

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Проектування технічного визначення стану гальмівної системи  
автомобілів з дослідженням системам живлення легкових автомобілів

Виконав: студент 6 курсу, групи МАМ-61  
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

	<u>Владислав КУЧЕР</u> (ім'я та прізвище)
<u>(підпис)</u>	
Керівник	<u>Роман</u> <u>РОГАТИНСЬКИЙ</u> (ім'я та прізвище)
<u>(підпис)</u>	
Нормоконтроль	<u>Михайло ЛЕВКОВИЧ</u> (ім'я та прізвище)
<u>(підпис)</u>	
Зав. кафедри	<u>Олег ЦЬОНЬ</u> (ім'я та прізвище)
<u>(підпис)</u>	
Рецензент	<u>(підпис)</u>
<u>(підпис)</u>	<u>(ім'я та прізвище)</u>

Міністерство освіти і науки України  
**Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя**

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)

Кафедра Кафедра автомобілів  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олег ЦЬОНЬ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«14» листопада 2025 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Кучеру Владиславу Руслановичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування технічного визначення стану гальмівної системи автомобілів з дослідженням системам живлення легкових автомобілів

Керівник роботи Рогатинський Роман Михайлович., д.т.н., проф.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 14 » листопада 2025 року № 4/7-970

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19 грудня 2025

3. Вихідні дані до роботи Базовий ТП діагностики гальмівної системи

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ.

4 Науково-дослідний розділ. 5 Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

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

Пристосування для прокачування гальмівної системи – 1А1.

Обладнання для прокачування гідравлічної системи гальм – 1А1.

Стенд Energotest MIDA 6/20 – 1А1.

Пристрій для перевірки гальм – 1А1.

Обладнання для проведення експериментальних досліджень – 1А1.

Результати наукових досліджень – 3А1.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Посада, ім'я та прізвище консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н. доц. Ткаченко І.Г.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	ст. викл. Стручок В.С.		

7. Дата видачі завдання 14.11.2025р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	20.11.25	
2	Технологічний розділ	27.11.25	
3	Конструкторський розділ	03.12.25	
4	Науково-дослідний розділ	11.12.25	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	19.12.25	
6	Оформлення графічної частини	19.12.25	
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра		

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Владислав КУЧЕР

\_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Роман РОГАТИНСЬКИЙ

\_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Проектування технічного визначення стану гальмівної системи автомобілів з дослідженням системам живлення легкових автомобілів».

Робота виконана на кафедрі автомобілів ТНТУ ім. І. Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи магістра д.т.н. професор Рогатинський Роман Михайлович.

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 65 сторінок формату А4 та 8 аркушів формату А1 графічної частини 2 сторінок додатків.

Ключові слова: експлуатаційна, показники, технічний стан, тертя, ефективність.

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
.....	7
<b>1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>7</b>
1.1 Оцінювання показників працездатності гальмівної системи.....	16
1.2 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу магістра.....	18
<b>2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>18</b>
2.1 Діагностування гальмівних систем автомобілів.....	
2.2 Розроблення технологічного процесу діагностування гальмівної системи автомобіля.....	24
2.3 Алгоритм проведення діагностування гальмівної системи на роликовому стенді Energotest «MIDI 6/20».....	29
	34
<b>3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>34</b>
3.1 Вибір стендового обладнання для діагностування гальмівних систем.....	
3.2 Загальна характеристика роликового діагностичного стенда Energotest «MIDI 6/20».....	37
	40
3.2 Розрахунок конструкції випробувального стенда.....	48
<b>4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ.....</b>	
4.1 Експериментальне оцінювання впливу картерних газів на роботу системи живлення автомобіля.....	48
<b>5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....</b>	<b>55</b>
	55
5.1 Покращення мікрокліматичних умов працівників транспортної галузі.....	
5.2 Класифікація надзвичайних ситуацій в Україні та порядок реагування на них і ліквідації наслідків.....	59
	62
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>64</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....</b>	
<b>ДОДАТКИ</b>	

## ВСТУП

Сучасний розвиток автотранспортної галузі характеризується зростанням вимог до безпеки дорожнього руху, паливної економічності та екологічної відповідності легкових автомобілів. Одними з ключових складових, що визначають рівень експлуатаційної надійності транспортного засобу, є гальмівна система та система живлення двигуна. Порушення їх працездатності призводить до суттєвого зниження керованості автомобіля, зростання гальмівного шляху, нестабільної роботи силового агрегату, підвищених викидів шкідливих речовин та аварійних ситуацій.

Гальмівні системи автомобілів зазнають інтенсивних навантажень під час експлуатації, тому потребують постійного технічного контролю, своєчасного обслуговування та діагностування для попередження відмов. Точність і достовірність визначення технічного стану елементів гальмівної системи прямо впливають на рівень активної безпеки транспортного засобу.

З іншого боку, системи живлення бензинових і дизельних двигунів легкових автомобілів зазнають постійного технологічного вдосконалення. Перехід на електронне керування подачею палива, застосування високоточного паливного обладнання вимагають впровадження сучасних методів діагностики та контролю параметрів їх функціонування. Недоліки у роботі системи живлення знижують ефективність згоряння палива, підвищують витрати та токсичність відпрацьованих газів.

Таким чином, актуальність даної роботи полягає у необхідності розроблення ефективних заходів і технічних рішень щодо визначення стану гальмівних систем автомобілів у поєднанні з дослідженням процесів функціонування систем живлення.

Реалізація завдань кваліфікаційної роботи передбачає комплексний аналіз конструкції гальмівних систем, методів їх діагностування, дослідження параметрів систем живлення та розроблення технічних рішень щодо підвищення ефективності їх функціонування.

# 1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Оцінювання показників працездатності гальмівної системи

Гальмівна система є одним із ключових елементів забезпечення безпеки дорожнього руху, а тому її технічний стан підлягає обов'язковому контролю. Вимоги щодо оцінки ефективності гальм регламентуються комплексом нормативних документів національного та міжнародного рівня, які визначають як допустимі значення діагностичних параметрів, так і порядок їх перевірки.

Умовно нормативну базу можна поділити на дві групи:

документи, що встановлюють критерії для нових транспортних засобів, які сходять із виробничих конвеєрів;

документи, що задають вимоги до автомобілів, які вже експлуатуються.

Виробники закладають у конструкцію гальмівних систем запас технічних можливостей, що забезпечує відповідність жорстким промисловим стандартам. Такий запас необхідний для компенсації природного зниження ефективності гальм, яке відбувається у процесі експлуатації через зношування та старіння елементів. Проте ступінь цього зниження суворо контролюється експлуатаційними нормативами, положення яких інтегровані у чинні правила дорожнього руху.

Для прикладу:

конструктивно допустимий рівень усталеного уповільнення для сучасних легкових автомобілів може досягати  $10 \text{ м/с}^2$ ;

промислові стандарти, що регламентують властивості нових транспортних засобів, допускають значення близько  $7 \text{ м/с}^2$ ;

експлуатаційні норми, що застосовуються під час технічного контролю у сервісних центрах, визначають мінімально припустимий рівень на рівні  $5\text{--}6 \text{ м/с}^2$ .

Таким чином, вимоги, що застосовуються до транспортних засобів у реальних дорожніх умовах, слугують критерієм забезпечення належної ефективності гальмування протягом усього життєвого циклу автомобіля та є визначальними для гарантування безпеки учасників дорожнього руху

Дорожні випробування робочої гальмівної системи (РГС) проводяться за участю водія та вимірювального обладнання (за необхідності – з присутністю оператора-випробувача), за умови що гальмівні механізми перебувають у «холодному» стані, тобто не застосовувалися протягом щонайменше 30–40 хвилин перед тестуванням. Початкова швидкість, з якої виконується гальмування, повинна знаходитися в діапазоні 35–45 км/год.

Зусилля, прикладене до педалі гальма (або іншого органу керування системою), не повинно перевищувати:

490 Н – для дорожніх транспортних засобів категорій M1 та N1;

686 Н – для транспортних засобів інших категорій.

Під час процесу гальмування водієві забороняється здійснювати коригування траєкторії руху транспортного засобу, за винятком ситуацій, коли це є критично необхідним для запобігання аварійній обстановці. У разі вимушеного коригування траєкторії результати випробування не враховуються.

Технічний стан робочої гальмівної системи оцінюється на підставі вимірюного гальмівного шляху, який не повинен перевищувати нормативних значень, регламентованих відповідними стандартами та наведених у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Нормативні значення гальмівного шляху для транспортних засобів, що перебувають в експлуатації.

Тип ДТЗ	Категорія ДТЗ (тягача)	Гальмівний шлях, м, не більш значень, розрахованих за формулами
Одиночні ДТЗ	M1	$V_0 (0,10 + V_0 / 150)$
	M2, M3, N1, N2, N3	$V_0 (0,15 + V_0 / 130)$
Автопоїзди	M1	$V_0 (0,15 + V_0 / 150)$
	M2, M3, N1, N2, N3	$V_0 (0,18 + V_0 / 130)$

де  $V_0$  – початкова швидкість гальмування, км/год.



Відповідно до вимог чинних стандартів (ДСТУ), оцінка ефективності робочої гальмівної системи може здійснюватися за критерієм усталеного уповільнення (јуст). Це уповільнення повинно становити не менше:

5,8 м/с<sup>2</sup> – для транспортних засобів категорії М1;

5,0 м/с<sup>2</sup> – для автомобілів інших категорій, включаючи автопоїзди на базі транспортних засобів категорії М1.

Додатково контролюється час спрацьовування гальмівної системи, який: для транспортних засобів із гідравлічним приводом має бути не більше 0,5 с;

для систем з іншим типом приводу – не більше 0,8 с.

Згідно з положеннями стандарту ДСТУ 2886-94, час спрацьовування визначають як проміжок від моменту початку натискання на орган керування гальмами до досягнення усталеного значення уповільнення, яке формує ефективне гальмування транспортного засобу.

Під час стендових випробувань технічний стан гальмівної системи оцінюють за такими параметрами:

Загальна питома гальмівна сила ( $\gamma_g$ ), що має дорівнювати:

не менше 0,59 – для одиночних транспортних засобів категорії М1,

не менше 0,51 – для ТЗ інших категорій.

Час спрацьовування гальмівної системи на стенді.

Осьовий коефіцієнт нерівномірності гальмівних сил ( $K_n$ ) – для кожної осі окремо.

При цьому значення коефіцієнта нерівномірності не повинне перевищувати 20 % у діапазоні прикладених гальмівних сил від 30 % до 100 % їх максимальних значень.

$$\gamma_g = \frac{\sum P_{z\ maxi}}{M_a \cdot g} \quad (1.1)$$

$$g = 9,80665 \text{ м/с}^2;$$

$$K_n = \frac{|(P_{z1} - P_{zn})|}{P_{z\ max}} \cdot 100 \% \quad (1.2)$$

Час спрацьовування гальмівної системи на стенді ( $t_{\text{спр}}$ ) визначається як проміжок від моменту початку гальмування до того часу, коли гальмівна сила колеса, що працює в найменш сприятливих умовах, досягає усталеного значення.

Під час стендових випробувань дослідження транспортного засобу здійснюється за умов його повної маси. Для транспортних засобів із пневматичним приводом гальм допускається проведення випробування у спорядженому стані. При цьому отримані значення максимальної гальмівної сили та часу спрацьовування підлягають обов'язковому коригуванню з урахуванням маси транспортного засобу.

Загальну питому гальмівну силу та час спрацьовування необхідно визначати як середньоарифметичні значення результатів трьох повторних вимірювань, округлені до десятих. Якщо різниця між будь-яким із цих результатів та середнім перевищує 5 %, серію випробувань слід провести повторно.

Аналогічно дорожнім випробуванням, перевірку на стенді необхідно здійснювати за умови, що гальмівні механізми перебувають у «холодному» стані, тобто без попереднього інтенсивного використання.

Вимога щодо проведення стендової діагностики гальмівних систем транспортних засобів у стані повної маси ґрунтується на обмежених технічних можливостях більшості силових стендів щодо відтворення необхідного рівня гальмівних сил. Для більшості випробувальних стендів величина реалізованої гальмівної сили становить лише 0,7–0,9 від діючого навантаження на колесо, а для інерційних стендів цей показник дещо вищий –  $q = 1,0\text{--}1,2$ . Таким чином, зазначена вимога фактично є завищеною.

Це побічно підтверджується і тим, що нормативні документи передбачають можливість тестування транспортних засобів із пневматичним приводом гальм у спорядженому стані. Такий підхід характерний для переважної більшості вантажних автомобілів та автобусів, повністю завантажити які при стендових випробуваннях є проблематичним із практичної точки зору.

У випадку легкових автомобілів теоретично можливо забезпечити наближення до повної маси за рахунок присутності водія, інспектора та кількох пасажирів під час державного технічного контролю. Однак для мікроавтобусів,

вантажних транспортних засобів та автобусів із гідравлічним приводом гальм вимога випробування при повній масі часто є технічно недосяжною.

У реальних умовах сервісного обслуговування і технічної діагностики в експлуатації подібна вимога практично не виконується. Формально її можна було б забезпечити шляхом застосування механізмів штучного довантажування коліс, однак стенди, оснащені такими пристроями, не набули широкого поширення та залишаються малодоступними для більшості підприємств.

У чинних нормативних документах під час визначення регламентованих параметрів гальмування використовується спрощене математичне моделювання процесу сповільнення транспортного засобу. У реальних умовах гальмівна діаграма має досить складну форму й характеризується нерівномірною зміною величини уповільнення в часі.

На рисунку 1.1 наведено типовий приклад залежності уповільнення від часу:

тонка зубцювата лінія відображає фактичний перебіг процесу гальмування з усіма його коливаннями;

суцільна потовщена лінія – ідеалізоване подання, що використовується для стандартизованої оцінки.

Саме так, у вигляді спрощеної моделі, нормативи описують «нормальну» гальмівну діаграму, яку прийнято поділяти на три основні часові інтервали:

Фаза запізнювання ( $t_3$ ) – період від моменту початку впливу водія на орган керування до появи першої суттєвої гальмівної сили. У цей час на транспортний засіб діє уповільнення вибігу  $j_v$ , обумовлене:

силами опору коченню,

аеродинамічним опором,

механічними втратами у підшипниках,

силами тертя між гальмівними колодками та робочими поверхнями, якщо відсутній початковий зазор у приводі.

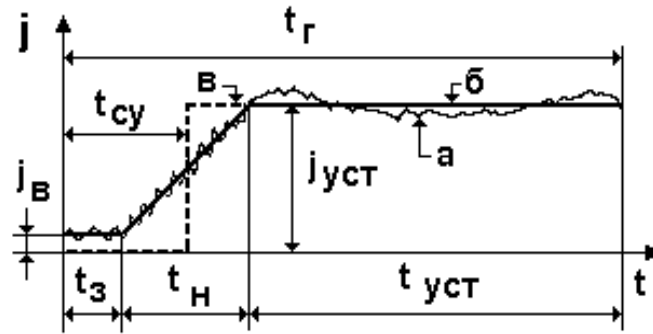


Рис. 4.1. Гальмівна діаграма.

