.4)$$

де H_1 , H_2 - гіпотези, відповідно, про виникнення та відсутності відмов протягом періоду прогнозування $[\ell; \ell + \ell_n]$;

$P(H_1)$, $P(H_2)$ - апріорні ймовірності (такі, що наявні до проведення досліджень) подій H_1 та H_2 ;

A - гіпотеза про те, що передвідмовний стан не настане протягом періоду прогнозування $[\ell; \ell + \ell_n]$, жоден діагностичний параметр не досягне граничнодопустимого значення;

$P(A/H_2)$ - умовна ймовірність того, що передвідмовний стан не настане (гіпотеза A) за умови відсутності відмов (гіпотеза H_2);

$P(A/H_1)$ - умовна ймовірність того, що передвідмовний стан не настав, за умови виникнення відмови (гіпотеза H_1).

За даними статистичних спостережень, для основного (найтривалішого) періоду експлуатації інтенсивності раптових та зношувальних відмов не залежать від пробігу ($\lambda_0, \lambda_1 = \text{const}$). Апріорна ймовірність відсутності відмови протягом періоду прогнозування $[\ell; \ell + \ell_n]$ описується експоненційним законом [Помилка! Джерело посилання не знайдено.]:

$$P(H_2) = e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)(\ell + \ell_n)} \quad (4.5)$$

Оскільки гіпотези H_1 та H_2 несумісні ($P(A/H_1) + P(A/H_2) = 1$), то ймовірність виникнення відмови:

$$P(H_1) = 1 - e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)(\ell + \ell_n)}. \quad (4.6)$$

Аналогічно умовна ймовірність того, що передвідмовний стан не настав протягом $[\ell; \ell + \ell_n]$, але виникла раптова відмова:

$$P(A/H_1) = 1 - e^{-\lambda_0(\ell + \ell_n)}. \quad (4.7)$$

Ймовірність того, що передвідмовний стан не настав (діагностичний параметр не досяг гранично-допустимого значення), за умови відсутності відмови протягом пробігу $[\ell; \ell + \ell_n]$, визначається:

$$P(A/H_2) = e^{-\phi(\ell)(\ell + \ell_n)} = e^{-Z^0(\ell)\left(1 + \frac{\ell_n}{\ell}\right)}. \quad (4.8)$$

де $\phi(\ell) = \frac{Z^0(\ell)}{\ell}$ - інтенсивність зміни діагностичного параметра, що розглядається, а Z^0 - відносна його зміна $[0 < Z^0 < 1]$.

Якщо параметр з напрацюванням зростає ($Z_n < Z_{\text{зд}}$), тоді

$$Z^0(\ell) = \frac{Z^*}{Z_{\text{зд}}}. \quad (4.9)$$

у протилежному випадку ($Z_n > Z_{\text{зд}}$):

$$Z^0(\ell) = \frac{Z_{\text{зд}}}{Z^*}. \quad (4.10)$$

де Z^* - значення діагностичного параметра на момент діагностування.

З врахуванням (4.5) - (4.10) апостеріорна ймовірність відсутності відмови (5.4) матиме вигляд

$$P(H_2/A) = \frac{e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)(\ell + \ell_n)} e^{-Z^0(\ell)\left(1 + \frac{\ell_n}{\ell}\right)}}{\left(1 - e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)(\ell + \ell_n)}\right) \left(1 - e^{-\lambda_0(\ell + \ell_n)}\right) + e^{-(\lambda_0 + \lambda_1)(\ell + \ell_n)} e^{-Z^0(\ell)\left(1 + \frac{\ell_n}{\ell}\right)}}. \quad (4.11)$$

Отже, співвідношення (4.11) дає змогу розрахувати ймовірність відсутності відмови (прогноз працездатного стану) агрегатів автомобіля на період до наступного діагностування.

Результати прогнозування обґрунтовують рішення стосовно можливих позапланових ремонтно-профілактичних робіт для забезпечення нормативного ресурсу основних агрегатів.

На основі попередньо розрахованого гранично-допустимого значення діагностичного параметра $Z_{\text{до}}$ та відомої аналітичної закономірності його зміни з пробігом (4.3), визначають ймовірність відсутності відмови $[P]$ за формулою (4.11) протягом усього нормативного ресурсу пробігу.

Для прийняття рішення про необхідність можливих позапланових ремонтно-профілактичних робіт для конкретного вилученого з експлуатації автомобіля спочатку визначають ймовірність відсутності відмови P_k за формулою (4.11) і порівнюють її з $[P]$. Якщо $P_k \geq [P]$, то для даного автомобіля позапланових робіт не проводять, в протилежному випадку їх виконують одразу ж після діагностування для зменшення інтенсивності зношування деталей агрегату.

Зауважимо, що ймовірність відсутності відмови $[P]$ можна використати для розв'язання багатьох інших задач, зокрема планування заміни деталей агрегату; формування комплекту запасних частин та інструменту, що необхідно мати в спорядженому автомобілі; планування обсягів робіт зон ТО та ПР тощо.

На практиці на станціях діагностування зручно користуватись побудованими на підставі співвідношення (4.11) за різних значень відносної зміни діагностичного параметра (4.9), (4.10) параметричними кривими ймовірності відсутності відмови агрегату, за даним параметром, протягом всього нормативного ресурсу пробігу. Попередньо, для визначення $[P]$, зручно користуватись графічною залежністю зміни діагностичного параметра з пробігом (4.3).

Вибір стратегії керування працездатним станом автомобіля ґрунтується на визначенні оптимальної періодичності контрольно-діагностичних перевірок.

Даний підхід дає можливість встановити таку періодичність діагностування, яка, з одного боку, зменшує затрати на ТО та ПР, з другого - дає змогу підтримувати працездатність автомобіля на оптимальному рівні. Критерієм оптимізації такого керування є мінімум функції сумарного ризику **[Помилка! Джерело посилання не знайдено.]**:

$$R = R_{ab} + R_o \rightarrow \min \quad (4.12)$$

де R_{ab} - ризик аварійної відмови деталей агрегату на період прогнозування;
 R_o - ризик передчасного (марного) діагностування агрегату (визначаються у грошовому еквіваленті). Своєю чергою

$$R_{ab} = Q_{ab} \cdot P_{ab}, \quad R_o = Q_o \cdot k \cdot (1 - P_{ab}); \quad (4.13)$$

де Q_{ab} , Q_o - відповідно затрати на усунення аварійної відмови (грн.) та затрати на одне діагностування (грн.); P_{ab} - ймовірність виникнення аварійної відмови агрегату у період прогнозування; k - кількість діагностичних перевірок протягом цього ж періоду.

