

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Проектування технічного обслуговування та діагностування

гальмівних систем з дослідженням алгоритму диференціального діагностування

Виконав: студент 6 курсу, групи МАм-62

спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Віталій СТУПАК

(ім'я та прізвище)

Керівник

(підпис)

Роман ХОРОШУН

(ім'я та прізвище)

Нормоконтроль

(підпис)

Михайло ЛЕВКОВИЧ

(ім'я та прізвище)

Зав. кафедри

(підпис)

Олег ЦЬОНЬ

(ім'я та прізвище)

Рецензент

(підпис)

(ім'я та прізвище)

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.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)
студенту Ступаку Віталію Олеговичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проектування технічного обслуговування та діагностування гальмівних систем з дослідженням алгоритму диференціального діагностування

Керівник роботи Хорошун Роман Васильович., доктор філософії PhD.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 14 » листопада 2025 року № 4/7-972

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19 грудня 2025

3. Вихідні дані до роботи Базовий ТП технічного обслуговування та діагностування гальмівних систем

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)

Вантажопідйомник гідравлічний – 2А1.

Стенд для перевірки гальмових характеристик автомобіля – 1А1.

Стенд гальмовий автомобільний – 1А1.

Результати наукових досліджень – 4А1.

Дільниця для технічного обслуговування гальмівної системи автомобіля – 1А1.

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	18.11.25	
2	Технологічний розділ	25.11.25	
3	Конструкторський розділ	02.12.25	
4	Науково-дослідний розділ	09.12.25	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	16.12.25	
6	Оформлення графічної частини	16.12.25	
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра		

Студент

(підпис)

Віталій СТУПАК

(ім'я та прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Роман ХОРОШУН

(ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Проектування технічного обслуговування та діагностування гальмівних систем з дослідженням алгоритму диференціального діагностування».

Робота виконана на кафедрі автомобілів ТНТУ ім. І. Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи магістра доктор філософії PhD. Хорошун Роман Васильович.

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 72 сторінок формату А4 та 8 аркушів формату А1 графічної частини 2 сторінок додатків.

Ключові слова: гальмівна система, діагностування, технічне обслуговування, надійність, ефективність.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Показники ефективності функціонування гальмівних систем автотранспортних засобів у процесі експлуатації.....	8
1.2 Дорожні методи діагностування гальмівних систем.....	11
1.3 Стендові методи діагностування гальмівних систем.....	14
1.4 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу магістра.....	16
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	21
2.1 Формування виробничої програми пункту обов'язкового технічного контролю.....	21
2.2 Аналіз існуючої структури виробничо-технічної бази.....	23
2.3 Проектування технічного обслуговування гальмівних систем.....	27
2.4 Характеристика зони діагностування та спектр виконуваних робіт.....	31
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	37
3.1 Конструкторське обґрунтування основних елементів гальмівного стенда.	37
3.1.1 Вибір геометричних характеристик роликів.....	38
3.1.2 Відстань між осями роликів однієї секції стенда.....	41
3.1.3 Вибір швидкості обертання коліс під час випробувань.....	43
3.1.4 Визначення максимальної гальмівної сили, реалізованої на стенді.....	44
3.1.5 Розрахунок механізму піднімання (виштовхувача) коліс.....	44
3.1.6 Вибір мотор-редуктора.....	46
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ.....	48
4.1 Обґрунтування режимів роботи гальмівної системи під час діагностування на роликових стендах.....	48
4.2 Функціональні зв'язки між параметрами технічного стану гальмівних систем автомобіля та діагностичними ознаками.....	53
4.3 Алгоритм диференційного діагностування гальмівних систем автотранспортних засобів на роликових стендах.....	58
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	63

5.1 Аналіз і обґрунтування раціональних заходів та засобів поліпшення стану виробничого середовища за факторами шуму.....	63
5.2 Пожежі, що супроводжуються вибухами паливо-повітряних сумішей.....	66
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	69
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	71
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Безпека дорожнього руху є одним із ключових напрямів розвитку сучасного автомобільного транспорту. Від справного технічного стану транспортних засобів, а особливо гальмівних систем, залежить не лише ефективність їх експлуатації, але й життя та здоров'я учасників руху. Аналіз статистичних даних свідчить, що значна частина дорожньо-транспортних пригод спричинена саме несправностями гальмівних механізмів. Це зумовлює необхідність удосконалення методів технічного обслуговування та високоточного діагностування гальмівних систем автомобілів.

Сучасні автотранспортні системи характеризуються підвищеною складністю, широким застосуванням електронних засобів керування, а також впровадженням інтелектуальних функцій контролю гальмування. За таких умов традиційні підходи до діагностування часто виявляються недостатніми для своєчасного виявлення прихованих дефектів, які не проявляються на ранніх стадіях деградації елементів. Це вимагає застосування диференційних алгоритмів діагностування, що дозволяють аналізувати відхилення параметрів технічного стану від номінальних значень та забезпечувати високу достовірність оцінки працездатності.

Проектування раціональної системи технічного обслуговування гальмівних систем з урахуванням науково обґрунтованих алгоритмів диференціального контролю сприяє: підвищенню функціональної надійності транспортних засобів; зниженню експлуатаційних витрат; мінімізації відмов у русі; забезпеченню превентивного виявлення небезпечних дефектів.

Таким чином, тема магістерської кваліфікаційної роботи є актуальною, науково обґрунтованою та має вагоме практичне значення для розвитку систем технічного сервісу автомобільного транспорту.

Метою дослідження є удосконалення процесів технічного обслуговування та діагностування гальмівних систем шляхом розроблення та дослідження алгоритму диференціального діагностування, спрямованого на підвищення точності виявлення несправностей.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Показники ефективності функціонування гальмівних систем автотранспортних засобів у процесі експлуатації

Гальмівна система автотранспортного засобу виконує ключову функцію – формує контрольований опір рухові, що забезпечує зменшення швидкості або повну зупинку автомобіля у необхідний момент. Конструктивно вона складається з гальмівного приводу, який генерує і передає керувальний сигнал, та виконавчих механізмів, що перетворюють його на гальмівний момент.

Гальмівні властивості транспортного засобу належать до категорії основних показників експлуатаційної надійності та є критично важливими для активної безпеки. Під останньою розуміють комплекс конструктивних, технічних і організаційних рішень, спрямованих на запобігання виникненню аварійних ситуацій під час руху.

Саме тому гальмівні системи повинні постійно підтримуватися у працездатному стані, а для контролю їх технічних параметрів необхідно застосовувати сучасні методи діагностування, засновані на використанні інформативних діагностичних ознак. Ці ознаки мають із високим ступенем достовірності відображати фактичний технічний стан елементів гальмівного комплексу під час експлуатації автомобіля.

Вимоги до гальмівної ефективності суворо регламентовані міжнародними нормативними документами. Базовим є стандарт Правила ЄЕК ООН № 13-09:2000, IDT, що встановлює критерії для проектування та випробувань гальмівних систем. Йому відповідають національні стандарти України:

ДСТУ UN/ECE R13-09:2002 – для нових транспортних засобів,

ДСТУ 3649:2010 – для транспортних засобів, що перебувають в експлуатації.

Вітчизняні нормативні документи встановлюють вимоги щодо обов'язкової перевірки гальмівних систем автотранспортних засобів на предмет забезпечення належної гальмівної ефективності та стійкості руху під час уповільнення. Регламентом допускається виконання як дорожніх випробувань,

так і випробувань на діагностичних стендах, що дає змогу адаптувати методику контролю до умов експлуатації та технічного забезпечення підприємства.

Оцінка гальмівної ефективності робочої гальмівної системи зазвичай здійснюється шляхом визначення величини гальмівного шляху, усталеного уповільнення та часу спрацьовування приводу. Випробування проводяться при початковій швидкості руху автомобіля у діапазоні 35–45 км/год, що відповідає реальним умовам руху на дорогах загального користування.

Відповідно до чинних стандартів України, будь-який транспортний засіб повинен бути обладнаний трьома гальмівними системами:

- робочою, що забезпечує основне гальмування під час руху;
- запасною, яка виконує функцію дублювання у разі відмови робочої;
- стояночної, призначеною для утримання нерухомого автомобіля.

Для транспортних засобів категорії N_3 із дизельними двигунами та категорії M^3 , які експлуатуються в умовах гірських регіонів, обов'язковою є також допоміжна гальмівна система, що забезпечує безпечний рух на тривалих спусках.

На міжнародному рівні вимоги до гальмівних систем регламентуються низкою документів і стандартів, серед яких:

- Правила ЄЕК ООН № 13,
- шведський стандарт F-I8,
- американський стандарт FMVSS 121.

У таблиці 1.1 наведено узагальнені вимоги до умов проведення випробувань та нормовані значення показників ефективності робочої гальмівної системи для транспортних засобів категорії N_3 , згідно з основними міжнародними та національними нормативними документами.

На основі узагальнення вимог, поданих у таблиці 1.1, можна констатувати, що встановлені в Україні нормативи гальмівної ефективності для автотранспортних засобів категорії N_3 забезпечують високий рівень безпеки руху та не поступаються вимогам провідних міжнародних стандартів. Це підтверджує відповідність національних регламентів світовим тенденціям у сфері активної безпеки транспортних засобів.

Таблиця 1.2 – Нормативи ефективності робочої гальмівної системи для АТЗ категорії N₃.

Вимоги для проведення дорожніх випробувань	Нормативні документи			
	ДСТУ 3649:2010	Правила ЄЕК ООН № 13	FMVSS-121 (США)	F-I8 (Швеція)
Характеристика дорожнього покриття	З добрим зчепленням			
Маса АТЗ	Повна маса Споряджена маса			Не регламентується
Початкова швидкість гальмування (V_0), км/год	35-45	60	60	60
Зусилля на орган керування (P_{ped}), Н (кгс)	686 (70)	686 (70)	—	686 (70)
Гальмівний шлях (S_z), м, не більше ніж	19,5	36,7	34,7	36,7
Усталене сповільнення ($j_{уст}$), м/с ² , не менше ніж	4,5	5,0	5,4	5,0

Нормативні документи визначають критерії оцінювання працездатності робочої та запасної гальмівних систем під час дорожніх випробувань транспортних засобів категорій М і N, зокрема:

гальмівний шлях S_T ;

усталене уповільнення $j_{уст}$;

час спрацьовування гальмівного приводу $t_{\text{спр}}$.

Для транспортних засобів категорії О оцінювання здійснюється за іншими показниками:

величиною сумарної гальмівної сили $\sum F_r$;

часом спрацьовування приводу $t_{\text{спр}}$.

При цьому для категорій М і N допускається використовувати будь-які два з перелічених критеріїв, що забезпечує гнучкість і адаптацію методики випробувань залежно від технічної специфіки транспортного засобу та умов проведення контролю.

1.2 Дорожні методи діагностування гальмівних систем

Одним із найбільш достовірних способів оцінювання технічного стану гальмівних систем є дорожні випробування, які часто вважаються еталонними. Вони передбачають визначення гальмівної ефективності за величиною гальмівного шляху, а стійкості – за оцінкою здатності автотранспортного засобу зберігати напрям руху в межах уявного коридору встановленої ширини під час повного або часткового гальмування на прямолінійній та горизонтальній ділянці дороги.

Перевагою даного методу є максимальна відповідність умов діагностування реальному режиму експлуатаційного гальмування. Забезпечується відтворення:

необхідної початкової швидкості гальмування;

дорожніх умов, властивих повсякденній експлуатації;

дійсних динамічних процесів, що супроводжують гальмування.

Під час випробувань проявляється вплив таких чинників:

уповільнення транспортного засобу і викликаний ним динамічний перерозподіл навантаження на колеса;

зміна швидкості руху автомобіля та кутової швидкості обертання коліс;

варіація параметрів процесу тертя у гальмівних механізмах під дією змінних режимів гальмування.

Метод дорожніх випробувань є найдавнішим у практиці контролю технічного стану гальмівних систем і має достатньо глибоке теоретичне обґрунтування. Його розвиток та вдосконалення відображено у наукових роботах провідних дослідників, таких як:

М. Є. Жуковський, Є. О. Чудаков, М. А. Бухарін, В. Г. Розанов, Б. С. Фалькевич, Д. П. Веліканов, Г. В. Зімельєв, Б. Б. Генбом, І. В. Балабін, А. О. Малюков, І. Л. Крузе, Я. Таборек, Дж. Вонг та інші.

Подальший розвиток дорожніх методів діагностування привів до запровадження оцінювання гальмівної ефективності за усталеним сповільненням та часом спрацьовування приводу. Значний внесок у формування цих підходів зробив проф. М. А. Бухарін, який запропонував аналітичні залежності між гальмівним шляхом, величиною сповільнення та характером його зміни впродовж процесу гальмування.

На основі подібних залежностей сформовано нормативи щодо усталеного сповільнення та часу спрацьовування гальмівної системи, які забезпечують їх відповідність нормативним значенням гальмівного шляху. Такий підхід дозволяє розглядати різні методи оцінювання ефективності гальмування як рівнозначні за інформативністю та достовірністю.

Проте впровадження цих методів супроводжується низкою обмежень, що можуть спричиняти розходження результатів діагностування. Зокрема, у разі, коли одночасно нормуються два параметри, можливі ситуації, за яких:

за одним із показників гальмівна система визнається несправною, тоді як за іншим (наприклад, лише за величиною гальмівного шляху) результати задовольняють нормативним вимогам.

Такі випадки свідчать про потенційну неадекватність комплексної оцінки, що ставить під сумнів взаємозамінність різних методів дорожніх випробувань та підкреслює необхідність подальшого вдосконалення діагностичних підходів.

У дослідженнях А. О. Малюкова запропоновано методику, за якої нормативні значення одного з контрольованих параметрів коригуються з урахуванням фактичного значення іншого параметра. Такий підхід усуває розбіжності між критеріями оцінювання, проте є доволі складним для оперативного використання. Для його реалізації оператору-діагносту необхідні

спеціальні розрахункові засоби або програмне забезпечення, що автоматизує процес визначення кінцевої оцінки технічного стану.

У зв'язку з цим у ДСТУ 3649:2010 передбачено можливість розрахункового визначення гальмівного шляху на основі вимірних величин усталеного сповільнення та часу спрацьовування, що спрощує процедуру аналізу результатів дорожніх випробувань.

Разом із тим, оцінювання гальмівної ефективності за параметрами сповільнення та оперативності приводу має низку істотних недоліків. Зокрема, визначення самого поняття «усталене сповільнення», подане у ДСТУ 3649:2010, має більш теоретичний характер, а його практичне встановлення часто супроводжується значними труднощами. У процесі реального гальмування сповільнення змінюється в часі, що ускладнює виділення ділянки його умовної стабільності та призводить до похибок під час оцінювання технічного стану.

По-перше, складно точно встановити момент, коли сповільнення досягає умовно усталеного рівня. У реальних умовах цей показник рідко залишається стабільним: він може як зростати, так і зменшуватися в процесі гальмування більше ніж на 5 %, що суперечить самому визначенню усталеності.

По-друге, суттєвим обмеженням є метод вимірювання і тип застосовуваного обладнання. Переважна більшість деселерометрів реєструє лише максимальне значення сповільнення, а не усталене. Деселерографи забезпечують запис гальмівної діаграми і формально дають можливість виділити ділянку усталеного сповільнення. Проте точність такого визначення залишається недостатньою через наявність описаних вище коливань.

Аналіз результатів досліджень, показав, що під час вимірювання сповільнення істотну роль відіграє методична складова похибки. Для окремих моделей автотранспортних засобів її величина може досягати до 30 %, що суттєво знижує достовірність діагностичного висновку.

Необхідно підкреслити, що для умов звичайної експлуатації найбільш доцільним є проведення дорожніх випробувань транспортного засобу у спорядженому стані. Баластування ж автомобіля з метою точного відтворення паспортного розподілу навантажень на осі є трудомісткою процедурою, яка

практично не може бути реалізована в умовах масового технічного обслуговування на підприємствах автомобільного транспорту.

Попри високий ступінь достовірності, дорожні методи діагностування майже не використовуються в експлуатаційній практиці. Це зумовлено великими організаційними вимогами: для проведення перевірки необхідна рівна, горизонтальна та пряма ділянка дороги достатньої довжини із сухим, рівномірним покриттям. Підтримання таких умов протягом тривалого часу (фактично цілий рік) потребує значних матеріально-технічних ресурсів.