а – реальна; б – ідеалізована; в – спрощена.

Фаза наростання ( $t_H$ ) – проміжок, у межах якого гальмівна сила збільшується до розрахунково усталеного значення.

Сумарно  $t_3 + t_H$  утворюють час спрацьовування гальмівної системи ( $t_C$ ).

Фаза усталеного гальмування ( $t_{уст}$ ) – етап, під час якого уповільнення приймається постійним ( $j_{уст}$ ), що дозволяє аналітично оцінювати ефективність гальмівного процесу.

У методиках стандартизованої оцінки ефективності гальмування приймається припущення, що уповільнення на фазі наростання змінюється лінійно. Це дозволяє математично описати процес сповільнення значно простіше. Для побудови кривих зміни швидкості та гальмівного шляху в часі зазвичай достатньо виконати інтегрування ідеалізованої часової залежності уповільнення.

У практиці розрахунків застосовують ще більш спрощену модель уповільнення вибігу  $j_B$  прирівнюють до нуля, фазу усталеного гальмування відліковують від певного моменту часу, що позначається як  $t_{cy}$ .

$$t_{cy} = t_3 + \frac{t_H}{2} \quad (1.3)$$

На наступному етапі проводять розрахунок гальмівного шляху:

$$S_2 = A \cdot V_0 + \frac{V_0^2}{B \cdot j_{уст}} \quad (1.4)$$

$$A = t_{cy} / 3,6 = (t_3 + t_H / 2) / 3,6; B = 2 * 3,6^2 = 25,92 * 26.$$

Відповідно до вимог ДСТУ 3649-97, стояночна гальмівна система (СГС) підлягає контролю як шляхом дорожніх випробувань, так і на стендовому обладнанні.

СГС повинна забезпечувати утримання транспортного засобу повної маси у нерухомому стані протягом не менше 5 хвилин на схилах із такими значеннями ухилу:

для транспортних засобів категорій М і N – 16 %;

для транспортних засобів категорії М у спорядженому стані – 23 %;

для автомобілів категорії N у спорядженому стані – 31 %.

Випробування виконують у двох положеннях транспортного засобу на ухилі:

передньою віссю вгору,

передньою віссю вниз.

При цьому зусилля на органі керування гальмами не повинно перевищувати:

392 Н – для категорії М1,

588 Н – для інших категорій.

Під час стендової перевірки значення загальної питомої гальмівної сили стояночної системи має становити не менше 0,16 від повної ваги транспортного засобу.

Перевірка допоміжної гальмівної системи.

Згідно з вимогами стандарту, допоміжна гальмівна система (ДГС) оцінюється виключно методами дорожніх випробувань.

В інтервалі швидкостей за показами спідометра від 35 до 25 км/год величина усталеного уповільнення повинна бути не меншою:

0,5 м/с<sup>2</sup> – для транспортних засобів у повній масі;

0,8 м/с<sup>2</sup> – для транспортних засобів у спорядженому стані.

За потреби можу також сформувані таблиці нормативних значень для СГС та ДГС, створити графічні інтерпретації або підготувати підрозділ з аналізом результатів перевірок конкретного автомобіля.

Слід звернути увагу на певні недоліки чинної нормативної бази, які призводять до суперечностей у вимогах та обмежують достовірність оцінки технічного стану гальмівних систем.

Одним із проблемних аспектів є відсутність у стандарті чітких вимог щодо швидкості стендових випробувань. Така невизначеність дозволяє застосовувати практично будь-які типи стендів:

інерційні швидкохідні стенди, здатні моделювати гальмування на різних режимах руху, близьких до реальних умов;

силові низькошвидкісні стенди зі швидкістю обертання коліс лише 2,5...5 км/год.

Однак експериментальні дослідження переконливо доводять, що використання низькошвидкісних стендів значною мірою завищує оцінювані величини гальмівних сил порівняно з результатами дорожніх випробувань. Це обумовлено тим, що при малій швидкості практично не враховується дія аеродинамічного опору, інерційних складових і зміни тертя, які є визначальними під час реального гальмування.

Ще одним важливим недоліком чинної системи оцінювання є використання показника загальної питомої гальмівної сили ( $\gamma t$ ) як основного критерію працездатності гальмівної системи. Попри свою універсальність, цей параметр не враховує розподіл гальмівних сил між осями транспортного засобу, а саме цей чинник має визначальний вплив на стійкість автомобіля під час інтенсивного гальмування.

У реальних умовах можлива ситуація, коли транспортний засіб формально відповідає нормативним вимогам щодо  $\gamma t$ , однак при випробуваннях на дорозі проявляє ознаки нестійкого гальмування:

передчасний юз коліс однієї з осей,  
перекидання навантаження на передню частину автомобіля,  
збільшений гальмівний шлях,  
схильність до заносу, особливо в кузовів із великою масою на задній осі (наприклад, триосьові автомобілі).

Ці негативні явища пов'язані з надмірно великим рівнем гальмівних сил на задній осі або ж з невідповідністю їх оптимальному співвідношенню.

Встановлення універсальних нормативів для розподілу сил гальмування дійсно є проблематичним, оскільки оптимальні значення коефіцієнта розподілу гальмівних сил ( $\beta$ ) залежать від:

категорії транспортного засобу,  
його конструктивної схеми,  
типів гальмівних механізмів.

Втім, норматив можна зробити гнучким і адаптивним, заклавши мінімальні допустимі межі  $\beta$ , орієнтовно таким чином:

Категорія ДТЗ	Умови виконання	Мінімальне значення $\beta^*$
M1, N1	Однакові типи гальм на всіх колесах	$\geq 0,50$
M1, N1	Дискові гальма на передній осі, барабанні на задній	$\geq 0,60$
M2	–	$\geq 0,60$
M3, N2, N3 (двовісні)	–	$\geq 0,30$
Тривісні ДТЗ	–	$\geq 0,25$

Перевірка стоянкової гальмівної системи на стендах також має низку суттєвих методичних недоліків. За дорожньою методикою випробувань СГС функціонує у статичному режимі: момент початку обертання колеса фіксується лише тоді, коли ефективність стоянкового гальма є недостатньою для утримання транспортного засобу на схилі.

Натомість під час стендових випробувань:

на силових стендах СГС тестується при тих самих швидкостях обертання коліс, що й робоча гальмівна система,

на інерційних стендах випробування розпочинається з початкової швидкості близько 15 км/год.

У таких режимах швидкість ковзання у фрикційній парі є ненульовою, що зумовлює зміну коефіцієнта тертя порівняно зі статичними умовами. Отже, реальні властивості СГС не можуть бути достовірно оцінені при випробуваннях, де колесо перебуває в русі.

Коректна стендова оцінка працездатності стоянкового гальма можлива лише тоді, коли обладнання забезпечує імітацію статичних умов, тобто випробування «на зрив». Це може бути реалізовано:

на комбінованих тягово-гальмівних стендах із приводом, здатним формувати необхідний крутний момент у режимі двигуна, або

на будь-якому стенді, оснащеному додатковим статичним приводом (наприклад, ручним механізмом прикладання моменту).

Крім того, ДСТУ не передбачає стендових перевірок допоміжної гальмівної системи (ДГС), хоча сучасні стенди здатні досить точно імітувати умови її реальної роботи. Зокрема, ДГС можна ефективно контролювати на інерційних гальмівних стендах або тягових стендах, якщо йдеться про моторні чи трансмісійні сповільнювачі (виняток становлять колісні гальма-уповільнювачі, які потребують іншої методики).

Саме тому логічним вбачається підхід, згідно з яким за основні приймаються параметри, визначені дорожніми методами, а нормативні стендові критерії:

встановлюються на основі науково обґрунтованих розрахункових методик, або

визначаються шляхом застосування випробувальної техніки, що достовірно відтворює роботу відповідного гальмівного механізму в експлуатаційних умовах.

## **1.2 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу магістра**

Метою даної кваліфікаційної роботи є підвищення достовірності та ефективності контролю технічного стану гальмівних систем автомобілів шляхом удосконалення технології їх діагностування з використанням роликового стенда Energotest «MIDI 6/20».

Для реалізації поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

Проаналізувати існуючі методи та засоби діагностування гальмівних систем автомобілів. Виконати оцінку їх переваг, недоліків та сфер застосування з урахуванням сучасних вимог безпеки дорожнього руху.



Розробити технологічний процес діагностування гальмівної системи.  
Передбачити послідовність виконання робіт, вимоги до технічних параметрів та критерії оцінювання працездатності гальм.

Сформувати алгоритм проведення контролю гальм на роликовому діагностичному стенді Energotest «MIDI 6/20». Обґрунтувати вибір програмно-апаратного комплексу для проведення вимірювання гальмівних параметрів.

Виконати обґрунтований вибір стендового обладнання. Подати технічну характеристику обраного діагностичного стенда, оцінити його відповідність вимогам при діагностуванні легкових та вантажних автомобілів.

Розрахувати основні конструктивні елементи випробувального стенда. Забезпечити перевірку на міцність і надійність навантажувальних вузлів.

Провести науково-дослідну роботу, що передбачає експериментальне визначення впливу картерних газів на роботу системи живлення автомобіля та аналіз отриманих результатів.

Розробити комплекс заходів з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях. Визначити шляхи покращення мікрокліматичних умов на підприємствах транспортної галузі, провести класифікацію можливих надзвичайних ситуацій і розробити порядок реагування на них.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Діагностування гальмівних систем автомобілів

За аналітичними даними, істотна частка дорожньо-транспортних пригод, спричинених технічними несправностями, пов'язана саме з порушенням роботи гальмівних систем – їх частка сягає близько 40–45%. Тому оперативний контроль технічного стану гальмівного приводу є ключовим чинником забезпечення безпеки руху та повинен здійснюватися шляхом своєчасної діагностики.

Необхідність перевірки гальм виникає за наявності характерних ознак відхилення від нормативних параметрів, зокрема:

- подовження гальмівного шляху або зниження загальної ефективності гальмування;

- поява сторонніх шумів (скрип, вібрація, пульсація) під час гальмування;

- сліди витoku гальмівної рідини в місцях з'єднань та на поверхнях деталей приводу;

- аномальна робота педалі (надмірний вільний хід, «провалювання», заїдання);

- неконтрольований відвід автомобіля вбік або тенденція до занесення при зниженні швидкості;

- інтенсивний нагрів гальмівних барабанів або дисків при нормальному режимі руху;

- нерівномірний або прискорений знос гальмівних накладок;

- поява тріщин, здуття чи механічних пошкоджень на гнучких гальмівних шлангах.

Діагностування гальмівних систем автомобіля передбачає комплексну оцінку параметрів, що характеризують їхню працездатність та безпечність. Насамперед здійснюється перевірка ефективності функціонування робочої (РГС), стоянкової (СГС) та, за потреби, допоміжної гальмівної системи (ДГС). Додатково проводиться контроль герметичності пневматичного або пневмогідравлічного приводу, оскільки навіть незначні витoki повітря чи гальмівної рідини можуть призвести до різкого зниження гальмівної сили.

Оцінювання технічного стану гальмових механізмів може здійснюватися на двох рівнях: шляхом комплексного (загального) тестування або деталізованого аналізу роботи окремих вузлів і елементів. Умовно структура такого діагностування подається на рис. 2.2.

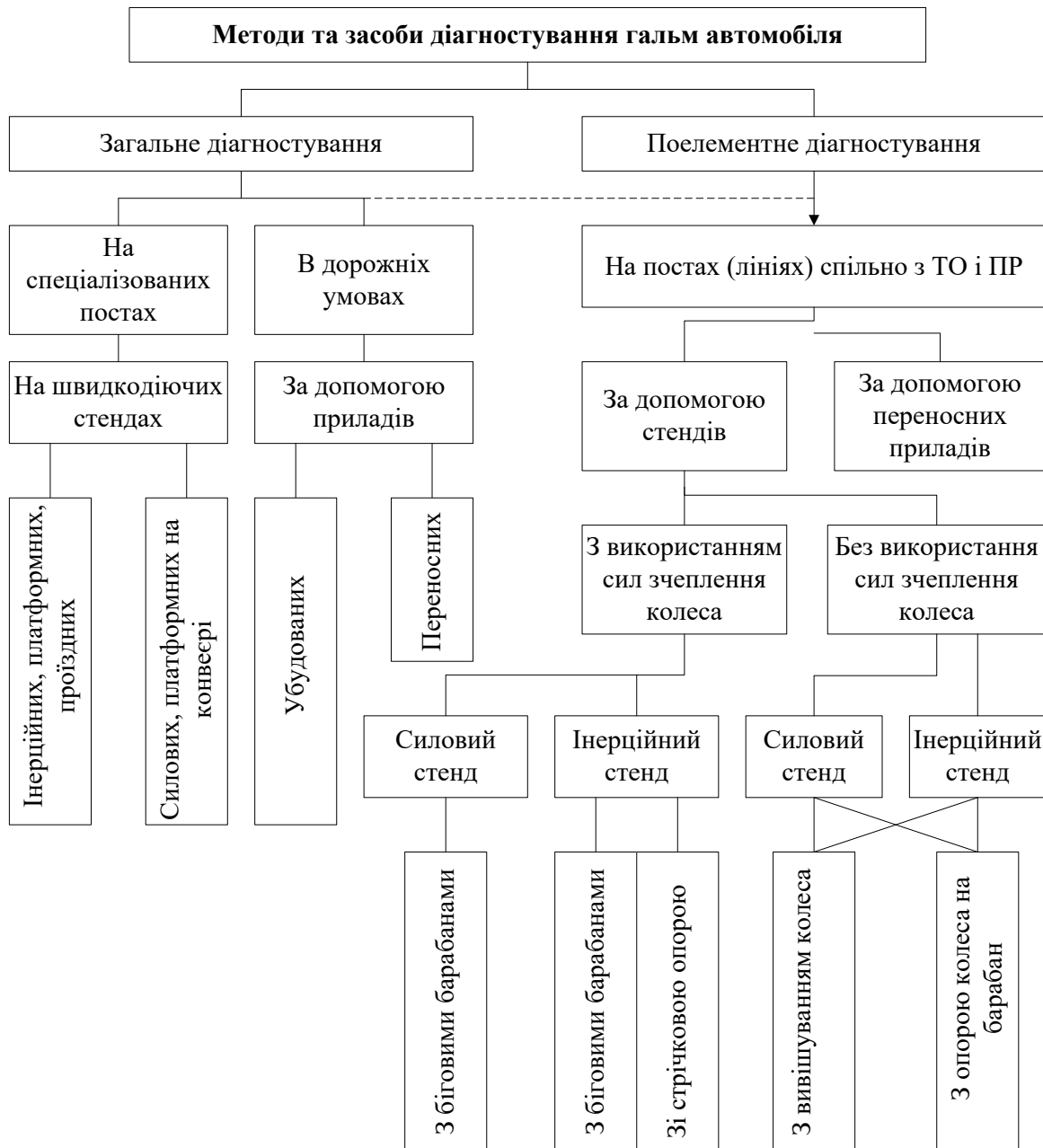


Рис. 2.2. Технологічна класифікація методів і засобів діагностування гальм автомобілів.