Отже, формула (4.12) з врахуванням (4.13), набуває вигляду:

$$R = Q_o \cdot k + P_{ab} \cdot (Q_{ab} - Q_o \cdot k) \quad (4.14)$$

Без істотних втрат точності розрахунків густину розподілу ймовірності відмов, яка описується розподілом Вейбулла, можна замінити нормальним розподілом Гауса [Помилка! Джерело посилання не знайдено.]. Тоді ймовірність аварійної відмови системи задається співвідношенням [Помилка! Джерело посилання не знайдено.]:

$$P_{ab} = \frac{1}{\sigma_z \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{Z_{\partial}}^{\infty} \exp \left(-\frac{(y - M_{II})^2}{2 \cdot \sigma_z^2} \right) dy \quad (4.15)$$

де M_{II} , σ_z - відповідно математичне сподівання та середньоквадратичне відхилення значень діагностичного параметра протягом періоду прогнозування;
 Z_{∂} - гранично-допустиме значення діагностичного параметра.

Середньоквадратичне відхилення значень діагностичного параметра можна обчислити так:

$$\sigma_z = k \cdot \nu \cdot \Delta Z \quad (4.16)$$

де ν - коефіцієнт варіації діагностичного параметра; ΔZ - середня зміна діагностичного параметра протягом періоду експлуатації між двома контрольними перевірками:

$$\Delta Z = \frac{Z_{\partial} - Z_n}{k} \quad (4.17)$$

де Z_n - номінальне значення діагностичного параметра, $\bar{k}$ - середня кількість діагностичних перевірок впродовж всього періоду ресурсу (до ремонту агрегату). Зауважимо, що середню зміну діагностичного параметра ΔZ можна також визначити, використовуючи співвідношення (4.5).

Математичне сподівання значення діагностичного параметра на період прогнозування:

$$M_{II} = Z^* + k \cdot \Delta Z \quad (4.18)$$

де Z^* – значення діагностичного параметра на момент діагностування.

Значення діагностичного параметра за умов появи відмови є обмежене внаслідок конструктивних особливостей агрегату, отже: $Z_{\text{зб}} < Z < \tilde{Z}$. Межу $\tilde{Z}$ можливих значень нормально розподіленої випадкової величини Z можна встановити на підставі правила “трьох сигм”. Тоді ймовірність аварійної відмови системи (4.15) визначатиметься:

$$P_{ab} = \frac{1}{\sigma_z \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{Z_{\text{зб}}}^{Z_{\text{зб}} + 3 \cdot \sigma_z} \exp\left(-\frac{(y - M_{II})^2}{2 \cdot \sigma_z^2}\right) dy \quad (4.19)$$

Тут верхня межа інтегрування $Z_{\text{зб}} + 3 \cdot \sigma_z$ залежить від тривалості періоду прогнозу, що дорівнює технічним обслуговуванням.

Ймовірність аварійної відмови не визначається через елементарні функції, а обчислюється за допомогою функції Лапласа $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_0^x \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right) dy$:

$$P_{ab} = \Phi\left(\frac{Z_{\text{зб}} + 3 \cdot \sigma_z - M_{II}}{\sigma_z}\right) - \Phi\left(\frac{Z_{\text{зб}} - M_{II}}{\sigma_z}\right) \quad (4.20)$$

З врахуванням (4.16)-(4.20) критерій ризику (4.12) та функція ризику (4.14) матимуть вигляд:

$$\min_k R \quad (4.21)$$

де

$$R = \frac{Q_d}{k} + \left(Q_{ab} - \frac{Q_d}{k}\right) \cdot (\Phi(x_1) - \Phi(x_2)) \quad (4.22)$$

Співвідношення (4.21), (4.22) дають змогу розрахувати кількість контрольно-діагностичних перевірок k^{opt} , які можна не проводити з моменту

останнього діагностування, коли діагностичний параметр дорівнює Z^* . Отже, встановлено період експлуатації, протягом якого агрегат перебуватиме в працездатному стані (залишковий ресурс). Це дає можливість змінювати періодичність виконання контрольно-діагностичних операцій вилученням k^{opt} перевірок з наперед запланованої їх кількості $\bar{k}$. На практиці зручно користуватись графічною залежністю $k^{opt} = f(Z)$, яку можна побудувати на підставі співвідношень (4.21), (4.22) для різних значень діагностичного параметра Z .

Зауважимо, що співвідношення (4.21), (4.22) справедливі для двох випадків зміни діагностичного параметра з пробігом - як для зростання ($Z_n < Z_{z0}$), так і для зменшення параметра ($Z_n > Z_{z0}$).

Крім того, на підставі даної моделі можна визначити залишковий ресурс агрегату за розглянутим діагностичним параметром. Визначивши k^{opt} , залишковий ресурс знайдемо за формулою:

$$\ell_{зал} = (k^{opt} + 1) \cdot \ell_n \quad (4.23)$$

де ℓ_n - періодичність діагностувань.

4.2. Результати порівняльних досліджень, їх аналіз та оптимізація періодичності ТО автомобіля Seat

Для визначення оптимальних пробігів в програмі *Mathcad*, яка дозволяє проводити розрахунки за трьома попередніми методиками. Програма наведена у додатку Б.

За основу було взято коливання підвіски автомобіля після його гальмування при перевірці на діагностичному комплексі Bosch SDL-260.

З урахуванням початкового значення затухаючих коливань $z_m=2$ і граничного значення $z_{z0}=5$, яке відповідає повністю несправному амортизатору, меж коефіцієнта варіації $v=55,6\%$ (підрозділ 3.3) нерівномірності розподілу пробігів на відмову підвісок легкових автомобілів використано програму у

середовищі *Mathcad* і розраховано кількість пропусків діагностувань k^{opt} підвіски легкового автомобіля у циклі ТО-2 (згідно Положення-98 – 20 тис. км).

Втрати (збитки) і витрати (Q_3 , Q_6) брались Q_3 з розрахунку значень, що відповідають чинній вартості діагностування на діагностичному комплексі Bosch SDL-260 (34 грн) і витратам за усунення несправності Q_6 .

