

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Обґрунтування параметрів технологічного процесу ремонту
антиблокувальної системи гальм легкових автомобіля з дослідженням фільтрації
відпорошення впускного повітря двигунів транспортних засобів

Виконав: студент 6 курсу, групи МАМ-62
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Павло ЯСНЮК

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Керівник

Роман ХОРОШУН

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Нормоконтроль

Михайло ЛЕВКОВИЧ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

Зав. кафедри

Олег ЦЬОНЬ

(підпис)

(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 Яснюка Павла Сергійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Обґрунтування параметрів технологічного процесу ремонту антиблокувальної системи гальм легкових автомобіля з дослідженням фільтрації відпорошення впускного повітря двигунів транспортних засобів

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 ремонту антиблокувальної системи гальм легкових автомобіля

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)
Двостоянковий підйомник – 1А1.

Стенд для перевірки стану гальмівної системи автомобілей – 1А1.

Приспосіблення для збирання пружини із стійкою передньої підвіски – 1А1.

Гальмівний стенд – 1А1.

Стенд для перевірки гальмових характеристик автомобіля – 1А1.

Результати наукових досліджень – 3А1.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 14.11.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	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)

Павло ЯСНЮК

(ім'я та прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Роман ХОРОШУН

(ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Обґрунтування параметрів технологічного процесу ремонту антиблокувальної системи гальм легкових автомобіля з дослідженням фільтрації відпорошення впускного повітря двигунів транспортних засобів».

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 67 сторінок формату А4 та 8 аркушів формату А1 графічної частини 1 сторінки додатків.

Ключові слова: гальмівна безпека; ремонт гальмівних систем; технологічний процес відновлення; надійність функціонування; експлуатаційні властивості.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 ЗАГАЛЬНО–ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	8
1.1 Аналіз конструкції та принципів роботи антиблокувальної системи гальм (ABS).....	8
1.2 Аналіз типових відмов гальмівної системи легкового автомобіля, оснащеного ABS.....	12
1.3 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу магістра.....	15
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	17
2.1 Принципи формування робочих місць і розподілу виробничого навантаження.....	17
2.2 Вибір та обґрунтування технологічного обладнання.....	18
2.3 Розроблення схеми технологічного планування.....	21
2.4 Розроблення технологічного процесу.....	23
2.5 Розроблення та вдосконалення операційної технології.....	29
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	33
3.1 Розрахунок нормальних реакцій дороги на вісь автомобіля під час гальмування.....	33
3.2 Розрахунок стоянкового (ручного) гальма.....	36
4 НАУКОВО–ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ.....	39
4.1 Механізми фільтрації.....	39
4.2 Конструкції фільтрів із осьовим напрямком протікання повітря.....	46
4.3 Технологічні та функціональні властивості нанofібрових фільтрувальних матеріалів.....	49
4.4 Експериментальні дослідження нагромадження забруднень на фільтраційному шарі.....	52
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ	

	6
СИТУАЦІЯХ.....	58
5.1 Атестація робочих місць за умовами праці та паспортизація об'єктів.....	58
5.2 Зони хімічного забруднення та осередки хімічного ураження.....	60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	66
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Однією з ключових систем, що безпосередньо забезпечує стійкість автомобіля під час гальмування та запобігає втраті зчеплення коліс із дорогою, є антиблокувальна система гальм (ABS). Ефективність її функціонування визначає рівень керованості та безпеки транспортного засобу в аварійно-небезпечних ситуаціях. Будь-які відмови або відхилення в роботі ABS здатні суттєво знизити гальмівну ефективність, збільшити гальмівний шлях і створити ризик дорожньо-транспортних пригод. Тому науково-технічне обґрунтування технологічних процесів діагностування, технічного обслуговування та ремонту ABS є актуальним завданням автомобільної галузі.

Одночасно з цим, якість фільтрації впускного повітря двигуна безпосередньо впливає на його екологічні та паливно-економічні показники, ресурс деталей кривошипно-шатунного механізму та стабільність роботи силового агрегату в умовах інтенсивного запилення. Недостатня ефективність повітряної фільтрації спричиняє прискорене абразивне зношування, порушення газообміну та зростання токсичності відпрацьованих газів, що у свою чергу відбивається на загальній технічній надійності автомобіля.

Комплексний підхід до дослідження технологічних параметрів відновлення працездатності антиблокувальних систем гальм та аналіз ефективності очищення впускного повітря дозволяє не лише підвищити рівень безпеки руху, але й оптимізувати технічне обслуговування транспортних засобів відповідно до сучасних стандартів. Це зумовлює актуальність магістерського дослідження та визначає його практичну значущість для сервісних підприємств, автостанцій технічного обслуговування та експлуатаційних організацій.

Таким чином, робота спрямована на удосконалення технологічних процесів ремонту ABS легкових автомобілів та обґрунтування впровадження раціональних методів фільтрації запиленого повітря у двигунах транспортних засобів з метою забезпечення їх надійності, довговічності та екологічної безпеки експлуатації.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз конструкції та принципів роботи антиблокувальної системи гальм (ABS)

Антиблокувальна система гальмування є складовим елементом активної безпеки автомобіля та призначена для забезпечення максимально ефективного сповільнення транспортного засобу в заданих дорожніх умовах. Її функціонування спрямоване на досягнення найменшої можливої довжини гальмівного шляху за одночасного збереження курсової стійкості та керованості автомобіля під час гальмування.

Основним завданням ABS є запобігання повному блокуванню коліс шляхом регулювання тиску робочої рідини у гальмівному приводі. Система підтримує такий гальмівний момент, при якому забезпечуються найвищі значення сил зчеплення між шиною та дорожнім покриттям. Це дає змогу реалізувати максимальні гальмівні можливості транспортного засобу без втрати стабільності руху.

Ефективне гальмування досягається у режимі часткового ковзання колеса, коли воно продовжує котитися, але має відносне ковзання щодо опорної поверхні. Залежно від структури дорожнього покриття, оптимальний рівень ковзання змінюється: на дорогах з твердим покриттям він становить у середньому 10–20%, тоді як на деформованій поверхні може сягати до 50%. Значення коефіцієнта ковзання варіює у межах від 0% (кочення без ковзання) до 100% (повне юзове ковзання).

Принцип регулювання в ABS базується на контролі кутової швидкості колеса: при тенденції до блокування вона різко падає. Електронний блок керування фіксує такі зміни за допомогою сигналів від датчиків швидкості та оперативно знижує тиск у відповідному контурі приводу гальм. Після відновлення необхідного рівня зчепних властивостей система знову підвищує тиск, повторюючи цей цикл багаторазово з високою частотою.

Завдяки такому алгоритму регулювання автомобіль зберігає можливість здійснення маневру під час інтенсивного гальмування, а контакт шин з дорогою максимально використовується для створення сповільнюючої сили.

Циклічний характер регулювання гальмівного зусилля у системі ABS зумовлений інерційністю процесів у гальмівному приводі, рухомих частинах колеса та виконавчих елементах самої системи. Якість роботи антиблокувальної системи визначається тим, наскільки точно вона підтримує ковзання колеса в оптимальному інтервалі. Цей інтервал прямо залежить від частоти реалізації керуючих циклів – чим вища швидкодія системи, тим стабільніше підтримується необхідний рівень ковзання.

Значні коливання коефіцієнта ковзання погіршують комфортність гальмування, що проявляється у відчутних ривках транспортного засобу. Крім того, це збільшує динамічні навантаження на елементи ходової частини та агрегати автомобіля, що негативно впливає на їх ресурс.

Для забезпечення ефективності та безпеки руху антиблокувальна система повинна відповідати таким функціональним вимогам:

- гарантувати мінімальний гальмівний шлях відповідно до чинних нормативів;

- забезпечувати плавність роботи без різких динамічних проявів під час гальмування;

- адаптуватися до зміни дорожніх умов, підтримуючи оптимальне ковзання на покриттях різного типу;

- не створювати перешкод гальмуванню у випадку виходу системи з ладу – тобто забезпечувати збереження працездатності базового гальмівного приводу;

- інформувати водія про виникнення несправності та забезпечувати можливість оперативної діагностики;

- відповідати загальним вимогам до автомобільних систем: високій надійності, довговічності, економічності у виробництві й експлуатації.

Незалежно від особливостей конструктивного виконання, антиблокувальна система гальмування містить три ключові групи компонентів:

датчики контролю параметрів руху коліс, які формують первинні сигнали щодо їх кутової швидкості, уповільнення або стану тиску в гальмівному приводі – залежно від прийнятого алгоритму роботи системи;

електронний блок керування, що здійснює оброблення інформації, отриманої від датчиків, і генерує керуючі команди для виконавчих механізмів;

виконавчі модулятори тиску, які реалізують зміну, стабілізацію або зниження тиску робочої рідини в контурі гальм для підтримання оптимального рівня зчепних властивостей колеса.

У переважній більшості автомобілів датчики швидкості обертання коліс мають індуктивний принцип дії. Конструктивно вони являють собою імпульсні генератори, що складаються з:

ротора у вигляді зубчастого диска або перфорованого кільця із феромагнітного матеріалу, закріпленого на елементі ступиці або приводу колеса;

індуктивної котушки, розташованої нерухомо на певному віддаленні від зубців ротора – цей проміжок визначається як повітряний зазор.

Під час обертання колеса зубці ротора періодично змінюють магнітний потік у зоні котушки, що спричиняє виникнення електричного сигналу змінного струму. Частота та амплітуда цього сигналу прямо пропорційні кутовій швидкості колеса, забезпечуючи таким чином достовірне вимірювання параметрів його руху.

На рисунку 1.1 представлено розташування основних складових елементів антиблокувальної системи на автомобілі, що дає змогу наочно простежити взаємозв'язок конструктивних компонентів із відповідними механізмами транспортного засобу.