Оцінювання працездатності гальмівної системи автомобіля в цілому базується на визначенні таких ключових показників, як довжина гальмового шляху, величина уповільнення під час зниження швидкості та розподіл гальмівного зусилля між колесами. Проведення цих вимірювань у дорожніх умовах часто супроводжується похибками, обумовленими зміною покриття,

станом шин і впливом зовнішніх чинників. Саме тому найбільш достовірні результати забезпечує діагностування на роликівих силових стендах, де параметри гальмування визначаються у стабілізованих і контрольованих умовах.

Поняття гарантованої міцності стосується тих складальних одиниць гальмівної системи, які спроектовані та виготовлені з урахуванням того, щоб за нормальної експлуатації вони не виходили з ладу через конструктивні дефекти або руйнування протягом усього призначеного строку служби транспортного засобу. При цьому до сфери дії цієї вимоги не включаються відмови, пов'язані з природним зношуванням матеріалів та робочих поверхонь, що є неминучим у процесі довготривалої експлуатації.

До складових елементів, що повинні забезпечувати гарантовану міцність гальмівної системи, відносять: педальний механізм та вузли його кріплення, гальмівний кран або головний гальмівний циліндр, тяги та інші компоненти привода, повітродозподільник, робочі (колісні) гальмівні циліндри, гальмівні колодки, барабани або диски, механізми розведення колодок, зокрема розтискні кулаки і регулювальні важелі. До цієї групи також належать гальмівні накладки, робочі рідини, трубопроводи, гнучкі шланги та фіксувальні елементи їх приєднання. Сукупність цих деталей повинна гарантувати структурну надійність і недопущення раптових відмов упродовж установленого ресурсу агрегату.

Категорично не допускається заміна зазначених компонентів виробами сумнівного походження або тими, що не відповідають технічним умовам виробника автомобіля. Нормативні документи прямо забороняють будь-яке втручання у конструкцію гальмівної системи, яке може вплинути на її безпечність, протягом усього строку експлуатації транспортного засобу.

Перевірку величини вільного ходу педалі гальма здійснюють за допомогою вимірювальної лінійки (рис. 2.3), яку встановлюють вертикально на підлозі кабіни поруч із педальним вузлом. Спочатку фіксують положення педалі у стані спокою відносно шкали лінійки. Далі педаль плавно натискають до моменту появи чітко відчутного опору, після чого визначають нове значення на шкалі. Різниця між отриманими відліками і є величиною вільного ходу, що використовується для оцінювання правильності регулювання привода.

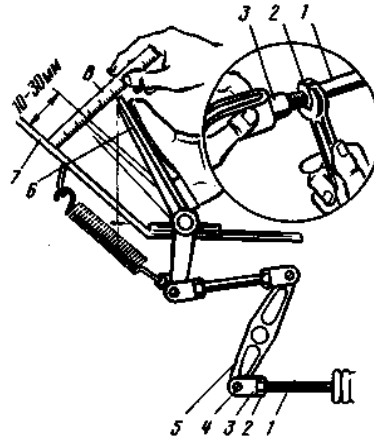


Рис. 2.3. Перевірка і регулювання вільного ходу педалі гальм автомобіля:  
1 – тяга; 2 – контргайка; 3 – вилка; 4 – палець; 5 – проміжний важіль; 6 –  
педаць; 7 – підлога кабіни; 8 – лінійка.

При перевірці правильного регулювання привода слід враховувати, що повністю натиснута педаль гальма має залишатися на відстані 10...30 мм від поверхні підлоги кабіни. Менший зазор свідчить про можливість неповного розтиснення гальмівних механізмів, тоді як надмірне збільшення – про значні відхилення в роботі привода або знос деталей.

Стан накладок гальмівних колодок контролюють за залишковою товщиною фрикційного шару: величина виступання над головкою заклепки повинна становити не менше 0,5 мм. Зменшення цього показника означає критичне зношування та потребу негайної заміни накладок.

Оцінку герметичності гідравлічного привода здійснюють шляхом візуального огляду з'єднань після 3–4 різких натискань на педаль гальма. Навіть незначні сліди витіку гальмівної рідини розглядаються як причина для усунення несправності, оскільки вони можуть призвести до падіння тиску в системі.

Рівень робочої рідини у резервуарі головного гальмівного циліндра має підтримуватися на висоті 15...20 мм нижче крайки заливного отвору. Недостатній об'єм рідини свідчить або про її витік, або про надмірний знос фрикційних елементів.

Функціональність гідровакуумного підсилювача перевіряють у такій послідовності: при нерухомому двигуні педаль натискають декілька разів для вирівнювання тиску в системі та усунення залишкового розрідження. Потім, утримуючи педаль із зусиллям 300...500 Н, запускають двигун. За справної

роботи підсилювача педаль відчутно переміщується вниз, наближаючись до підлоги, а також чутно характерне шипіння повітря, яке проходить через фільтрувальний елемент у кабіні. Двигун зупиняють, не відпускаючи педаль, що дозволяє оцінити здатність системи зберігати створений тиск.

Якщо гідровакуумний підсилювач та всі елементи його системи перебувають у справному стані, після зупинки двигуна педаль гальма повинна залишатися нерухомою протягом щонайменше 1–2 хвилин. Будь-яке поступове повернення педалі у вихідне положення свідчить про порушення герметичності вакуумного тракту – переважно про підсмоктування повітря в з'єднаннях трубопроводу або несправність зворотного клапана підсилювача.

При контролі технічного стану пневматичного привода гальм основна увага приділяється справності трубопроводів, шлангів та приладів системи. Вони не повинні мати механічних пошкоджень у вигляді тріщин, надломів чи деформацій. Забороняється також перекручування гнучких шлангів, що може спричинити їх перегин і порушення пропускної здатності.

Перевірку герметичності пневматичної магістралі проводять шляхом спостереження за зміною тиску після того, як двигун зупинено: помітне падіння тиску свідчить про витік повітря. Для точнішого визначення місця негерметичності використовують акустичний метод (прослуховування характерного шипіння) або наносять на підозрювані ділянки мильну емульсію. У місцях витіку з'являються характерні бульбашки, що дозволяє швидко локалізувати дефект.

Після запуску двигуна й виходу його на стійкий режим холостого ходу очікують, доки тиск у повітряних балонах не досягне значення 0,73...0,77 МПа, що контролюється за показами верхньої шкали манометра на панелі приладів. Далі двигун вимикають і здійснюють спостереження за манометром при відпущеній педалі гальма. Якщо протягом 30 хвилин величина тиску зменшується менш ніж на 0,05 МПа, ділянка контуру, що включає компресор, повітряні балони та гальмівний кран, вважається герметичною. У разі більшого падіння тиску необхідно встановити місце витіку саме в цій частині системи.

Для оцінювання герметичності всієї пневматичної гальмівної системи виконують різке повне натиснення педалі гальма і, утримуючи її у натиснутому

положенні, контролюють зміну тиску за манометром. У справній системі можливе короткочасне початкове зниження, після чого тиск стабілізується на рівні, що відповідає тиску в гальмівних камерах (покази нижньої шкали манометра). Якщо під час натиснення педалі спостерігається подальше падіння тиску, це свідчить про витік повітря, який необхідно ідентифікувати через огляд з'єднань і приладів у всій системі.

Перевірка герметичності гальмівних камер передніх коліс проводиться шляхом нанесення мильної емульсії на стяжний хомут, вентиляційні й дренажні отвори корпусу, а також на зону приєднання гнучкого шланга. У разі утворення бульбашок встановлюється місце пошкодження. Гальмівні камери задніх коліс, обладнані пружинними енергоакумуляторами, проходять перевірку за умови наявності тиску в контурах привода робочої та стоянкової гальмівних систем. Діагностування самих енергоакумуляторів здійснюється при вимкненому стоянковому гальмі, коли їх порожнини заповнені стисненим повітрям, що забезпечує можливість виявлення негерметичних ділянок.

У разі виявлення порушень у роботі захисних клапанів або фіксації виходу повітря через атмосферні отвори пробок чи з-під захисних чохлах під час перевірки герметичності – такі клапани необхідно беззастережно замінити на справні. Подібні дефекти несумісні з вимогами експлуатаційної безпеки, оскільки можуть спричинити різке зниження тиску в системі.

Стан гальмівного крана перевіряють у двох робочих режимах: при загальмуванні та при повному розгальмуванні. Якщо в положенні розгальмування спостерігається витік повітря через атмосферний вивід, це свідчить про негерметичність впускного клапана однієї із секцій. Навпаки, поява витоку повітря в режимі загальмування свідчить про порушення ущільнення впускного клапана. В обох випадках кран потребує регулювання або ремонту з подальшим контролем працездатності.

Під час оцінювання механічного привода стоянкової гальмівної системи важливо впевнитися, що пальці й інші сполучні елементи надійно зашплінтовані та не мають ознак люфту. Ефективність стоянкового гальма визначають за кутом переміщення стопорної засувки секторного механізму. Для забезпечення повного загальмування гальмівного барабана засувка повинна переміщуватися

на 4...6 зубів сектора. Відхилення цього параметра може свідчити про необхідність регулювання або зношування елементів механізму.

## **2.2 Розроблення технологічного процесу діагностування гальмівної системи автомобіля**

Технологічний процес контролю технічного стану гальмівних систем автомобіля передбачає визначення комплексу параметрів, що характеризують ефективність функціонування як робочої, так і стоянкової гальмівних систем. Результати діагностування дають можливість своєчасно виявляти відхилення, які можуть загрожувати безпеці дорожнього руху, та обґрунтовувати необхідність регулювальних чи ремонтних дій.

Під час оцінювання працездатності робочої гальмівної системи проводять вимірювання таких показників:

значення гальмівних сил, створюваних на кожному колесі;

питома гальмівна сила у поєднанні з осьовим навантаженням на колеса під час гальмування;

коефіцієнт нерівномірності розподілу гальмівних сил між колесами осі;

час реагування та спрацювання гальмівної системи;

зусилля, що прикладається до педалі гальма.

Діагностування стояночної гальмівної системи також включає визначення основних параметрів, зокрема:

величини гальмівних сил, що розвиваються колесами під час утримання автомобіля;

питомої гальмівної сили з урахуванням навантаження на вісь;

рівномірності розподілу гальмівного зусилля по осі;

часу спрацювання та розгальмовування механізму.

Комп'ютеризований роликовий стенд функціонує у повністю автоматизованому режимі, що забезпечує контроль змін діагностичних параметрів гальмівної системи безпосередньо під час випробувань. Це дозволяє не лише отримувати фінальні числові результати, а й аналізувати динаміку



розвитку гальмівного процесу шляхом побудови часових залежностей усіх вимірюваних величин.

Усі дані вимірювань відображаються на екрані монітора в реальному часі, паралельно здійснюється їх автоматичне порівняння з нормативними значеннями, що містяться в базі даних стенда. На основі аналізу отриманих значень система формує обґрунтований висновок щодо відповідності технічного стану гальмівної системи вимогам безпеки.

Крім того, результати діагностування можуть бути збережені у комп'ютерній пам'яті та виведені на друк для подальшої документації, архівування або контролю змін технічного стану автомобіля під час наступних перевірок. Такий підхід значно підвищує об'єктивність оцінювання та забезпечує простежуваність історії експлуатаційних параметрів гальмівної системи.

Порядок проведення діагностичних робіт на роликовому стенді. Щоб забезпечити коректність контролю технічного стану гальмівної системи, роботи на стенді виконують у такій послідовності:

Підготовка до випробувань: автомобіль встановлюють на роликовий модуль передньою віссю та вимикають двигун.

Монтаж вимірювального обладнання: на педаль гальма закріплюють датчик контролю зусилля.

Діагностика передньої осі: запускають програмний модуль стенда та фіксують основні параметри гальмування передніх коліс із формуванням проміжних висновків.

Зміна положення автомобіля: транспортний засіб переміщують на стенд задньою віссю та знову зупиняють двигун.

Діагностування задніх гальм: повторно активують програму та здійснюють вимірювання параметрів роботи задніх коліс.

Оцінювання ефективності стоянкової гальмівної системи: запускають окремий режим перевірки стоянкового гальма з визначенням відповідних діагностичних параметрів.

Документування результатів: після завершення всіх вимірювань дані зберігають у цифровій базі стенда та формують друкований протокол для технічної документації.

Завершення робіт: демонтують датчики та виводять автомобіль зі стенда.

На основі розробленого технологічного процесу сформовано технологічну карту підготовки автомобіля до діагностування гальмівної системи (табл. 2.1) та технологічну карту діагностування автомобіля Volkswagen (табл. 2.2), які деталізують організацію та послідовність виконання всіх операцій.

Таблиця 2.1. Технологічна карта підготовки транспортного засобу до проведення діагностування гальмівної системи.

№	Найменування операції і зміст переходу	Місце виконання	Розр.	Трудомісткість чол.-хв.
1.	Провести зовнішній огляд транспортного засобу з метою виявлення можливих пошкоджень та порушень у розташуванні вузлів і агрегатів.	Біля автомобіля	5	4,6
2.	Запустити силовий агрегат та забезпечити його роботу на режимі холостого ходу для стабілізації тисків у системах.	В кабіні	5	0,05
3.	Вимкнути блокування міжосьового диференціала (за наявності), забезпечивши незалежне обертання коліс під час діагностування.	В кабіні	5	0,05
4.	Заїхати передньою віссю на роликівий модуль стенда та заглушити двигун після правильного позиціювання автомобіля.	В кабіні	5	0,4
5.	Встановити у вихлопну систему відбірник відпрацьованих газів і увімкнути систему примусового відведення шкідливих викидів для створення безпечних умов роботи.	Біля автомобіля Біля пульта	5	0,8

6.	Під'єднати датчики вимірювання тиску N1 до контрольних штуцерів відповідних контурів (першої, другої або третьої осі). Важіль автоматичного регулятора гальмівних сил перевести у верхнє положення й зафіксувати.	Біля оглядової канави	3	1,0
7.	Закріпити датчик контролю зусилля на педалі гальма за допомогою затискного гвинта, забезпечивши його нерухоме положення під час проведення випробувань.	В кабіні	5	0,8

Таблиця 2.2. Технологічна карта діагностування гальмівної системи.