Відповідними обчисленнями знайдено залежність коефіцієнта оптимальності t від співвідношень Q_3/Q_6 для коефіцієнта варіації $v=55,6\%$ $t=0,35$ [Помилка! Джерело посилання не знайдено.].

Коефіцієнт оптимальності t враховує грошові витрати, пов'язані з проведенням ТО-2 і із збитками за усунення несправності. На зміну його значень матиме вплив коефіцієнт варіації нерівномірності розподілу пробігів на відмову підвісок легкових автомобілів v .

Чим останній більший, тим для різних співвідношень витрат і збитків буде більший коефіцієнт оптимальності t і, отже, l_{opt} матиме значення, близькі до середнього пробігу АТЗ l_c .

Для прикладу, на підставі розробленої методики визначено кількість пропусків виконання діагностувань з періодичністю l_{opt} залежно від значень кількості затухаючих коливань підвіски k для одного коефіцієнта варіації v (рис. 4.1).

При цьому у розрахунках коефіцієнта оптимальності взято максимальні значення втрат Q_6 . Періодичність l_{opt} змінювалася залежно від коефіцієнта оптимальності t , значення якого у свою чергу залежать від коефіцієнта варіації v .

Для великих значень коефіцієнта варіації, відбувається ріст періодичності l_{opt} за рахунок нестабільності зміни відмов підвісок легкових автомобілів з пробігом і росту ризику R настання перевищення гранично-допустимого значення $z_{\sigma 0}=5$.

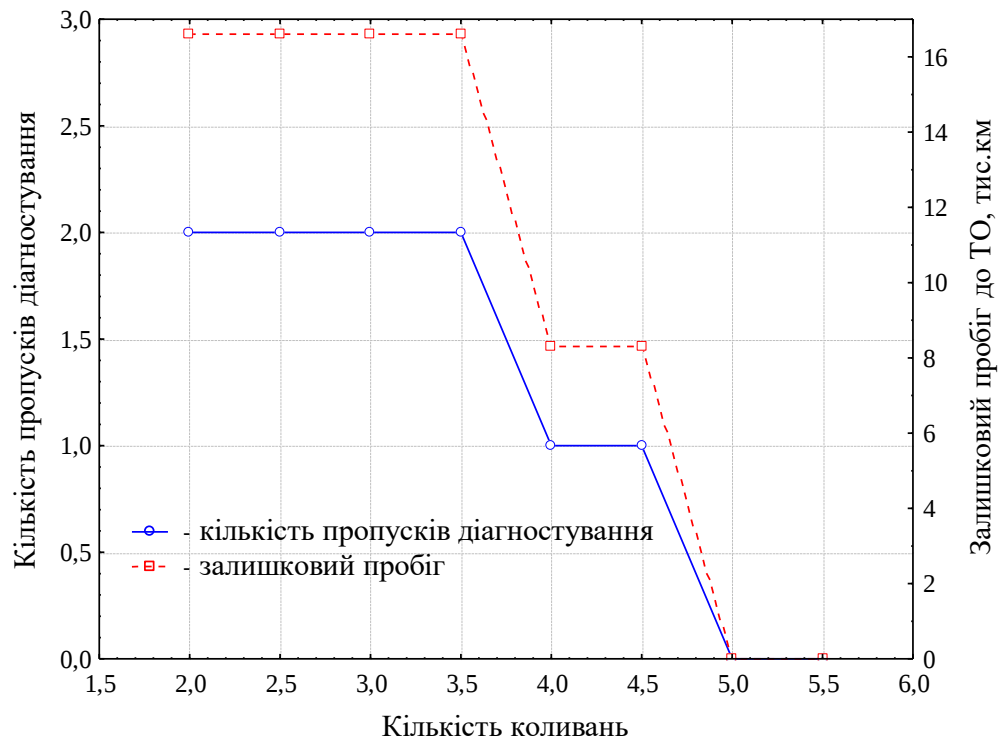


Рисунок 4.1 – Зміна можливих пропусків виконання діагностувань з періодичністю l_{opt} залежно від значень кількості затухаючих коливань підвіски

4.3. Оцінка результатів порівняльних досліджень

Отримані результати вказують, що якщо, наприклад, оптимальний пробіг АТЗ з коефіцієнтом варіації $v=55,6\%$ (підрозділ 3.3) нерівномірності розподілу пробігів на відмову підвісок легкових автомобілів:

$$l_{opt} = l_c \cdot t = 23,6 \cdot 0,35 = 8,3 \text{ тис. км}$$

і значення кількості затухаючих коливань підвіски $Z=3$, то можна зробити $k=2$ пропуски проведення ТО (див. рис. 4.1) в інтервалі пробігу $l_c = 23,6$ тис. км. При цьому залишковий пробіг складе

$$l_{зал} = l_{opt} \cdot k = 8,3 \cdot 2 = 16,6 \text{ тис. км.}$$

Якщо ж значення кількості затухаючих коливань підвіски 4, можна пропустити в цьому ж інтервалі пробігу 1 пропуск проведення діагностувань k .

Якщо АТЗ має значення кількості затухаючих коливань підвіски більше 5, то пропуски проведення діагностувань з позицій оптимальних витрат і не перевищення гранично-допустимого значення неприпустимі.