Антиблокувальна система гальмування автомобіля виконана у вбудованому (інтегрованому) конструктивному варіанті. Вона є доповненням до штатної робочої гальмівної системи, яка включає: колісні гальмівні механізми, головний гальмівний циліндр, вакуумний підсилювач, магістралі подачі робочої рідини, датчик контролю рівня рідини у бачку ГТЦ та індикаторну лампу BRAKE.

Система ABS інтегрується у цю структуру шляхом додавання спеціалізованих компонентів, серед яких:

датчики кутової швидкості обертання коліс;
 гідравлічний модулятор, що регулює тиск у приводі гальм;
 електронний блок керування (ЕБУ) гальмівною системою;
 реле керування ABS;
 запобіжні елементи електричного захисту;
 кабельна мережа зі штатними роз'ємами;
 сигнальна лампа відмови ABS із відповідним модулем керування.

Схема розміщення зазначених елементів на автомобілі подана на рисунку

1.2.

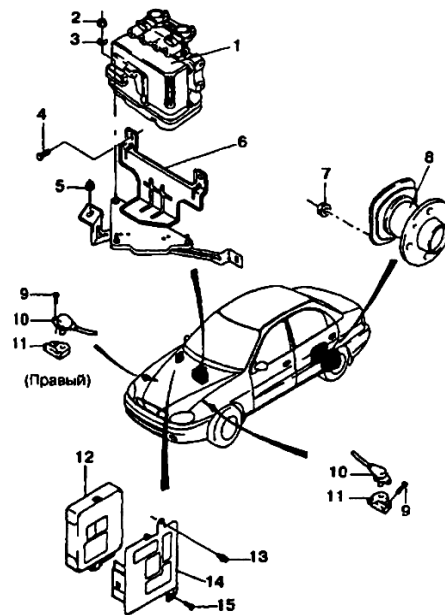


Рис. 1.1. Розміщення основних елементів ABS на автомобілі:

1 – модулятор; 2, 5, 7 гайки; 3 – шайби; 4, 9, 15 – болти; 6, 11, 14 – кронштейни;
 8 – вузол цапфа-втулка (з датчиком кутовий швидкості заднього колеса); 10 –
 катушка датчика кутової швидкості переднього колеса; 12 – електронний модуль
 управління гальмами; 13 – фіксатор.

У даній системі застосовується замкнений (гідростатичний) тип гідроприводу, який передбачає зміну об'єму робочої рідини в контурі для регулювання тиску під час гальмування. При цьому ABS не генерує додатковий тиск у приводі, а лише керує вже створеним водієм тиском у гальмівному контурі. Це пояснюється відсутністю у складі системи насоса або іншого автономного джерела тиску – на відміну від варіантів ABS з розімкненим (відкритим) гідроприводом.

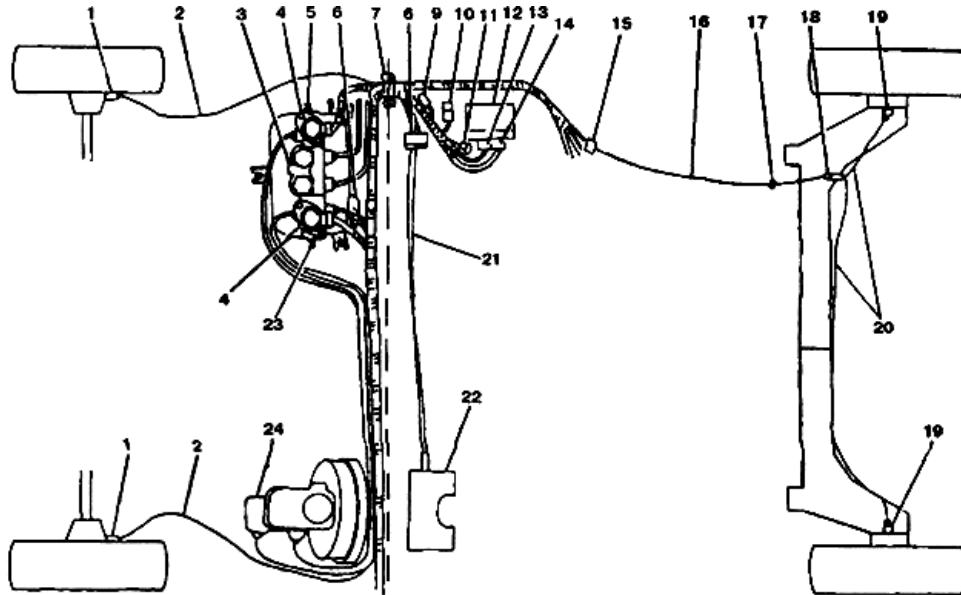


Рис. 1.2. Схема ABS автомобіля.

1.2 Аналіз типових відмов гальмівної системи легкового автомобіля, оснащеного ABS

Функціонування антиблокувальної гальмівної системи характеризується складною взаємодією механічних, гідравлічних та електронних компонентів. Тому порушення у роботі будь-якого з елементів може призвести до погіршення ефективності гальмування або відмови окремих функцій забезпечення активної безпеки. З урахуванням конструктивних особливостей та режимів роботи системи можливо виокремити характерні прояви несправностей, їх найімовірніші причини та відповідні методи усунення.

Узагальнена інформація щодо типових дефектів ABS, симптомів їх прояву та рекомендованих коригувальних дій наведена у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. Перелік основних несправностей гальмівної системи легкового автомобіля з ABS, їх діагностичних ознак та способів усунення.

Діагностичні ознаки / можливий дефект	Основні причини відмови	Коригувальні заходи
Провалювання педалі гальма, відчутна	Наявність повітря у гідравлічному контурі	Провести прокачування гальм з видаленням повітря

пружність при натисканні	Зменшення рівня гальмівної рідини у бачку ГТЦ	Долити рідину рекомендованого типу
	Утворення парових пробок (перегрів системи)	Замінити рідину та виконати дегазацію системи
Надмірний вільний хід педалі гальма	Зношення колодок або заїдання механізму їх установки	Відновити рухомість механізму або замінити колодки
	Пошкодження ущільнювальних елементів у ГТЦ або колесних циліндрах	Заміна несправних деталей
	Часткова втрата ефективності одного гальмового контуру	Перевірити герметичність магістралей
	Підвищені люфти у підшипниках маточин	Замінити підшипники
	Деформація або вихід диска за допуски	Перевірка биття, проточування або заміна
	Непаралельність встановлення супорта	Контроль геометрії та корекція
	Невідповідність матеріалу колодок	Використати рекомендовані виробником
	Загальна негерметичність системи	Діагностувати й усунути витоки
Жорстка педаль і зниження ефективності гальмування	Пошкодження манжет у циліндрах	Заміна ущільнень або вузлів
	Витік у трубопроводах	Герметизація з'єднань або заміна трубок
	Нерівномірний тиск у шинах	Відрегулювати тиск

Автомобіль відводить убік під час гальмування	Односторонній знос шин / колодок	Замінити зношені елементи
	Потрапляння мастила на фрикційні накладки	Очистити або замінити накладки
	Різний склад матеріалу колодок	Встановити колодки однієї специфікації
	Заїдання супорта, корозія, забруднення напрямних	Очистити або замінити супорт; оновити напрямні
	Деформація заднього моста або підвіски	Провести вимірювання та ремонт
	Несправність амортизаторів	Діагностика й заміна
Перегрів гальм під час руху	Засмічення компенсаційного або дросельного отворів у ГТЦ	Очистити компоненти, відновити працездатність
	Неправильний зазор між штоком і поршнем ГТЦ	Встановити нормативне значення
	Розбухання гумових елементів через невідповідну рідину	Замінити рідину та пошкоджені деталі
	Заїдання механізмів стоянкового гальма	Відрегулювати або замінити трос / механізм
Підклинювання коліс	Засмічений компенсаційний отвір	Очистити компоненти
	Недостатній зазор у приводі ГТЦ	Відрегулювати
Сторонні шуми та стуки під час гальмування	Колодки невідповідного типу	Замінити на рекомендовані
	Корозія або биття дисків	Відшліфувати, проточити або замінити

	Овальність барабана	Розточування або заміна
Важке прокручування колеса вручну	Закисання поршнів колісних циліндрів	Заміна циліндрів або супортів
Нерівномірний або клиноподібний знос колодок	Порушення паралельності диска і супорта, корозія	Контроль і відновлення геометрії супорта
	Пошкодження або заїдання поршнів	Ремонт та відновлення рухливості
Скрип або вібрації під час гальмування	Вплив підвищеної вологості	Допускається, якщо шум зникає після декількох гальмувань
	Забруднення або корозія механізмів	Очистити, провести техобслуговування
	Ослаблені пружні елементи	Заміна
Ослаблення ефективності гальм при значному натисканні на педаль	Зношення, замаслення або невідповідність колодок	Замінити на регламентовані
	Порушення роботи підсилювача гальм	Провести перевірку
	Відмова одного контуру	Відновити герметичність
Пульсації педалі гальма	Активна робота ABS	Нормальне явище
	Биття диска або люфт підшипників	Проточити диск або замінити підшипники

1.3 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу магістра

Метою даної роботи є підвищення ефективності та надійності гальмівних систем автомобіля шляхом удосконалення конструкції та технології обслуговування елементів, а також впровадження сучасних фільтраційних матеріалів для забезпечення стабільних умов роботи силового агрегату.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

Технологічний розділ. Обґрунтувати принципи формування робочих місць та раціонального розподілу виробничого навантаження під час технологічних операцій з технічного обслуговування та ремонту. Здійснити вибір технологічного обладнання, визначити його технічні характеристики та обґрунтувати придатність для виконання необхідних робіт. Розробити технологічне планування виробничої зони, забезпечивши оптимальне розташування обладнання та маршрут руху автомобіля й персоналу. Виконати розроблення технологічного процесу, спрямованого на відновлення працездатності гальмівної системи та допоміжних вузлів автомобіля. Удосконалити операційну технологію обслуговування системи, передбачивши скорочення трудомісткості, підвищення точності та рівня безпеки виконання операцій.