Крім того, дорожні випробування орієнтовані переважно на кінцеву оцінку ефективності гальмування, тоді як вирішення другої ключової задачі технічної діагностики – локалізації та ідентифікації несправностей – є суттєво ускладненим. Натомість стендові методи дозволяють не лише оцінити результат гальмування, а й виявити дефекти окремих елементів гальмівної системи, що є надзвичайно важливим для забезпечення надійної експлуатації автотранспортних засобів.

1.3 Стендові методи діагностування гальмівних систем

Стендові випробування, порівняно з дорожніми, характеризуються значно вищою оперативністю, оскільки умови їх проведення та застосовувані технічні засоби дозволяють отримати повний комплекс діагностичної інформації у стислі терміни.

Суть стендових методів полягає у імітації дорожніх умов під час гальмування, при цьому елемент «дорога» замінюється спеціалізованим обладнанням – гальмівним стендом. Такий підхід усуває вплив зовнішніх факторів, передусім погодних умов та стану дорожнього полотна, що підвищує відтворюваність і достовірність результатів.

Завдяки цьому стендові методи є значно економічнішими та зручнішими для регулярного контролю гальмівних систем у реальних умовах експлуатації автотранспортних підприємств.

У практиці технічної діагностики використовуються різні типи гальмівних стендів, які відрізняються конструктивним виконанням та принципом дії.

Порівняльний аналіз їх переваг та обмежень широко представлений у роботах багатьох дослідників, де наведено результати експериментальних досліджень щодо впливу основних факторів на точність і стабільність вимірювань.

Класифікація стендових методів діагностування гальмівних систем ґрунтується на принципах відтворення умов гальмування. За характером імітації руху автотранспортного засобу їх можна розподілити на дві основні групи:

Методи, що моделюють рух нерухомого автомобіля за рахунок обертання його коліс;

Методи з реальним переміщенням транспортного засобу у просторі.

Кожна з наведених груп може бути деталізована залежно від джерела енергії та способу створення умов гальмування:

Силові методи.

з примусовим пересуванням автомобіля, коли рух створюється зовнішнім приводом стенда;

з примусовим обертанням коліс автомобіля, що забезпечує імітацію руху при фіксованому положенні транспортного засобу.

Інерційні методи.

з використанням кінетичної енергії поступального руху автомобіля;

із задіянням інерції його крутних мас;

з використанням інерційних мас стенда та автомобіля одночасно, що дозволяє наблизити умови до реальних.

У силових стендах створення необхідного навантаження відбувається за рахунок приводу обладнання або сили тяжіння власної маси автомобіля.

У інерційних стендах формування умов гальмування забезпечується силою інерції та інерційними моментами, що виникають у масах коліс, трансмісії і роликів або маховиків стенда. Останні виступають моделюючими елементами кінетичної енергії рухомого транспортного засобу, що дозволяє досліджувати гальмівні властивості у контрольованих та керованих умовах.

Кожну з підгруп стендів, що забезпечують примусове обертання коліс, можна детальніше класифікувати за способом передачі крутного моменту на колеса:

Привід через опорну поверхню – обертання коліс здійснюється за рахунок сил зчеплення між шиною та робочою поверхнею ролика;

Жорсткий механічний привід – крутний момент передається безпосередньо на маточину колеса або елементи трансмісії, що усуває залежність від умов контакту.

У першому випадку максимальний гальмівний момент, що може бути реалізований на колесі, обмежується зчіпними властивостями шин, тоді як у другому така межа практично відсутня, що дозволяє досліджувати роботу гальмівної системи в умовах близьких до критичних.

Слід також зазначити, що існують спеціалізовані конструкції стендів із підвищенням притискного зусилля на колесах, що забезпечує:

- збільшення зчіпної маси;

- самодовантажування осі під час гальмування (завдяки кінематичним особливостям стенда);

- покращення умов передавання тягових і гальмівних реакцій у зоні контакту.

Такі стенди дозволяють імітувати навантажений стан транспортного засобу, випробовуючи його в спорядженому вигляді, але з еквівалентним зчіпним потенціалом, який відповідає повній масі автомобіля. Це забезпечує підвищену достовірність результатів діагностування в умовах експлуатації.

За принципом визначення гальмівних сил, які виникають унаслідок дії моментів тертя у виконавчих механізмах, гальмівні стенди класифікують за методом вимірювання на такі групи:

- Стенди з реєстрацією реактивних зусиль чи моментів, що передаються на конструктивні елементи приводу або вимірювальну систему;

- Стенди, які оцінюють гальмівний момент за зміною енергоспоживання приводу або пов'язаними параметрами (наприклад, ковзанням електродвигунів, що обертають ролики);

- Стенди з вимірюванням кутового уповільнення чи частоти обертання роликів, що дозволяє опосередковано визначити гальмівний шлях;

Стенди з контролем кутового сповільнення безпосередньо коліс автомобіля як найбільш близький до реальної поведінки транспортного засобу метод.

Залежно від конструкції та типу опорної поверхні, на якій взаємодіють колеса з вимірювальною системою, гальмівні стенди поділяють на:

роликові (барабанні) – з імітацією дороги за допомогою обертових циліндрів;

площадкові (платформні) – із переміщенням колеса в площині платформи під час гальмування;

стрічкові (транспортного типу) – з рухомою контактною поверхнею;

безопорні (з вивішуванням коліс) – де гальмівний момент передається через жорсткий привод без контакту з поверхнею.

У разі використання роликових (барабанних) стендів колеса досліджуваної осі контактують з обертовими роликами, які частково моделюють дорожню поверхню.

У площадкових стендах взаємодія відбувається з рухомими платформами, що більш точно відтворюють умови контакту шини з дорогою.

На стрічкових стендах рух коліс відбувається по гнучкій стрічці, яка, порівняно з роликами, ще більш наближено імітує характеристики дорожнього покриття.

У безопорних стендах колеса вивішуються, тож вплив зчіпних властивостей опорної поверхні на процес гальмування повністю усувається.

Інерційні площадкові стенди використовують кінетичну енергію поступального руху автомобіля, а інерційні роликові – інерцію обертання мас стенда й елементів коліс, що дає змогу моделювати енергію рухомого транспортного засобу. У безопорних системах джерелом енергії можуть бути як інерційні маси стенда і автомобіля, так і лише обертові маси автомобіля.

Роликові стенди дозволяють імітувати умови гальмування нерухомого автомобіля, проте за таких умов відсутній динамічний перерозподіл навантаження на осі та інерційні сили, що характерні для реального руху.

Додатковим обмеженням є те, що початкова швидкість гальмування на силових роликових стендах не відповідає дорожнім режимам гальмування. Лише

інерційні роликові стенди здатні формувати початкову кутову швидкість коліс, близьку до реальної швидкості руху транспортного засобу.

Роликові стенди не здатні повною мірою відтворити реальні умови взаємодії шини з дорожнім покриттям. Зокрема, бокові сили, що виникають під час гальмування транспортного засобу на дорозі, у таких умовах або відсутні, або сприймаються конструктивними елементами стенда і тому не впливають на результат вимірювання.

На стендах із вивішуванням коліс ці фактори усуваються повністю, що ще більше віддаляє умови діагностування від реальних дорожніх процесів.

Площадкові стенди – як силового, так і інерційного типу – відтворюють контакт коліс із поверхнею, проте рух автомобіля відбувається із суттєво нижчими швидкостями, ніж у дорожніх умовах.

Водночас інерційні площадкові стенди забезпечують динамічний перерозподіл вертикальних реакцій, хоч і в спрощеному вигляді.

Силові майданчикові стенди теоретично також здатні моделювати такий перерозподіл, однак практична реалізація подібних режимів пов'язана зі значними технічними труднощами, тому зустрічається вкрай рідко.

Незважаючи на зазначені обмеження, стендові методи діагностування широко застосовуються в експлуатаційній практиці, оскільки дозволяють:

- оцінити ефективність гальмування за питомими гальмівними силами;
- визначити стійкість при гальмуванні за відносною різницею сил на колесах;

- встановити працездатність кожного окремого гальмівного механізму.

Однак, якщо результати випробувань свідчать про невідповідність нормативним вимогам ДСТУ 3649:2010, інформації недостатньо для чіткої ідентифікації причин зниження показників.

Саме ця неможливість визначення конкретного дефекту у разі виявлення відхилення від норми є основним недоліком існуючих стендових методів діагностування гальмівних систем.

Таким чином, у випадку встановлення невідповідності показників гальмівної ефективності або стійкості транспортного засобу, стендові методи – так само як і дорожні – не дають можливості однозначно визначити джерело

відхилення. Зокрема, діагност не може одразу встановити, чи обумовлена проблема несправністю пневматичного гальмівного приводу, чи дефектами виконавчих механізмів, що реалізують гальмівний момент.

Водночас, у сфері технічної діагностики пневматичного гальмівного приводу накопичено значний науково-практичний досвід: розроблено методичні підходи, створено технічні засоби контролю, проаналізовано інформативні діагностичні параметри роботи апаратури. Це відкриває можливості для поглибленої локалізації несправностей та подальшого удосконалення методів оцінювання технічного стану гальмівних систем в експлуатаційних умовах.

1.4 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу магістра

Метою роботи є підвищення ефективності та достовірності контролю технічного стану гальмівних систем автотранспортних засобів шляхом удосконалення виробничо-технічної бази пункту обов'язкового технічного контролю та розроблення конструктивних рішень для роликового гальмівного стенда.

Для досягнення встановленої мети необхідно виконати такі завдання:

Технологічний розділ. Сформувати виробничу програму пункту обов'язкового технічного контролю з урахуванням структури та інтенсивності транспортного потоку. Провести аналіз існуючого стану виробничо-технічної бази з визначенням резервів підвищення продуктивності та якості діагностування. Розробити технологічний процес діагностування гальмівних систем автомобілів на роликовому стенді відповідно до вимог чинних нормативів. Надати характеристику зони діагностування, визначити її площу, компоновку обладнання та перелік виконуваних робіт.

Конструкторський розділ. Розробити конструктивне обґрунтування основних вузлів і механізмів роликового гальмівного стенда. Обрати геометричні параметри роликів, що забезпечують надійну взаємодію колеса з поверхнею стенда. Визначити оптимальну відстань між осями роликів однієї секції. Обґрунтувати швидкість обертання коліс під час випробувань для різних

типів автотранспортних засобів. Розрахувати максимальну гальмівну силу, яка може бути реалізована на стенді. Виконати розрахунок механізму піднімання (виштовхувача) коліс. Провести техніко-економічно обґрунтований вибір мотор-редуктора.

Науково-дослідний розділ. Обґрунтувати режими роботи гальмівної системи під час діагностування на роликових стендах. Встановити функціональні залежності між параметрами технічного стану гальмівних систем автомобіля та діагностичними ознаками, що реєструються стендом. Розробити алгоритм диференційного діагностування з визначенням конкретних дефектів гальмівних систем.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Формування виробничої програми пункту обов'язкового технічного контролю

Розрахунок виробничої програми пункту обов'язкового технічного контролю базується на визначенні річного обсягу автомобіле-заїздів, які мають бути обслуговувані протягом планового періоду. За результатами прогнозування інтенсивності відвідувань на 2024 рік, встановлено очікувану кількість – 3397 заїздів.

Режим функціонування пункту ОТК сформований з урахуванням необхідності забезпечення максимально повного задоволення попиту клієнтів на послуги з перевірки технічного стану транспортних засобів. Зокрема:

тривалість робочого дня становить 8 годин;

тижневий фонд робочого часу – 40 год;

річний фонд робочого часу за прийнятим режимом – 2070 год (за умови роботи протягом 305 днів у році).

Пункт ОТК здійснює контроль технічного стану легкових автомобілів, вантажних автомобілів та автобусів. З урахуванням прогнозного обсягу обслуговування та структури транспортного потоку (рис. 2.1), вихідні дані для формування виробничої програми зведено до таблиці 2.1.

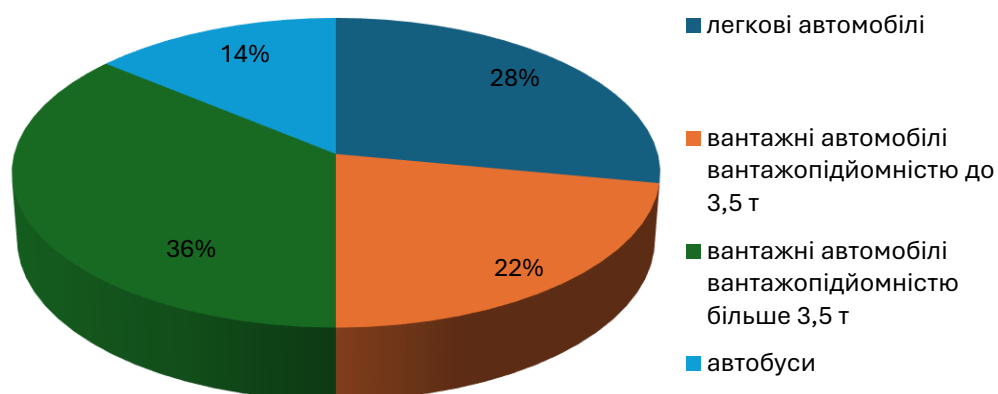


Рис. 2.1. Відсотковий розподіл типів АТЗ, які обслуговуються

Таблиця 2.1. Вихідні дані для розроблення виробничої програми пункту ОТК.

Тип ТЗ	Кількість автомобіле-заїздів
Легкові автомобілі	951
Вантажні автомобілі, вантажопідйомністю до 3,5 т	747
Вантажні автомобілі, вантажопідйомністю більше 3,5 т	1223
Автобуси	476
Всього	3397

Розрахунок річного обсягу робіт, виконуваних лінією перевірки технічного стану транспортних засобів у пункті обов'язкового технічного контролю, здійснюється на основі визначення кількості автомобіле-заїздів, що підлягають обслуговуванню протягом календарного року. Для цього використовується розрахункова залежність такого виду:

$$T_p = \sum_{i=1}^4 \frac{K_{ai} \cdot t_{mi}}{60}, \quad (2.1)$$

Нормативний оперативний час, необхідний для здійснення процедури обов'язкового технічного контролю транспортних засобів, встановлено залежно від їх типу. Згідно з чинними вимогами:

для легкових автомобілів тривалість перевірки становить 40 хв;

для вантажних автомобілів – 60 хв;

для автобусів – 65 хв.

Використовуючи зазначені регламентовані показники часу обслуговування кожної категорії транспортних засобів, можна визначити сумарний річний обсяг робіт пункту обов'язкового технічного контролю за формулою:

$$T_p = \frac{951 \cdot 40 + (747 + 1223) \cdot 60 + 476 \cdot 65}{60} = 3119,7 \text{ (люд.·год)}.$$

Для розподілу загального річного обсягу робіт між окремими постами пункту обов'язкового технічного контролю виконується структуризація трудомісткості за видами робіт та за місцем їх виконання. Узагальнені

результати такого розподілу заносять до таблиці 2.2, що є основою для подальших організаційно-технічних розрахунків.

З метою уточнення трудових нормативів та визначення необхідної кількості робочих постів у складі лінії ОТК виконується попередній розрахунок кількості постів, який здійснюється за формулою:

$$X = \frac{T \cdot \phi \cdot K_{\Pi}}{D_{\text{роб}} \cdot T_{\text{зм}} \cdot C \cdot P_{\Pi} \cdot \eta_{\Pi}}, \quad (2.2)$$

$\phi=1,15$; $K_{\Pi} = 0,8$; $C=1$; $P_{\Pi}=2$; $\eta_{\Pi}=0,9$.

Таблиця 2.2. Розподіл трудомісткості по видам робіт.

Види робіт	Об'єм робіт, %
1. Контроль та регулювання кутів установки передніх коліс	20
2. Контроль та регулювання гальмової системи, оцінка роботи стоянкового гальма	21
3. Регулювання освітлювальних приладів	11
4. Контроль тиску в шинах	5
5. Оцінка вмісту шкідливих речовин відпрацьованих газах	5
6. Оцінка стану рульового керування	14
7. Загальний огляд ТЗ	22
8. Інше	2
РАЗОМ	100

$$X = \frac{3119,7 \cdot 1,15 \cdot 0,8}{305 \cdot 8 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 0,9} = 0,65.$$

На підставі проведених розрахунків встановлено, що однієї діагностичної лінії цілком достатньо для забезпечення прогнозованого річного обсягу попиту на проведення обов'язкового технічного контролю автотранспортних засобів.