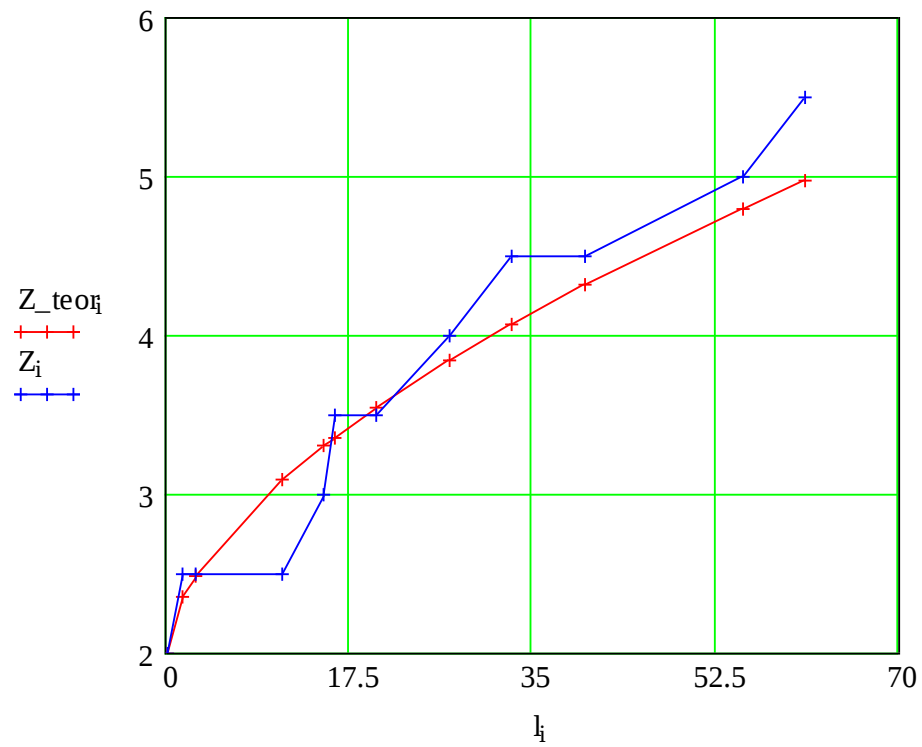


Рисунок 4.2 – Залежність зміни коливань підвіски від пробігу АТЗ

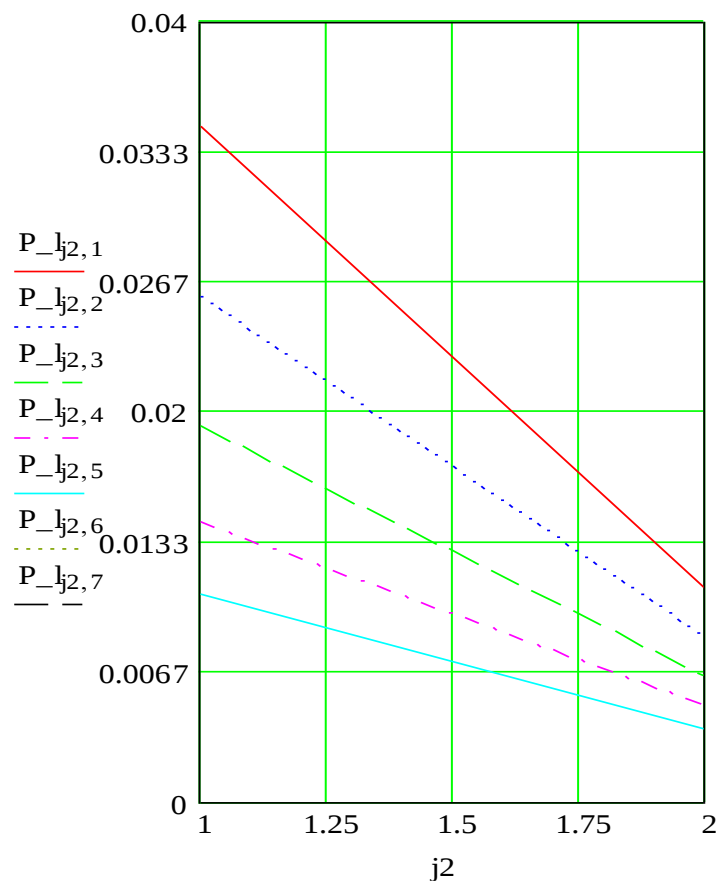


Рисунок 4.3 – Визначення ймовірності того, що передвідмовний стан не настав, за умови відсутності відмови протягом пробігу

5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Аналіз умов праці на дільниці технічного обслуговування

Охорона праці є одним із найважливіших аспектів діяльності будь-якого підприємства автомобільного сервісу. Безпечні умови праці забезпечують не лише збереження життя та здоров'я працівників, але й підвищують продуктивність праці, якість виконаних робіт та репутацію підприємства.

Дільниця технічного обслуговування і ремонту автомобілів *Seat* обладнана кількома робочими постами, діагностичними стендами, підйомниками, компресорами, а також спеціальними пристроями для перевірки систем двигуна, гальм, підвіски тощо. Основними небезпечними та шкідливими факторами є:

- фізичні (шум, вібрація, недостатня освітленість, невідповідний мікроклімат);
- хімічні (вихлопні гази, пари палива, мастильних матеріалів, розчинників);
- психофізіологічні (підвищене навантаження, монотонність робіт, робота у вимушеній позі);
- електричні (можливість ураження струмом при роботі з діагностичним обладнанням).

Виробничі приміщення мають бути оснащені системою природної та примусової вентиляції для видалення шкідливих газів та парів, а також мати належне освітлення згідно з вимогами ДБН В.2.5-28:2006.

Рівень шуму не повинен перевищувати норм, установлених ДСН 3.3.6.037-99, а температура, вологість та швидкість руху повітря повинні відповідати ДСН 3.3.6.042-99.

Підйомники, компресори, діагностичні стенди мають бути заземлені, проходити періодичну перевірку і технічне обслуговування.

Робочі місця оснащуються аптечками, засобами пожежогасіння, інструкціями з безпеки та попереджувальними знаками.

Умови праці на більшості робочих місць відповідають допустимому класу умов праці згідно з гігієнічною класифікацією.

5.2. Вимоги техніки безпеки при виконанні діагностичних та ремонтних робіт

При проведенні діагностичних та ремонтних робіт необхідно суворо дотримуватися вимог техніки безпеки, установлених НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації обладнання під тиском», НПАОП 0.00-1.26-96 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» та інших чинних нормативів.

Перед початком роботи працівник зобов'язаний перевірити справність інструменту, обладнання та пристроїв. Роботи виконуються тільки у справному спецодязі, захисних окулярах, рукавичках і відповідному взутті. Категорично забороняється працювати з несправними підйомниками, відкритими електричними колами або знеструмленими приладами.

Особливу увагу приділяють безпеці при роботі з діагностичними приладами, що підключаються до електричних систем автомобіля. Заборонено підключати обладнання з пошкодженими дротами або без заземлення. Під час вимірювання параметрів двигуна необхідно забезпечити відсмоктування вихлопних газів через витяжну систему.

Роботи, пов'язані з паливом, маслами та хімічними рідинами, виконуються у добре вентильованих приміщеннях, подалі від джерел відкритого вогню. У випадку розливу горючих матеріалів місце негайно засипається абсорбентом або піском, після чого очищується.