Конструкторський розділ. Розрахувати нормальні реакції дорожнього покриття на вісь автомобіля під час гальмування, визначити їх вплив на ефективність гальмівних механізмів. Виконати розрахунок стоянкового (ручного) гальма для забезпечення утримання автомобіля у статичних умовах на нормативних уклонах.

Науково-дослідний розділ. Проаналізувати механізми фільтрації повітря, що надходить до двигуна внутрішнього згоряння, та чинники, що впливають на ефективність фільтрування. Дослідити конструктивні особливості фільтрів з осьовим напрямом руху повітря. Оцінити технологічні та експлуатаційні характеристики нанофібрових фільтрувальних матеріалів, їх переваги над традиційними матеріалами. Провести експериментальні дослідження процесу накопичення забруднень у фільтраційному шарі, визначити закономірності зміни опору та ефективності фільтрації у процесі роботи.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Принципи формування робочих місць і розподілу виробничого навантаження

На підставі базових концепцій технологічного планування виконується структуризація виробничого простору зони діагностування. Попередньо формується перелік необхідного технологічного оснащення, після чого здійснюється його раціональне розміщення з урахуванням потоку транспортних засобів, ергономічних вимог та нормативних обмежень. Визначається кількість робочих місць, а також формуються функціональні обов'язки персоналу, що закріплюються за кожною позицією згідно зі специфікою обладнання, яке використовується.

Подальший етап передбачає оптимізацію розподілу загального обсягу робіт між робочими місцями на підставі їх технологічних можливостей та трудомісткості операцій. Для підвищення продуктивності та зменшення часу простоїв застосовується відсотковий перерозподіл робіт між виконавцями.

Результати попередніх розрахунків свідчать, що виконання завдань у зоні діагностування забезпечується двома кваліфікованими фахівцями. Кожен із них виконує визначену частку операцій відповідно до закріпленої структури робочого місця та вимог технологічного процесу.

Таблиця 2.1. Організація робочих місць у зонах технічного обслуговування та ремонту.

№ поста	Номер робочого місця	Місце виконання	Вид робіт на робочому місці, агрегати і системи, які обслуговуються	Трудомісткість		Число виконавців	Спеціальність
				%	люд/год		
	1	Знизу	Перевірка і То рульового керування, ходової частини, трансмісії	35	2900	4	3
			Перевірка і ТО двигуна і				

1,2	2	Зверху	його систем, коробка передач, зчитування кодів несправностей	35	2900	4	4
	3	Збоку	Перевірка і регулювання підшипників, тиску в шинах, датчиків коліс	30	2900	4	3
3	1	Знизу	Мастильні, перевірка приводу гальм	30	1200	4	4
	2	Зверху	Мастильні, перевірка і заміна вакуумного підсилювача гальм, головного циліндра, модулятора ABS	30	1200	4	3
	3	Збоку	Перевірка і заміна робочих гальмівних механізмів і їх складових. Проточка дисків гальм.	30	1200	4	4
			Роботи поза межами постів				
-	4	-	Ремонт головного гальмівного циліндра, дрібний ремонт супутній до ТО.		135	Постові роботи	4

2.2 Вибір та обґрунтування технологічного обладнання

Технологічне обладнання є ключовим елементом виробничої інфраструктури станції технічного обслуговування, оскільки забезпечує необхідний рівень механізації та автоматизації операцій технічного обслуговування і ремонту автотранспортних засобів. Формування комплексу обладнання виконується з урахуванням виду та обсягів робіт, функціонального призначення виробничих зон, а також вимог до якості та безпеки проведення технологічних операцій.

Під час комплектування постів діагностування, технічного обслуговування та поточного ремонту враховується технологічна доцільність застосування кожної одиниці обладнання з огляду на раціональність виробничого процесу та мінімізацію часу простоїв. При цьому обираються такі засоби механізації, які дозволяють забезпечити оптимальне завантаження персоналу та підвищити продуктивність робіт.

Для зручності подальшого планування та експлуатації обладнання поділяється на три функціональні групи:

Основне технологічне обладнання – стенди, верстати, діагностичні комплекси, підйомно-оглядові та транспортні пристрої, що безпосередньо забезпечують виконання технологічних операцій;

Технологічна оснастка – верстаки, виробничі столи, шафи, стелажі та інші елементи для організації робочого простору;

Пристрої та інструмент – спеціальні та універсальні інструменти, а також допоміжні пристрої, необхідні для виконання ремонтно-обслуговуючих операцій.

Сформований перелік технологічного обладнання наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Перелік та характеристика вибраного технологічного обладнання.

Номер на плані	Номер роб. місця	Обладнання, прилади, пристрої, інструмент	Модель тип	К-сть, од.	Габаритні розміри, мм	Площа, м ²		Потужність, кВт
						оди ниці	зага льна	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Підйомно-транспортне і підйомно-оглядове обладнання								
13	1	Підіймач пересувний гідравлічний	D15BLI TZ	1	1000* 600	0,6	0,6	-
Основне технологічне обладнання і прилади								
5,6	4	Гальмівний стенд з біговими барабанами	VP2100 45 maHa Німечч ина	1	4000* 800	0,32	0,32	-

7	3	Мотор тестер	Bosch mot 251	1	650* 600	0,39	0,39	-
3,4	1,2	Стенд контролю і регулювання кута встановлення керованих коліс	Авто спецобл аднання СКО- 1М	1	1010* 770	0,07 7	0,07 7	-
Організація оснастка і допоміжне обладнання								
1	-	Ящик для обтиральних матеріалів	Власне виробни цтво	1	800* 600	0,48	0,48	-
2	1	Верстак слюсарний	ВС-3 Металіка Росія	1	2000*70 0	0,14	0,14	-
10	1	Компресор	Forte ZA6510	1	1080*42 0	0,045	0,045	0,2
11	1	Шафа для інструментів і деталей	ГАРО 05-5- 2000-500	1	1000*30 0	0,03	0,03	-
8	3	Тумба інструментальна для інструменту і кріпильних деталей	ТС2-14м	1	900* 500	0,45	0,45	-
16	-	Установка для відбору відпрацьованих газів	ELE56K Н	1	1300мм	-	-	0,55
15	-	Ящик для відходів	Власне виробни цтво	1	1000* 600	0,012	0,012	-
9	-	Шафа для приладів	СГ-012	1	950*500	0,09	0,09	-
12	-	Перехідний місток	Власне виробни цтво	1	-	-	-	-

14	1	Підставка під ноги для робіт в канаві	Власне виробництво	1	-	-	-	-
Пристрої та інструменти								
17	2	Гайковерт для гайок коліс	ГАРОИ-350	1	400* 620	0,25	0,25	2,2
18	-	Набір інструментів	Збірний	1	-	-	-	-

2.3 Розроблення схеми технологічного планування

Під час визначення необхідних площ виробничих приміщень застосовують декілька методичних підходів, які відрізняються точністю та обсягом вихідних даних:

Аналітичний метод – забезпечує приблизний результат і ґрунтується на використанні питомих площ, що припадають на один транспортний засіб, одиницю обладнання або одного працівника. Його доцільно застосовувати на етапі попередніх техніко-економічних розрахунків.

Графічний метод – передбачає створення детальної схеми розміщення технологічного обладнання та робочих постів у заданому масштабі. Під час планування враховуються категорія дорожніх транспортних засобів, ергономічні вимоги та нормативи щодо відстаней між автомобілями, виробничим обладнанням і конструктивними елементами будівлі. Цей підхід забезпечує високий рівень точності.

Графо-аналітичний метод – є комбінованим і поєднує графічне моделювання компоновки виробничих зон із подальшим аналітичним уточненням розрахунків. Даний варіант дозволяє досягти оптимального балансу між точністю та трудомісткістю проєктних робіт.

Попередня оцінка площі зони технічного обслуговування та діагностування може бути виконана із застосуванням нормативно-розрахункової залежності:

$$F_3 = (F_a \cdot X_n + \sum F_{об}) \cdot K_{уп}, \quad (2.1)$$

$$\sum F_{об} = 9,88.$$

Для виконання розрахунків прийнято габаритні параметри базового транспортного засобу – Citroën Berlingo, довжина якого становить 4137 мм, а ширина – 1960 мм. На основі цих значень площа, яку займає один автомобіль у плані, дорівнює:

З метою забезпечення технологічної доступності та нормативних відстаней між автомобілем, обладнанням і будівельними конструкціями використовується коефіцієнт щільності компоновки, значення якого прийнято рівним 4.

Підставляючи вихідні дані у формулу (2.1), отримуємо розрахункову площу зони:

$$F_d = (8,08 \cdot 1 + 9,88) \cdot 4 = 71,84 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Під час проєктування компоновки виробничого середовища для зони діагностування передбачено використання приміщення з геометричними параметрами 6×12 м, що забезпечує розрахункову площу 72 м^2 для розміщення постів технічного обслуговування та комплексної діагностики (рис. 2.1).

На схемі технологічного планування (рис. 2.1) наведено функціональний розподіл робочих позицій відповідно до характеру виконуваних діагностичних операцій, а саме:

I. Проведення контролю технічного стану вузлів, розташованих у нижній частині автомобіля, з використанням оглядової канами. До переліку робіт входять операції з оцінювання працездатності елементів трансмісії, підвіски, ходової частини та рульового керування, а також візуальний огляд нижньої частини силового агрегату.