№	Найменування операції	Технологічні умови	Розряд	Трудомісткість, люд.год.
1	2	3	4	5
1	Розмістити транспортний засіб на роликовому модулі передньою віссю та вимкнути двигун після фіксації його положення.	Автомобіль повинен бути встановлений симетрично поздовжній осі	4	0,08
2	Встановити та надійно закріпити датчик контролю зусилля на педалі гальма.		4	0,14
3	Виконати діагностування гальмівної системи передньої осі: увімкнути стенд і запустити програму вимірювань; зафіксувати значення діагностичних параметрів та отримати попередній висновок про технічний стан передніх гальм.	$K_{нер}$ не повинен перевищувати 0,09	4	0,33

	Вимкнути стенд і підготувати автомобіль до перевірки другої осі.			
4	Розташувати транспортний засіб на роликівому модулі задньою віссю, після чого вимкнути двигун та забезпечити його нерухомість для проведення подальших вимірювальних операцій.	Автомобіль повинен бути встановлений симетрично поздовжній осі	4	0,08
5	Діагностування гальмівної системи задньої осі. Активувати роботу роликівого стенда та запустити програмне забезпечення в режимі випробування задніх гальм. Провести вимірювання параметрів гальмування задніх коліс у динамічному режимі, зафіксувати отримані значення та виконати їх аналіз щодо відповідності нормативним вимогам. Сформулювати висновок про технічний стан гальмівної системи задньої осі з урахуванням рівномірності розподілу зусиль, ефективності гальмування та часу її спрацювання.	$K_{нер}$ не повинен перевищувати 0,09	4	0,33
6	Контроль ефективності стоянкової гальмівної системи. Активувати стенд у режимі діагностування стоянкового гальмівного пристрою, обравши відповідний алгоритм у програмному забезпеченні. Провести вимірювання ключових показ-	Кількість клацань для Volkswagen – 3-4	4	0,17

	<p>ників утримувальної здатності стоянкового гальма, включаючи величину створюваного гальмівного зусилля та стабільність його утримання під навантаженням. На основі отриманих даних сформувавши висновок щодо технічного стану стоянкової гальмівної системи та відповідності нормативним вимогам. Після завершення діагностичних операцій вимкнути стенд і підготувати обладнання до наступного етапу робіт.</p>			
7	<p>Сформувавши протокол діагностування, вивести його на друк для подальшого документування, а також зберегти результати вимірювань у електронній базі даних стенда з метою архівування та можливості повторного аналізу в майбутньому.</p>		4	0,07
8	<p>Акуратно демонтувати датчик вимірювання зусилля з педалі гальма, перевірити відсутність сторонніх предметів на роликовому модулі стенда та безпечно вивести автомобіль із випробувальної зони.</p>		4	0,2

### **2.3 Алгоритм проведення діагностування гальмівної системи на роликовому стенді Energotest «MIDI 6/20»**

Після виконання всіх підготовчих операцій (згідно з табл. 2.1) для розміщення та під'єднання автомобіля на роликовому стенді Energotest «MIDI 6/20» подальші дії з діагностики здійснюють у визначеній послідовності.

На панелі керування обрати кнопку запуску режиму діагностування, після чого на екрані відображається робоча сторінка інтерфейсу «Перевірка гальмівної системи».

Дана сторінка містить інформаційні та керуючі елементи, необхідні для проведення випробувань

Аналоговий індикатор гальмівних сил відображає значення, що надходять від датчиків вимірювання зусиль на колесах під час випробувань гальмівної системи. Інформація подається у наочному форматі за допомогою двох стрілок: червона стрілка відтворює величину гальмівної сили правого колеса відповідної осі, тоді як зелена – демонструє параметри гальмування лівого колеса.

Додатково на внутрішній шкалі індикатора відображаються параметри керування гальмівною системою – це може бути або значення прикладеного зусилля до елемента керування гальмами, або ж тиск у магістралі привода в процесі гальмування.

Під аналоговим індикатором розміщується інформаційний блок, у якому відображаються числові значення вимірюваних параметрів. Формат та колірна індикація мають важливе функціональне значення:

синій колір використовується для позначення величини керуючого зусилля на органі управління гальмами або значення тиску в гальмівному приводі;

зелений та червоний кольори відповідають виміряним значенням гальмівної сили лівого та правого колеса відповідно;

чорний колір застосовується для індикації осьового навантаження на відповідні колеса (за умови, що стенд обладнано вбудованою системою зважування).

За потреби відображувані параметри можна змінювати, натиснувши функціональну кнопку перемикачання.

У центральній частині екранного інтерфейсу розміщуються кнопки керування:

«Старт» – ініціює початок вимірювання;

«Стоп» – завершує тестування та фіксує результати;

«Гальмування роликів» – активує гальмівний механізм роликів модуля для зупинки обертання коліс.

Поява спеціального символу на дисплеї свідчить про повну зупинку роликів і можливість безпечного виїзду автомобіля зі стенда.

У лівій верхній частині екрана визначено вісь автомобіля, що перебуває у процесі випробування:

літера А – передня вісь,

літера В – задня вісь.

Синє забарвлення панелі сигналізує, що вибір осі можна змінити за допомогою відповідної кнопки на пульті дистанційного керування.

У правому верхньому куті подано режим вимірювання:

робоча гальмівна система або

стоянковий гальмівний пристрій.

Сірий колір індикатора означає, що зміна режиму також виконується з ПДУ шляхом натискання відповідної функціональної кнопки.

Процедура вимірювання ефективності гальмування на роликовому стенді складається з трьох етапів, кожен із яких виконується незалежно від інших.

1-й етап – визначення максимальної гальмівної сили та зусилля на педалі гальма

Цей етап є обов'язковим для всіх транспортних засобів. Після запуску стенда система розпочинає вимірювання швидкості обертання коліс та їх опору коченню. На цьому етапі програмне забезпечення подає попередження про заборону натискання педалі гальма, доки стенд не перейде в режим активного гальмування.

Після появи команди «Гальмувати» оператор прикладає до педалі поступове зусилля. Визначення параметрів проводиться коректно лише за умови, що максимальна гальмівна сила досягається протягом:

10–15 секунд – для легкових автомобілів;

20–25 секунд – для вантажних транспортних засобів.

Протягом тесту стенд контролює швидкість обертання коліс і ступінь їх проковзування. Якщо фіксується надмірне ковзання, система видає команду «Відпустити!» – оператор має одразу зменшити тиск на педаль, щоб уникнути спотворення результатів.

На внутрішній шкалі індикатора розміщено значення прикладеної сили до педалі гальма. У центральній частині шкали позначено гранично допустиме зусилля. За наявності додаткового діапазону на правій стороні:

верхня межа, виділена червоним, сигналізує про надмірне гальмівне зусилля;

нижня межа, виділена червоним, вказує на недостатню ефективність гальмування.

Якщо після подання системою команди на припинення гальмування натискання на педаль продовжується понад 1,5 секунди, програмне забезпечення інтерпретує це як неправильні дії оператора й автоматично завершує тестування. У такому випадку одержані результати анулюються, і вимірювання необхідно розпочати повторно.

Стенд фіксує та зберігає максимальне значення гальмівної сили, досягнуте без фази інтенсивного прослизання коліс.

Другий етап – деталізована оцінка стану гальмівної системи за декількома контрольними фазами

Цей етап активується як опційний, за потреби замовника, під час інсталяції основного програмного модуля. Програма формує низку контрольних точок та обчислює відповідні значення зусилля на педалі, які мають бути досягнуті під час тесту.

Якщо під час вимірювань оператор не приклав необхідного зусилля, він повинен стабілізувати натискання на педаль на рівні вказаного значення, після чого натиснути кнопку ініціалізації вимірювань. Система почне зчитування параметрів.

Оператор плавно змінює зусилля на педалі до тих пір, поки воно не відповідатиме заданому програмою рівню, і утримує педаль у цьому положенні:

для автомобілів категорій M1 та N1 – не менше 3 секунд;

для решти категорій транспортних засобів – 6 секунд.

Якщо зусилля виходить за межі допустимих значень, відлік часу починається заново з моменту повернення параметра в дозволений діапазон. Під час утримання в межах допуску педаль повинна залишатися нерухомою.

Третій етап – визначення часу реакції гальмівної системи



Цей тест не застосовують для оцінювання стоянкового гальма або при перевірці автомобілів із постійним повним приводом.

На початку етапу система подає команду на різке, максимально швидке натискання педалі гальма. Якщо оператор прикладає зусилля занадто повільно, програмне забезпечення видає сигнал про помилку. При коректному виконанні команди система автоматично вимірює час затримки між початком натискання та розвитком необхідної гальмівної сили, що дозволяє оцінити швидкодію привода.

## 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 3.1 Вибір стендового обладнання для діагностування гальмівних систем

Ефективне підтримання автомобіля у працездатному технічному стані забезпечується своєчасним і якісним проведенням діагностичних заходів. Метою діагностування є мінімізація темпів зношування елементів транспортного засобу, своєчасне виявлення потенційних відмов і попередження виникнення критичних дефектів шляхом виконання контролюючих, регулювальних, кріпильних, мастильних та інших технічних операцій.

Для реалізації якісної оцінки функціонування гальмівної системи необхідно раціонально обрати тип діагностичного обладнання, яке забезпечить можливість вимірювання ключових параметрів гальмування у регламентованих умовах. Правильний вибір стенда дає змогу отримати достовірні результати, виявити приховані несправності та сформувані обґрунтовані рішення щодо технічного обслуговування або ремонту гальмівного привода.

Порівняно з дорожніми методами контролю, діагностування гальмівних систем на стендовому обладнанні має суттєві переваги. Зокрема, випробувальні стенди забезпечують значно вищу точність визначення параметрів гальмування, оскільки умови тестування стають відтворюваними та незалежними від зовнішніх чинників. Використання стенда дозволяє ізолювати й дослідити вплив окремих величин на процес гальмування, що практично неможливо в реальних дорожніх умовах.

Додатковими перевагами стендових випробувань є: гарантована безпека експериментів при будь-яких швидкостях і навантаженнях; можливість моделювання різноманітних дорожніх ситуацій; мінімальні витрати часу та ресурсів; стандартизація процедури контролю, яка забезпечує достовірність і порівнюваність результатів, отриманих на різному обладнанні.

Застосування таких стендів дозволяє визначити гальмівну силу на кожному окремому колесі, оцінити синхронність спрацювання гальмових механізмів, виміряти час реакції системи, а також зафіксувати величину зусилля

на педалі гальма та інші показники, що характеризують технічний стан гальмівного привода.

Сучасні засоби діагностування ефективності гальмівних систем та антиблокувальної системи гальмування (АБС) ґрунтуються на застосуванні спеціалізованих випробувальних стендів, які створюють контрольовані умови для оцінювання технічного стану гальмового привода й виявлення можливих дефектів його компонентів. За принципом дії такі стенди поділяють на два основні типи: роликові (барабанні) та платформні.

Обидва різновиди обладнання забезпечують тестування стандартних гальмових механізмів, а також систем, оснащених АБС. Платформний стенд дозволяє швидко встановити наявність порушень у роботі гальм, однак обсяг діагностичної інформації обмежений. Для правильної інтерпретації результатів спеціаліст повинен добре розуміти характер передбачуваної несправності.

Натомість роликові стенди забезпечують розширену оцінку технічного стану – вони дають змогу контролювати як гальмівну систему, так і параметри ходової частини. Це зумовлено тим, що сучасна конструкція шасі включає значну кількість взаємодіючих елементів: від гальмівних механізмів із дисковими або барабанними вузлами до складних підвісок, стабілізаторів та інших агрегатів, які впливають на рівномірність та ефективність гальмування.

Короткочасне гальмування на мінімальних швидкостях (5–15 км/год), характерне для платформних стендів, не дає змоги адекватно відтворити всі експлуатаційні навантаження та виявити комплексні дефекти, пов'язані з роботою ходової частини. Саме тому роликові стенди широко використовують як основний засіб для повноцінного діагностування гальмівних систем автомобілів.

Під час гальмування на платформному стенді колесо здійснює лише частковий поворот, унаслідок чого оцінювання ефективності гальмування відбувається на обмеженій ділянці поверхні диска або барабана. За умов нерівномірного зносу робочих поверхонь це може призвести до спотворення результатів діагностики та хибної оцінки фактичного технічного стану гальмівного механізму.

Натомість на роликовому стенді забезпечується безперервне обертання коліс протягом усього часу випробування, що дозволяє плавно регулювати зусилля натискання на педаль і контролювати розподіл гальмівної сили між колесами. Це дає змогу своєчасно виявляти такі відхилення, як заїдання колодок, наявність повітря в гідроприводі, неповне розтискання механізмів та інші характерні дефекти.

Додатковою перевагою роликових стендів є можливість попереднього прогріву гальмівних елементів і шин, що забезпечує отримання більш достовірних результатів випробувань, наближених до реальних експлуатаційних умов. Змінюючи інтенсивність гальмування, оператор має можливість оцінити роботу підсилювачів гальм і встановити наявність порушень у їхній роботі.

Роликові стенди для діагностування гальмівних систем дають змогу оцінювати величину опору коченню коліс у стані повного розгальмування, що є важливим критерієм для виявлення підклинювання гальмівних механізмів. Під час випробування на нейтральній передачі колеса автомобіля приводяться в обертання роликми стенда. Якщо супорт або інший елемент гальмівного механізму отримав заклинювання, це проявляється у вигляді уповільнення чи зупинки обертання одного або кількох роликів, що дозволяє оперативно визначити несправне колесо.

Важливою діагностичною перевагою роликових стендів є можливість точного фіксування зміни гальмівних зусиль при перевірці функціонування антиблокувальної системи (АБС). Завдяки цьому можна відстежити процес автоматичного регулювання тиску в гальмівних механізмах у разі швидкого, хоча й не надмірного натискання на педаль гальма, що характерно для роботи АБС. Усі зміни реєструються в режимі реального часу та надають фахівцю необхідні дані для оцінювання правильності функціонування електронно-гідравлічного модуля системи.

Роликові гальмівні стенди забезпечують повномасштабну діагностику гальмівної системи автомобіля, що дозволяє комплексно оцінити працездатність кожного її елемента. На таких установках можливо виявити «підклинювання» або неповне відведення колодок, замащення чи зволоження фрикційних накладок, наявність повітря в гідроприводі, а також визначити ефективність

роботи підсилювача гальм. Завдяки цьому роликові стенди забезпечують найвищий рівень достовірності результатів, що підтверджується практичним застосуванням саме цього типу обладнання в провідних світових автовиробників, зокрема Mercedes-Benz та Toyota.

Під час вибору роликового стенда для проведення діагностичних робіт основним критерієм виступала його універсальність та можливість використання для широкого спектра транспортних засобів. Одним із найбільш оптимальних рішень за сукупністю характеристик є стенд Energotest «MIDI 6/20», який вирізняється рядом технічних переваг:

- придатність для контролю гальм легкових автомобілів, легких вантажівок і вантажної техніки;

- можливість інтеграції в комплексні лінії технічного огляду;

- блок роликів встановлюється на одному рівні з підлогою, що полегшує заїзд автомобіля;

- можливість монтажу на оглядову канаву, що підвищує зручність доступу до вузлів;

- адаптація для перевірки повнопривідних транспортних засобів;

- підтримка автоматизованого режиму діагностування;

- опціональне оснащення дистанційним керуванням, модулем тестування амортизаторів та іншими пристроями;

- надання навчальних матеріалів і консультацій для персоналу;

- технічна підтримка через мережу Інтернет.

### **3.2 Загальна характеристика роликового діагностичного стенда Energotest «MIDI 6/20»**

Роликовий стенд Energotest «MIDI 6/20» призначений для вимірювання та аналізу параметрів гальмівних систем легкових автомобілів, мікроавтобусів і вантажної техніки. Конструкція стенда дозволяє проводити одночасне тестування однієї осі транспортного засобу, що забезпечує оперативну та інформативну оцінку технічного стану гальмового привода.