Працівники повинні проходити інструктажі з охорони праці – вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий, відповідно до НПАОП 0.00-4.12-05.

5.3. Оцінка рівня виробничих ризиків

Для забезпечення системного управління безпекою праці на підприємстві проводиться ідентифікація та оцінка виробничих ризиків згідно з вимогами ДСТУ ISO 45001:2019 «Системи управління охороною праці».

На дільниці технічного обслуговування основними потенційно небезпечними факторами є:

- травмування під час використання підйомників або пневмоінструментів;
- ураження електричним струмом при роботі з діагностичним обладнанням;
- займання або вибух парів палива;
- отруєння вихлопними газами;
- падіння важких предметів або деталей.

Оцінка ризиків проводиться за матрицею, що враховує ймовірність виникнення події та тяжкість наслідків.

До високих ризиків відносяться роботи з підйомом автомобілів і експлуатація електрообладнання під напругою;

до середніх — використання ручного інструменту, зварювальні роботи;

до низьких — роботи адміністративного персоналу.

Для зниження ризиків передбачено комплекс заходів:

- технічні (встановлення захисних екранів, заземлення, вентиляція);
- організаційні (контроль справності обладнання, обмеження доступу до небезпечних зон);
- навчальні (постійне підвищення кваліфікації персоналу, повторні інструктажі).

5.4. Розроблення заходів щодо підвищення безпеки праці

З метою поліпшення умов праці та зниження рівня виробничого травматизму розроблено комплекс заходів:

1. Покращення вентиляції у зонах діагностування – встановлення локальних відсмоктувачів для видалення вихлопних газів безпосередньо з вихлопної труби автомобіля.

2. Впровадження сучасних засобів індивідуального захисту – захисних рукавичок, комбінезонів з антистатичним покриттям, фільтрувальних респіраторів при роботі з хімічними речовинами.

3. Модернізація системи освітлення – використання світлодіодних ламп з нейтральною колірною температурою, що забезпечує кращу видимість і знижує втому очей.

4. Покращення ергономіки робочих місць – розміщення інструментів у зоні досяжності працівника, регулювання висоти робочих столів і стояків.

5. Організація періодичних перевірок технічного стану обладнання, заміна зношених деталей і шлангів.

6. Регулярне навчання працівників з правил надання першої медичної допомоги, пожежної безпеки та дій у разі аварій.

7. Розміщення попереджувальних знаків і плакатів, що нагадують про потенційні небезпеки та порядок дій у разі нештатної ситуації.

Запровадження цих заходів дозволяє знизити ймовірність нещасних випадків, покращити психологічний клімат у колективі та підвищити рівень відповідальності працівників за власну безпеку.

5.5. Безпека у надзвичайних ситуаціях

На підприємстві повинна бути розроблена система дій у разі виникнення надзвичайних ситуацій (НС) техногенного або природного характеру. Основними потенційними НС для СТО є: пожежа, вибух, коротке замикання, витік палива або газу, розлив мастильних матеріалів.

Пожежна безпека забезпечується відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». Кожне приміщення має бути оснащене вогнегасниками, пожежними щитами, сигналізацією та евакуаційними виходами.

Розміщення вогнегасників визначається з розрахунку не менше одного на кожні 200 м² площі.

У разі виникнення пожежі працівник зобов'язаний:

1. негайно повідомити керівника або відповідального за пожежну безпеку.

2. Вимкнути електроживлення у зоні займання.

3. Розпочати гасіння пожежі первинними засобами – порошковими або вуглекислотними вогнегасниками.
4. При необхідності викликати пожежно-рятувальну службу за номером 101.
5. Забезпечити евакуацію персоналу та відключення систем подачі палива.

Також розробляється план евакуації, проводяться навчальні тренування не рідше ніж один раз на рік. Відповідальна особа веде облік інструктажів, перевірок і технічного стану протипожежних засобів.

Висновки до розділу 5

У результаті проведеного аналізу встановлено, що умови праці на ділянці технічного обслуговування автомобілів *Seat* в цілому відповідають вимогам чинних нормативів з охорони праці та пожежної безпеки. Разом з тим, існує потреба у вдосконаленні вентиляційної системи, модернізації освітлення та підвищенні рівня підготовки персоналу.

Запропонований комплекс заходів дозволяє знизити рівень виробничих ризиків, запобігти нещасним випадкам і надзвичайним ситуаціям, забезпечити стабільну та безпечну роботу підприємства. Виконання вимог охорони праці сприятиме підвищенню ефективності діяльності сервісного центру та створенню безпечних умов праці для всіх працівників.

6. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ МЕТОДИКИ

Таблиця 6.1 – Вихідні техніко-економічні дані

Показник	Значення
Кількість параметрів традиційної діагностики	13
Час традиційної діагностики	60 хв (1 год)
Кількість параметрів нової методики	4
Час діагностики за новою методикою	25 хв (0,42 год)
Собівартість 1 год роботи майстра	480 грн/год
Вартість діагностики для клієнта	800 грн
Кількість автомобілів Seat на СТО на рік	480 авто
Частка повторних звернень (традиційна діагностика)	12 %
Частка повторних звернень (нова методика)	4 %
Витрати на впровадження методики	40500 грн
Собівартість "гарантійного" повторного ремонту	420 грн

6.1 Розрахунок трудомісткості та економії часу

$$\Delta T = T_{ст} - T_{нов} = 60 - 25 = 35 \text{ хв.}$$

Річна економія часу

$$480 \text{ авто/рік} \times 35 \text{ хв} = 16800 \text{ хв} = 280 \text{ год.}$$

Таблиця 6.2 – Економія робочого часу

Показник	Значення
Час економії на 1 авто	35 хв
Кількість авто на рік	480
Загальна економія часу	280 год/рік

6.2 Розрахунок економії коштів

$$E_{зн} = 280 \text{ год} \times 480 \text{ грн/год} = 13400 \text{ грн/рік.}$$

Зменшення витрат від повторних звернень

Було: $480 \times 012 = 58$ повторних звернень

Стало: $480 \times 004 = 19$ звернень

Різниця: 39 звернень

Економія: $39 \times 420 = 16380$ грн.