2.2 Аналіз існуючої структури виробничо-технічної бази

На підприємстві функціонує діагностичний бокс, обладнаний лінією контролю технічного стану автомобілів, що містить три робочі пости. Загальна

площа приміщення становить 144 м², що забезпечує можливість одночасного розміщення та обслуговування транспортних засобів різних категорій.

Крім основного виробничого приміщення, на території підприємства розташовані:

адміністративний корпус, де організовано роботу інженерно-технічного персоналу та прийом відвідувачів;

майданчик для вимірювання зовнішнього шуму транспортних засобів;

відкрита автостоянка для тимчасового розміщення автомобілів, що очікують проходження ОТК.

Територія підприємства має асфальтобетонне покриття, яке забезпечує необхідні умови для маневрування та безпечного переміщення техніки.

Виробничі об'єкти забезпечуються усіма необхідними комунікаціями:

система водопостачання підключена до місцевих водогонів, доступна як технічна, так і питна вода;

електропостачання здійснюється від мережі з напругою 380/220 В, що дозволяє експлуатувати сучасне діагностичне та підйомно-транспортне обладнання.

Будівельні конструкції бокса виконані у вигляді капітальних несучих стін товщиною 410 мм, із сіткою колон 6×6 м, що забезпечує достатню жорсткість та можливість монтажу важкого обладнання.

Міжцехові перегородки мають товщину 250 мм. Передбачено ворітні, дверні та віконні прорізи, які забезпечують належну інсоляцію, вентиляцію та можливість в'їзду-виїзду транспортних засобів.

Ворітні та дверні прорізи виробничого бокса виконані за типовими розмірами, що забезпечують зручність маневрування транспортних засобів і персоналу. Зокрема, ширина двостулкових воріт становить 4000 мм, тоді як одностулкові двері мають ширину 1200 мм, що відповідає вимогам безпечної евакуації та транспортування обладнання.

Тривалість робочої зміни становить 8 годин, а річна кількість робочих днів – 305, що забезпечує достатній рівень пропускнуєї спроможності для виконання запланованої виробничої програми.

На діагностичний комплекс покладено важливі функції, пов'язані з:

оперативним контролем технічного стану систем, що впливають на безпеку дорожнього руху;

оцінюванням екологічних показників транспортного засобу;

забезпеченням високої економічної ефективності проведення технічного контролю.

Спеціалізація зони на операціях діагностування передбачає компактне та раціональне розміщення обладнання і постів, що забезпечує мінімальні втрати часу на переміщення техніки.

У межах виробничої зони виконуються роботи з контролю технічного стану систем, що визначають рівень безпеки руху та вплив на навколишнє середовище. Зокрема, на діагностичній лінії проводяться перевірки:

ефективності та синхронності дії робочої гальмівної системи;

працездатності стоянкової гальмівної системи;

функціонального стану гальмівного приводу;

величини вільного ходу та люфту у системі рульового керування;

стану шин і відповідності тиску повітря нормативам;

працездатності зовнішніх світлових приладів і сигнального обладнання.

Усі ці роботи здійснюються на основі методів технічної діагностики, що дозволяє виявляти як явні, так і приховані несправності, здатні впливати на рівень безпеки транспортного засобу.

Організаційно-виробнича структура системи управління процесами перевірки технічного стану автомобілів наведена у вигляді функціональної схеми на рис. 2.2.

Процедура проходження обов'язкового технічного контролю автотранспортного засобу передбачає чітку послідовність організаційних та технологічних дій, яка реалізується наступним чином:

Оформлення замовлення на проведення технічного контролю в адміністративному пункті, із реєстрацією замовлення у вигляді замовлення-наряду відповідно до поданої заявки.

Пред'явлення замовлення-наряду на контрольно-пропускному пункті для отримання дозволу на в'їзд транспортного засобу на територію комплексу.



Рис. 2.2. Схема організації технологічного процесу обов'язкового технічного контролю автомобілів у пункті з визначення їх технічного стану.

Передача технічного паспорта автомобіля у пункті ОТК для оформлення діагностичної карти (ДК), яка є офіційним документом контролю.

Безпосереднє проходження технічного контролю на діагностичних постах комплексу, із перевіркою систем, що впливають на безпеку руху та екологічні параметри.

Заїзд на стоянку в межах території комплексу після завершення усіх перевірок.

Повернення діагностичної карти до пункту ОТК та отримання кваліфікованого висновку про технічний стан транспортного засобу згідно з отриманими результатами.

Видача протоколу випробувань, який підтверджує проходження або непроходження ОТК.

Виїзд транспортного засобу з території комплексу після завершення всіх адміністративних процедур.

2.3 Проектування технічного обслуговування гальмівних систем

Таблиця 2.3. ТО гальмівних систем.

№	Етап технічного обслуговування	Зміст робіт	Використовуване обладнання та інструмент
1	Підготовчі операції	Огляд технічної документації, оцінка попередніх зауважень, перевірка чистоти та стану шин	Лампа переносна, манометр шинний
2	Візуальний контроль трубопроводів та з'єднань	Виявлення корозії, тріщин, витоків робочої рідини/повітря	Оглядова яма/підйомник, дзеркало оглядове
3	Контроль рівня гальмівної рідини (ГР) у бачку	Оцінка рівня, стану, наявності домішок та терміну експлуатації	Прилад для визначення вологості ГР, тара для рідини
4	Оцінка стану вакуумного підсилювача (ПКСТ)	Перевірка герметичності та ефективності підсилення	Вакуумметр, діагностичний сканер
5	Перевірка ходу педалі гальма	Вільний та робочий хід педалі, наявність провалів	Лінійка/шаблон, пристрій натискного зусилля

6	Перевірка рульового люфту та елементів шасі (суміщено)	Вплив на безпеку при екстреному гальмуванні	Люфтомір, домкрат або підйомник
7	Оцінка стану гальмівних колодок/накладок	Товщина фрикційних матеріалів, рівномірність зношування	Штангенциркуль, щуп, ключі слюсарні
8	Огляд і вимірювання стану гальмівних дисків/барабанів	Бієцтво, товщина, температура, сліди перегріву	Індикатор годинникового типу, мікрометр
9	Перевірка герметичності та стану гальмівних циліндрів	Наявність витоків, ефективність роботи поршнів	Спецключі, очищувач гальм
10	Перевірка роботи стоянкового гальма	Хід приводу, зусилля, ефективність утримання авто	Динамометр, пристрій навантаження
11	Контроль тиску у пневмосистемі (вантажні)	Робочий тиск, час наповнення, сигналізація несправності	Манометри контрольні, прилад для перевірки ПГП
12	Перевірка герметичності пневмоприводу	Витоки, робота клапанів, ресиверів	Пневмотестер, мильний розчин, електронний витокошукач
13	Діагностування на гальмівному стенді	Питома гальмівна сила, відхилення між колесами, синхронність	Роликовий гальмівний стенд з датчиками крутного моменту
14	Усунення виявлених несправностей	Регулювання, заміна елементів, прокачування приводу	Комплект інструменту, прес

			для гальмівних циліндрів
15	Контрольне діагностування	Повторна перевірка для підтвердження якості обслуговування	Гальмівний стенд, сканер OBD2, вимірювач люфту
16	Документальне оформлення результатів	Заповнення чек-листа, ДК або внутрішнього протоколу	Ком'ютер з ПЗ, бланки протоколів

Таблиця 2.4. Перелік операцій при діагностуванні гальмівних систем

№	Етап діагностування	Зміст робіт	Обладнання / інструмент
1	Підготовчі операції	Ідентифікація ТЗ, оформлення документації, огляд шин, перевірка тиску	Манометр шинний, візуальні засоби контролю
2	Перевірка вільного ходу педалі гальма	Визначення відповідності нормативам, виявлення порушень у приводі	Лінійка, шаблон або цифровий вимірювач ходу
3	Перевірка рівня та якості гальмівної рідини / тиску повітря	Виявлення недостатнього рівня, домішок; у пневмосистемах – контроль тиску	Тестер рідини (DOT), манометр контрольний
4	Оцінка герметичності приводу	Виявлення витоків рідини або повітря	Оглядна яма/підйомник, ліхтар, мильний розчин, витокошукач

5	Перевірка стану гальмівних механізмів	Огляд колодок, дисків/барабанів, зазорів, зношення	Підйомник, штангенциркуль, індикатор ІЧТ
6	Перевірка роботи вакуумного/гідравлічного підсилювача	Ефективність підсилення педального зусилля	Вакуумметр, силавимірювач на педаль
7	Перевірка пневмоапаратури (для N2–N3, автобусів)	Робота клапанів, ресиверів, час наповнення, сигналізація	Пневмотестер, контрольний манометр
8	Перевірка стоянкової гальмівної системи	Утримання ТЗ на ухилі/при стендовій перевірці	Динамометр, пристрій створення зусилля
9	Діагностика на роликовому гальмівному стенді	Визначення питомої гальмівної сили, дисбалансу, синхронності, початку блокування	Роликовий стенд силовий або інерційний, датчики моменту/швидкості
10	Запис та обробка результатів	Аналіз ФДХ (фазових динамічних характеристик), порівняння з нормативами ДСТУ	Програмно-обчислювальний комплекс стенда
11	Встановлення діагнозу	Висновок про технічний стан виконавчих механізмів і приводу гальм	Діагностичне ПЗ, технічні регламенти
12	Формування рекомендацій	Визначення потреби у ремонті, регулюванні або заміні	Робоча документація, чек-лист дефектів
13	Видача протоколу	Оформлення результатів діагностування	Принтер, система реєстрування ОТК

2.4 Характеристика зони діагностування та спектр виконуваних робіт

Технологічна послідовність проведення обов'язкового технічного контролю дорожніх транспортних засобів наведена на рис. 2.3. Згідно із заданим алгоритмом, транспортний засіб послідовно переміщується через три спеціалізовані пости діагностичної лінії, де здійснюється комплексна перевірка параметрів, які впливають на безпеку дорожнього руху та екологічні характеристики.

Пост №1 – оглядово-діагностичний (із застосуванням оглядової канави)

Основним призначенням поста є визначення готовності автомобіля до проведення подальших випробувань та оцінка технічного стану ключових систем. На цьому етапі виконують:

- візуально-інструментальний контроль вузлів ходової частини;
- оцінювання працездатності рульового керування;
- перевірку герметичності та технічного стану системи живлення;
- контроль складу відпрацьованих газів та відповідність екологічним нормам;
- діагностування газобалонного обладнання (за наявності).

Пост №2 – стендові випробування гальмівних систем (роликовий стенд)

Цей пост забезпечує отримання об'єктивних даних щодо ефективності гальмування та стійкості автомобіля під час гальмівного процесу. Виконуються такі перевірки:

- оцінка ефективності робочої гальмівної системи за питомою гальмівною силою;
- контроль працездатності стоянкової гальмівної системи;
- вимірювання зусилля на органі керування гальмами для визначення умов роботи приводу.

Пост №3 – контроль систем активної безпеки та зовнішніх елементів конструкції

На завершальному етапі діагностування перевіряються:

працездатність та правильність регулювання зовнішніх світлових приладів;

відповідність світлопропускання скла нормативним значенням;

функціонування склоочисників і склоомивачів вітрового скла;

технічний стан шин, включаючи залишкову висоту протектора;

інші конструктивні елементи, що впливають на безпеку руху.

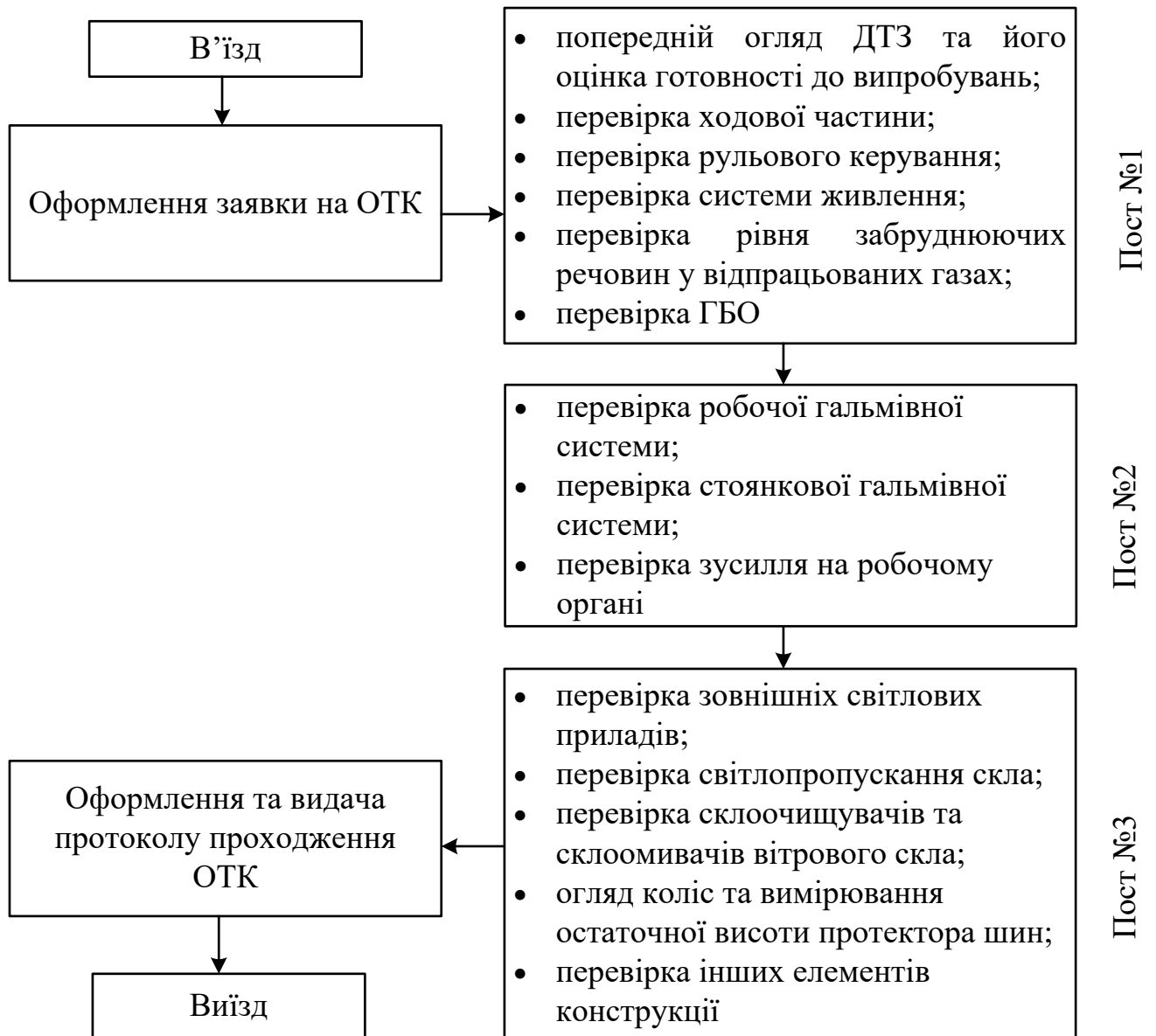


Рис. 2.3. Схема технологічного процесу проходження обов'язкового технічного контролю АТЗ.

Перелік обладнання та засобів технічного контролю, необхідних для виконання діагностичних операцій, систематизовано за виробничими постами та наведено у таблицях 2.4–2.6. Після реєстрації транспортний засіб спрямовується на пост №1, де здійснюється первинне технічне обстеження ходової частини, рульового приводу та системи живлення.

Таблиця 2.4. Технологічна послідовність контролю технічного стану на посту

№1.

Найменування операції	Обладнання, прилади	Габаритні розміри, м
1	2	3
Ідентифікація транспортного засобу: звірення марки, моделі, державного номерного знаку та ідентифікаційних номерів кузова (рами) і двигуна з реєстраційними документами	Візуально, оглядовий пристрій з дзеркалом	-
Візуальний огляд несучих елементів: рама, кузов, платформа	Візуально, оглядовий пристрій з дзеркалом	-
Діагностування ходової частини на наявність дефектів (тріщини, витоки, деформації)	Візуально, оглядовий пристрій з дзеркалом, оглядова канава	-
Перевірка стану рульового керування та шарнірних з'єднань	Оглядова канава	-
Контроль кріплення трансмісії, карданних з'єднань та герметичності трубопроводів	Оглядова канава	-
Оцінка герметичності паливної системи та системи змащування двигуна	Оглядова канава	-
Вимірювання сумарного люфту рульового колеса згідно з нормативами	Люфтомір ИСЛ-401м	420×200
Контроль вмісту токсичних компонентів у вихлопних газах	Газоаналізатор АВГ-4, Димомір АВГ-1д	330×290, 355×220
Технічна перевірка ГБО: маркування, стан балонів, арматури, трубопроводів	Візуально	-

Із поста №1 автомобіль потрапляє на пост №2 (діагностування гальмівної системи).