II. Діагностування кінематики ходової частини та рульового керування із застосуванням спеціалізованого стенда, оснащеного вібраційними платформами, що дає змогу визначати люфти, жорсткість та інші динамічні параметри вузлів.

III. Контроль параметрів роботи двигуна та його функціональних систем. Для виконання цих операцій застосовуються мотор-тестер і газоаналізатор, що дозволяє комплексно оцінювати токсичність відпрацьованих газів, якість згоряння паливно-повітряної суміші, а також працездатність електричних і електронних систем автомобіля.

IV. Визначення ефективності гальмівної системи та оцінка потужності двигуна на стенді з біговими барабанами. Такий підхід забезпечує можливість моделювання навантажувальних режимів, максимально наближених до реальних умов руху.

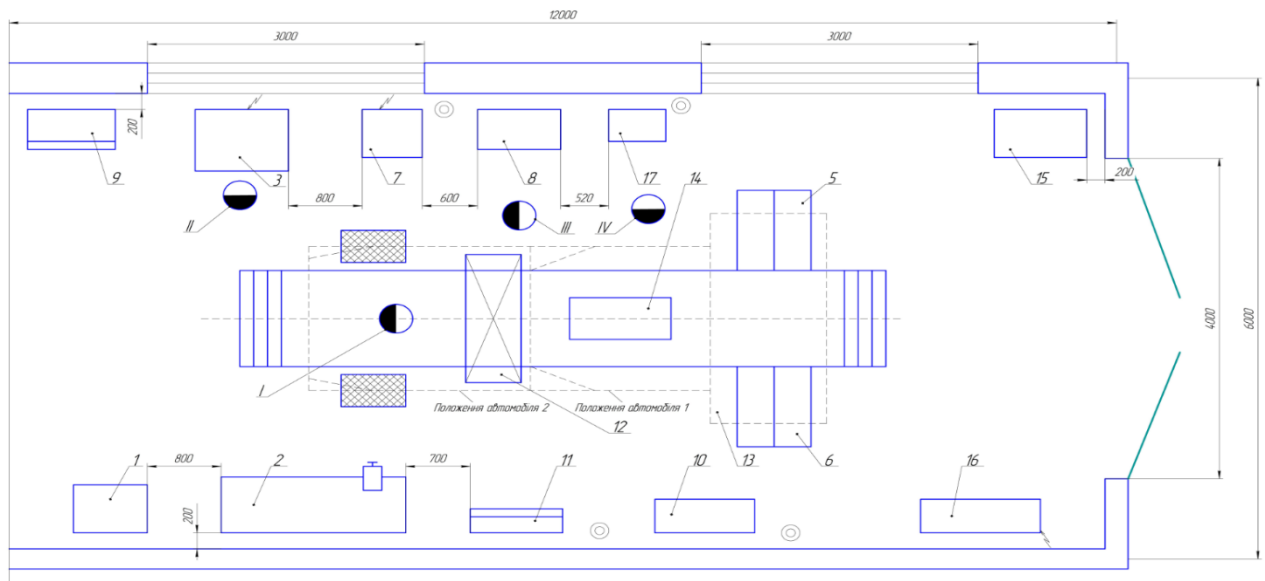


Рис. 2.1. Схема приміщення зони Д:

1 – ящик для обтиральних матеріалів; 2 – слюсарний верстак; 3 – стенд для перевірки ходової частини і рульового керування з вібраційними майданчиками; 4 – пульт керування стендом з вібраційними майданчиками; 5 – гальмівний стенд з біговими барабанами; 6 – пульт керування стенда з біговими барабанами; 7 – мотор-тестер; 8 – тумба інструментальна для інструментів і кріпильних деталей; 9 – шафа для приладів; 10 – підведення стисненого повітря; 11 – шафа для інструментів; 12 – перехідний місток; 13 – пересувний гідравлічний підйомач; 14 – підставка під ноги для робіт в оглядовій канаві; 15 – ящик для відходів; 16 – установка для відводу відпрацьованих газів; 17 – гайковерт; 18 – набір інструментів та ключів.

2.4 Розроблення технологічного процесу

Беручи до уваги високий рівень технологічної оснащеності сучасних транспортних засобів, діагностування їх технічного стану доцільно здійснювати із застосуванням комплексного підходу. На цій основі виділяють три основні групи методів контролю працездатності автомобільних систем:

Діагностика на основі аналізу даних системи бортового контролю (OBD). Передбачає використання спеціалізованих діагностичних сканерів, що під'єднуються до стандартного інтерфейсу OBD електронного блока керування. Отримані дані дозволяють виявляти відмови, порушення в роботі систем та відстежувати їх у режимі реального часу.

Контроль технічного стану за вимірюванням фізичних параметрів. Передбачає оцінювання абсолютних значень діагностичних і конструктивних величин за допомогою вимірювального обладнання: мультиметрів, щупів, манометрів та інших контрольно-вимірювальних приладів. Цей підхід забезпечує точність визначення параметрів окремих вузлів і агрегатів.

Комп'ютеризований аналіз графічної та цифрової інформації. Реалізується за допомоги універсальних і спеціалізованих діагностичних комплексів на базі персонального комп'ютера. Отримані осцилограми, цифрові дані та тренди виконують роль інформаційної основи для виявлення прихованих дефектів та некоректних режимів роботи систем.

З огляду на конструктивні особливості антиблокувальної гальмівної системи та характер виникнення її типових відмов, найбільш раціональним методом діагностування у виробничих умовах є використання функціоналу бортової системи самодіагностики. Такий підхід забезпечує мінімальні часові витрати та не потребує значного додаткового оснащення.

Електронний блок керування ABS постійно контролює роботу датчиків і виконавчих елементів, а у разі виникнення відхилень від номінальних параметрів фіксує відповідні коди несправностей у своїй пам'яті. Це дозволяє оперативно встановити вузол або елемент, робота якого є нестабільною, здійснюється з порушеннями режимів чи повністю припинена. У результаті діагностування за допомогою OBD-інтерфейсу забезпечується швидке виявлення причини відмови (рис. 2.2).

Організація технологічного процесу передбачає логічне структурування робіт на окремі операції із чітким визначенням їх послідовності та місця виконання – робочого поста, виробничого підрозділу чи конкретного робочого місця. Кожна операція повинна бути забезпечена відповідними технічними

засобами, а також закріплена за персоналом належної кваліфікації, що гарантує дотримання вимог до якості і безпеки (рис. 2.3).

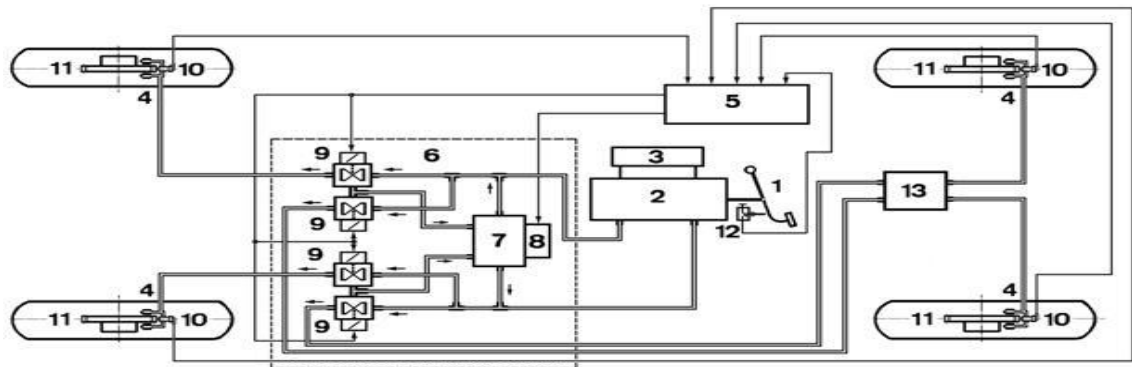


Рис. 2.2. Структурна схема гальмівної системи з вбудованим автоматичним регулятором гальмівних сил:

1 – педаль гальма; 2 – головний гальмівний циліндр; 3 – живильний бачок; 3 – колісний гальмівний механізм; 5 – блок керування (контролер); 6 – модулятор тиску; 7 – зворотний гідронасос; 8 – електродвигун; 9 – трипозиційні електромагнітні клапани (нагнітальний і розвантажувальний); 10 – колісний датчик; 11 – ротор колісного датчика; 12 – датчик положення педалі гальма; 13 – регулятор гальмівних сил задньої осі.