Таблиця 6.3 – Економія від зменшення повторних звернень

Показник	Значення
Повторні звернення (до впровадження)	58
Повторні звернення (після впровадження)	19
Скорочення кількості звернень	39
Економія коштів	16380 грн

Загальна економія

$$E_{\text{заг}} = 134400 + 16380 = 150780 \text{ грн/рік.}$$

Чистий економічний ефект

$$E_{\text{чист}} = 150,780 - 40,500 = 110,280 \text{ грн/рік.}$$

Термін окупності

$$T_{\text{ок}} = 40500 / 150780 = 027 \text{ року} \approx 33 \text{ місяця.}$$

Таблиця 6.4 – Підсумкові економічні показники

Показник	Значення
Загальна економія	150780 грн/рік
Чистий економічний ефект	110280 грн/рік
Інвестиції у впровадження	40500 грн
Термін окупності	3,3 місяця
Рентабельність	272 %

1. Удосконалена методика діагностування підвіски зменшує час діагностики з 60 до 25 хв, тобто на 58 %.

2. Річна економія робочого часу становить 280 год, що еквівалентно 134,4 тис. грн економії фонду оплати праці.

3. Завдяки зниженню повторних звернень економія становить 16,38 тис. грн щорічно.

4. Загальний економічний ефект від впровадження складає 150,78 тис. грн/рік.

5. Чистий річний прибуток після врахування інвестицій становить 110,28 тис. грн.

6. Термін окупності удосконаленої методики – 3,3 місяця, що вважається надзвичайно високим показником ефективності.

7. Рентабельність проекту – 272 %, що дозволяє рекомендувати методику до впровадження на всіх СТО, які обслуговують автомобілі Seat та інші автомобілі групи VAG.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Аналіз сучасного стану з технічним станом автомобілів показує, що технічна експлуатація їх, зокрема, діагностування, відстає від навіть нормативних колишніх союзних, не кажучи про відомі прогресивні закордонні аналоги.

Оскільки на підвіску легкових автомобілів припадає велика кількість відмов під час їх комерційної експлуатації, досліджуються можливості вдосконалення діагностування їх технічного стану з використанням комп'ютеризованих засобів.

З метою встановлення істотних структурних параметрів діагностування підвіски легкових автомобілів проведено аналіз конструкції підвіски автомобіля Seat, усіх можливих параметрів технічного стану, а також параметрів діагностування; обґрунтовано параметри технічного діагностування підвіски автомобіля, скоротивши їх кількість з 13-ти до 4-ох.

На підставі аналізу літературних джерел, за основу математичного відтворення особливостей функціонування механізму підвіски взято матричний підхід і виконано відповідні розрахунки за допомогою них (приклад таких розрахунків показаний для випадку перевірки справності передньої підвіски автомобіля).

На основі підходу планування оптимальної періодичності діагностування АТЗ за мінімального ризику, встановлена періодичність діагностування підвіски для автомобілів Seat, яка, з одного боку, зменшує затрати на ТО та ПР, з іншого дає змогу підтримувати працездатність АТЗ на оптимальному рівні.

Визначено міжконтрольні пробіги АТЗ для автомобілів Seat за кількістю затухаючих коливань підвіски, коли сума втрат від усунення несправності і затрат на виконання діагностування на діагностичному комплексі Bosch SDL-260 будуть мінімальними. Встановлені кількість пропусків проведення діагностувань із визначеною періодичністю на середньому пробігу, коли кількість коливань не перевищує встановлених меж.

У магістерській кваліфікаційній роботі проведено комплексне дослідження експлуатаційної надійності підвісок легкових автомобілів марки Seat та вдосконалено методику їх діагностування з використанням техніко-економічних і ризик-орієнтованих підходів. На підставі виконаних теоретичних, аналітичних та експериментальних досліджень отримано такі основні результати.

1. Проаналізовано конструктивні особливості передніх і задніх підвісок легкових автомобілів Seat, визначено їх найбільш відповідальні елементи та основні типові дефекти (зношення амортизаторів, кульових опор, опор стояків, підшипників маточин тощо), що суттєво впливають на безпечність руху та комфорт управління автомобілем.

2. Обґрунтовано теоретичні принципи технічного діагностування, сформовано вимоги до діагностичних параметрів, розглянуто математичні моделі надійності та методи визначення періодичності технічного обслуговування, що дало змогу сформулювати методичну основу для подальших досліджень.

3. На основі статистичних даних СТО ВАТ «Галичина-Авто» проведено аналіз експлуатаційної надійності підвіски автомобілів Seat. Встановлено, що відмови мають випадковий характер, характеризуються великим розкидом пробігів до відмови (коефіцієнт варіації понад 50 %), що ускладнює традиційне прогнозування ресурсу за класичними законами розподілу.

4. Визначено математичне сподівання пробігу до відмови підвіски та побудовано основні функції надійності, що дозволило оцінити ймовірнісний характер виходу з ладу елементів підвіски та виділити закономірності, необхідні для обґрунтування періодичності діагностування.

5. Обґрунтовано скорочення номенклатури діагностичних параметрів з 13 до 4 ключових (сходження, розвал, стан амортизаторів, стан підшипників маточин). Доведено, що саме ці параметри є найбільш інформативними для оцінювання технічного стану підвіски, а їх вимірювання забезпечує прийняття достовірного рішення при значному зменшенні трудомісткості та собівартості діагностування.

6. Розроблено математичну (матричну) модель діагностування підвіски, у якій механіко-гідравлічні елементи замінено еквівалентними електричними опорами. Запропонований підхід дозволяє формалізувати процес пошуку несправностей та визначати як одиничні, так і кратні дефекти на основі порівняння реальних і розрахункових параметрів.

7. Запропоновано ризик-орієнтовану методику визначення оптимальної періодичності діагностування підвіски, що ґрунтується на мінімізації сумарного ризику відмови та ризику зайвих діагностичних операцій. Установлено залежність оптимальної кількості діагностувань від фактичного технічного стану підвіски, зокрема від кількості затухаючих коливань. Доведено можливість обґрунтованого пропуску окремих діагностичних процедур без зниження безпеки руху.

8. Розроблені рекомендації дають змогу зменшити витрати на технічне обслуговування, оптимізувати завантаження діагностичної лінії та підвищити рівень безвідмовності підвіски, що є актуальним для підприємств автомобільного сервісу та власників легкових автомобілів.