Таблиця 2.5. Послідовність виконання робіт на посту №2.

Назва операції	Обладнання, прилади	Габаритні розміри А x В, м
1. Перевірка нерівномірності загальмовування коліс передньої вісі	Стенд гальмівний універсальний СТМ 15000-У	2010x810
2. Перевірка нерівномірності загальмовування коліс задньої вісі		
3. Перевірка ефективності стоянкового гальма		

Із поста №2 автомобіль потрапляє на пост №3.

Таблиця 2.6. Послідовність виконання робіт на посту №3.

Найменування операції	Обладнання, прилади	Габаритні розміри, м
1	2	3
Огляд шин та коліс: залишкова висота протектора, відсутність пошкоджень, перевірка моменту затягування кріплення, контроль тиску	Вимірювальна лінійка, ШЦ-1-150, манометр	-
Тестування працездатності зовнішніх світлових приладів: фари ближнього/ дальнього світла, габаритні вогні, поворотні сигнали, аварійна сигналізація, протитуманні фари, задній хід, світловідбивачі	Вимірювач параметрів світла фар ОПК	420x240
Вимірювання світлопропускання вітрового та передніх бокових стекол	Вимірювач світлопропускання скла ИСС-1	-
Контроль систем очистки та обігріву лобового скла: склоочисники, омивачі, підігрів	Візуально	-

Перевірка наявності та технічного стану ременів безпеки, аварійного оснащення, дзеркал заднього виду	Візуально, прилад перевірки натягу ременів ППНР 100	-
Огляд зовнішнього вигляду, справності замків дверей, регулювальних механізмів сидіння, стану тягово-зчіпного пристрою (за наявності)	Візуально	
Перевірка дії протиугінного пристрою	Візуально	

Для забезпечення виконання повного комплексу діагностичних операцій на постах лінії ОТК передбачено застосування спеціалізованих засобів контролю та вимірювальної техніки. До основного технологічного оснащення належать:

Люфтомір ІСЛ-401м – визначення сумарного люфту в рульовому керуванні;

Оптико-приладовий комплекс для оцінки світлорозподілу фар ОПК – контроль та регулювання світлових приладів;

Газоаналізатор АВГ-4 – вимірювання концентрацій токсичних складових у відпрацьованих газах бензинових двигунів;

Димомір АВГ-1д – визначення задимленості вихлопу дизельних двигунів;

Універсальний гальмівний стенд СТМ-15000-У – оцінювання питомих гальмівних сил, дисбалансу гальмування та параметрів пневмопривода;

Вимірювач світлопропускання скла ІСС-1 – контроль допустимості затемнення вітрового та передніх бокових стекол;

Витокошукач ТМ-МЕТА – локалізація витоків у системах подачі пального, мастила чи стисненого повітря;

Прилад для перевірки натягу ременів ППНР-100 – оцінювання стану пасивних засобів безпеки;

Манометр технічний – контроль тиску в шинах та пневматичних контурах;

Металева вимірювальна лінійка довжиною 1000 мм – визначення геометричних параметрів елементів кузова;

Секундомір СОСлр-26-2-00 – вимірювання часових параметрів спрацьовування гальмівної системи;

Штангенциркуль ШЦ-1-150 – перевірка розмірних параметрів та ступеня зношеності деталей;

Рулетка вимірювальна 52j-5025 – проведення лінійних вимірювань зовнішніх елементів конструкції.

Для забезпечення належного рівня безпеки дорожнього руху ключовим фактором є своєчасне та достовірне встановлення технічного стану транспортних засобів, що проходять обов'язковий технічний контроль. Ефективність функціонування системи ОТК безпосередньо залежить від якості діагностичної інформації, яка дозволяє робити обґрунтовані висновки щодо працездатності автомобільних систем та агрегатів.

З огляду на те, що переважна частина транспортних засобів, які обслуговуються на підприємстві, оснащена гальмівними системами з пневматичним приводом, особливо актуальним є питання підвищення точності діагностування саме цієї системи. Існуючі методики стендових випробувань здатні оцінити лише кінцеві показники гальмівної ефективності та стійкості, проте вони не дають можливості однозначно визначити джерело відхилень – чи пов'язане воно з порушенням роботи пневматичного приводу, чи з відмовами виконавчих механізмів гальмівної системи.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Конструкторське обґрунтування основних елементів гальмівного стенда

Роликовий гальмівний стенд (рисунки 3.1, 3.2) належить до діагностичного гаражного обладнання, призначеного для контролю та оцінювання технічного стану гальмівної системи автомобіля.

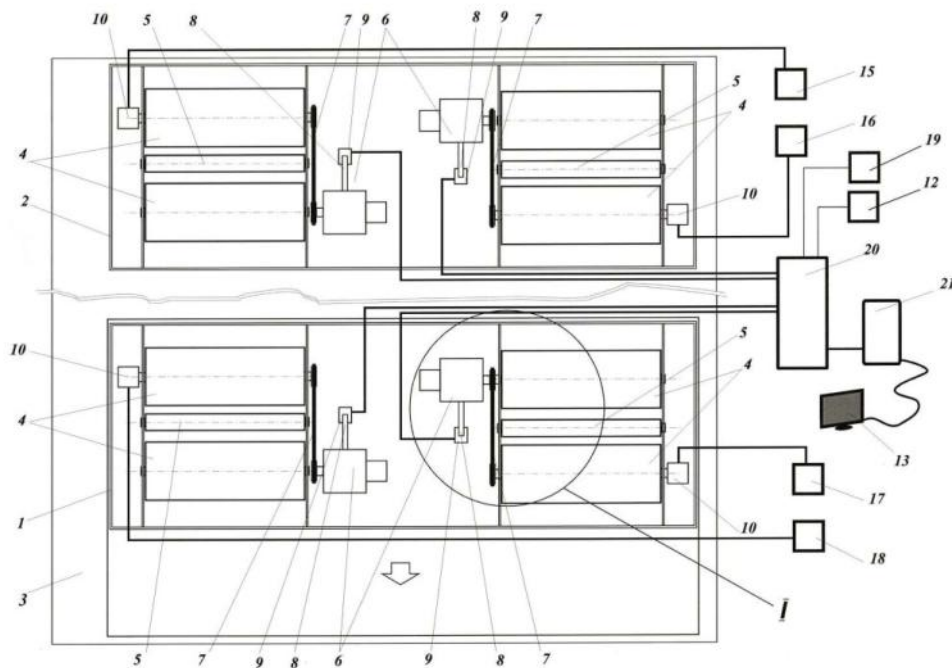


Рис. 3.1. Загальний вигляд силового роликового стенда:

1 – рухома платформа; 2 – нерухома платформа; 3 – фундаментна основа; 4 – пара опорних роликів; 5 – слідкуючий ролик; 6 – мотор-редуктор; 7 – ланцюгова передача; 8 – важіль; 9 – датчик сили; 10 – датчик кутової швидкості ролика; 13 – монітор для водія; 15, 16, 17, 18 – частотно-регульований привід; 19 – датчик зусилля на педалі гальма; 20 – контролер; 21 – персональний комп'ютер.

До ключових конструктивно-функціональних характеристик стендів для діагностування гальмівних систем належать:

- лінійні параметри та форма бігових роликів;
- міжосьова відстань опорних роликів у кожній секції стенда;
- діапазон кутових швидкостей, за яких моделюється рух автомобіля;

максимальна гальмівна сила, що може бути реалізована колесом на роliках;

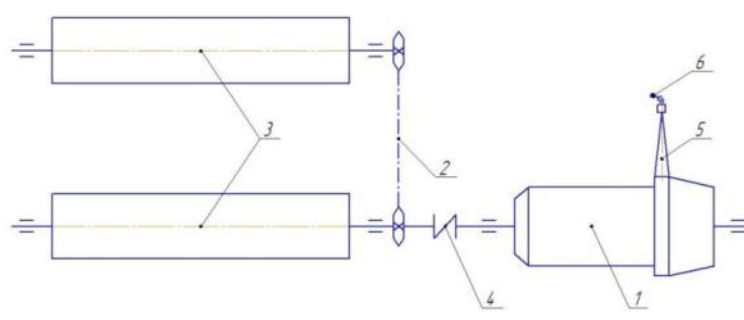


Рис. 3.2. Кінематична схема привода стенда:

1 – мотор-редуктор; 2 – ланцюгова передача; 3 – бігові роliки; 4 – муфта; 5 – важіль; 6 – датчик вимірювання зусилля.

потужність та режим роботи електропривода секцій;

параметри масового навантаження автомобіля та його розподіл за осями.

Ці показники визначають як точність відтворення дорожніх умов, так і достовірність оцінювання працездатності гальмівної системи в цілому.

3.1.1 Вибір геометричних характеристик роliків

При визначенні типорозміру роliків необхідно враховувати забезпечення умов кочення, максимально наближених до взаємодії автомобільного колеса з дорожнім покриттям. Зокрема, кривизна поверхні бігових роliків істотно впливає на величину проковзування (рис. 3.3).

Дослідження показують, що небажані ефекти, пов'язані зі зростанням ковзання, спостерігаються тоді, коли відношення діаметра роliка до діаметра колеса знижується нижче $D_p/D_k < 0,4$

У той же час опір коченню продовжує суттєво зменшуватися при збільшенні цього співвідношення в межах $0,4 \leq D_p/D_k \leq 0,5$.

Враховуючи викладене, мінімально допустимий діаметр роliка повинен становити щонайменше 40 % від діаметра колеса, яке проходить випробування, що дозволяє знизити похибки моделювання контакту шина–дорога та підвищує точність діагностики.

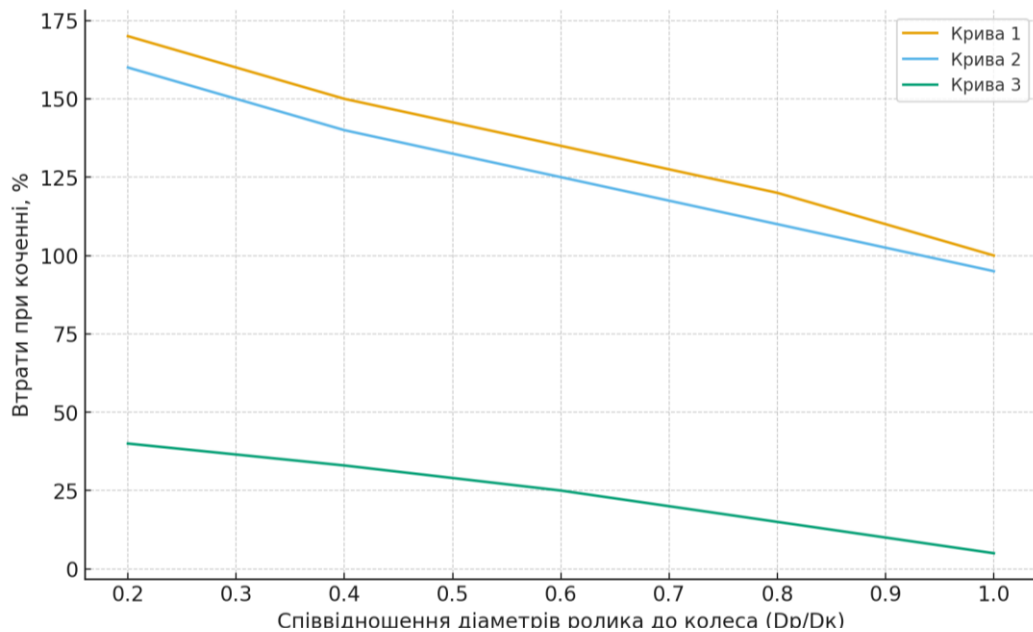


Рис. 3.3. Залежність втрат при коченні від кривизни бігових роликів

1 – сумарний коефіцієнт опору коченню; 2 – втрати, обумовлені гістерезисом матеріалу шини; 3 – втрати, спричинені проковзуванням у зоні контакту колеса з роликом.

Для подальших інженерно-конструкторських розрахунків як розрахунковий об'єкт обираємо автомобіль із найбільшим зовнішнім діаметром колеса серед транспортних засобів, що обслуговуються пунктом технічного контролю, – Nissan Qashqai із типорозміром шин 215/50 R17.

Зовнішній діаметр колеса визначається шляхом додавання до посадкового діаметра двох висот профілю шини:

посадковий діаметр: 457,2 мм

висота профілю: 159 мм

розрахунковий зовнішній діаметр колеса: 775 мм

попередньо визначений діаметр ролика: 310,4 мм [19]

Матеріал ролика прийнято з гарячедеформованих безшовних сталевих труб, що дає можливість забезпечити необхідну міцність та зносостійкість робочої поверхні.

У результаті аналізу та округлення до стандартних типорозмірів приймається діаметр бігового ролика 325 мм, за товщини стінки 30 мм.

Довжина робочої частини ролика визначається геометричними параметрами шини та необхідністю забезпечення універсальності стенда для обслуговування широкого спектра автотransпортних засобів (рисунок 3.4).

Мінімальне значення довжини ролика повинно гарантувати повний контакт бігової доріжки з протектором шини незалежно від її ширини та положення під час випробувань.

$$l_{pmin} = \frac{B_n - B_{вн}}{2} + a, \quad (3.1)$$

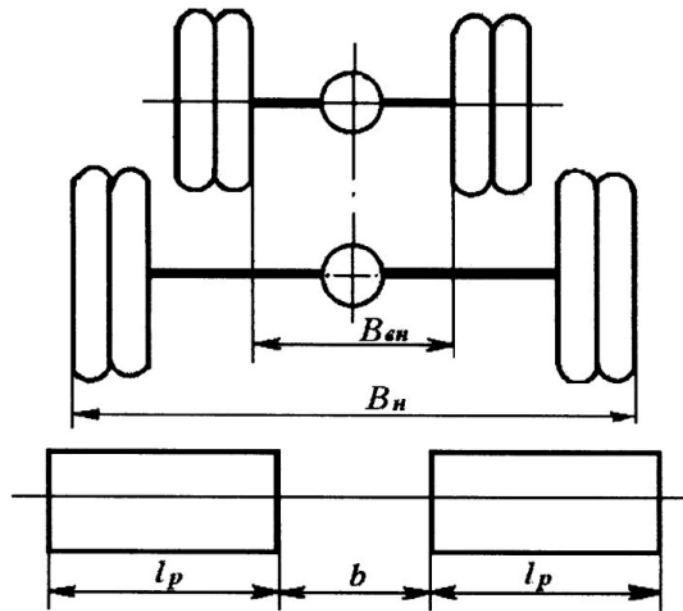


Рис. 3.4. Схема для розрахунку основних габаритів роликового стенда.

Розрахунок виконуємо для автомобілів з максимальною та мінімальною колією.

Найбільша зовнішня колія:

$$B_n = D + \frac{1}{2} \cdot 265, \quad (3.2)$$

$$B_n = 1560 + \frac{1}{2} \cdot 265 = 1692,5 \text{ мм.}$$

Приймаємо максимальну зовнішню колію – 1693 мм.

Найменша внутрішня колія:

$$B_{вн} = D - \frac{1}{2} \cdot 165. \quad (3.3)$$

$$B_{вн} = 1437 - \frac{1}{2} \cdot 165 = 1354,5 \text{ мм.}$$

Приймаємо мінімальну внутрішню колію – 1354 мм.

Мінімальна довжина ролика:

$$l_{\text{pmin}} = \frac{1693 - 1354}{2} + 100 = 269,5 \text{ мм.}$$

Виходячи з вимог безпеки під час виконання діагностичних операцій, а також забезпечення комфортного заїзду та з'їзду автомобіля зі стенда, приймаємо робочу довжину бігового ролика 500 мм.

Як матеріал ролика застосовується сталева безшовна труба підвищеної міцності, що гарантує достатню жорсткість та зносостійкість під час дії повторно-перемінних навантажень при гальмуванні $325 \times 30 \times 500$.