Стенд характеризується високою точністю вимірювань і здатністю працювати з широким спектром транспортних засобів завдяки оптимальному поєднанню технічних параметрів.

Основні технічні характеристики обладнання:

Максимальне навантаження на одну вісь – 6 т.

Максимальна швидкість контролю – 2,5 / 5 км/год.

Діапазон максимальної гальмівної сили на колесо – 5...20 кН.

Діапазон вимірювання зусилля натиснення на педаль гальма – 0...800 Н.

Похибка вимірювання основних параметрів –  $\pm 0,5$  %.

Живлення –  $3 \times 400/230$  В.

Діапазон вимірювання гальмівної сили – 0...30 кН.

Швидкість випробувань – 4,2 / 2,27 км/год.

Діаметр роликів – 286 мм.

Похибка визначення гальмівної сили –  $\pm 2$  %.

Похибка визначення зусилля на педалі –  $\pm 2$  %.

Похибка вимірювання часу спрацювання –  $\pm 2$  %.

Кількість робочих циклів за годину – до 30.

Максимальний струм споживання –  $3 \times 35$  А.

Механічна структура та основні функціональні вузли стенда наведені на рисунку 3.1, де показано компонування приводного механізму, блока роликів, вимірювальних модулів та системи захисту.

Діагностичні параметри стенда: час спрацювання гальмівної системи; загальна питома гальмівна сила транспортного засобу; коефіцієнт нерівномірності розподілу гальмівних зусиль між колесами осі; величина питомої гальмівної сили для кожного колеса; відносна різниця гальмівних сил коліс однієї осі.

Усі ці параметри формують комплексну оцінку ефективності гальмування й дозволяють визначити навіть приховані дефекти, які не проявляються під час стандартних дорожніх випробувань.

Склад та функціональна структура роликового стенда. Гальмівний стенд включає кілька основних блоків: Механічна частина, що містить: роликовий

модуль для приводу коліс; датчики вимірювання гальмівного зусилля; систему сигналізації обертання роликів.

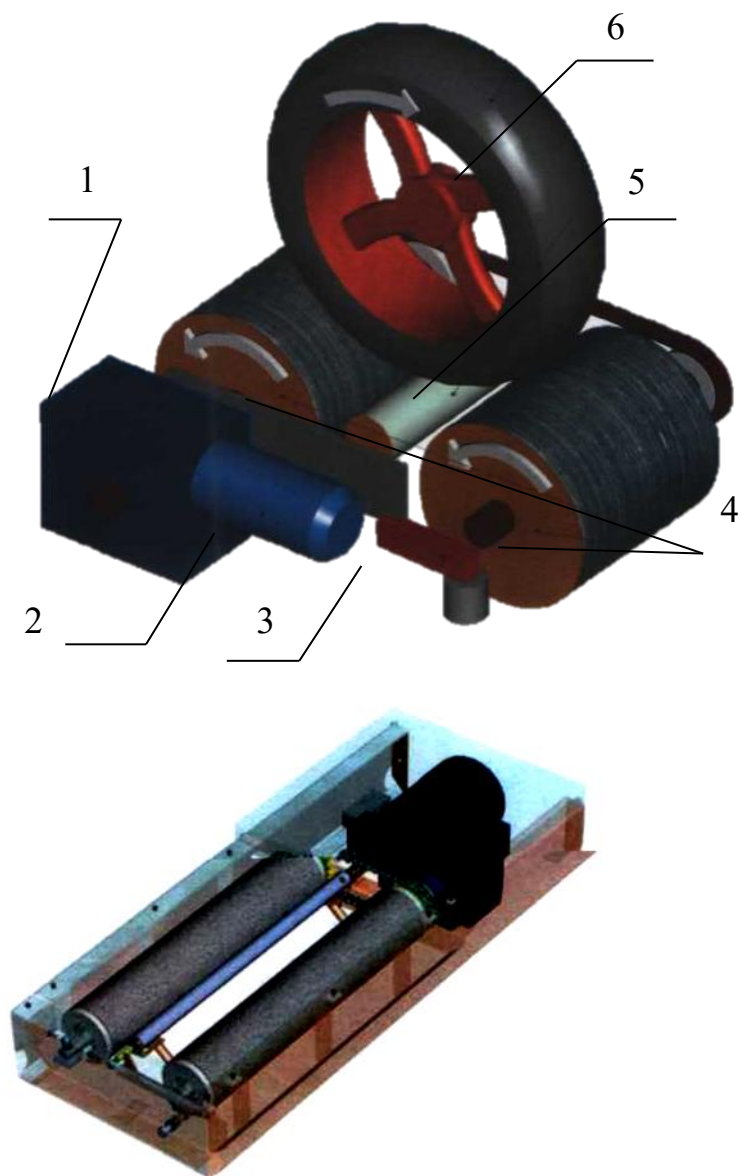


Рис. 3.1. Механічна частина роликового стенда Energotest “MIDI 6/20”  
1 – коробка передач; 2 – електродвигун; 3 – датчик навантаження; 4 – ролики гальмівні; 5 – ролик стежить; 6 – колесо.

Модуль для діагностики повнопривідних автомобілів (4WD).

Додатковий силовий блок забезпечує незалежне обертання пар коліс, що дозволяє коректно перевіряти транспортні засоби з постійним або підключним повним приводом.

Електронний вимірювальний блок: передача даних за протоколом CAN; стандартні кабелі керування довжиною 6–18 м; можливість під'єднання до ПК через COM-порт.

Програмно-обчислювальний комплекс.

модульне програмне забезпечення ENERGOLINE 4.0, яке підтримує збереження, аналіз та друк результатів;

за потреби стенд комплектується комп'ютером на базі Windows XP Professional з гарантійною підтримкою.

### 3.2 Розрахунок конструкції випробувального стенда

Під час проектування роликів стендів для контролю ефективності гальмівних систем легкових автомобілів особливу увагу приділяють вибору оптимальних технічних параметрів обладнання. Найважливішими серед них є:

геометричні розміри безпосередньо робочих барабанів;

міжосьова відстань між барабанами у межах однієї секції стенда, що визначає можливість тестування транспортних засобів з різною колійністю;

частота обертання колеса під час випробування, що повинна імітувати реальні умови руху;

максимально допустиме значення гальмівної сили, яке здатен сприймати барабанний модуль;

встановлена потужність електропривода, необхідна для забезпечення стабільного обертання барабанів під навантаженням;

розподіл маси автомобіля по осях, що впливає на точність відтворення навантажень на гальмівні механізми.

Одним із ключових параметрів є діаметр барабана, який визначається з урахуванням геометрії колеса транспортного засобу та необхідності забезпечення умов контакту, максимально наближених до природного кочення по дорожньому покриттю. Для його визначення використовують залежність:

$$d_g = (0,4 \div 0,6) \cdot d_x, \quad (3.1)$$

$$d_g = (0,4 \div 0,6) \cdot 570 = 228 \div 342 \text{ мм.}$$



Для відтворення реальних умов взаємодії колеса з опорною поверхнею під час стендових випробувань однією з ключових вимог є правильний вибір геометричних параметрів барабанів. Конструктивні розміри визначають із урахуванням типорозмірів шин та характерних навантажень, що виникають під час гальмування. Для легкових автомобілів діаметр барабана, як правило, коливається в межах 150–400 мм, що забезпечує достатню точність імітації кочення.

З урахуванням особливостей проєктованого стенда та необхідності забезпечення статичної й динамічної рівноваги, до розрахунку приймаємо:

$$D_6 = 220 \text{ мм}$$

Після визначення діаметра переходять до розрахунку довжини робочої поверхні барабана, яка повинна забезпечити надійний контакт шини з роликком та враховувати можливе бокове зміщення колеса. Розмір  $L_6$  обчислюють за формулою:

$$L_6 = \frac{(K_H - K_B)}{2} + A, \quad (3.2)$$

$$A = 150 \text{ мм.}$$

$$L_6 = \frac{(1630 - 1110)}{2} + 150 = 410 \text{ мм.}$$

Приймаючи до розроблення технологічної документації значення робочої довжини барабана гальмівного стенда на рівні 500 мм, переходимо до визначення загальної ширини стенда, тобто довжини його поздовжньої осі. Даний параметр розраховується за аналітичною залежністю:

$$L_{об} = 2 \cdot L_6 + L_{мб} = K_H + A, \quad (3.3)$$

$$L_{об} = 1630 + 150 = 1870 \text{ мм.}$$

Відстань між осями ходових барабанів є важливим конструктивним параметром, що безпосередньо впливає на стабільність положення автомобіля під час проведення випробувань. Правильно підібрана геометрія барабанного модуля також забезпечує можливість безпечного та самостійного сходження транспортного засобу зі стенда після завершення діагностики. Цей критерій виконується за умови дотримання відповідної геометричної залежності:

$$\operatorname{tg} \alpha = \varphi, \quad (3.4)$$

У конструкціях стендів, де робочі барабани змонтовані на однаковій висоті, простежується технічний компроміс між двома критеріями: стійкістю положення автомобіля на випробувальному модулі та здатністю транспортного засобу самостійно з'їхати зі стенда після завершення тесту. З одного боку, збільшення міжосьової відстані барабанів забезпечує кращу площу контакту шини з поверхнею ролика, що позитивно впливає на точність вимірювання гальмівних сил. З іншого боку, зменшення цієї відстані підвищує ймовірність безпечного самокатування автомобіля зі стенда без додаткового втручання оператора.

Дослідні випробування підтверджують, що оптимальна відстань між осями барабанів визначається аналітичною залежністю:

$$l_{\max} = b \cdot (r_k + r_o), \quad (3.5)$$

$$l_{\max} = 1,65 \cdot (285 + 110) = 651,75 \text{ мм},$$

$$l_{\min} = 2 \cdot 110 + 20 = 240 \text{ мм}.$$

$$b = 1,65.$$

Оптимальну міжосьову відстань робочих барабанів визначаємо на основі розрахункової залежності, що забезпечує необхідний рівень стійкості автомобіля під час випробувань та його безпечний самостійний з'їзд зі стенда

$$l_{\max} \geq l_{\text{опт}} \geq l_{\min},$$

$$651,75 \geq l_{\text{опт}} \geq 240. \quad (3.6)$$

Рекомендовану відстань між осями барабанів визначають за розрахунковою формулою, яка враховує геометричні параметри коліс та конструктивні особливості стенда:

$$l = (r_k + r_o) \cdot 2\varphi \cdot \sqrt{1 + \varphi^2},$$

$$l = (285 + 110) \cdot 2 \cdot 0,4 \cdot \sqrt{1 + 0,4^2} = 398 \text{ мм}. \quad (3.7)$$

У подальших розрахунках приймаємо міжосьову відстань барабанів 440 мм, що відповідає конструктивним вимогам та забезпечує стабільність положення автомобіля під час випробувань.

Наступним кроком є визначення максимальної гальмівної сили, яку здатний сприймати роликівий модуль. Для цього використовують розрахункову формулу:

$$P_{r \max} = R \cdot \varphi, \quad (3.8)$$

У конструкції розроблюваного гальмівного стенда передбачено використання ведучих барабанів, що встановлені на однаковій висоті та об'єднані між собою ланцюговим приводом. За таких умов величина нормальної реакції, яка передається від колеса на барабан, визначається за відповідною розрахунковою залежністю:

$$R_1 = G \cdot (\sin \alpha_1 - \varphi \cdot \cos \alpha_1) = (1 + \varphi^2) \cdot \sin 2\alpha_1, \quad (3.9)$$

$$R_1 = \frac{6000 \cdot (\sin 50^\circ - 0,4 \cdot \cos 50^\circ)}{(1 + 0,4^2) \cdot \sin 2 \cdot 50^\circ} = 2673 \text{ Н}$$

$$R_2 = \frac{G \cdot (\sin \alpha_1 - \varphi \cdot \cos \alpha_1)}{(1 + \varphi^2) \cdot \sin 2\alpha_1}, \quad (3.10)$$

$$R_2 = \frac{6000 \cdot (\sin 50^\circ + 0,4 \cdot \cos 50^\circ)}{(1 + 0,4^2) \cdot \sin 2 \cdot 50^\circ} = 5373,8 \text{ Н}$$

Максимальне гальмівне зусилля, яке може бути реалізовано під час роботи стенда, розраховується за відповідною силовою залежністю:

$$P_{r \max} = \frac{G \cdot \varphi}{(1 + \varphi^2) \cdot \cos \alpha_1}, \quad (3.11)$$

$$P_{r \max} = \frac{6000 \cdot 0,4}{(1 + 0,4^2) \cdot \cos 50^\circ} = 3218,7 \text{ Н}$$

Потужність електродвигуна привода обчислюють з урахуванням максимальної гальмівної сили, що може бути реалізована під час випробувань на стенді:

$$W = \frac{P_{r \max} \cdot V_a}{270 \cdot 1,36} = 0,00272 \cdot P_{r \max} \cdot V_a, \quad (3.12)$$

$$W = 0,00272 \cdot 3218,7 \cdot 5 = 4,37 \text{ кВт.}$$

Частоту обертання робочого барабана стенда визначають на основі розрахункової залежності, яка враховує кінематичні параметри привода та умови тестування:

$$n_{\delta} = \frac{V_a}{0,377 \cdot r_{\delta}}, \quad (3.13)$$

$$n_{\delta} = \frac{5}{0,377 \cdot 0,110} = 120,57$$

Необхідне передаточне число привода визначають за аналітичною залежністю, яка забезпечує відповідність частоти обертання барабана заданим режимам випробування:

$$u_{\text{общ}} = \frac{n_{\delta\epsilon}}{n_{\delta}}, \quad (3.14)$$

$$n_{\delta} = \frac{1500}{120,57} = 12,44.$$

У подальших розрахунках передаточне число мотор-редуктора приймаємо рівним загальному передаточному числу привода, що забезпечує узгодженість кінематичних параметрів системи.