9. Проведено аналіз умов праці та вимог охорони праці при виконанні діагностичних робіт, визначено небезпечні та шкідливі виробничі фактори, запропоновано заходи щодо підвищення рівня безпеки та зменшення виробничих ризиків на СТО.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про дорожній рух» : Закон від 30 черв. 1993 р. № 3353-ХІІ. Відом. Верховної Ради України.
2. Закон України «Про автомобільний транспорт» : Закон від 5 квіт. 2001 р. № 2344-ІІІ. Відом. Верховної Ради України.
3. Правила дорожнього руху України : затв. Постановою КМУ від 10.10.2001 № 1306.
4. ДСТУ 3649:2010. Автомобілі дорожні. Вимоги безпеки до технічного стану та методи контролювання. Київ : Мінекономіки України, 2010.
5. ДСТУ 2984-95. Надійність техніки. Терміни та визначення. Київ. Держстандарт України, 1995.
6. ДСТУ 2391-94. Транспорт дорожній. Засоби вимірювання технічного стану. Київ. Держстандарт України, 1994.
7. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Київ. ДП «УкрНДНЦ», 2016.
8. ДСТУ ISO 45001:2019. Управління охороною праці. Київ. ДП «УкрНДНЦ», 2019.
9. ДСТУ 8824:2019. Автомобільний транспорт. Надійність експлуатаційна. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
10. НПАОП 0.00-1.28-10. Правила охорони праці під час технічного обслуговування і ремонту дорожніх транспортних засобів. Київ. Держгірпромнагляд. 2010.
11. НАПБ А.01.001–2014. Правила пожежної безпеки в Україні. Київ. МВС України, 2014.
12. Методика перевірки амортизаторів транспортних засобів на діагностичних стендах. Київ : Мінінфраструктури України, 2018.
13. Білякович О.Є. Технічна експлуатація автомобілів : навч. посіб. Львів. Видавництво Львівської політехніки, 2014.

14. Коваленко Д.О., Нагорний Є.В. Автомобілі : конструкція, технічне обслуговування, діагностування : підручник. Київ. Кондор, 2016.
15. Говорущенко Т.М. Основи технічної експлуатації транспортних засобів : навч. посіб. Харків. ХНАДУ, 2017.
16. Коваленко Ю.С. Теорія експлуатаційних властивостей автомобілів : підручник. Київ : НАУ, 2015.
17. Шаповалов В.М. Діагностика технічного стану автомобілів : навч. посіб. Харків : ХНАДУ. 2018.
18. Доля В.К., Тимченко А.А. Надійність транспортних засобів : підручник. Харків : ХНАДУ, 2016.
19. Калюжний В.А. Підвіски та амортизатори автомобілів : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2013.
20. Литвиненко О.М. Автомобільні експлуатаційні матеріали та системи : навч. посіб. Київ. НАУ, 2012.
21. Попович О.Ф. Експлуатаційні властивості та надійність автомобіля : навч. посіб. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2016.
22. Пилипенко С. М. Діагностика транспортних засобів : методи та засоби. Київ : Ліра-К, 2017.
23. Кривда В. Г. Технічне діагностування машин : навч. посіб. Київ : Ліра-К, 2020.
24. Басистий Р.В. Дослідження надійності підвіски легкових автомобілів в умовах міської експлуатації. Вісник Львівської політехніки. 2020.
25. Гнатів І.Й. Вплив дорожніх умов на ресурс підвіски автомобілів. Автомобільний транспорт. 2019.
26. Сеньків М.І. Методи оцінювання технічного стану підвіски легкового автомобіля. Наукові праці НАУ. 2021.
27. Кучеренко О.П. Зменшення номенклатури діагностичних параметрів у системах діагностування. Транспортні системи. 2020.
28. Гринів О.М. Аналіз вібраційних параметрів автомобіля як засобу діагностики підвіски. Збірник наук. праць ХНАДУ. 2019.

29. Мазур В.В. Особливості контролю амортизаторів на діагностичних стендах. Автошляховик України. 2018.
30. Рудик Ю.І. Прогнозування передвідмовного стану автомобільних систем. Техніка і технології в автотранспорті. 2019.
31. Литвиненко В.В. Дослідження дефектів вузлів автомобільної підвіски. Наукові записки ТНТУ. 2018.
32. Збірник наукових праць ХНАДУ. Транспортні та будівельні технології. 2017–2021.
33. SEAT Україна. Офіційна технічна документація та каталоги з підвісок автомобілів Seat. Київ : SEAT S.A., 2019.
34. Volkswagen Group Україна. Матеріали технічного навчання з підвісок та кермування. Київ : VW Group, 2018.
35. Bosch Україна. Діагностична лінія Bosch SDL 260 : технічний посібник. Київ : Bosch Україна, 2017.
36. СТО «Галичина-Авто». Внутрішні сервісні бюлетені з діагностування підвіски легкових автомобілів Seat. Львів, 2022.
37. Міністерство інфраструктури України. Матеріали щодо технічного контролю транспортних засобів. Київ : МІУ, 2020.
38. УкрНДІ «ТрансМайно». Дослідження методів діагностування дорожніх транспортних засобів. Київ, 2018.
39. АвтоЕксперт. Аналітичні матеріали щодо підвісок і надійності автомобілів. AutoExpert.ua. 2018. 2023.
40. Укравтопром. Аналітичні огляди технічного стану автопарку та статистика відмов компонентів. Київ : Укравтопром, 2019.
41. Канарчук В.Є., Лудченко О.А., Чигринець А.Д. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів: Підручник. У 3-х кн. – Київ. Вища школа, 1994. Книга 1: Теоретичні основи. Технологія. 344 с.