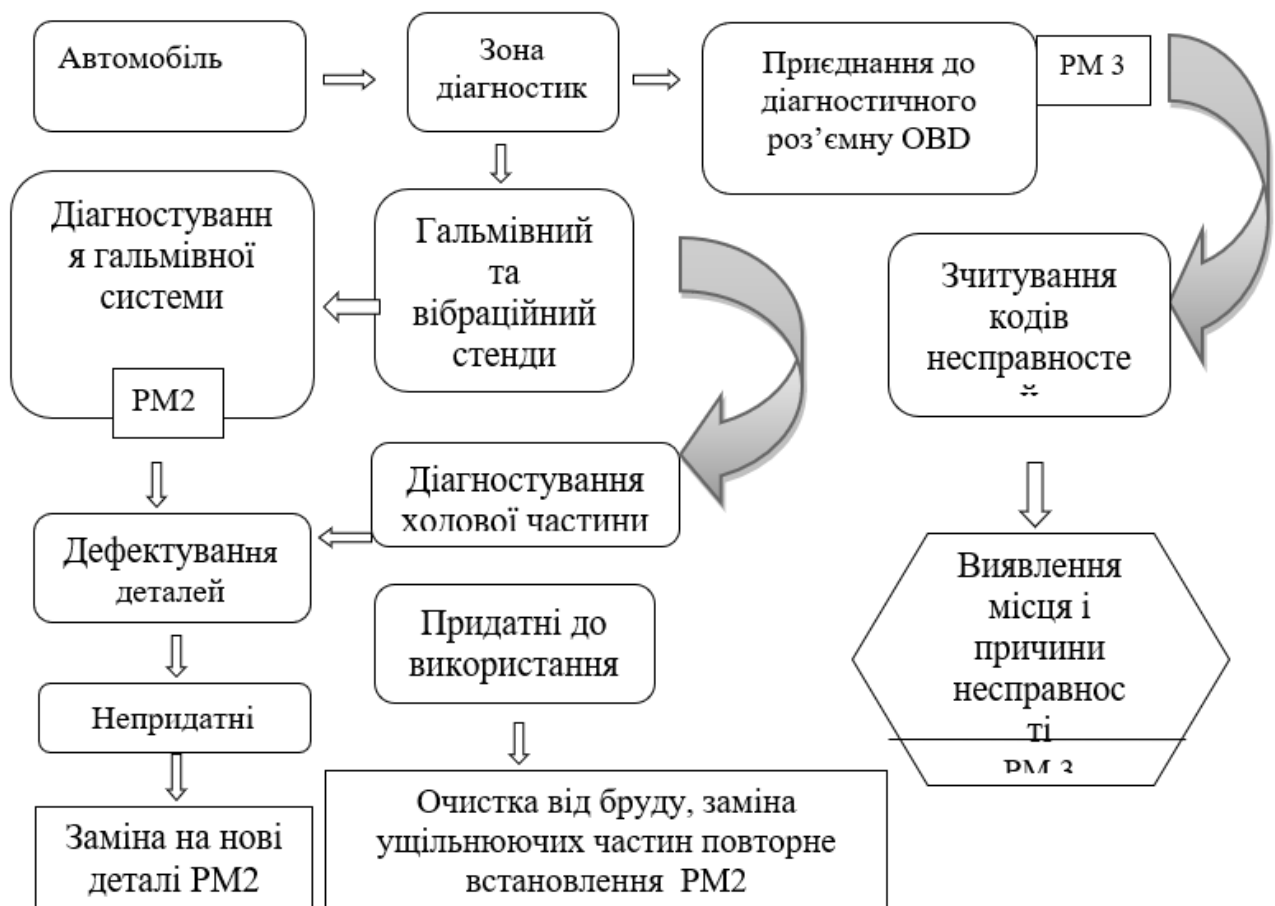


Рис. 2.3. Структурна схема процесу діагностики системи курсової стійкості.

Процес оптимізації структури технологічного маршруту включає аналіз змісту робіт для уточнення номенклатури операцій, визначення їх оптимальної послідовності та усунення потенційних «вузьких місць», які можуть призвести до зниження продуктивності або виникнення простоїв. Основою для прийняття оптимізаційних рішень слугує критерій порівняння альтернативних варіантів – від мінімізації часу виконання до підвищення ефективності використання обладнання й робочої сили.

Для підвищення рівня організованості виробничого процесу в зоні діагностування було проведено його вдосконалення за декількома напрямками:

раціоналізація розміщення технічних засобів, що дозволило забезпечити паралельне виконання різних операцій на окремих робочих місцях та скоротити загальну тривалість технологічного циклу;

балансування завантаженості персоналу та обладнання, завдяки чому вдалося мінімізувати прояви нерівномірного використання ресурсів;

орієнтація ліній робочих місць вздовж напрямку технологічного потоку, що забезпечило відповідність розташування обладнання послідовності виконуваних операцій.

Усі зазначені заходи сприяли підвищенню ефективності діагностичних робіт, покращили ергономіку робочого простору та забезпечили скорочення непродуктивних витрат часу.

У процесі організації та документального супроводження технологічних робіт застосовується комплекс уніфікованих документів, які забезпечують структуроване відображення інформації щодо послідовності операцій, технічного оснащення та ресурсного забезпечення виробництва.

Маршрутна карта – це основний технологічний документ, що регламентує проходження виробу або його складових через усі операції технологічного процесу. У ній зазначаються робочі позиції, види робіт, засоби механізації, нормативи матеріальних і трудових витрат, а також порядок контролю технічного стану. Таким чином, маршрутна карта визначає логіку переміщення виробу між робочими місцями.

Карта ескізів – документ графічного характеру, який містить необхідні зображення, таблиці й допоміжні схеми, що пояснюють технологічні дії під час

виконання ремонтних або виготовлювальних операцій. Зокрема, під час механічної обробки карта може включати схему базування заготовки, зазначення параметрів оброблених поверхонь, допусків та показників шорсткості. Елементи графічної інформації розміщуються на вільному полі листа праворуч або під основним ескізом.

Технологічна інструкція – текстовий нормативний матеріал, який містить докладний опис методів, прийомів та режимів виконання операцій, що багаторазово повторюються у виробництві чи під час ремонту. Також у ній регламентуються правила користування технологічним оснащенням і вимоги до техніки безпеки.

Комплектувальна карта – документ, що відображає перелік складових частин виробу: деталей, складальних одиниць, стандартних елементів та матеріалів, необхідних для виконання технологічного процесу. Вона служить основою для контролю комплектності та раціонального забезпечення робочих місць.

До складу технологічної документації також входять відомості (специфікації), що відображають номенклатуру складальних одиниць, необхідного оснащення, матеріалів та допоміжних ресурсів, пов'язаних із конкретним технологічним маршрутом.

Маршрутна технологічна карта.

Назва операції: Комплексне діагностування антиблокувальної гальмівної системи (ABS).

Місце виконання: Пост діагностування у складі виробничої ділянки технічного обслуговування.

Кількість виконавців та кваліфікація:

До виконання залучаються два фахівці – автослюсарі III та IV кваліфікаційних розрядів, що забезпечує можливість оперативного виконання паралельних технологічних операцій.

Таблиця 2.3. Маршрутна карта технологічного процесу діагностування ABS.

Назва операції	Номер робочого місця	Технологічне обладнання	Пристрої та інструменти
Встановлення автомобіля в зону діагностики	-	-	-
Під'єднатися до діагностичного роз'ємну OBD системи	3	Мотор-тестер, роз'єм OBD	Шпиця для зняття кришки роз'ємну
Зчитування кодів несправностей, аналіз та визначення можливого місця та причини несправності	3	Мотор-тестер, база даних кодів несправностей	-
Встановлення автомобіля на гальмівний стенд з барабанами, забезпечення нерухомого стану автомобіля під час діагностування.	4	Гальмівний стенд з барабанами	Противовідкатні башмаки коліс
Визначення гальмівних зусиль на колесах авто і характер гальмування	4	Гальмівний стенд	-
Встановлення автомобіля на вібраційний стенд	2	Вібраційний стенд (з майданчиками)	-
Перевірка технічного стану ходової частини автомобіля	1	Канавний пересувний гідравлічний підіймач, оглядова канава	Набір інструментів та вимірювальних пристроїв (штанген

			циркуль, різного калібру щупи)
Перевірка стану колісних датчиків антиблокувальної системи гальм	1	Оглядова канава, гідравлічний підіймач	Гайковерт, мультиметра або ПК з потрібним програмним забезпеченням і набір сенсорів та щупів для приєднання до контактів датчиків.

2.5 Розроблення та вдосконалення операційної технології

Операційна технологія передбачає ґрунтовне опрацювання кожної окремої операції технологічного процесу безпосередньо на робочому місці, з деталізацією усіх переходів, їх взаємозв'язків та умов виконання. Такий підхід базується на попередньо сформованому та оптимізованому технологічному маршруті, що визначає логічну послідовність проведення діагностичних заходів.

Для формування раціональної структури переходів усередині операції застосовується алгоритмічний підхід. Він передбачає використання графічних моделей у вигляді структурних схем, які дають можливість наочно представити кожен перехід, оцінити його роль у досягненні кінцевої мети операції, а також своєчасно виявити потенціал для удосконалення.

Залежно від типу виконуваних процесів доцільним є застосування таких видів схем:

блок-схеми діагностичного пошуку, які демонструють порядок дій при появі певного симптому або ознаки несправності;

діагностичні структурні схеми, що визначають основні інформаційні ланцюги, джерела та методи зчитування технічних параметрів;

схеми усунення дефектів (карти дефектування), які містять інформацію щодо характеру можливих пошкоджень та алгоритму їх відновлення.

Завдяки такому поділу та графічній інтерпретації операцій досягається підвищення ефективності робіт за рахунок:

- оптимізації послідовності переходів,
- усунення дублювання дій,
- мінімізації невиправданих витрат часу.

Технологічні документи спеціального призначення. У системі технологічної документації, що застосовується під час організації виробничого процесу, важливу роль відіграють документи спеціального призначення, які деталізують та регламентують виконання окремих операцій.

Операційна карта – це документ технологічного спрямування, в якому наводиться розгорнутий опис усіх переходів, що формують конкретну операцію, із зазначенням необхідного технологічного оснащення, режимів роботи та норм трудових витрат. Такий документ обов’язково розробляється для серійного та масового типів виробництва і є логічним доповненням до маршрутної карти, досягаючи високого рівня регламентації технологічних дій.

Карта технологічного процесу – документ, що узагальнює повний перелік операцій з виготовлення або ремонту виробу чи його складових у технологічній послідовності. Вона включає дані щодо переходів, режимів виконання, засобів технологічного оснащення та нормативів використання матеріальних і трудових ресурсів. На відміну від операційної карти, охоплює ширшу ділянку робіт і описує процес у межах одного виду діяльності.

Операційна технологічна карта № 1.