Для забезпечення стійкої геометрії контакту шини з поверхнею роликів та уникнення торкання елементів ходової частини автомобіля з конструкцією стенда, міжосьову відстань роликів визначають за співвідношенням:

$$b = B_{\text{вн}} - a. \quad (3.4)$$

Підставивши розрахункові параметри у відповідну формулу, отримуємо необхідне значення міжосьової відстані бігових роликів:

$$b = 1354 - 100 = 1254 \text{ мм.}$$

Загальна довжина поздовжньої осі ролика:

$$L = 2 \cdot l_p + b. \quad (3.5)$$

Підставляючи значення:

$$L = 2 \cdot 500 + 1254 = 2254 \text{ мм.}$$

3.1.2 Відстань між осями роликів однієї секції стенда

Відстань між осями бігових роликів визначається за залежністю:

$$l = (r_{\text{к}} + r_{\text{р}}) \cdot \frac{2 \cdot \varphi}{\sqrt{1 + \varphi^2}}, \quad (3.6)$$

Поверхневий шар бігових роликів має гарантувати стабільно високі зчіпні властивості із шинами за будь-яких експлуатаційних умов – як на сухій, так і на зволоженій контактній поверхні. Крім того, конструкція покриття повинна запобігати надмірному зношуванню протектора при можливому блокуванні

коліс, а також забезпечувати підвищену стійкість до абразивних і динамічних навантажень під час тривалої роботи стенда.

Застосування гладкої сталевий поверхні не дозволяє досягти необхідного рівня коефіцієнта тертя, особливо за підвищеної вологості. Тому раціональним рішенням є використання корундового покриття, сформованого на основі високостійкого епоксидного композиту з включеннями кварцових кристалів. Така структура матеріалу відзначається оптимальною «шорсткістю», що значною мірою підвищує сили зчеплення між шиною та роликом.

Корундове покриття широко застосовується на сучасних гальмівних стендах завдяки своїй довговічності, надійності та універсальності під час діагностування різних типів дорожніх транспортних засобів. Експериментально встановлено, що коефіцієнт зчеплення такого покриття становить близько 0,8, що свідчить про його максимальну близькість до умов взаємодії шин з асфальтобетонною поверхнею дороги.

Підставивши отримані вихідні дані до відповідної розрахункової залежності:

$$l = (388 + 162,5) \cdot \frac{2 \cdot 0,8}{\sqrt{1 + 0,8^2}} = 687,7 \text{ мм.}$$

Прийняте міжосьове розташування бігових роликів становить **688 мм**. Зазначена величина забезпечує необхідну стійкість транспортного засобу під час проведення діагностичних випробувань, а також гарантує можливість безпечного самостійного виїзду автомобіля зі стенда після завершення процедури.

Система сил, що виникає в процесі роботи гальмівного роликового стенда, схематично подана на рисунку 3.5.

$$\alpha = \arctg \varphi. \quad (3.7)$$

$$\alpha = \arctg 0,8 = 38^{\circ} 66'.$$

Умова, за якої транспортний засіб здатний самостійно з'їхати зі стенда за заблокованих бігових роликів за їх симетричного розташування, описується нерівністю $\tan \alpha < \varphi$, де α – кут між напрямом сили ваги автомобіля та векторами нормальних реакцій роликів; φ – коефіцієнт зчеплення шин із поверхнею ролика.

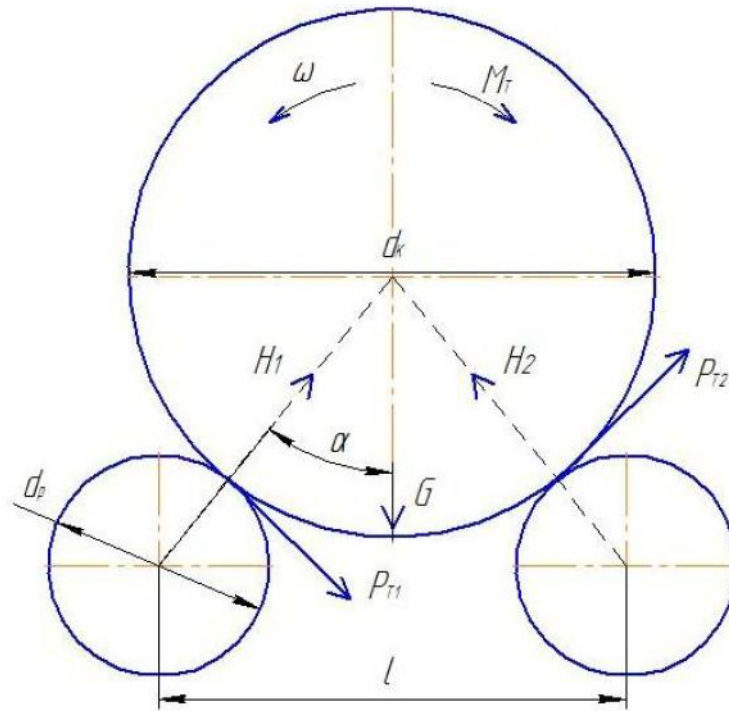


Рис. 3.5. Сили, що діють на автомобіль під час роботи стенда:

α – кут між вектором сили тяжіння автомобіля та напрямком векторів нормальної реакції від опорних роликів; φ – коефіцієнт зчеплення шини з поверхнею бігового ролика.

Аналіз наведеної залежності демонструє, що забезпечення максимальної стійкості автомобіля на діагностичному стенді та можливість його самостійного з'їзду зі стенда є взаємно протилежними вимогами, тобто не можуть бути виконані одночасно.

Тому стенди, які конструктивно не здатні гарантувати самостійне покидання автомобілем робочої зони, повинні додатково обладнуватися спеціальними механізмами підйому коліс, розташованими між біговими роликами.

3.1.3 Вибір швидкості обертання коліс під час випробувань

Для адекватного моделювання умов реального гальмування та отримання результатів, порівнюваних із дорожніми випробуваннями, швидкість обертання коліс на стенді повинна бути не меншою ніж 5 км/год. Подальше зростання швидкості призводить до ускладнення стабілізації автомобіля, особливо при

перевірці передньої (керованої) осі, а також потребує використання електроприводів підвищеної потужності.

В рамках подальших розрахунків приймаємо робочу швидкість обертання коліс 5 км/год.

3.1.4 Визначення максимальної гальмівної сили, реалізованої на стенді

Гранична величина гальмівної сили, яку здатен відтворити стенд під час діагностики, встановлюється розрахунковим шляхом за наступним виразом:

$$P_{T \max} = \frac{G \cdot \varphi}{(1 + \varphi^2) \cdot \cos \alpha}, \quad (3.8)$$

Якщо прийняти, що навантаження від маси автомобіля розподіляється за схемою 70 % – на передню вісь та 30 % – на задню вісь, тоді найбільша частка маси, яка діє на одну пару бігових роликів стенда, визначається як:

$$G = \frac{M \cdot 0,7}{2} \cdot 9,81, \quad (3.9)$$

Підставивши необхідні параметри до формули, отримаємо значення максимальної вертикальної сили, що діє на одну пару бігових роликів під час випробувань:

$$G = \frac{1730 \cdot 0,7}{2} \cdot 9,81 = 8085,9 \text{ Н.}$$

З урахуванням попередніх розрахунків максимальна гальмівна сила, яку здатен сприйняти роликовий стенд під час діагностування, визначається за залежністю:

$$P_{T \max} = \frac{8085,9 \cdot 0,8}{(1 + 0,8^2) \cdot \cos 38^{\circ} 66'} = 4875,5 \text{ Н.}$$

3.1.5 Розрахунок механізму піднімання (виштовхувача) коліс

Хід механізму піднімання коліс визначається залежністю:

$$H = (r_k + r_p) \cdot (1 - \cos \alpha) + h, \quad (3.10)$$

$$h = 20 \dots 30.$$

$$H = (388 + 162,5) \cdot (1 - \cos 38^\circ 66') + 20 = 140 \text{ мм.}$$

Схематичне зображення до визначення необхідного ходу механізму піднімання коліс наведено на рисунку 3.5.

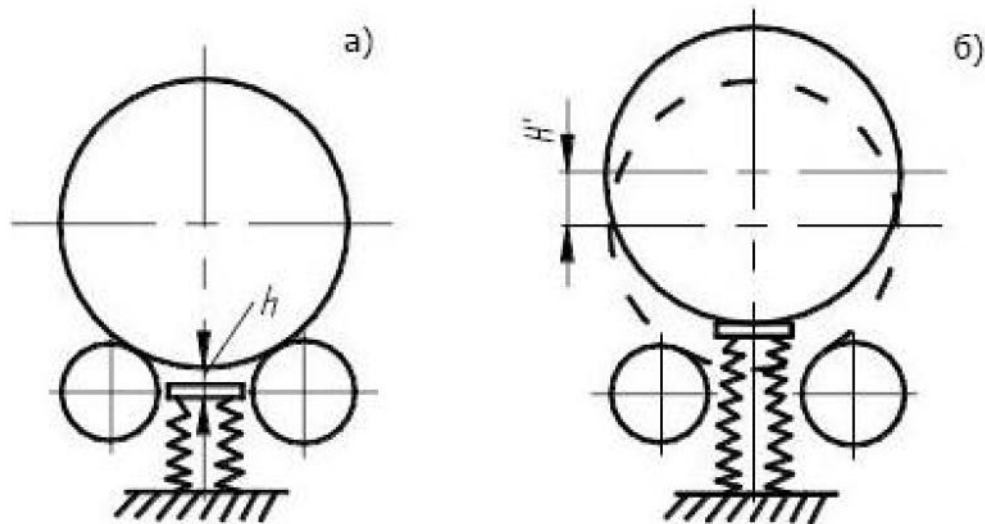


Рис. 3.5. Схемне зображення для визначення необхідного ходу колісного підйомника:

а – положення підйомника у нижній позиції; б – підйомник у робочому (піднятому) стані.

Для реалізації вертикального переміщення колеса під час з'їзду автомобіля зі стенда обрано пневматичний виконавчий механізм типу AIR HOUSE 2 (рис. 3.6). Зазначений елемент характеризується такими технічними параметрами:

мінімальна монтажна висота, мм	51
максимальна висота у піднятому стані, мм	215
зовнішній діаметр, мм	149
допустиме навантаження, кг	1179 [31]

Подача стисненого повітря до пневмоподушки здійснюватиметься від наявної пневматичної інфраструктури сервісного центру, що забезпечує стабільність тиску та надійність роботи підйомного механізму.

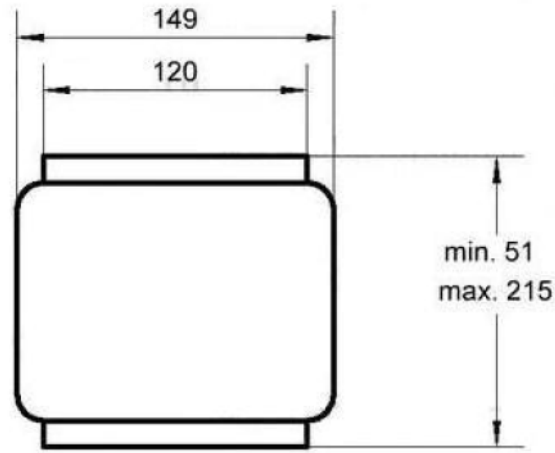


Рис. 3.6. Рневмоподушка.

3.1.6 Вибір мотор-редуктора

Підбір привідного мотор-редуктора здійснюється з урахуванням максимальної навантажувальної здатності привода, зокрема за величиною крутного моменту та частотою обертання вихідного вала редуктора.

Максимальний крутний момент, що діє на ролик під час випробувань, визначають за аналітичним виразом:

$$T_p = P_{T\max} \cdot r_p, \quad (3.11)$$

$$T_p = 4875,5 \cdot 0,162 = 789,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Частоту обертання бігових роликів у межах однієї секції стенда визначають, виходячи з умови забезпечення заданої лінійної швидкості кочення колеса під час випробувань. Розрахунок виконується за кінематичним співвідношенням:

$$n_p = \frac{30 \cdot \omega_p}{\pi}, \quad (3.12)$$

$$\omega_p = 8,4 \text{ с}^{-1}.$$

$$n_p = \frac{30 \cdot 8,4}{3,14} = 80$$

Для приводу роликів обрано циліндричний двоступеневий співвісний мотор-редуктор типу МЦ2С-125, який за своїми характеристиками відповідає вимогам, що висуваються до роботи секції стенда. Його основні параметри:

номінальна частота обертання вихідного вала, об/хв – 90

допустимий крутний момент на вихідному валу, Н·м – 1113

допустиме радіальне навантаження на вихідний вал, Н – 8000

встановлений електродвигун – 4A132M4P3

діаметр вихідного вала, мм – 55.

Обраний мотор-редуктор забезпечує необхідні кінематичні та силові параметри приводу стенда, що дозволяє гарантувати стабільність обертання роликів та достовірність результатів діагностування.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Обґрунтування режимів роботи гальмівної системи під час діагностування на роликових стендах

Діагностування технічного стану гальмівної системи автомобіля є комплексним процесом, що передбачає взаємодію об'єкта контролю із засобами вимірювання та аналізу. Для забезпечення достовірної оцінки працездатності гальмувального механізму необхідно визначити ефективні режими його функціонування у процесі перевірки на стендах з біговими барабанами.

Загальна структура діагностичного процесу включає послідовність таких етапів:

Створення контрольного навантаження (тестового впливу) на перевірювану систему з метою ініціювання її реакції.

Реєстрація інформативних параметрів, що відображають поточний технічний стан гальмівних механізмів.

Аналітична обробка вимірних даних, порівняння їх із встановленими нормативами та виявлення відхилень.

Формування висновку (діагнозу) щодо рівня працездатності та наявності можливих дефектів.

Узагальнена схема реалізації процесу діагностування складних технічних систем, до яких належать і гальмівні системи автомобіля, наведена на рисунку 4.1, де відображено взаємозв'язок між етапами контролю, засобами вимірювання та інтелектуальним опрацюванням інформації.

Діагностування гальмівної системи автомобіля, згідно з наведеними принципами, реалізується у вигляді чітко структурованої послідовності дій, що охоплює чотири основні стадії.

На першому етапі здійснюється формування контрольного впливу на систему. Гальмівний механізм переводять у задані режими роботи – за навантаженням, швидкістю обертання коліс та тепловою напруженістю – шляхом застосування роликових стендів або іншого спеціального обладнання. Це забезпечує моделювання реальних умов експлуатації.

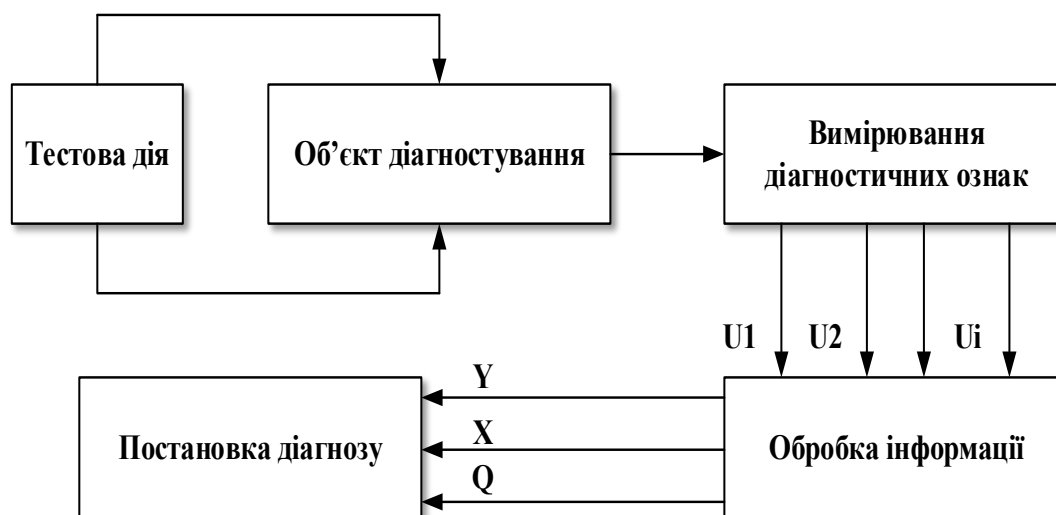


Рис. 4.1. Процес діагностування технічного об'єкта.

На другому етапі проводиться збір інформативних параметрів, що є чутливими до погіршення технічного стану. Для цього реєструють величини гальмівних сил, тиск у пневматичних приводах, кутову швидкість обертання коліс та інші сигнали від датчиків, які характеризують процес гальмування.

Третій етап передбачає оброблення зареєстрованих даних. Виконується фільтрація та підсилення сигналів, їх перетворення з електричної форми у діагностично значимі величини, що дозволяє відокремити корисну інформацію від завад та похибок вимірювань.