Допустимий крутний момент на тихохідному валу, визначений за критерієм міцності зубчастого зачеплення, розраховується за формулою:

$$[T]_r = \frac{(0,122 - 0,0004 \cdot u_{\text{м.р}})}{(n_{\delta\epsilon} + 900) \cdot A^3 \cdot K_z \cdot K_p \cdot g}, \quad (3.15)$$

$$[T]_r = \frac{(0,122 - 0,0004 \cdot 12,5)}{(1500 + 900) \cdot 100^3 \cdot 1,1 \cdot 1,6 \cdot 9,81} = 842 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Потужність, що може передаватися приводом без перевищення граничних навантажень по довговічності підшипників черв'яка, визначають через крутний момент на тихохідному валу за наступною залежністю:

$$P_{\delta} = \frac{[T]_r \cdot n_{\delta}}{9550 \cdot \eta}, \quad (3.16)$$

$$P_{\delta} = \frac{842 \cdot 120}{9550 \cdot 0,87} = 12,16 \text{ кВт}.$$

Підсумкове значення частоти обертання ролика гальмівного стенда визначають шляхом уточнення кінематичних параметрів привода відповідно до заданих режимів випробувань:

$$n_{\delta} = \frac{n_{\delta\epsilon}}{u_{\text{м.р}}}, \quad (3.17)$$

$$n_{\delta} = \frac{1500}{12,5} = 120$$

Фактична швидкість обертання коліс автомобіля під час випробування на гальмівному стенді визначається з урахуванням кінематичного зв'язку між приводом і роликівим механізмом та може бути розрахована за відповідною залежністю:

$$V_a = 0,377 \cdot n_{\delta} \cdot r_{\delta} \quad (3.18)$$

$$V_a = 0,377 \cdot 120 \cdot 0,110 = 4,98 \text{ м}$$

Зусилля, що передається на ексцентриковий механізм, визначають на основі рівняння моментів, враховуючи вплив навантаження від підйомного пристрою та кінематичні умови його роботи:

$$F = \frac{G \cdot L}{l}, \quad (3.19)$$

$$F = \frac{6000 \cdot 0,28}{0,13} = 12923 \text{ Н.}$$

Максимальний крутний момент, що передається на вісь ексцентрикового механізму, визначають із врахуванням найбільшого навантаження на підйомний вузол та його конструктивних особливостей:

$$M_{\max} = F \cdot e, \quad (3.20)$$

$$M_{\max} = 12923 \cdot 0,08 = 1033,8 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Потужність, що підводиться до приводного вала ексцентрикового механізму, визначають за розрахунковою залежністю, яка враховує величину прикладеного моменту та кінематичні параметри руху:

$$P_{n.s} = \frac{F \cdot V}{(\eta_{\text{подш}} \cdot \eta_p)} \quad (3.21)$$

$$V = 0,0435 \text{ м/с;}$$

$$P_{n.s} = \frac{6000 \cdot 0,0435}{(0,98 \cdot 0,96)} = 277 \text{ Вт.}$$

$$n_{n.s} = \frac{60 \cdot V}{(\pi \cdot e)}, \quad (3.22)$$

$$n_{n.s} = \frac{60 \cdot 0,0435}{(3,14 \cdot 0,08)} = 10,38$$

За результатами проведених інженерних розрахунків для привода підйомного механізму обираємо електродвигун типу 4AA63A2, технічні характеристики якого забезпечують необхідний запас потужності та надійну роботу станда. Основні параметри двигуна становлять:

номінальна потужність – 0,37 кВт;

синхронна частота обертання – 920 об/хв;

допустимі перевантажувальні коефіцієнти: при пуску – 2,0, максимальні короточасні перевантаження – 2,2.

Після вибору електродвигуна виконуємо уточнення розрахунку передаточного числа привода, яке повинно забезпечити відповідність частоти обертання виконавчого механізму заданим кінематичним характеристикам:

$$u_{\text{общ.}} = \frac{n_{\text{дв.}}}{n_{\text{н.}}}, \quad (3.23)$$

$$u_{\text{общ.}} = \frac{920}{10,38} = 88,63.$$

На подальших етапах інженерних розрахунків передаточне число редуктора приймається тотожним загальному передаточному числу привідного механізму, що дозволяє забезпечити кінематичну узгодженість усіх елементів привода.

Для визначення кінематичних характеристик підйомного вузла виконуємо обчислення реальної частоти обертання приводного вала ексцентрикового механізму, виходячи з параметрів встановленого електродвигуна та прийнятого передаточного числа:

$$n_{\text{н.}} = \frac{920}{63} = 14,6$$

Швидкість переміщення підйомного механізму визначають на основі кінематичних параметрів привода та конструктивних характеристик ексцентрикового механізму. Розрахунок виконується за відповідною залежністю:

$$V = \frac{\pi \cdot n_{\text{дв.}} \cdot e}{60}, \quad (3.24)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 14,6 \cdot 0,08}{60} = 0,061 \text{ м/с.}$$

У процесі дослідження було проаналізовано конструктивні аналоги випробувальних стендів, що нині застосовуються на станціях технічного обслуговування автомобілів. На основі отриманих даних сформовано технічне завдання та розроблено технічну пропозицію щодо створення спеціалізованого стенда для діагностики гальмівних систем легкових автомобілів.

Крім того, виконано необхідні інженерні розрахунки конструктивних елементів, вузлів і механізмів, що забезпечує можливість подальшого обґрунтованого вибору основних агрегатів та комплектуючих стенда.

## 4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

### 4.1 Експериментальне оцінювання впливу картерних газів на роботу системи живлення автомобіля

Для визначення впливу продуктів прориву газів у картер на функціонування системи живлення було проведено серію експериментів. Дослідження виконувалися на вибірці з семи легкових автомобілів: один транспортний засіб знаходився у стані нового, невикористаного, тоді як решта шість перебували в реальних умовах експлуатації та проходили регламентне технічне обслуговування у встановлені терміни. Такий підхід дозволив порівняти показники автомобілів з різним ступенем напрацювання та зношування агрегатів.

У ході експериментальних випробувань застосовувався спеціалізований елемент очищення картерних газів типу «фільтр-радіатор», конструктивне виконання якого подано на рисунку 4.1.

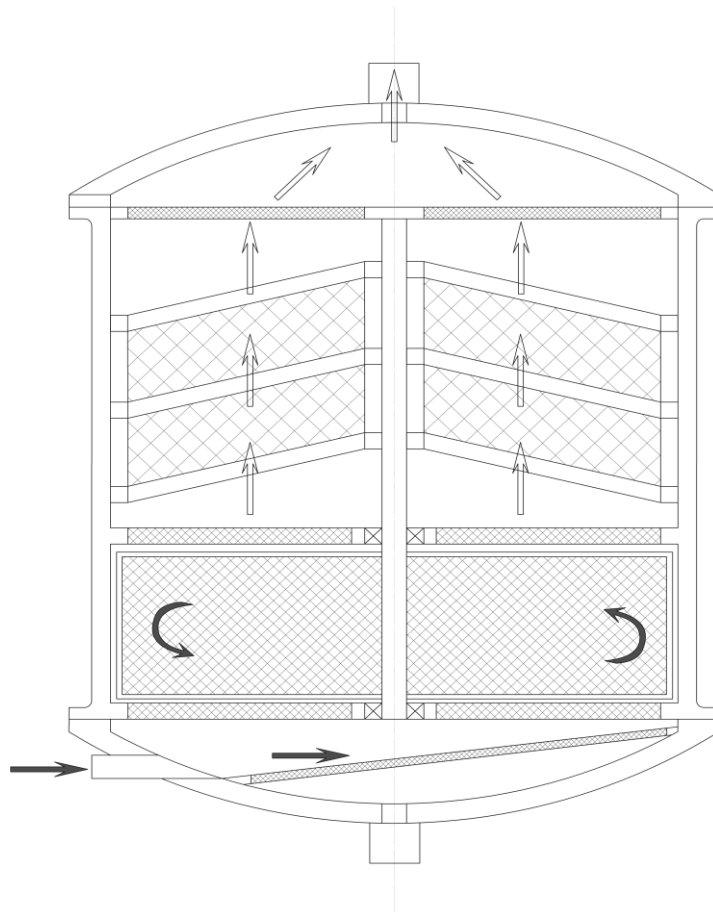


Рис. 4.1. Фільтр-радіатор.



В основу розробленої конструкції покладено принцип, згідно з яким картерні гази, проходячи крізь фільтрувально-радіаторний елемент, не лише піддаються частковому механічному очищенню, а й додатково охолоджуються. Інтеграція такого вузла у систему вентиляції картера дозволяє відмовитися від використання традиційного клапана змінного перерізу та стандартного фільтра уловлювання аерозолів мастила. Водночас стає можливим подавати до впускного колектора уже підготовлене та частково очищене повітря, що сприяє підвищенню екологічної безпеки, економічності та загальних експлуатаційно-технічних характеристик силового агрегату.

Під час експериментальних випробувань на кожному із транспортних засобів первинно здійснювали визначення хімічного складу відпрацьованих газів за допомогою сертифікованого газоаналізатора. Після встановлення фільтра-радіатора виконувалося повторне вимірювання з метою порівняльної оцінки змін у концентраціях токсичних компонентів.

На основі отриманих емпіричних даних було побудовано графічні залежності, що демонструють вплив запропонованого технічного рішення на рівень шкідливих домішок у вихлопних газах. Далі наведено діаграми, які відображають результати аналізу показників газоаналізатора:

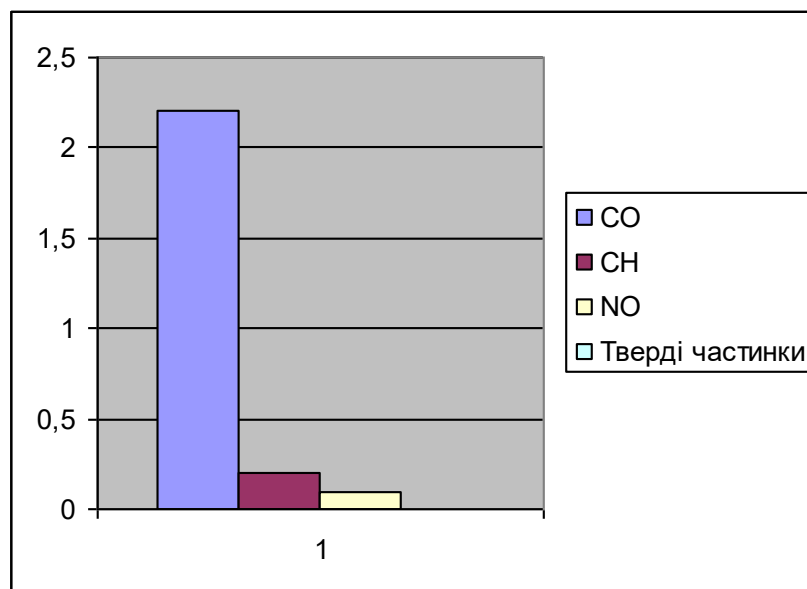


Рис. 4.1. Графічна інтерпретація результатів газоаналізу для нового автомобіля марки Opel.

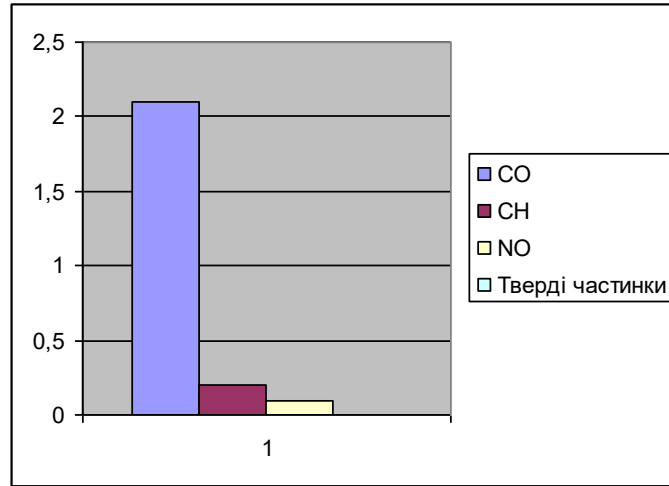


Рис. 4.2. Діаграма зміни концентрацій токсичних компонентів у відпрацьованих газах нового автомобіля Opel після оснащення системи вентиляції картера фільтрувально-радіаторним пристроєм.

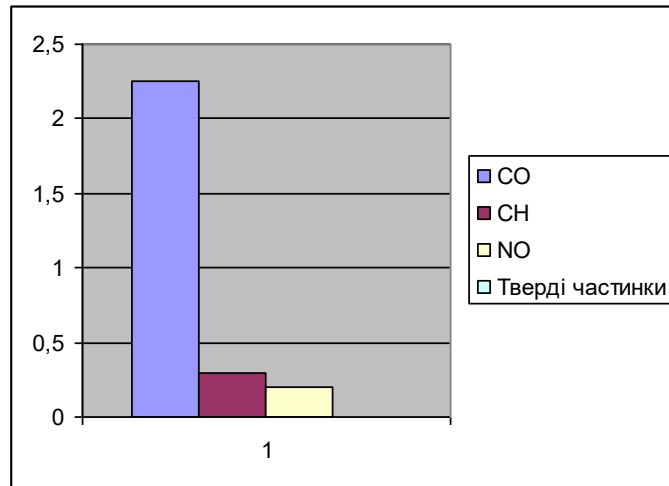


Рис. 4.3. Діаграма результатів газоаналізу для автомобіля Opel з напрацюванням близько 2000 тис. км.

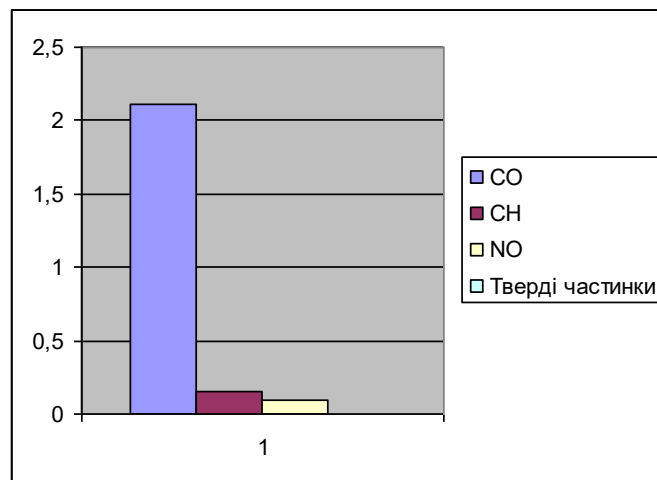


Рис. 4.4. Діаграма зміни складу відпрацьованих газів автомобіля Opel з пробігом 2 000 тис. км після встановлення фільтраційно-радіаторного модуля у систему вентиляції картера.

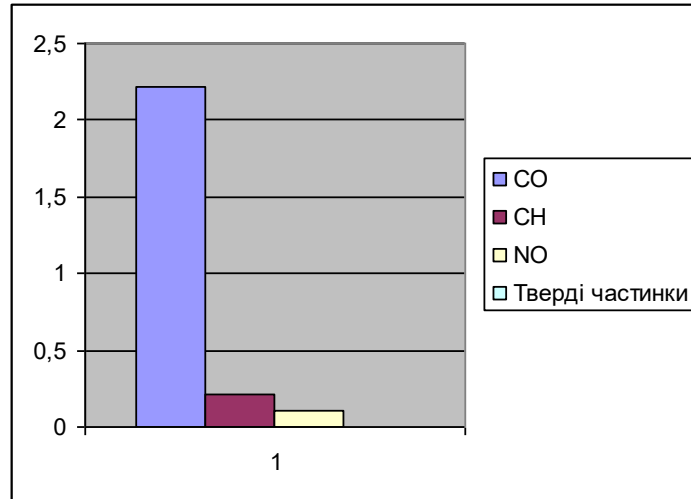


Рис. 4.5. Діаграма результатів аналізу токсичних компонентів у вихлопних газах автомобіля Opel з напрацюванням 15 000 тис. км.