Назва операції: Діагностування антиблокувальної гальмівної системи із застосуванням мотор-тестера

Місце виконання: Пост діагностування у виробничій зоні технічного обслуговування

Виконавець: автослюсар 4-го кваліфікаційного розряду.

Таблиця 2.4. Операційна технологічна карта № 1.

Номер і назва переходу	Технологічне обладнання та інструмент	Технічні умови
Зупинити роботу силового агрегату та перевести автомобіль у безпечний стан.	-	-
Під'єднати діагностичний сканер до стандартного діагностичного роз'єма автомобіля.	Тестер, набір роз'ємів, щупів.	-
Активувати систему запалювання без запуску двигуна.	-	-
У меню приладу обрати режим діагностування « $V < 10$ км/год», що відповідає статичним умовам контролю ABS.	-	-
Завантажити процедуру визначення наявних відмов, обравши опцію «Коди несправностей – повний перелік».	Тестер	-
Проаналізувати зчитану інформацію: ідентифікувати коди, визначити характер та можливе джерело відхилення в роботі системи (використовується тестер, інтерфейс OBD та довідкова база кодів несправностей).	Тестер, роз'єми OBD, база даних з кодами несправностей	-
Для підтвердження діагнозу виконати перезапуск системи: вимкнути та знову ввімкнути запалювання, після чого повторно перейти до перегляду кодів у розділі «Несправності».	Тестер	Наявність повідомлення «Помилок немає»
За увімкненого двигуна провести контроль стану електричних з'єднань – перевірити кабельні жгути, контакти та підключення	-	Якщо не з'явиться помилок то лампа на щитку

датчиків, спостерігаючи за реакцією системи.		приборів через 3 секунди погасне.
Якщо несправності залишаються активними, виконати документування результатів діагностування – сформулювати та зберегти перелік ідентифікованих кодів для подальшого аналізу.	-	-
Завершити роботу, від'єднати сканер і закрити діагностичний роз'єм захисною кришкою.	-	-

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок нормальних реакцій дороги на вісь автомобіля під час гальмування

$$R_1 = G_1 + \frac{G_a}{g} \cdot \frac{h_g}{L} \cdot j \quad R_2 = G_2 + \frac{G_a}{g} \cdot \frac{h_g}{L} \cdot j \quad (3.1)$$

$g=9.81 \text{ м/сек}^2$.

Нормальні реакції при повному завантаженні:

$$R_1 = 519.4 + \frac{1655}{9.81} \cdot \frac{59}{263.5} \cdot j = 519.4 + 46.78 \cdot j$$

$$R_2 = 540.6 + \frac{1655}{9.81} \cdot \frac{59}{263.5} \cdot j = 540.6 + 46.78 \cdot j$$

Нормальні реакції при частковому завантаженні $G_a = 1655 \text{ кг}$.

$$R_1 = 658.07 + \frac{1343}{9.81} \cdot \frac{57}{263.5} \cdot j = 658.07 + 34.41 \cdot j$$

$$R_2 = 684.93 + \frac{1343}{9.81} \cdot \frac{57}{263.5} \cdot j = 684.93 + 34.41 \cdot j$$

Результати розрахунків величин нормальних реакцій на передню та задню осі автомобіля при уповільненні $j = 1 \dots 10 \text{ м/с}^2$ систематизуються та подаються у вигляді таблиці 2.13 для подальшого аналізу розподілу навантаження на колеса під час гальмування.

Визначення оптимального співвідношення гальмівних тисків між передньою та задньою осями при максимальному використанні сил зчеплення:

$$P_1 = R_1 \cdot \frac{r_k}{2 \cdot K_1} \cdot \frac{j}{g} + 1 \quad (3.2)$$

$$P_2 = R_2 \cdot \frac{r_k}{2 \cdot K_2} \cdot \frac{j}{g} + 5.35$$

Підставляючи відомі значення, одержимо:

$$P_1 = R_1 \cdot \frac{29.4}{2 \cdot 185.28} \cdot \frac{j}{9.81} + 1 = 0.009 \cdot R_1 \cdot j + 1$$

$$P_2 = R_2 \cdot \frac{29.4}{2 \cdot 185.28} \cdot \frac{j}{9.81} + 5.35 = 0.018 \cdot R_2 \cdot j + 5.35$$

Отримані значення P_1 і P_2 при $j = 1 \dots 10$ м/с² заносимо до таблиці 3.1 див. графіки 3.1 і 3.2).

Таблиця 3.1. Розрахункові значення тисків у передніх та задніх гальмах (P_1 і P_2).

Уповільнення j , м/с ²	Нормальна реакція на передній осі R_1 , кг	Тиск у передніх гальмах P_1 , кг/см ²	Гальмівний момент передніх гальм M_{t1} , кг·см	Нормальна реакція на задній осі R_2 , кг	Тиск у задніх гальмах P_2 , кг/см ²	Гальмівний момент задніх гальм M_{t2} , кг·см
1	1035,8	9,65	1561,8	1064,2	21,70	1488,8
2	1083,6	19,06	3260,9	1017,4	36,55	2841,1
3	1129,3	29,22	5095,4	970,7	49,90	4056,7
4	1176,1	40,10	7059,9	923,9	61,75	5135,8
5	1223,9	51,77	9167,0	877,1	73,10	6078,3
6	1269,7	64,17	11406,0	830,3	80,96	6885,1
7	1316,5	76,33	13601,6	783,5	88,31	7554,3
8	1363,2	90,23	16111,4	736,8	94,17	8087,9
9	1410,0	105,89	18938,9	690,0	98,52	8484,1
10	883,4	8,30	1341,7	715,7	16,40	1006,3
11	917,8	16,30	286,0	681,3	26,34	1911,3
12	953,3	25,00	4333,4	646,8	35,16	2714,5
13	986,7	33,08	5793,4	613,4	43,86	3415,7
14	1021,1	43,75	7718,9	578,0	49,46	4016,7
15	1055,5	53,97	9564,3	543,5	54,93	4514,8
16	1089,9	64,75	11510,7	509,1	59,39	4911,8
17	1124,3	76,09	13558,3	474,7	63,53	5206,8
18	1158,7	87,99	15706,9	440,3	64,76	5400,8
19	1193,1	99,44	17774,3	405,9	65,77	5493,7

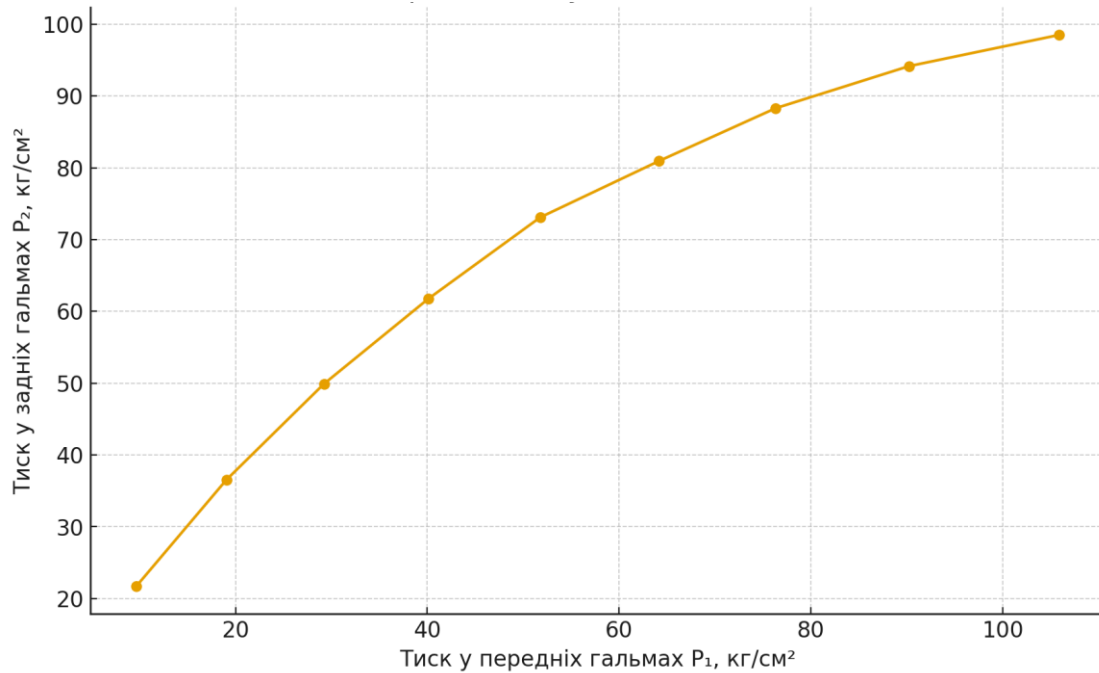


Рис. 3.1. Характеристика регулятора тиску задніх гальм при повному завантаженні автомобіля.