На четвертому етапі здійснюється аналітична оцінка працездатності системи. Порівнюючи отримані показники з регламентованими нормативами або еталонними значеннями, формують діагностичний висновок щодо технічного стану гальмівної системи та можливих дефектів.

Результати досліджень, виконаних А. І. Федотовим, доводять, що характер фазових динамічних параметрів гальмівної системи істотно залежить від умов, за яких на неї подається тестове навантаження. Відповідно, навіть незначні відхилення режиму контрольного впливу можуть спотворити діагностичні показники та призвести до хибного висновку щодо технічного стану системи. Саме тому режим навантаження під час діагностування повинен бути чітко нормованим та повторюваним, що забезпечує мінімізацію впливу зовнішніх факторів на кінцевий результат.

Якщо під час перевірки встановлено, що параметри гальмівної ефективності чи рівень стійкості автомобіля при гальмуванні не відповідають

вимогам стандарту ДСТУ 3649:2010, необхідно ідентифікувати джерело відхилень. Критично важливо визначити, чи пов'язане погіршення характеристик із несправністю приводної частини гальмівної системи (пневматичного приводу), чи воно спричинене дефектами безпосередньо виконавчих механізмів.

Виконавчі механізми гальмування реагують на єдиний керувальний сигнал – величину тиску стисненого повітря у гальмівних камерах. У випадку екстреного гальмування цей сигнал формується надзвичайно інтенсивно: тиск зростає з нульового до приблизно 0,75 МПа впродовж мінімального інтервалу часу, забезпечуючи різке підвищення гальмівного моменту. Після повної зупинки транспортного засобу тиск так само швидко повертається до нуля.

Таким чином, тестовий вплив у процесі діагностування виконавчих механізмів визначається законом зміни тиску у гальмівних камерах: від швидкого наростання до максимального значення з подальшим падінням до нуля. Аналіз реакції системи на зазначений вплив дає можливість точно оцінити її працездатність.

Виходячи з викладених положень, сформовано структурно-наслідкову модель процесу гальмування під час діагностування на роликовому гальмівному стенді, яка представлена на рисунку 4.2.

На структурній схемі відображено взаємодію об'єкта діагностування, роликового гальмівного стенда та пневматичного приводу як єдиної функціональної системи. Такий підхід дозволяє комплексно оцінити гальмівну ефективність та стійкість транспортного засобу під час уповільнення, а також отримати фазово-динамічні характеристики для подальшого визначення діагностичних параметрів і виявлення прихованих відмов.

Встановлені залежності між елементами системи забезпечують можливість формалізації процесу діагностичного аналізу на математичному рівні. Спираючись на подану модель, співвідношення між технічним станом гальмівної системи та результативними показниками її роботи може бути представлено у вигляді поліноміального рівняння, що описує зміну ефективності гальмування автотранспортного засобу в залежності від впливових факторів:

$$\gamma_{\Gamma} = F\left[R_Z(h_n), R_X(\varphi_x, S), G_K, h_{um}(P_{mk}), M_{\Gamma}(\mu, P_{mk}, \omega_k), P_{mk}(t)\right], \quad (4.1)$$

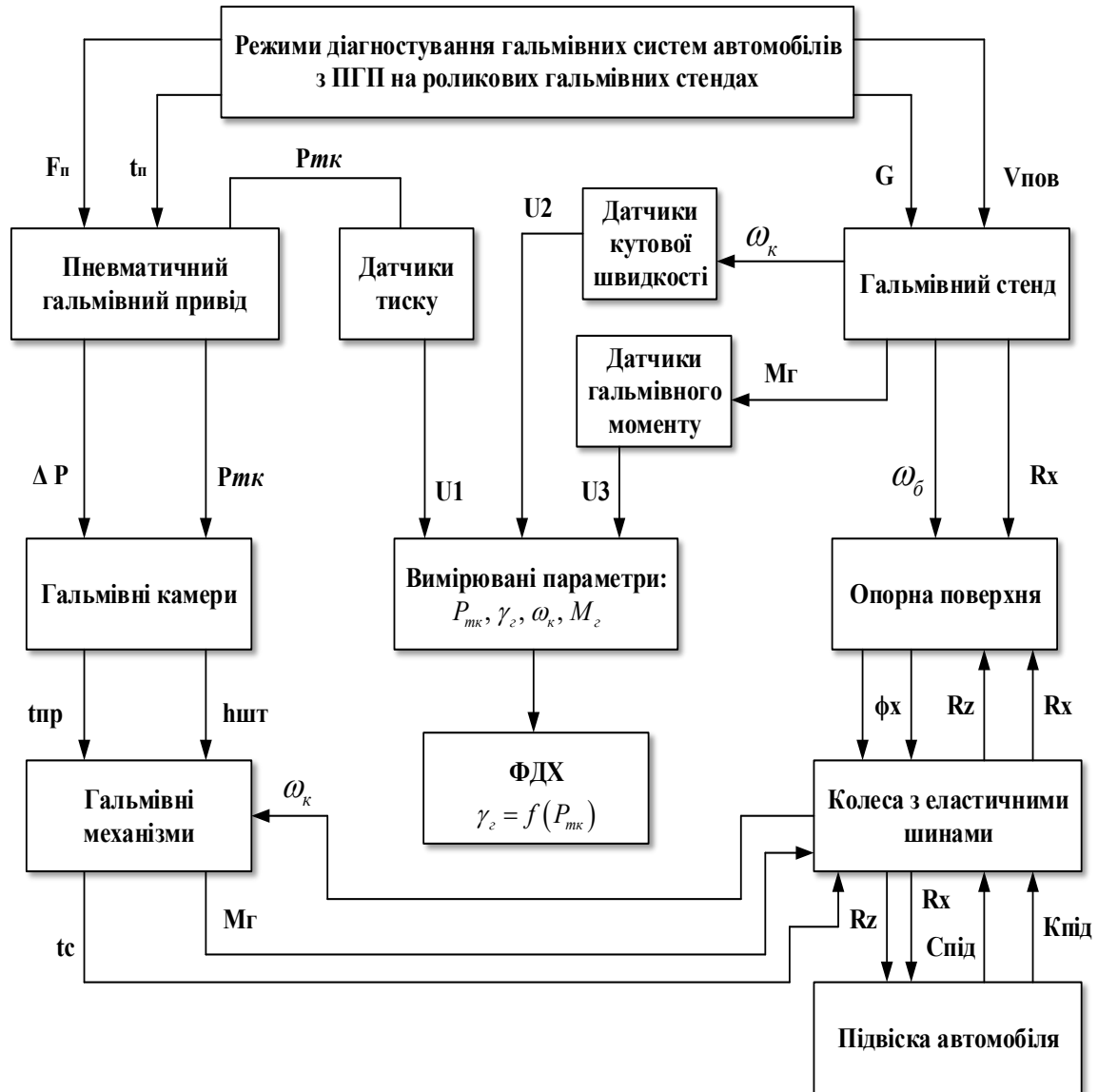


Рис. 4.2. Структурно-наслідкова схема процесу гальмування об'єкта діагностування на гальмівному роликівному стенді.

Ключовим чинником, що визначає результативність діагностування гальмівної системи, є правильно сформований тестовий режим. Під час увімкнення роликівного стенда його приводний механізм надає обертання біговим барабанам зі встановленою кутовою швидкістю ω_1 . Через контактну взаємодію шин автомобіля з поверхнею роликів об'єкт діагностування отримує відповідне обертання коліс із власною кутовою швидкістю ω_2 , яка визначається умовами дослідження.

Окрім цього, шини приводять у рух ролики слідкуючої системи, які працюють синхронно з колісними барабанами. Ротація слідкуючих елементів

забезпечує функціонування датчиків, що вимірюють кутові швидкості та інші параметри процесу гальмування.

Контроль усіх діагностичних параметрів виконується за допомогою вимірювальних перетворювачів, інтегрованих у стенд. Такі датчики реєструють фізичні величини, характерні для процесу гальмування – гальмівну силу, тиск у приводі, кутові швидкості тощо – і трансформують їх у електричні сигнали $U(t)$, придатні для подальшої цифрової обробки, фільтрації та аналітичної інтерпретації.

Тестовий режим діагностування формується шляхом подання керувального впливу на апаратуру пневматичного гальмівного приводу об'єкта дослідження. Цей вплив характеризується певною силою F_u та триває протягом інтервалу часу t_u , що зумовлює зміну стану приводу.

У результаті подачі керувального сигналу в гальмівних камерах відбувається підвищення тиску робочого середовища до значення $p(t)$, зі швидкістю наростання тиску dp/dt та з урахуванням затримки спрацьовування приводу τ_p . Зростання тиску викликає переміщення штоків гальмівних камер на величину Δx , що забезпечує активацію фрикційних елементів гальмівного механізму.

Унаслідок цього на колесах автомобіля формується гальмівний момент M_g , що визначається величиною переміщення штока та коефіцієнтом тертя μ у контактній парі «гальмівний барабан – фрикційна накладка», а також враховує час реакції гальмівного механізму τ_m .

Показники M_g та τ_m визначально впливають на величину дотичних реакцій взаємодії колеса з опорною поверхнею роликів стенда R_t . Зміна дотичних реакцій безпосередньо відображається на динаміці уповільнення обертання коліс та відповідній зміні їх кутової швидкості $\omega(t)$, що реєструється засобами вимірювання.

Значення кутової швидкості коліс $\omega(t)$ та моменту взаємодії колеса з роликами стенда M_{zr} визначають особливості вимірювання гальмівного моменту M_g . Контактна пара «шина – ролик» характеризується коефіцієнтом зчеплення φ , який встановлює межу передачі дотичних реакцій та впливає на можливість реалізації гальмівних зусиль.

У ході тестування прикладений гальмівний момент M_g спричиняє зміну значень дотичних сил R_t та нормальних сил R_n , що генеруються на поверхні контакту. Варіація цих сил викликає деформаційні переміщення як підресорених, так і безпружинних мас транспортного засобу, які взаємодіють із підвіскою, що характеризується жорсткістю k та коефіцієнтом демпфування c .

Вказані взаємозв'язки демонструють, що процес гальмування супроводжується взаємним впливом механічних, силових і кінематичних параметрів системи, що необхідно враховувати під час оцінювання технічного стану.

Запропонована структурна схема (рис. 4.2) забезпечує можливість комплексного підходу до аналізу фазово-динамічних характеристик і розроблення алгоритмів діагностування гальмівних систем на роликових стендах. Вона дозволяє розглядати всі взаємопов'язані елементи системи як єдину діагностичну модель, що істотно підвищує достовірність оцінки технічного стану гальмівних механізмів.

4.2 Функціональні зв'язки між параметрами технічного стану гальмівних систем автомобіля та діагностичними ознаками

Спираючись на теоретичні положення, розглянуті у третьому розділі, для кожного контрольованого параметра технічного стану гальмівної системи було сформовано відповідні області локальних діагнозів. Їх отримано шляхом суміщення однорідних фазово-динамічних характеристик, що були зареєстровані при різних значеннях того самого параметра.

Процедура розпізнавання технічного стану гальмівного механізму реалізовувалася на основі методу максимальних перетинів. Для його застосування в межах кожної області локального діагнозу будувалися січні лінії, орієнтовані паралельно одній із координатних осей, що відповідала найбільшому перетину фазових траєкторій.

На цих січних визначалася ділянка, обмежена крайніми фазово-динамічними характеристиками, яка й формує так званий діагностичний відрізок. Точки перетину ФДХ із діагностичним відрізком задають інформативні

параметри – діагностичні ознаки. Вони виступають кількісними індикаторами, що однозначно характеризують рівень зміни відповідного параметра технічного стану гальмівної системи.

Для ефективної реалізації запропонованого удосконаленого методу діагностування необхідною умовою є можливість автоматизованої інтерпретації вимірюваних даних. Після реєстрації величини діагностичної ознаки програмне забезпечення повинно однозначно визначати, якому значенню параметра технічного стану вона відповідає. Це можливо лише за наявності математично описаних функціональних залежностей між параметрами технічного стану та їх діагностичними індикаторами.

Під функціональними зв'язками розуміють рівняння, що встановлюють залежність зміни контролюваного параметра гальмівної системи від відповідної діагностичної ознаки, яка отримується в результаті аналізу фазово-динамічних характеристик.

1) Контроль за тиском стисненого повітря в гальмівній камері

При зміні величини тиску $p_{\text{тк}}$ формувалася область локального діагнозу $D_{p_{\text{тк}}}$, у межах якої будувалися фазово-динамічні криві для різних значень цього параметра. У цій області проведено січну, орієнтовану паралельно осі абсцис, якій відповідає питома гальмівна сила $\gamma_t = 0,45$.

Це значення є мінімально допустимим згідно з вимогами ДСТУ 3649:2010 для транспортних засобів категорій N2–N3. На основі цього встановлено якщо тиск у гальмівній камері не досягає рівня $p_{\text{тк}} < 0,37$ МПа, то система не забезпечує нормативної гальмівної ефективності, що свідчить про наявність несправності в пневматичному гальмівному приводі.

2) Контроль за ходом штока гальмівної камери

У результаті варіювання величини переміщення штока Δx отримано дві окремі області локальних діагнозів:

D_{x1} – фаза наповнення камери (гальмування),

D_{x2} – фаза спорожнення (розгальмовування).

У першій області D_{x1} діагностична січна γ_{t1} проведена паралельно осі абсцис та відповідає питомій гальмівній силі $\gamma_t = 0$, що відображає початковий момент прикладення гальмівного зусилля.

У другій області D_{x2} аналогічна січна γ_{t2} відповідає значенню питомої гальмівної сили $\gamma_t = 0,65$, що характеризує досягнення максимального уповільнення перед початком розвантаження механізму.

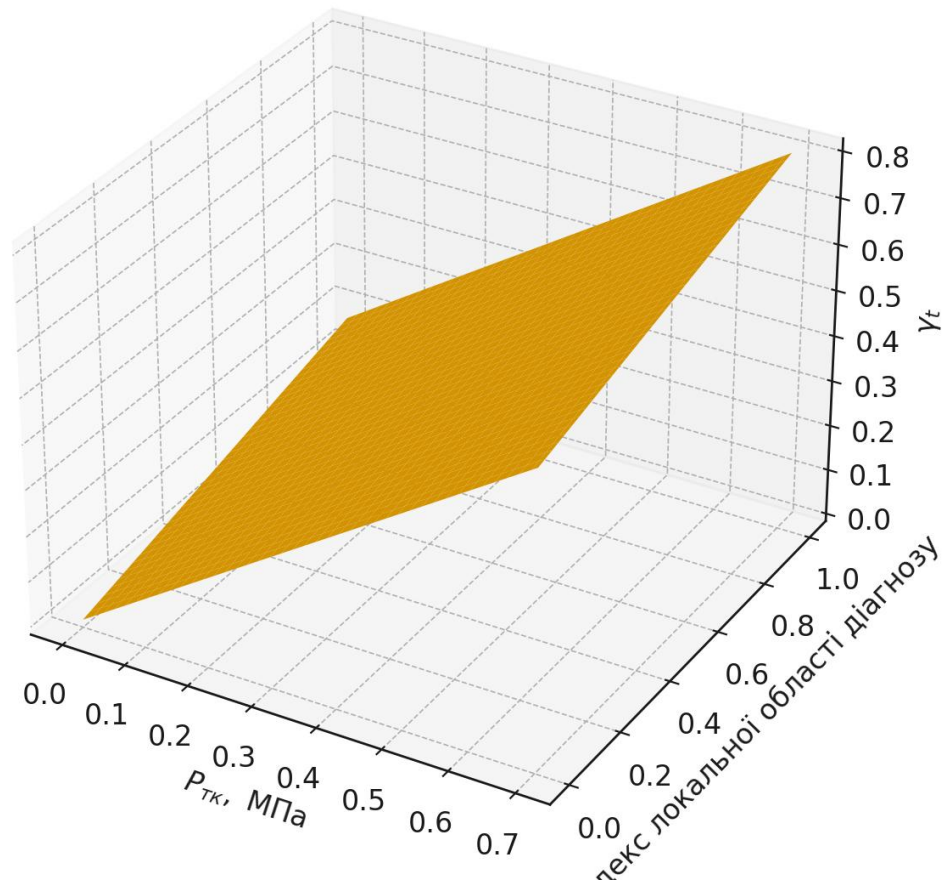


Рис. 4.3. Діагностичні ознаки γ_{t1} і γ_{t2} при визначенні величини ходу штока гальмівної камери.