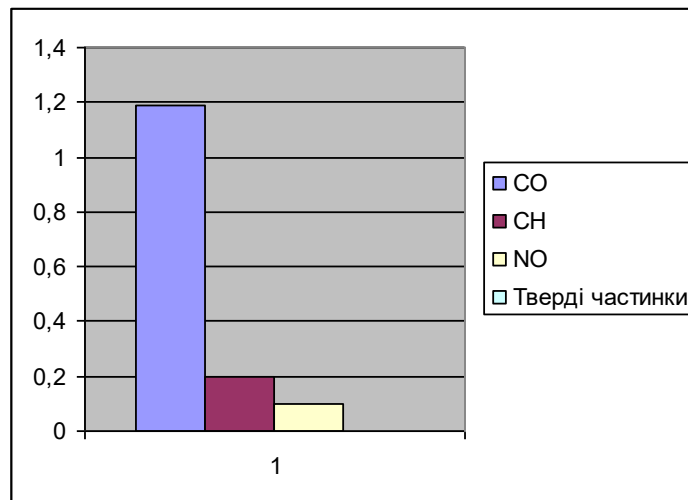


Рис. 4.6. Діаграма зміни вмісту токсичних складників у відпрацьованих газах автомобіля Opel з пробігом 15 000 тис. км після впровадження фільтрувально-радіаторного елемента у систему вентиляції картера.

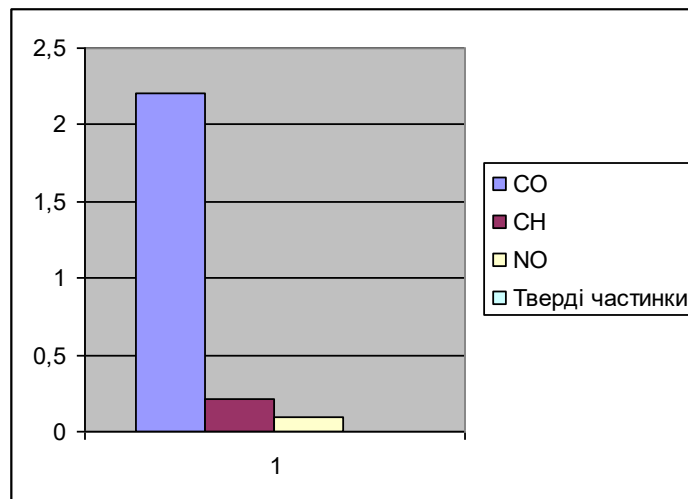


Рис. 4.7. Діаграма результатів газоаналізу для автомобіля Lanos з напрацюванням 2 000 тис. км.

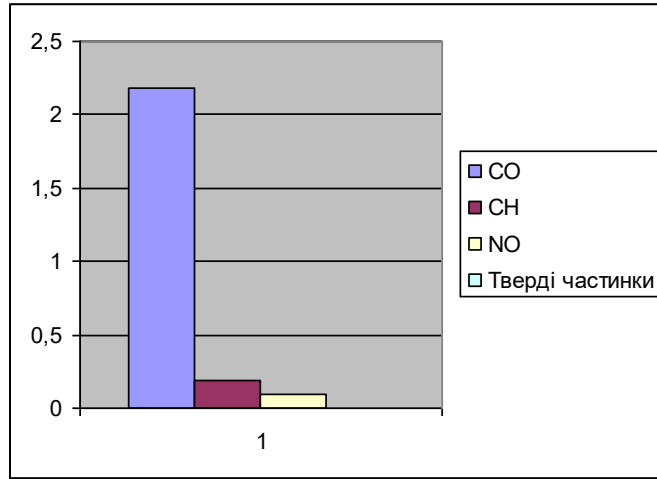


Рис. 4.8. Діаграма зміни токсичності відпрацьованих газів автомобіля Lanos з пробігом 2 000 тис. км після встановлення фільтрувально-радіаторного елемента у систему вентиляції картера.

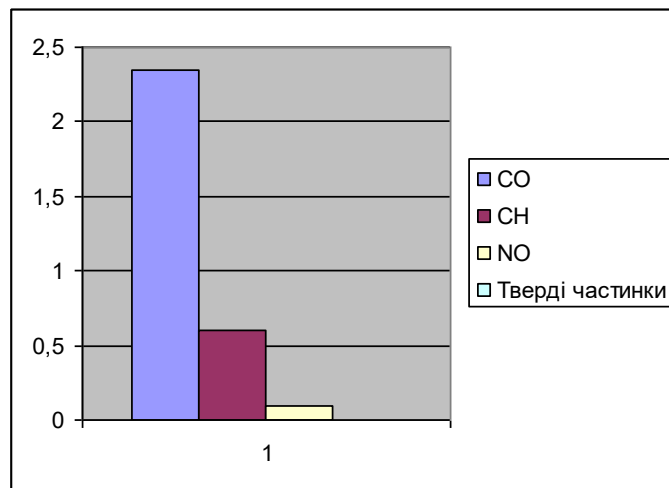


Рис. 4.9. Діаграма результатів газоаналізу автомобіля Lanos з напрацюванням 10 000 тис. км.

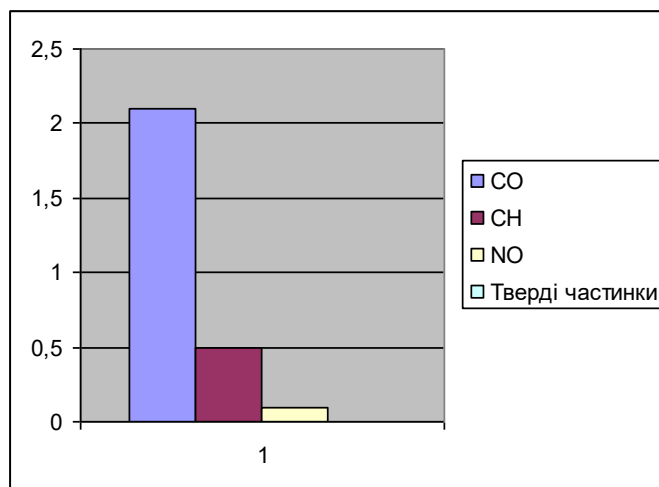


Рис. 4.10. Діаграма зміни концентрацій шкідливих компонентів у вихлопних газах автомобіля Lanos з пробігом 10 000 тис. км після оснащення системи вентиляції картера фільтрувально-радіаторним модулем.

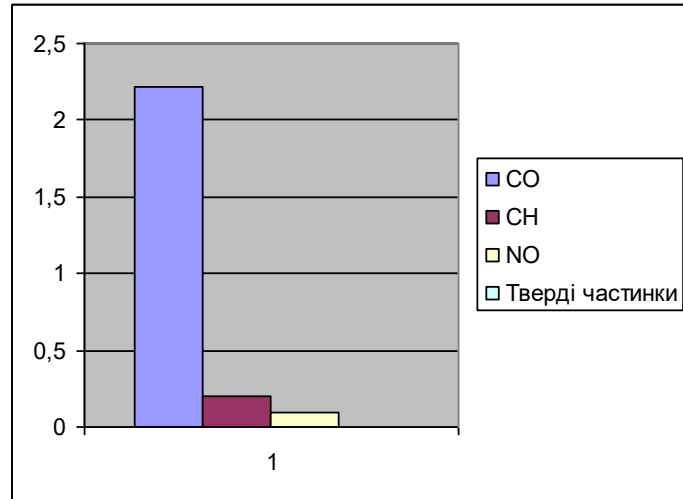


Рис. 4.11. Діаграма результатів газового аналізу відпрацьованих газів автомобіля Chevrolet з напрацюванням 2 000 тис. км.

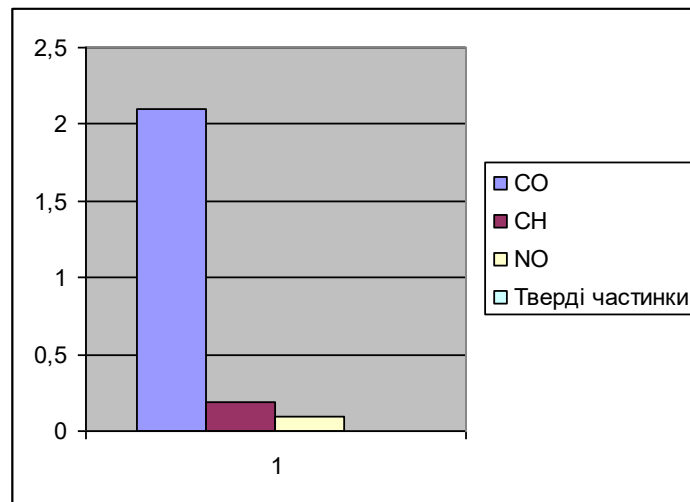


Рис. 4.12. Діаграма зміни складу відпрацьованих газів автомобіля Chevrolet з пробігом 2 000 тис. км після встановлення фільтрувально-радіаторного блоку у систему вентиляції картера.

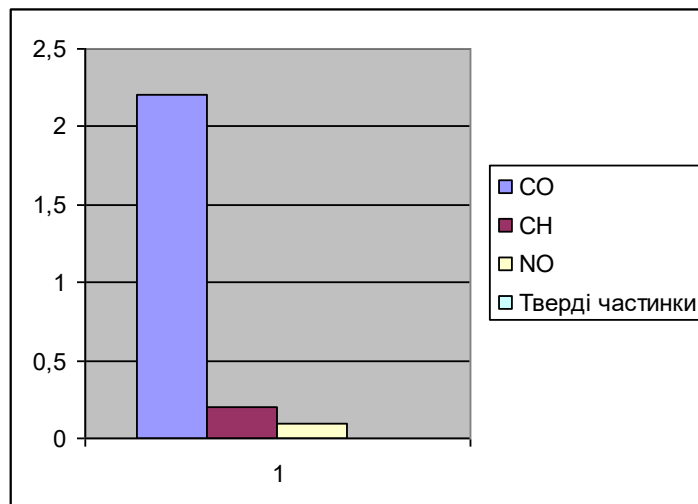


Рис. 4.13. Діаграма результатів газоаналізу вихлопних газів автомобіля Chevrolet з напрацюванням 10 000 тис. км.

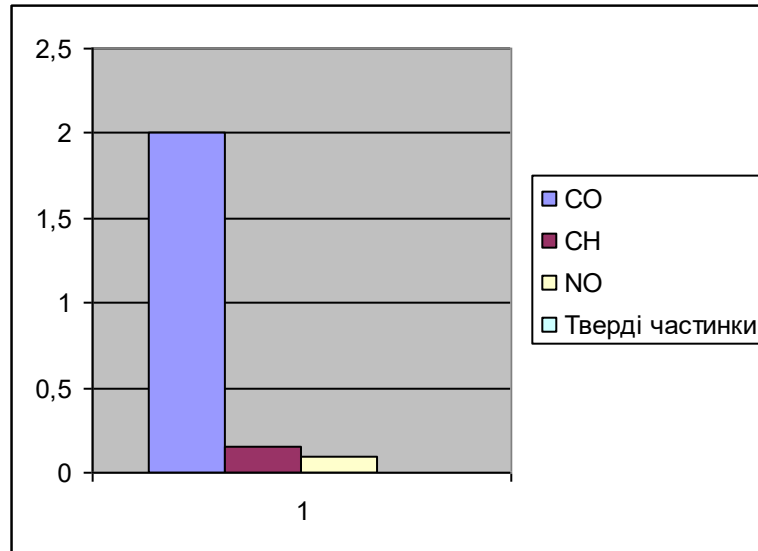


Рис. 4.14. Діаграма зміни концентрацій токсичних речовин у відпрацьованих газах автомобіля Chevrolet з пробігом 10 000 тис. км після модернізації системи вентиляції картера фільтрувально-радіаторним модулем.

На основі виконаних експериментальних досліджень установлено, що впровадження фільтраційно-радіаторного елемента в систему вентиляції картерних газів забезпечує низку суттєвих техніко-експлуатаційних переваг, а саме:

Підвищення ефективності очищення картерних газів, що сприяє зменшенню кількості аерозолів мастила та твердих частинок, які потрапляють у впускну систему.

Поліпшення показників потужності та стабільності роботи двигуна за рахунок подачі чистішого й охолодженого повітряно-газового потоку до циліндрів.

Збільшення ресурсу моторної оливи завдяки зниженню її деградації від продуктів згоряння та термічного впливу.

Підвищення екологічних характеристик двигуна, зокрема зниження концентрацій токсичних компонентів у вихлопних газах.

Продовження строку служби елементів системи живлення внаслідок зменшення відкладень та корозійних ушкоджень на їх внутрішніх поверхнях.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Покращення мікрокліматичних умов працівників транспортної галузі

У процесі професійної діяльності значна частина працівників транспортної сфери зазнає впливу несприятливих мікрокліматичних умов. Як було зазначено раніше, невідповідний мікроклімат належить до трійки провідних шкідливих і небезпечних виробничих факторів, що негативно впливають на функціональний стан організму людини під час керування транспортним засобом.

Температура повітря в кабіні безпосередньо залежить від зовнішніх погодних умов, ступеня нагрівання силового агрегату, ефективності теплоізоляції та вентиляційних систем. Оптимальна температура для забезпечення нормальної працездатності водія становить 18–20 °С. Перегрів повітря в кабіні понад 25 °С спричиняє виснаження центральної нервової системи: погіршується увага, знижується здатність до концентрації, зростає час реакції, виникають помилки під час керування автомобілем.

Надмірне охолодження, навпаки, активізує тепловіддачу організму, спричиняє скутость рухів кінцівок і зниження точності маніпуляцій органами керування, що також небезпечно для безпеки руху.

Мікроклімат визначають як сукупність фізичних параметрів довкілля, що впливають на тепловий баланс людини. На його формування впливають такі чинники: температура повітря; відносна вологість; швидкість руху повітряних потоків; інтенсивність теплового (інфрачервоного) випромінювання; температура навколишніх поверхонь та елементів інтер'єру.

Оптимальні мікрокліматичні умови – це такі поєднання параметрів, що забезпечують сталий тепловий стан організму без активації механізмів терморегуляції, створюють відчуття теплового комфорту та підтримують високу працездатність водія.

Допустимі мікрокліматичні умови допускають короточасні, швидко компенсовані організмом відхилення теплового стану без шкоди для здоров'я.

При цьому можуть спостерігатися дискомфортні відчуття, тимчасове зниження уваги й продуктивності.

Кабіна транспортного засобу є постійним робочим місцем водія, тому її конструкція, оснащення вентиляційними та кліматичними системами істотно впливають на внутрішній мікроклімат і, відповідно, на функціональний стан організму працівника.

У пасажирських транспортних засобах кабіна найчастіше ізольована від салону. У такому випадку її конструкція повинна забезпечувати стабільність мікрокліматичних показників у всіх режимах експлуатації. Якщо ж кабіна поєднана з салоном, то параметри мікроклімату мають відповідати допустимим значенням, гармонізованим із загальними умовами для пасажирів.

У вантажних автомобілях водій також працює в ізольованій кабіні, де необхідно забезпечувати максимальну відповідність параметрів мікроклімату оптимальним або хоча б допустимим нормам, відповідно до чинних стандартів охорони праці.

Характерною особливістю мікроклімату кабін транспортних засобів у холодний період є вкрай низька відносна вологість повітря (інколи до 12 %). Це пов'язано з роботою системи опалення, яка подає в салон сухе та перегріте повітря. У літній період ситуація протилежна – вологість наближається до верхніх меж допустимих норм або навіть перевищує їх, особливо за умов високих зовнішніх температур.