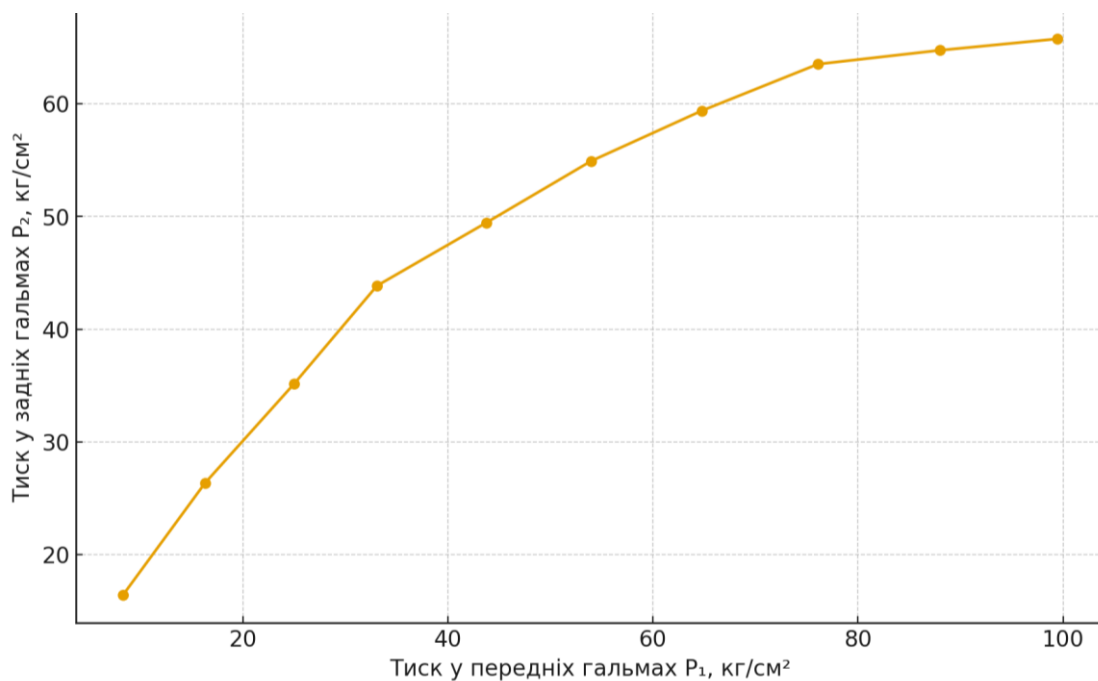


Рис. 3.2. Характеристика регулятора тиску задніх гальм (при частковому завантаженні)

Характеристика регулятора тиску задніх гальм:

$$P_2 = A + (P - A) * K_p \quad (3.3)$$

Точка початку регулювання тиску в контурі задніх гальм безпосередньо залежить від ступеня завантаження автомобіля. За умов зміни маси транспортного засобу відбувається перерозподіл нормальних реакцій по осях,

що визначає допустиме значення тиску у задніх гальмах, за якого ще не відбуватиметься блокування коліс.

Для конструктивно заданого регулятора тиску розглянуто два характерні режими експлуатації:

при повному завантаженні автомобіля регулятор працює за залежністю:

$$P_2 = 55 + (P_1 - 55) \cdot 0,2$$

при частковому завантаженні автомобіля регулятор забезпечує обмеження тиску за співвідношенням:

$$P_2 = 25 + (P_1 - 25) \cdot 0,2$$

де: P_1 – тиск у гальмівному приводі передньої осі;

P_2 – знижений тиск у гальмах задньої осі після дії регулятора.

Таким чином, за зростання тиску у головному гальмівному циліндрі регулятор обмежує темп приросту тиску в задньому контурі, реалізуючи функцію захисту від блокування коліс та забезпечуючи курсову стійкість автомобіля.

Розрахункова характеристика регулятора тиску подана на графіках 2.1 та 2.3, що відображають роботу пристрою відповідно для повного та часткового завантаження транспортного засобу.

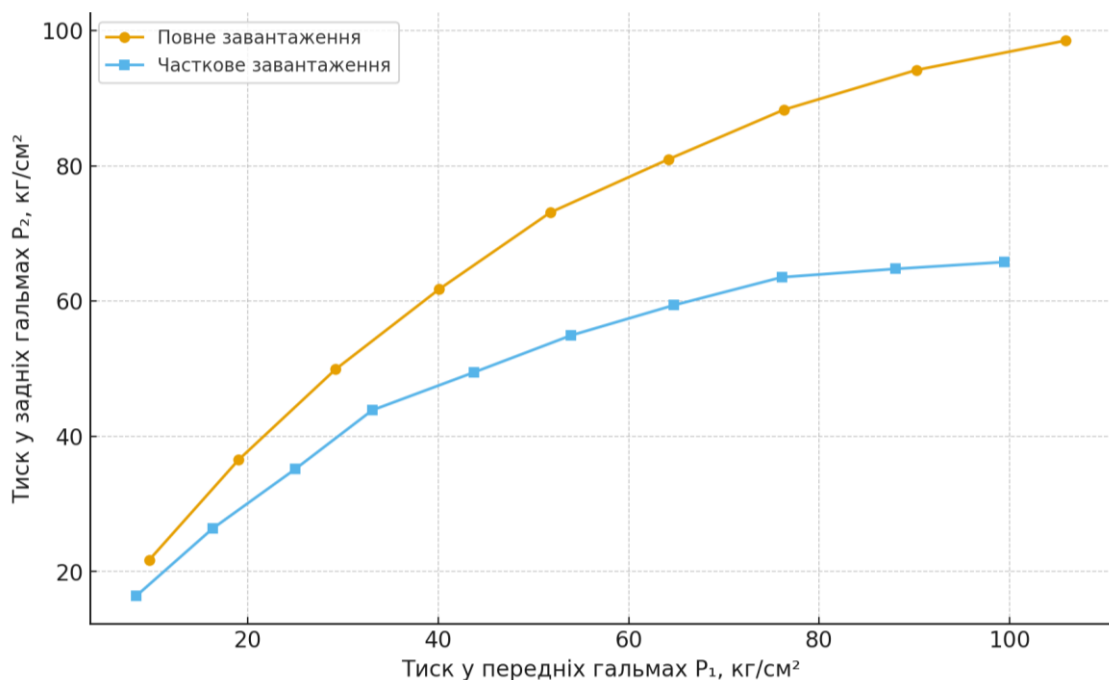


Рис. 3.3. Порівняння характеристик регулятора тиску задніх гальм автомобіля для повного та часткового завантаження.

3.2 Розрахунок стоянкового (ручного) гальма

У конструкції більшості легкових автомобілів для приводу задніх гальм стоянкового гальма застосовується механічна система керування, що складається з важеля, тросів та виконавчих елементів у гальмівних механізмах. Основним розрахунковим критерієм для цього приводу є забезпечення необхідної гальмівної сили, яка гарантує утримання автомобіля на ухилі.

Тому розрахунок починаємо з визначення сили, необхідної для стабілізації автомобіля на схилі із градієнтом 18%

(що відповідає куту нахилу приблизно $10^{\circ}12'$) – згідно з вимогами нормативних документів безпеки руху (рисунок 3.4).

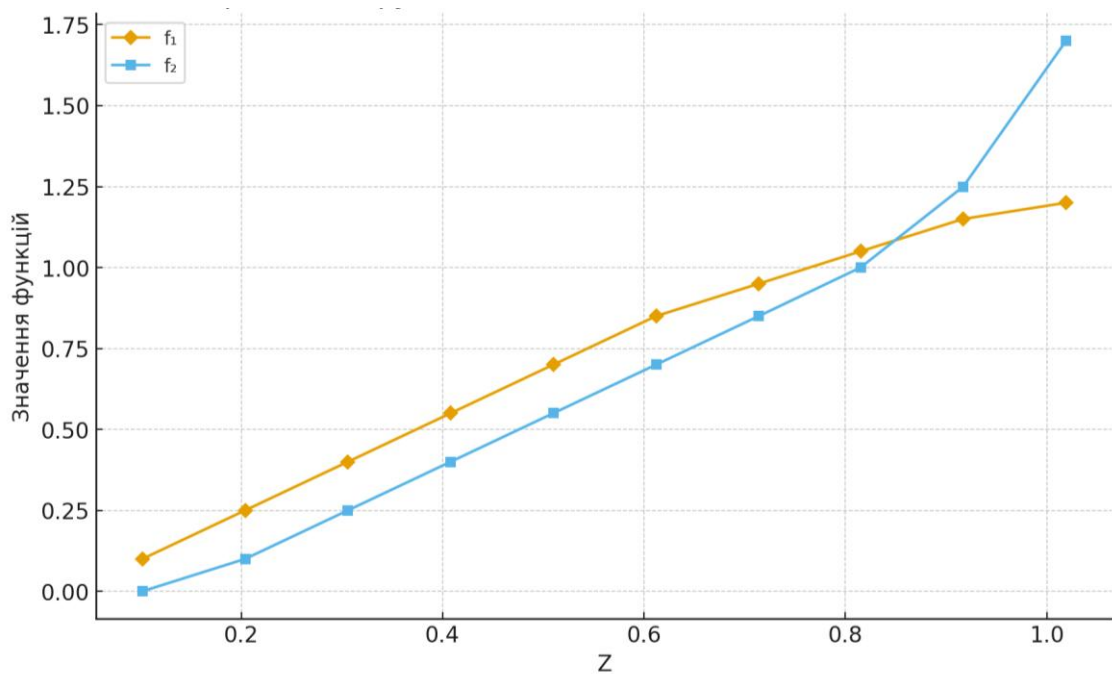


Рис. 3.4. Порівняння функціональних залежностей $f_1(Z)$ та $f_2(Z)$.