Ділянки, сформовані на січних γ_{t1} та γ_{t2} , що обмежені крайніми фазово-динамічними характеристиками, виступають діагностично інформативними зонами. Саме на основі їх аналізу можливо визначити значення параметра технічного стану – ходу штока $h_{шт}$ гальмівної камери.

Координати точок перетину фазово-динамічних траєкторій з діагностичним відрізком γ_{t1} , який відповідає фазі наростання тиску в гальмівній камері, безпосередньо пов'язані з величиною переміщення штока. Такий зв'язок описується функціональною залежністю загального вигляду:

$$h_{шт} = 519,35 \cdot P_{тк} - 5,9. \quad (4.2)$$

Отримане рівняння (4.2), що встановлює залежність між діагностичною ознакою γ_{t1} та ходом штока гальмівної камери, характеризується високою статистичною надійністю. Значення коефіцієнта детермінації $R^2 = 0,99$ свідчить

про практично повну відповідність апроксимуючої моделі експериментальним даним, а отже – про правильний вибір форми функціонального зв'язку.

Графічна інтерпретація встановленої залежності представлена на рисунку 4.3, де наочно продемонстровано вплив зміни діагностичної ознаки γ_{t1} на величину переміщення штока гальмівної камери під час фази його заповнення.

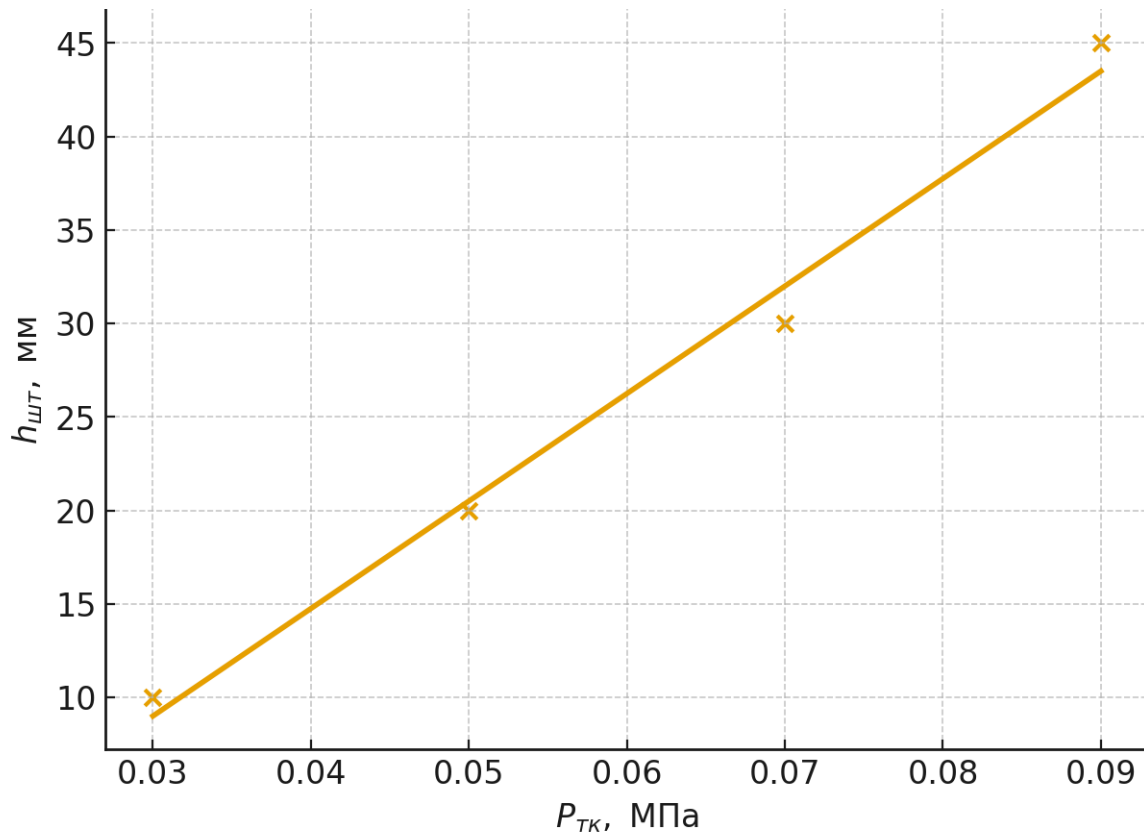


Рис. 4.4. Графік зміни величини ходу штока від тиску в гальмівній камері па фазі її наповнення (діагностична ознака γ_{t1}).

Абсциси точок перетину фазово-динамічних траєкторій із діагностичною січною γ_{t2} , що відповідає етапу зниження тиску в гальмівній камері під час процесу розгальмовування, мають визначений функціональний зв'язок із величиною ходу штока гальмівної камери. Така залежність може бути описана узагальненим рівнянням:

$$h_{шт} = - 664,8 \cdot P_{тк} + 230. \quad (4.2)$$

Побудована математична модель залежності (4.3), що описує зв'язок між діагностичною ознакою γ_{t2} та ходом штока гальмівної камери у фазі його зворотного переміщення, демонструє високий рівень достовірності. Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,99$ підтверджує майже повне узгодження моделі з

експериментальними даними, що свідчить про її придатність для практичного використання у системах технічної діагностики.

Графічне подання встановленого функціонального зв'язку наведено на рисунку 4.4, де показано характер зміни ходу штока гальмівної камери залежно від точки перетину фазово-динамічних характеристик із січною γ_{t2} у режимі розгальмовування.

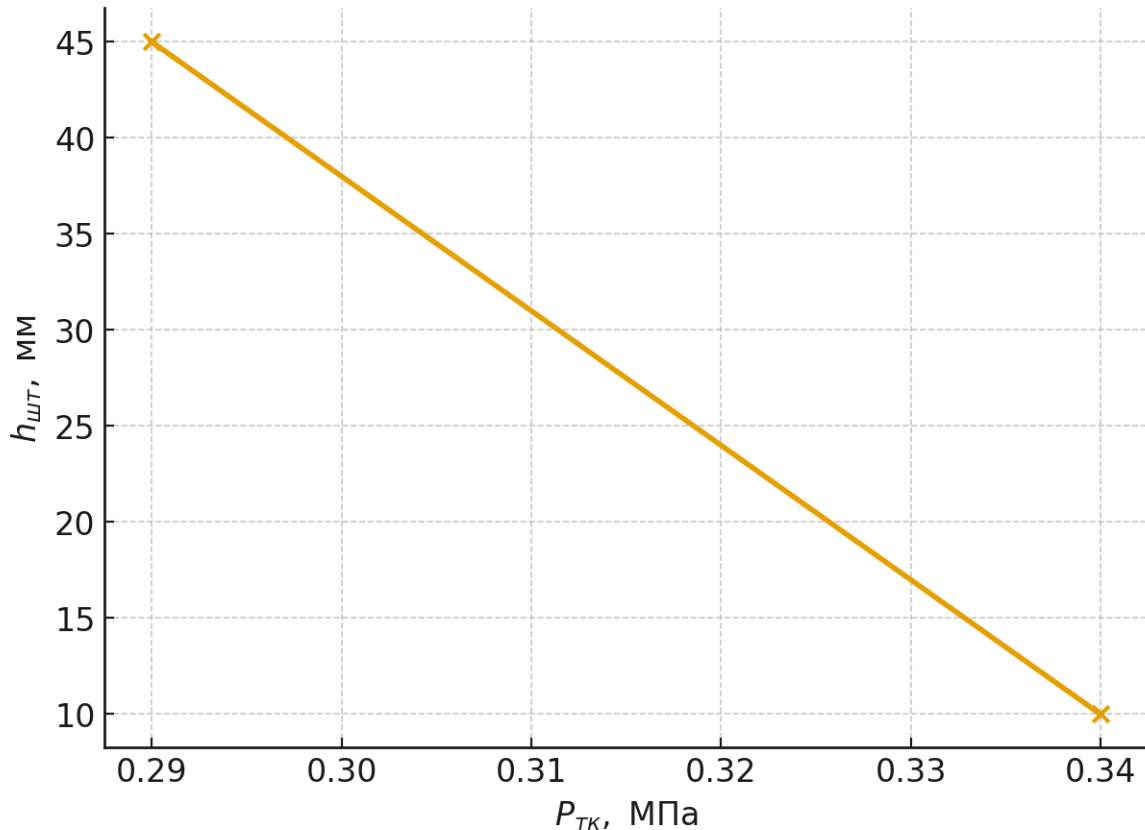


Рис. 4.6. Графік зміни величини ходу штока від тиску в гальмівній камері на фазі її спорожнення (діагностична ознака γ_{t2}).

Встановлені діагностичні ознаки та аналітичні залежності між ними і параметрами технічного стану гальмівних систем автомобілів із пневматичним приводом створюють підґрунтя для обґрунтованого формування локального діагнозу під час експлуатаційного контролю. Це стає особливо важливим у випадках, коли показники гальмівної ефективності та стійкості транспортного засобу не відповідають вимогам ДСТУ 3649:2010.

Застосування таких моделей дає змогу оцінювати поточні значення ключових параметрів технічного стану гальмівних механізмів; визначати допустимість подальшої експлуатації транспортного засобу; своєчасно

приймати рішення щодо технічного обслуговування чи ремонту виконавчих елементів системи.

Разом із тим, реалізація диференційного діагностування у реальних умовах експлуатації потребує суворого дотримання регламентованих тестових режимів та оптимальної послідовності виконання діагностичних операцій. Необхідно враховувати тривалість окремих етапів, стабільність керувальних впливів та точність вимірювальних процедур для забезпечення високої достовірності результатів.

З огляду на наведене, наступним етапом наукових досліджень є формування та обґрунтування алгоритму диференційного діагностування гальмівних систем із пневматичним приводом, адаптованого для застосування в умовах експлуатації автотransпортних засобів.

4.3 Алгоритм диференційного діагностування гальмівних систем автотransпортних засобів на роликових стендах

Під час формування алгоритму диференційного діагностування було розроблено раціональну послідовність дій, спрямованих на оцінювання відповідності показників гальмівної ефективності та стійкості автомобілів із пневматичним гальмівним приводом нормативним вимогам, встановленим ДСТУ. У випадку виявлення відхилень алгоритм забезпечує можливість визначити характер несправності та її належність або до елементів пневматичного приводу, або до виконавчих механізмів гальмівної системи.

Структурно алгоритм включає чотири групи операцій:

попередні – спрямовані на оцінювання загального стану автомобіля та умов проведення діагностики;

підготовчі – забезпечують коректність тестового впливу та підготовку вимірювальної апаратури;

основні – пов'язані з безпосереднім проведенням гальмівних випробувань, реєстрацією параметрів та аналізом отриманих фазово-динамічних характеристик;

заключні – включають інтерпретацію результатів, встановлення діагнозу та формування рекомендацій щодо подальшої експлуатації або обслуговування транспортного засобу.

Під час розроблення алгоритму враховувалися:

конструктивні особливості автомобілів із пневматичними системами приводу гальм;

технічні та метрологічні характеристики роликів силових стендів;

специфіка формування діагностичних ознак у динамічних режимах гальмування.

На основі проведених досліджень було сформовано оптимізований алгоритм диференційного діагностування гальмівних систем у реальних умовах експлуатації. Його структурна схема наведена на рисунку 4.6 і відображає логіку переходів між етапами контролю, а також необхідні умови для коректної інтерпретації результатів.

Алгоритм диференційного діагностування передбачає виконання сукупності взаємопов'язаних операцій. Перша група – попередні випробування, які мають забезпечити можливість подальшого коректного контролю.

До їх складу входять:

ініціювання тестового впливу на гальмівну систему шляхом максимального натискання педалі керування гальмами з метою перевірки реакції приводу;

виявлення явних, критичних несправностей, що унеможливають проведення подальших діагностичних заходів або забезпечення достовірності результатів.

За наявності подібних дефектів автотransпортний засіб класифікують як несправний, і його направляють у зону технічного обслуговування чи ремонту для усунення виявлених відхилень.

До ознак несправностей, які потребують негайного припинення діагностування, належать:

вихід стисненого повітря через атмосферні канали агрегатів пневматичного приводу під час фази заповнення;

негерметичність у місцях з'єднань апаратури ПГП (шлангові та трубопровідні стики);

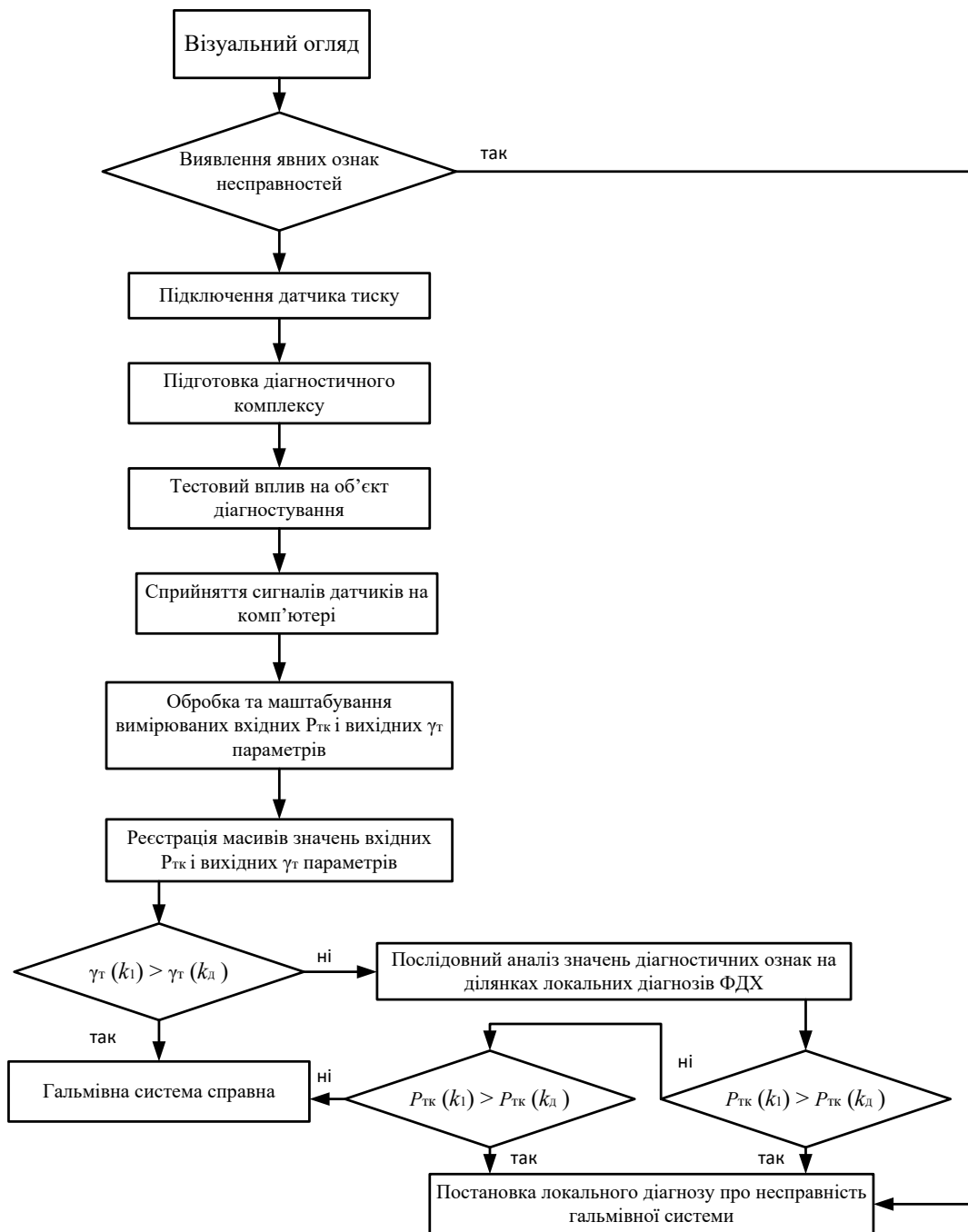


Рис. 4.6. Структурна схема алгоритму диференціального діагностування гальмівних систем АТЗ з пневматичним гальмівним приводом в умовах експлуатації.

порушення механічної кінематики між педаллю гальма та краном керування приводом, що унеможливорює адекватне формування керувального сигналу.

У разі відсутності зазначених недоліків автомобіль переходить до підготовчої стадії, де забезпечуються умови для точного та відтворюваного проведення основних діагностичних випробувань.