ДОДАТКИ

Програма в середовищі Mathcad для визначення технічного стану підвіски автомобіля

Вводимо початкові дані

$n := 12$ $i := 1..n$ $j := 2..n$ $Z_{nom} := 2$ $colyvan$
 $probig \ 10^3 km$ $l_1 := 0$ $l_2 := 1.6$ $l_3 := 2.8$ $l_4 := 11$ $l_5 := 15$ $l_6 := 16$
 $l_7 := 20$ $l_8 := 27$ $l_9 := 33$ $l_{10} := 40$ $l_{11} := 55$ $l_{12} := 61$
 $colyvan \ pidviscu$ $Z_1 := Z_{nom}$ $Z_1 = \blacksquare$ $Z_2 := 2.5$ $Z_3 := 2.5$
 $Z_4 := 2.5$ $Z_5 := 3$ $Z_6 := 3.5$ $Z_7 := 3.5$ $Z_8 := 4$
 $Z_9 := 4.5$ $Z_{10} := 4.5$ $Z_{11} := 5$ $Z_{12} := 5.5$

Вводимо значення середнього пробігу на відмову і періодичності проведення діагностування

$lc := 23.6$ $\tau_{opt} := 8.3$ $t_{0,35}$ $lp := 20$ $TO2$ $ZI := 3$
 $l_d := 20$ $\lambda_0 := 0.037$ $\lambda_1 := 0.0185$ $ZII := 3.5$
 $ka \equiv 4$ $v \equiv 0.556$ $Qd \equiv 34$ $Qab \equiv 160$

Проводимо розрахунок

$$\begin{aligned}
 b1 &:= (n-1) \cdot \sum_{j=2}^n (\ln(l_j))^2 & b2 &:= \left(\sum_{j=2}^n \ln(l_j) \right)^2 & b &:= b1 - b2 \\
 & & & & u_j &:= |Z_j - Z_{nom}| \\
 v1 &:= \left[\sum_{j=2}^n (\ln(l_j)^2) \cdot \sum_{j=2}^n \ln(|Z_j - Z_{nom}|) \right] - \left[\sum_{j=2}^n (\ln(l_j)) \cdot \sum_{j=2}^n (\ln(l_j) \cdot \ln(|Z_j - Z_{nom}|)) \right] \\
 \alpha1 &:= (n-1) \cdot \left[\sum_{j=2}^n (\ln(l_j) \cdot \ln(|Z_j - Z_{nom}|)) \right] - \sum_{j=2}^n \ln(l_j) \cdot \sum_{j=2}^n (\ln(|Z_j - Z_{nom}|))
 \end{aligned}$$

$$V := e^{\frac{V_1}{b}} \quad \alpha := \frac{\alpha_1}{b} \quad V := \text{if}(Z_3 > Z_{\text{nom}}, V, -V) \quad V = 0.266$$

$$\alpha = 0.586 \quad Z_{\text{teor}_i} := Z_{\text{nom}} + V \cdot (l_i)^\alpha$$

$$l_{\text{dop}} := l_c - \tau_{\text{opt}} \quad Z_{\text{gd}} := Z_{\text{nom}} + V \cdot l_{\text{dop}}^\alpha \quad Z_{\text{gd}} = 3.319$$

$$Z_0(Z_1) := \text{if}\left(Z_{\text{gd}} > Z_{\text{nom}}, \frac{Z_1}{Z_{\text{gd}}}, \frac{Z_{\text{gd}}}{Z_1}\right) \quad Z_{0I} := Z_0(Z_I) \quad Z_{0II} := Z_0(Z_{II})$$

$$P(l, Z_0) := \frac{e^{-(\lambda_0 + \lambda_1) \cdot (l + l_p)} \cdot e^{-Z_0 \left(1 + \frac{l_p}{l}\right)}}{\left[1 - e^{-(\lambda_0 + \lambda_1) \cdot (l + l_p)}\right] \cdot \left[1 - e^{-\lambda_0(l + l_p)}\right] + e^{-(\lambda_0 + \lambda_1) \cdot (l + l_p)} \cdot e^{-Z_0 \left(1 + \frac{l_p}{l}\right)}}$$

$$PI := P(l_d, Z_{0I}) \quad PII := P(l_d, Z_{0II}) \quad Z_{\text{et}} := Z_{\text{nom}} + V \cdot l_d^\alpha$$

$$Z_{0\text{et}} := Z_0(Z_{\text{et}}) \quad P_{\text{et}} := P(l_d, Z_{0\text{et}})$$

$$PI = 0.025 \quad PII = 0.019 \quad P_{\text{et}} = 0.018$$

$$j_1 := 1..5 \quad j_2 := 1..ka \quad l_{\text{et}j_2} := (j_2 + 1) \cdot l_p$$

$$Z_{01} := 0.1 \quad Z_{02} := 0.3 \quad Z_{03} := 0.5 \quad Z_{04} := 0.7 \quad Z_{05} := 0.9$$

$$P_{lj_2, j_1} := P(l_{\text{et}j_2}, Z_{0j_1})$$

$$P_{-1} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.035 & 0.026 & 0.019 & 0.014 & 0.011 \\ 0 & 0.011 & 8.368 \times 10^{-3} & 6.422 \times 10^{-3} & 4.926 \times 10^{-3} & 3.777 \times 10^{-3} \\ 0 & 3.519 \times 10^{-3} & 2.743 \times 10^{-3} & 2.137 \times 10^{-3} & 1.665 \times 10^{-3} & 1.297 \times 10^{-3} \\ 0 & 1.15 \times 10^{-3} & 9.048 \times 10^{-4} & 7.119 \times 10^{-4} & 5.601 \times 10^{-4} & 4.406 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$$

Розрахунок за методикою мінімального ризику, вводимо вимірні значення

$$ZB := 2 \quad k := 1..ka$$

$$x_{2k} := \frac{ka \cdot (Zgd - ZB) - k \cdot (Zgd - Znom)}{k \cdot v \cdot (Zgd - Znom)}$$

$$x_{1k} := \frac{ka \cdot (Zgd - ZB) + k \cdot (Zgd - Znom) \cdot (3 \cdot v - 1)}{k \cdot v \cdot (Zgd - Znom)}$$

$$\Phi(x) \equiv \text{if}(x \leq -5, -0.5, \Phi(x))$$

$$\Phi(x) \equiv \text{if}\left[(|x| < 5), \left(\frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \right) \cdot \sum_{n1=0}^{40} \left[(-1)^{n1} \cdot \frac{x^{2 \cdot n1 + 1}}{n1! \cdot (2 \cdot n1 + 1) \cdot 2^{n1}} \right], 0.5 \right]$$

$$R_k := \frac{Qd}{k} + \left(Qab - \frac{Qd}{k} \right) \cdot (\Phi(x_{1k}) - \Phi(x_{2k}))$$

$$k = \begin{array}{|c|} \hline 1 \\ \hline 2 \\ \hline 3 \\ \hline 4 \\ \hline \end{array} \quad R = \begin{pmatrix} 0 \\ 34 \\ 17.193 \\ 52.106 \\ 84.045 \end{pmatrix}$$

Максимальна кількість пропусків проведення діагностувань:

$$k_{\min} := 2$$