Восени та взимку з метою збереження тепла вікна та вентиляційні отвори зазвичай залишаються зачиненими, через що повітряні потоки в кабіні мінімальні. У теплу пору року водії змушені забезпечувати природну вентиляцію шляхом відкривання люків, бокових вікон чи дверних стекол, що часто супроводжується появою протягів.

Під час формування сприятливих мікрокліматичних умов у кабінах транспортних засобів необхідно забезпечити оптимальний тепловий баланс організму водія. Це дозволяє:

підтримувати стабільну працездатність і зосередженість під час керування транспортом,



запобігати негативному впливу надмірної спеки чи холоду на безпеку руху,

створювати комфортні умови праці та нормальний психофізіологічний стан,

сприяти збереженню здоров'я водіїв.

Гігієнічні підходи до нормалізації мікроклімату в кабінах розглядають останні як ізольований або частково ізольований мікросередовище, що потребує цілеспрямованих інженерних рішень. Такі заходи мають бути технічно здійсненними як для сучасних, так і для перспективних моделей транспортних засобів. Їх мета – забезпечити нормативні значення температури, вологості, рухомості повітря та рівнів інфрачервоного випромінювання на робочому місці водія.

Нормалізація мікроклімату кабін досягається комплексом технічних і технологічних заходів. Враховуючи значну площу застосування, улітку необхідно захищати водія від прямої сонячної радіації шляхом застосування: сонцезахисних козирків, тонувальних плівок, тепло-відбивних матеріалів у зоні світлових прорізів.

Взимку ж недостатня теплоізоляція кузова та великі площі вікон сприяють охолодженню салону, що в умовах морозної або вітряної погоди може створювати суттєві дискомфортні та небезпечні умови праці.

Однією з ключових проблем мікроклімату кабін транспортних засобів у зимовий період є істотне зниження відносної вологості повітря (інколи до 10–12 %), що зумовлено роботою систем опалення, які подають всередину нагрітий та значно осушений повітряний потік. У період високих температур зовнішнього середовища ситуація різко змінюється – відносна вологість у кабіні може досягати гранично допустимих значень і навіть перевищувати їх через інтенсивний процес випаровування та недостатню ефективність природної вентиляції.

Протягом холодної пори року водії зазвичай утримують вентиляційні отвори та вікна у зачиненому стані для мінімізації тепловтрат, що призводить до застою повітря та зниження його рухомості. Навесні та влітку, навпаки, виникає необхідність у посиленій аерації – відкривання люків і бокових вікон стає

основним методом регулювання мікроклімату, хоча така практика часто створює локальні потоки та протяги, які негативно впливають на самопочуття водія.

Створення комфортного мікроклімату в кабінах транспортних засобів має бути спрямоване на забезпечення теплової рівноваги організму, що дозволяє: підтримувати високу психофізіологічну готовність і концентрацію уваги водія; запобігати негативному впливу перегрівання або переохолодження на безпеку дорожнього руху; уникати передчасної втоми, стресових реакцій та зниження працездатності; мінімізувати ризики порушень здоров'я, пов'язаних із несприятливим тепловим режимом.

З гігієнічної точки зору кабіна транспортного засобу розглядається як замкнений або напівізольований простір, у якому необхідно регулювати ключові параметри мікроклімату – температуру, вологість, швидкість руху повітря та рівень інфрачервоного випромінювання від нагрітих поверхонь. Технічні засоби керування цими параметрами мають бути придатними до впровадження як у сучасних, так і в перспективних транспортних системах.

Оптимізація мікрокліматичних умов досягається, перш за все, інженерними заходами. Зважаючи на те, що площа закслених поверхонь кабін є значною, у літній період рекомендується застосовувати: сонцезахисні шторки та козирки, спеціальні тонувальні або тепло-відбивні покриття, матеріали, що знижують теплове випромінювання у зоні віконних прорізів.

У холодний сезон проблема ускладнюється недостатньою теплоізоляцією кузова та значними тепловтратами через скління, що створює передумови для надмірного охолодження кабіни, особливо за умов низьких температур і вітрових навантажень. У результаті формуються дискомфортні та потенційно небезпечні умови праці, що можуть спричинити помилки під час керування автомобілем.

Для забезпечення сприятливих умов праці в закритих виробничих просторах широко використовують системи кондиціонування повітря, призначені для формування стабільного мікроклімату незалежно від змін параметрів зовнішнього середовища.



Рис. 5.1. Автономний електричний кондиціонер SKIMO.

Кондиціонування повітря передбачає автоматизоване регулювання основних метеорологічних показників у приміщенні – температури, вологості, швидкості руху повітря та ступеня його очищення – відповідно до заданих експлуатаційних вимог. Залежно від конкретної ситуації повітря може проходити нагрівання або охолодження, зволоження чи осушення, фільтрацію від пилових та хімічних домішок, а за потреби – також дезінфекцію, дезодорацію або озонування.

Сучасні системи кондиціонування мають забезпечувати підтримання нормативних метеорологічних параметрів і необхідного рівня чистоти повітря в робочій зоні як у теплий, так і в холодний період року відповідно до встановлених санітарних норм та стандартів.

## **5.2 Класифікація надзвичайних ситуацій в Україні та порядок реагування на них і ліквідації наслідків**

Упорядкована система класифікації надзвичайних ситуацій в Україні запроваджена з метою забезпечення ефективної координації дій органів державної влади, місцевого самоврядування, підприємств та установ при виникненні подій, що загрожують життю і здоров'ю населення або призводять до значних матеріальних втрат. Вона також є основою для ведення офіційної державної статистики у сфері цивільного захисту.

Залежно від походження небезпечних подій, що викликають або можуть викликати порушення нормальних умов життєдіяльності, надзвичайні ситуації поділяють на чотири основні групи: техногенного характеру; природного походження; соціального характеру; воєнного характеру.

Другим класифікаційним критерієм виступає масштаб і тяжкість наслідків. Враховуючи чисельність уражених людей, рівень руйнувань інфраструктури та обсяг ресурсів, необхідних для ліквідації наслідків, надзвичайні ситуації визначають як: державного рівня; регіонального рівня; місцевого рівня; об'єктового рівня.

Класифікація застосовується лише до реальних надзвичайних ситуацій, що підтверджені відповідними критеріями.

#### Надзвичайні ситуації техногенного характеру

До техногенних НС належать події, пов'язані з діяльністю людини та функціонуванням технічних систем, зокрема: аварії та катастрофи на транспорті, пожежі та вибухи, аварії з утворенням або загрозою викиду небезпечних хімічних, радіоактивних чи біологічних речовин, руйнування будівель, конструкцій і гідротехнічних споруд, порушення функціонування мереж життєзабезпечення (електро-, водо-, газопостачання тощо), аварії на об'єктах нафтогазової інфраструктури, гідродинамічні аварії на дамбах, греблях та водосховищах.

#### Надзвичайні ситуації природного характеру

До природних НС відносять небезпечні явища або процеси природного генезу, серед яких: геологічні (землетруси, зсуви, карстові провали тощо), метеорологічні та кліматичні екстремуми (буревії, сильні морози, спека), гідрологічні катастрофи (повені, паводки), деградація ґрунтів і надр, масштабні пожежі в лісових і степових екосистемах, екологічні небезпеки (забруднення атмосферного повітря), спалахи інфекційних хвороб людей, епізоотії та масове падіння тварин, епіфітотії – ураження сільськогосподарських культур хворобами та шкідниками.

Надзвичайні ситуації соціального характеру формуються внаслідок протиправних дій, що несуть загрозу безпеці суспільства та держави. До них належать збройні напади й захоплення стратегічно важливих об'єктів, у тому

числі підприємств енергетичного комплексу, а також реальна небезпека вчинення подібних дій. Особливу групу становлять посягання на провідних посадових осіб країни, членів екіпажів морського, річкового чи повітряного транспорту, випадки викрадення або спроби знищення транспортних засобів із пасажирами. Поширеними проявами терористичної діяльності також є захоплення заручників у публічних місцях або на підприємствах, закладення вибухових пристроїв у житловому секторі та на транспорті. Значну небезпеку становить викрадення або зникнення зброї й небезпечних речовин під час їхнього транспортування чи зберігання, а також інциденти, пов'язані з виявленням застарілих боєприпасів, вибухами на військових складах, що призводять до ураження людей уламками та інших вторинних наслідків.

Надзвичайні ситуації воєнного характеру охоплюють події, що виникають унаслідок застосування звичайних засобів ураження або зброї масового знищення. У таких випадках формується комплекс вторинних чинників безпеки, які здатні призвести до значних втрат серед населення та порушення функціонування життєво важливих систем.

Рівень надзвичайної ситуації визначають за низкою ключових критеріїв: масштаб поширення події, потреба в технічних та матеріальних ресурсах для ліквідації її наслідків, кількість постраждалих осіб, тривалість і величина обмеження нормальних умов життєдіяльності населення, а також обсяг завданих або прогнозованих збитків.

Варто підкреслити, що остаточний висновок щодо належності події до певного рівня надзвичайної ситуації ухвалює уповноважений центральний орган виконавчої влади – Державна служба України з надзвичайних ситуацій. За необхідності таке рішення узгоджується з іншими центральними структурами влади та спирається на експертні оцінки регіональних комісій з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано комплексне дослідження, спрямоване на підвищення точності та ефективності визначення технічного стану гальмівних систем автомобілів із застосуванням сучасних методів діагностування на роликовому стенді Energotest «MIDI 6/20», а також оцінювання впливу картерних газів на роботу системи живлення легкових автомобілів.

Проаналізовано конструкцію та параметри сучасних гальмівних систем транспортних засобів. Встановлено, що якість їх функціонування є критичним чинником забезпечення активної безпеки руху, а до 45 % ДТП, спричинених технічними несправностями, пов'язані саме з відмовами елементів гальмівного привода.

Досліджено існуючі нормативні вимоги і методи діагностування гальмівних систем. Визначено недоліки використання низькошвидкісних стендів, які не завжди дозволяють достовірно оцінити ефективність гальмування в умовах, наближених до експлуатаційних.

Розроблено та удосконалено технологічний процес діагностування гальмівної системи. Визначено параметри контролю технічного стану РГС і СГС, складено технологічні карти та алгоритми випробувань у відповідності до вимог діючих стандартів.

Сформовано послідовність проведення діагностування на роликовому стенді Energotest «MIDI 6/20». Забезпечено автоматизоване отримання гальмівних характеристик та їх порівняння з нормативними значеннями, що значно підвищує точність і об'єктивність оцінювання технічного стану.

Обґрунтовано вибір стендового обладнання для діагностики гальмівних систем з урахуванням технічних можливостей стенда, його функціональності та відповідності вимогам контролю безпеки транспортних засобів.

Розглянуто вплив картерних газів на параметри роботи системи живлення двигуна. Встановлено, що порушення герметичності системи вентиляції картера спричиняє падіння стабільності процесу згоряння, підвищення витрати палива, погіршення екологічних показників.

Розроблено комплекс рекомендацій щодо охорони праці та безпеки в умовах надзвичайних ситуацій, спрямований на підвищення захищеності персоналу транспортних підприємств та мінімізацію виробничих ризиків.

Таким чином, виконана кваліфікаційна робота має теоретичну новизну та практичну цінність, оскільки результати дослідження й запропоновані технічні рішення можуть бути впроваджені у діяльність підприємств автомобільного транспорту для підвищення рівня безпеки дорожнього руху, покращення якості технічного обслуговування та забезпечення екологічної відповідності транспортних засобів.

Отримані результати підтверджують доцільність та ефективність використання діагностичних стендів нового покоління при контролі гальмівних систем та актуальність подальших досліджень процесів формування робочих параметрів систем живлення автомобілів.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. О.Л. Ляшук, М.Г. Левкович, Д.В. Міронов, В.О. Тесля. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт» галузі знань 27 «Транспорт». – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2023. – 60 с.
2. Білецький В.О. Автоматизація процесу діагностування гальмівних систем транспортних засобів на роликівих гальмівних стендах // Вісник Транспортної академії України та Українського транспортного університету. – 1999. № 3. –С. 193-196.
3. Кисликов В.Ф., В.В. Лущик Будова і експлуатація автомобілів. Підручник - Либідь м.Київ, 2018 – 400с.
4. Кузьмінський Р.Д., Шарibuра А.О Технічний сервіс. Ремонт електрообладнання тракторів і автомобілів Львів 2017 – 376 с.
5. Форнальчик Є. Ю., Качмар Р. Я. Основи технічного сервісу транспортних засобів - Львівська політехніка 2017, - 324 с.
6. Коробочка О.М. Основи розрахунків, проектування і експлуатації технологічного обладнання для автомобільного транспорту: Навч. посібник / Коробочка О.М., Скорняков Е.С., Сасов О.О. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007 – 252 с.
7. Кукурудзяк, Ю. Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів ТО і ПР навчальний посібник / Ю. Ю. Кукурудзяк, В. В. Біліченко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 198 с.
8. Андрусенко С. І. Технологічне проектування автотранспортних підприємств: навч. посіб. / Андрусенко С. І., Білецький В. О., Бортницький П. І.; за ред. проф. С. І. Андрусенка. – К. : Каравела, 2009. – 368 с.
9. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. Книга 1 :теоретичні основи. Технологія: підручник / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигиринець – К. : "Вища школа", 1994. – 342 с.
10. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. Книга 2: організація, планування і управління : підручник / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигиринець – К.: "Вища школа", 1994. – 383 с.



11. Автомобілі. Теорія : навч. посіб. / В.П. Сахно, В.І. Сирота, В.М. Поляков, В. Г. Головань, О.В. Лисий; Військ. акад. - Одеса: Військ. акад., 2017. - 412 с.
12. Кисликов В.Ф., Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. – 8-те вид. - К.: Либідь, 2018. – 400 с.
13. Кисликов В.Ф. Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів. – К.: Либідь, 2016. – 400 с. 5. Ю.А.
14. О.П. Строков, М.Г. Макаренко, В.Ф.Фролов Технічне обслуговування та ремонт вантажних і легкових автомобілів, автобусів. Підручник: У 2 кн. К.: Грамота, 2005.
15. Ляшук, О., Гевко, І., Гупка, А., Слободян, Л., Гевко, Б., & Хорошун, Р. (2023). Розробка моделі узагальненого діагностичного показника технічного стану ходової частини автомобіля з використанням математичних методів теорії планування експерименту. сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, 2(21), 135-144.
16. Практикум з охорони праці. Навчальний посібник / За ред.. В.Ц. Жидецького. – Львів: Афіша, 2000. – 352 с.
17. Стручок В.С. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека»: навчальний посібник / В.С. Стручок.– Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. – 156 с.
18. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108.
19. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б., Гевко Ів. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.
20. Дикань С.А., Зима О.Є. Безпека в галузі та надзвичайних ситуаціях. Університетський курс [Текст]: підручник для студ. вищ. навч. закл. С.А. Дикань, О.Є. Зима. – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2015. – 273 с.: табл., іл.