2) Підготовчі операції охоплюють комплекс дій, спрямованих на забезпечення коректності проведення подальшого діагностування, а саме:

перевірка та за потреби приведення тиску повітря у шинах до встановленої норми для забезпечення правильного контакту з біговими барабанами;

контроль ходу педалі гальмового керування та виконання регулювання у випадку відхилення від нормативних значень;

видалення конденсату з ресиверів для запобігання погіршенню дії пневматичної апаратури;

під'єднання вимірювальних датчиків тиску до гальмівних камер досліджуваної осі;

встановлення контрольованої осі автомобіля на роликовий стенд і фіксація транспортного засобу;

встановлення противідкотних упорів під колеса інших осей, які не беруть участі в діагностуванні;

монтаж пристрою створення натискного зусилля на педаль керування гальмами та встановлення датчика зусилля;

увімкнення комп'ютерної системи управління та діагностичного комплексу;

запуск спеціалізованого програмного забезпечення для проведення випробувань;

встановлення часового інтервалу, протягом якого здійснюватиметься діагностування;

налаштування порогового значення проковзування колеса відносно роликів, за якого пристрій припиняє подавання зусилля на педаль гальма;

активація режиму очікування у програмному забезпеченні для синхронізації початку діагностичного процесу.

3) Основні випробування передбачають виконання таких послідовних дій:

запуск тестового впливу на об'єкт діагностування шляхом активації відповідної команди у програмному забезпеченні;

вимірювання та реєстрація масивів сигналів від датчиків, які надходять до комп'ютерної системи у режимі реального часу;

цифрова обробка даних та приведення отриманих діагностичних ознак до нормованого масштабу для подальшого аналізу;

оцінювання відповідності показників гальмівної ефективності та стійкості транспортного засобу нормативним вимогам ДСТУ 3649:2010.

Якщо отримані результати свідчать про відповідність нормативам, гальмівна система класифікується як справна, і додатковий пошук несправностей не проводиться.

У випадку невідповідності виконується диференційний аналіз значень діагностичних ознак по кожному параметру технічного стану. Коли встановлено, що певна ознака виходить за допустимі межі, формується локальний діагноз, який однозначно вказує на конкретну несправність або деградацію елементів гальмівної системи, що відповідають цій ознаці.

4) Заключні операції завершують процес диференційного діагностування та включають такі дії:

від'єднання вимірювальних датчиків тиску від гальмівних камер досліджуваної осі;

демонтаж пристрою створення натискного зусилля на педалі гальма та відповідного датчика контролю зусилля;

видалення противідкотних упорів, встановлених під колеса нерозвіданих осей для фіксації транспортного засобу;

з'їзд автомобіля зі стенда після завершення всіх вимірювальних процедур.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз і обґрунтування раціональних заходів та засобів поліпшення стану виробничого середовища за факторами шуму

Класифікація виробничих шумів. Акустичні перешкоди, що виникають під час експлуатації транспортних засобів і роботи обладнання, класифікують за низкою ознак, пов'язаних зі спектральними, часовими та фізичними характеристиками джерел шуму.

1. За спектральною структурою шумового сигналу

Широко смуговий шум – характеризується безперервним спектром з шириною смуги частот більше однієї октави, що створює загальний фон акустичного впливу.

Вузькосмуговий (тональний) шум – формується наявністю окремих спектральних компонентів (тонів), чітко виділених відносно сусідніх частотних смуг. Виявляють його у третинооктавному аналізі за умови перевищення рівня в одній смузі не менш ніж на 10 дБ.

2. За часовою мінливістю

Постійний шум – рівень звукового тиску протягом робочого циклу змінюється не більше ніж на 5 дБА при оцінюванні за часовою характеристикою «повільно» шумоміра (шкала А).

Непостійний шум – рівень шуму має змінюваність понад 5 дБА за тієї ж методики вимірювання. Непостійні шуми додатково поділяють на:

мінливі – значення звукового тиску безперервно коливається у часі;

переривчасті – рівень змінюється ступінчасто на 5 дБА і більше, а тривалість сталих інтервалів становить ≥ 1 с;

імпульсні – шум складається з коротких імпульсів (до 1 с кожен), при цьому різниця між вимірюваннями за характеристиками «імпульс» і «повільно» становить ≥ 7 дБ.

3. За природою джерела виникнення

механічний – генерується рухомими частинами машин і агрегатів;

аеродинамічний – спричиняється турбулентними потоками повітря або газу;

гідродинамічний – зумовлений рухом рідин під тиском;

електромагнітний – пов'язаний з вібрацією елементів електротехнічних пристроїв у магнітному полі.

Нормативні величини допустимих значень шуму для робочих місць у транспортній галузі регламентовані ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Методи та засоби зниження шуму.

1. Колективні засоби захисту

Акустичне вдосконалення джерела шуму (зменшення інтенсивності збудження та передачі коливань: балансування обертових частин, зниження швидкостей тертя, застосування демпфувальних матеріалів).

Обмеження поширення шуму на шляху його передачі (звукоізоляція, звукопоглинальні огороження, глушники, демпфування корпусних конструкцій).

2. Індивідуальні засоби захисту.

протишумові навушники;

вкладиші (беруші);

шоломи з акустичним поглинанням.

Шумозахисні заходи в автомобільному транспорті

За характером реалізації колективні засоби протидії шуму поділяють на три основні групи:

акустичні – спрямовані на вплив безпосередньо на акустичне поле та джерело шуму;

архітектурно-планувальні – передбачають оптимізацію розміщення обладнання й робочих зон;

організаційно-технічні – орієнтовані на удосконалення технологічних процесів та умов праці.

Акустичні заходи шумозахисту на робочому місці водія

У конструкції транспортних засобів та кабіни водія традиційно застосовують комплекс рішень, спрямованих на запобігання надмірному акустичному впливу:

звукоізоляція – підвищення звукоізоляційної здатності елементів кабіни (ущільнення стиків, використання багатошарових матеріалів), що забезпечує відбиття звукової енергії;

звукопоглинання – використання акустичних матеріалів, які перетворюють енергію звукових хвиль на тепло;

віброізоляція – зменшення передавання механічних коливань на кузов за допомогою еластичних опор і прокладок;

демпфування – гасіння коливань за рахунок внутрішнього тертя в демпфувальних пристроях (зокрема гідравлічних амортизаторах);

глушники шуму – застосовуються в транспортних засобах із ДВЗ, газотурбінними та пневматичними двигунами, у компресорних і вентиляційних системах.

Глушники поділяють на:

активні (поглинальні) – трубчасті, пластинчасті, екранні конструкції з високим звукопоглинанням, ефективним у високочастотному діапазоні (до 10–25 дБ);

реактивні – із розширювальними камерами або резонансними секціями, налаштованими на частоти з максимальною енергією, здатні знижувати рівень шуму до 30 дБ.

Архітектурно-планувальні рішення

Такі заходи формують акустично безпечний простір та включають:

раціональну організацію території підприємства з віддаленням шумних зон від адміністративних та побутових будівель;

доцільне розміщення джерел шуму з урахуванням мінімізації впливу на персонал;

просторове відокремлення робочих місць з постійною присутністю персоналу засобами шумоізоляції;

оптимізацію маршрутів і зон руху транспортних засобів, введення обмежень швидкості.

Організаційно-технічні заходи

Цей напрям передбачає:

застосування низькошумного обладнання та технологій;

вдосконалення сервісних і ремонтних процесів;

раціональне планування режимів праці та відпочинку працівників шумонебезпечних дільниць.

5.2 Пожежі, що супроводжуються вибухами паливо-повітряних сумішей

У більшості випадків розвиток пожеж характеризується процесами дифузійного горіння, де у відкритому просторі вибухові явища, як правило, не виникають. Водночас під час експлуатації технологічного обладнання або трубопроводних систем можливі аварійні ситуації, пов'язані з порушенням їх герметичності. У разі витoku легкозаймистих рідин (ЛЗР) чи горючих речовин (ГР) у рідкій або пароподібній фазі через утворені пошкодження відбувається їх потрапляння в навколишнє середовище та розтікання по поверхні підлоги.

Після розливу ЛЗР інтенсивно випаровуються, формуючи пароповітряні суміші, які здатні до самозаймання. За наявності джерела запалювання це може призвести до швидкого поширення полум'я, вибуху парогазової хмари та подальшого розвитку масштабної пожежі. Небезпека таких подій значною мірою зумовлена потужним тепловим випромінюванням, яке формується в зоні горіння та часто перевищує допустимі для людини і будівельних матеріалів рівні.

Особливо загрозливими є випадки займання великого об'єму паливо-повітряної суміші, коли формується так зване «дифузійне факельне горіння». Полум'я підіймається над ґрунтом у вигляді значної кулястої структури – «вогняної кулі». Такий сценарій супроводжується широкою площею ураження тепловим потоком, що може зумовити тяжкі наслідки для людей, обладнання та інфраструктури.

Для оцінювання рівня пожежної небезпеки технологічних систем необхідно виконувати комплекс інженерних розрахунків, зокрема:

визначення інтенсивності теплового випромінювання від осередків горіння пролитих ГР і ЛЗР з порівнянням результатів із гранично допустимими величинами теплового навантаження для людини та конструкційних матеріалів

аналіз вірогідності формування «вогняної кулі» під час аварії та оцінка її уражаючої дії;

обчислення меж зон потенційного ураження людей тепловим впливом, залежно від маси пального, що бере участь у горінні, та особливостей його розливу.

Розлив горючих або легкозаймистих рідин із подальшим їх займанням призводить до формування відкритого осередку пожежі. У зоні горіння утворюється потужне полум'я, що характеризується значною інтенсивністю теплового випромінювання. Такий тепловий вплив становить серйозну небезпеку, оскільки може спричинити вторинні займання поблизу розташованих горючих матеріалів, термічні ушкодження конструкційних елементів та опікові ураження людей. Для адекватного прогнозування наслідків подібних аварій критично важливо визначати величини теплового потоку, що діє на об'єкти навколишнього середовища (рис. 5.1).

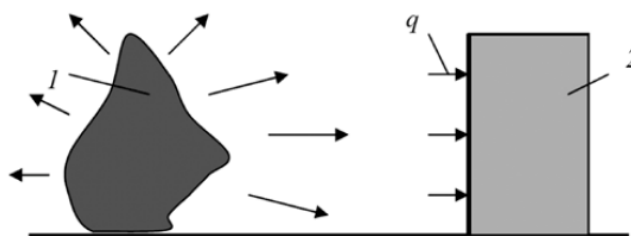


Рис. 5.1. Випромінювання полум'я факела при пожежі на навколишні об'єкти: 1 – полум'я, що випромінює; 2 – об'єкт, що опромінюється.

Розрахована інтенсивність теплового випромінювання від «вогняної кулі» на поверхні оцінюваного об'єкта становить $q = 12,9 \text{ кВт/м}^2$. Якщо зіставити це значення з нормативно встановленими гранично допустимими рівнями теплового навантаження для людини (табл. 5.1), можна дійти висновку, що за подібних умов людина потенційно зазнає термічних уражень, які перевищують рівень опіків II ступеня.

Разом із тим, аналіз дози теплового випромінювання Q , що може бути отримана людиною за короткий проміжок – 5 секунд, свідчить: порівняно з

критичними величинами теплового імпульсу, такий вплив є недостатнім для виникнення глибоких опікових травм. Тобто, хоч інтенсивність теплового потоку і є високою, короточасний вплив «вогняної кулі» не призводить до отримання критичних термічних уражень.

Таблиця 5.1. Гранично допустима інтенсивність теплового випромінювання пожеж від проливу ГР і ЛЗР.

№	Характер ураження / впливу	Інтенсивність теплового випромінювання q , кВт/м ²
1	Відсутність негативного впливу на людину при тривалому опроміненні	1,4
2	Перебування людини безпечно у захисному брезентовому одязі	4,2
3	Відчутний біль через 20–30 с; опік I ступеня через 15–20 с; опік II ступеня через 30–40 с; можливе займання бавовняних матеріалів через ≈ 15 хв	7,0
4	Інтенсивний біль через 3–5 с; опік I ступеня через 6–8 с; опік II ступеня через 12–16 с	10,5
5	Загоряння деревини з природною вологістю ($\approx 12\%$) при дії теплового випромінювання протягом ≈ 15 хв	12,9
6	Самозаймання деревини з пофарбованою поверхнею та фанери зі струганим покриттям	17,0

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі на тему «Проектування технічного обслуговування та діагностування гальмівних систем з дослідженням алгоритму диференційного діагностування» виконано комплексне дослідження, спрямоване на підвищення технічної безпеки автотранспортних засобів шляхом удосконалення процесів діагностування та організації технічного обслуговування гальмівних систем.

У першому розділі проведено аналітичне узагальнення сучасних вимог до гальмівних систем дорожніх транспортних засобів, а також проаналізовано методи їх діагностування. Встановлено, що дорожні випробування забезпечують високу достовірність, проте є малопридатними для масового використання через організаційні обмеження. Стендові методи, навпаки, забезпечують оперативність контролю, але потребують вдосконалення з позицій локалізації дефектів виконавчих механізмів і приводу.

У другому розділі розроблено виробничу програму пункту обов'язкового технічного контролю із визначенням річного навантаження та обґрунтуванням пропускної спроможності діагностичної лінії. Оптимізовано структуру виробничо-технічної бази та запропоновано технологічні рішення щодо організації процесів контролю технічного стану транспортних засобів.

У третьому розділі виконано інженерне проектування основних елементів роликового гальмівного стенда. Результати розрахунків підтвердили працездатність запропонованої конструкції та її здатність забезпечувати необхідний рівень гальмівних навантажень і точність вимірювань у процесі діагностування.

У науково-дослідному розділі розроблено та обґрунтовано алгоритм диференційного діагностування гальмівних систем, який підвищує інформативність і точність визначення технічного стану виконавчих механізмів. Встановлено функціональні залежності між експлуатаційними параметрами гальмівної системи та діагностичними ознаками, що забезпечує можливість раннього виявлення дефектів.

У розділі з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях розглянуто заходи мінімізації виробничих ризиків у зоні діагностування та проведено оцінку пожежної небезпеки технологічного процесу із розробленням відповідних організаційно-технічних рішень.

Магістерська кваліфікаційна робота виконана повністю й у відповідності до завдання, підтверджує досягнення поставленої мети та має значний прикладний потенціал для підвищення безпеки дорожнього руху та надійності експлуатації автотранспорту.

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. Кисликов В.Ф., В.В. Лущик Будова і експлуатація автомобілів. Підручник - Либідь м.Київ, 2018 – 400с.
3. Кузьмінський Р.Д., Шарибура А.О Технічний сервіс. Ремонт електрообладнання тракторів і автомобілів Львів 2017 – 376 с.
4. Сукач М.К. Технічний сервіс машин. Навч. пос.. Гриф МОНМСУ - Ліра-К, 2017 – 288 с.
5. Форнальчик Є. Ю., Качмар Р. Я. Основи технічного сервісу транспортних засобів - Львівська політехніка 2017, - 324 с.
6. Шапко В.Ф., Шапко С.В. Основи теорії та динаміки автомобільних двигунів : підручник. – Харків : Точка, 2016. – 232 с.
7. 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.
8. 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.
9. Андрусенко С. І. Технологічне проектування автотransпортних підприємств: навч. посіб. / Андрусенко С. І., Білецький В. О., Бортницький П. І.; за ред. проф. С. І. Андрусенка. – К. : Каравела, 2009. – 368 с.
10. 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.
11. 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.

12. Курніков І. П. Технологічне проектування підприємств автомобільного транспорту : навчальний посібник / І. П. Курніков, М. К. Корольов, В. М. Токаренко. – К. : Вища школа, 1993. – 191 с.
13. 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.
14. Кисликов В.Ф., Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. – 8-те вид. - К.: Либідь, 2018. – 400 с.
15. Кисликов В.Ф. Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів. – К.: Либідь, 2016. – 400 с. 5. Ю.А.
16. 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.
17. 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.
18. Практикум з охорони праці. Навчальний посібник / За ред.. В.Ц. Жидецького. – Львів: Афіша, 2000. – 352 с.
19. Стручок В.С. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека»: навчальний посібник / В.С. Стручок.– Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. – 156 с.
20. 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.
21. Паливода Ю. Є., Ткаченко І. Г., Капаціла Ю. Б., Гевко Ів. Б. Технологія оброблення корпусних деталей : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2016. 156 с.
22. 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.