Гальмівна сила повинна повністю компенсувати складову ваги автомобіля, спрямовану вздовж схилу:

$$P_T = G_a * \sin \alpha \quad (3.4)$$

$$P_T = 1655 * \sin 10^{\circ}12' = 1655 * 0.1771 = 371.9 \text{ кг}$$

Гальмівний момент на колесі:

$$M_T = \frac{P_T \cdot r_{\text{ст}}}{2} \quad (3.5)$$

$$M_T = \frac{371,9 \cdot 29,4}{2} = 5987,8 \text{ кг} \cdot \text{см}$$

$$M_T = M_{K1} + M_{K2} = F_1 * rt + F_2 * rt$$

$$F_1 = A_1 * (Q_1 - P_{np})$$

$$F_2 = A_2 * (Q_2 - P_{np})$$

$$M_T = A_1 * (Q_1 - P_{np}) * rt + A_2 * (Q_2 - P_{np}) * rt$$

$$Q_1 = N_1 \cdot \frac{h_2 + h_6}{h_1 + h_2} \quad Q_2 = N_2 \cdot \frac{h_2 + h_5}{h_1 + h_2} \quad (3.6)$$

$$N_1 = N_T \cdot \frac{L_T}{h_5 - h_6} \quad N_2 = N_T \cdot \frac{L_T \cdot (h_5 - h_6)}{h_5 - h_6} \quad (3.7)$$

Підставляючи вираз (3.6) у формулу (3.7), можна отримати наступну залежність:

$$Q_1 = N_T \cdot \frac{L_T}{h_5 - h_6} \cdot \frac{h_2 + h_6}{h_1 + h_2} = N_T \cdot \frac{14,2}{7,6 - 5,1} \cdot \frac{8,5 + 5,1}{9,4 + 8,5} = 4,32 \cdot N_T$$

$$Q_2 = N_T \cdot \frac{L_T \cdot (h_5 - h_6)}{h_5 - h_6} \cdot \frac{h_2 + h_5}{h_1 + h_2} = N_T \cdot \frac{14,2 \cdot (7,6 - 5,1)}{7,6 - 5,1} \cdot \frac{8,5 + 7,6}{9,4 + 8,5} = 4,21 \cdot N_T$$

$$\begin{aligned} M_T &= 4.73 \cdot (4.32 \cdot N_T - 16.98) \cdot 4.72 + 1.35 \cdot (4.21 \cdot N_T - 16.98) \cdot 4.72 = \\ &= 96.45 \cdot N_T - 379.09 + 26.83 \cdot N_T - 108.20 = 123.28 \cdot N_T - 487.29 \end{aligned}$$

$$P_y = \frac{P_p \cdot l_p}{2 \cdot l_y} \quad (3.8)$$

$$N_T = P_y * КПД \quad (3.9)$$

$$M_T = 123.28 \cdot P_y \cdot КПД - 487,29 = \frac{123,28 \cdot КПД \cdot P_p \cdot l_p}{2 \cdot l_y} - 487,29$$

$$M_T = \frac{123,28 \cdot 0.8 \cdot 24.0 \cdot P_p}{2 \cdot 3.55} - 487,29 = 333.38 \cdot P_p - 487.29$$

$$5987.8 = 333.38 \cdot P_p - 487.29 \rightarrow P_p = 19.42 \text{ кг}$$

Таким чином, для забезпечення нерухомого стану автомобіля за повного завантаження на уклоні 18% достатньо створення приводного зусилля $P_p = 19,42$ кг.

Результати виконаних розрахунків підтвердили, що транспортний засіб, оснащений модернізованими дисковими гальмівними механізмами як на передній, так і на задній осях, повністю відповідає встановленим нормативним вимогам щодо ефективності та надійності гальмування.

4 НАУКОВО–ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Механізми фільтрації

Потік повітря, що транспортує зважені пилові частинки до фільтрувального матеріалу, забезпечує їх уловлювання окремими волокнами завдяки сукупній дії низки фізичних процесів. До них належать: перехоплення, інерційний та дифузійний перенос частинок, гравітаційне осадження, а також механізм просіювання крізь волокнисту структуру (рис. 4.1).

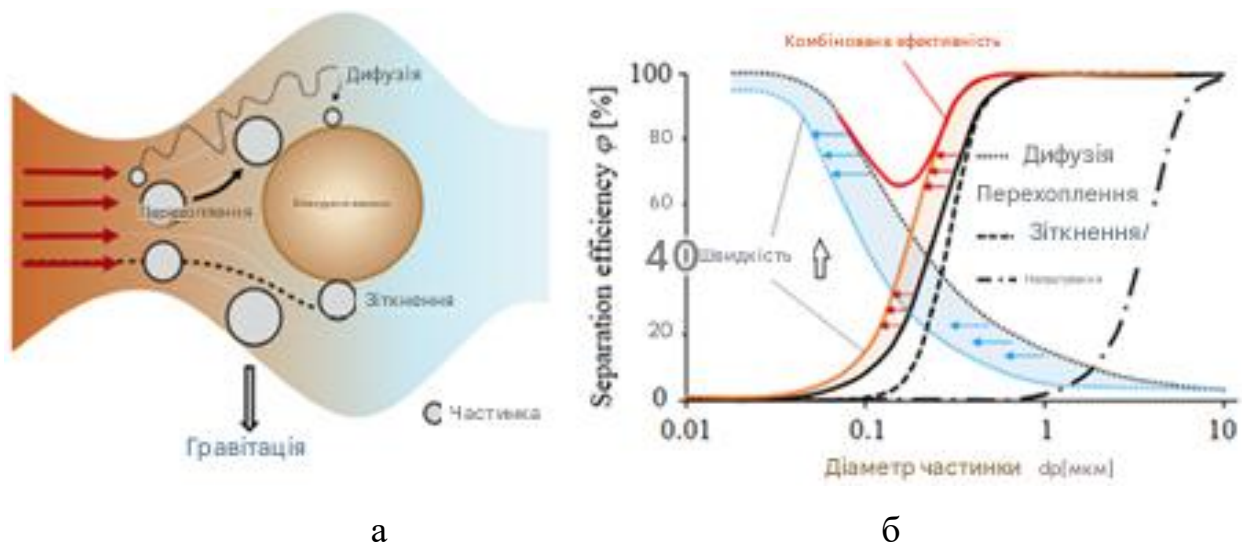


Рис. 4.1. Рисунок 6. Схема процесів уловлювання частинок:

а – прикріплення частинки до окремого волокна; б – інтегрований вплив усіх механізмів уловлювання на загальну результативність фільтрації.

Перехоплення частинок відбувається тоді, коли траєкторія руху частинки майже повторює лінії повітряного потоку, що огинає волокно, внаслідок чого відбувається прямий контакт і подальше її закріплення на поверхні волокна.

Інерційне уловлювання притаманне частинкам підвищеної маси: вони не встигають змінити напрямок руху слідом за повітряним потоком у зоні перед волокном і за інерцією продовжують прямолінійний рух. У результаті вони вдаряються об волокно, де й затримуються. Ефективність цього механізму зростає зі швидкістю газового потоку та збільшенням маси частинок.

Дифузійний процес є визначальним для ультрадисперсних частинок із діаметром менше 0,1 мкм, які в умовах низької швидкості руху зазнають

хаотичних зміщень, що зумовлені броунівською міграцією. Такі частинки безладно наштовхуються на волокна й закріплюються на них.

Гравітаційний вплив стає помітним лише для частинок зі значною масою та розміром, коли сила тяжіння сприяє їх переміщенню в напрямку волокнистого шару. Водночас для частинок менших за 0,5 мкм такий механізм практично не впливає на процес фільтрації.

Якщо діаметр частинки перевищує мінімальний проміжок між сусідніми волокнами, домінує механізм просіювання, тобто частинка просто не може пройти крізь структуру фільтра.

Сукупна ефективність захоплення частинок фільтрувальним середовищем формується внаслідок одночасного впливу всіх описаних процесів (рис. 4.2). Найменший коефіцієнт утримання фіксується для частинок діаметрального діапазону 0,1–0,4 мкм. Вказаний діапазон позначають як розмір найпроникніших частинок (MPPS), і його значення визначається характеристиками волокон та швидкістю фільтрації.

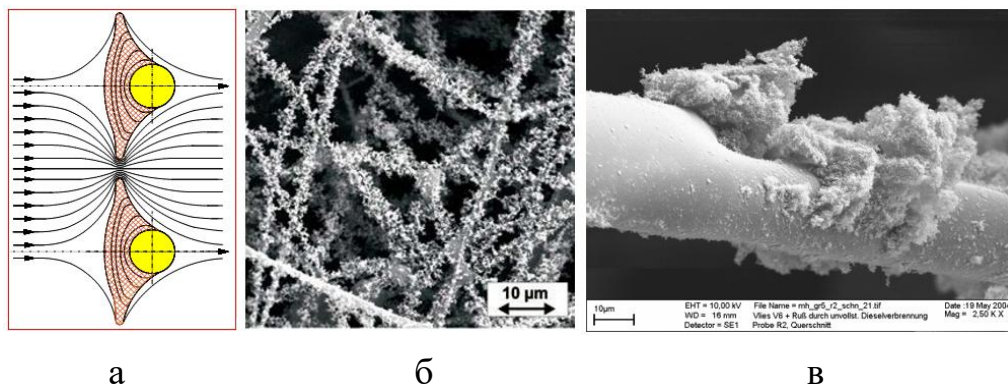


Рис. 4.2. Накопичення пилових частинок на волокнах фільтрувального шару: а – схема наростання послідовних шарів на волокнах; б – структура фільтрувального шару з видимими агломератами, утвореними осіданням пилових частинок на волокнах; в – вигляд агломератів на окремому волокні.

У волокнистому фільтрувальному матеріалі різноманітні механізми вловлювання діють одночасно, що забезпечує поступове нагромадження пилових частинок спершу на поверхні волокон, а далі – на вже сформованих нашаруваннях. Із часом у структурі фільтра утворюються розгалужені агломераційні утворення дендритного типу, які поступово перекривають вільні міжволоконні канали (рис. 4.2). Такі морфологічні зміни фільтрувального шару

зумовлюють трансформацію його робочих властивостей і здатності забезпечувати необхідний рівень очищення повітря під час експлуатації.

Традиційні фільтрувальні середовища, що застосовуються для очищення експлуатаційних рідин у системах автомобіля, зазвичай виготовляють у вигляді гофрованого полотна. Надалі таку стрічку надають просторової конфігурації – формують у багатопроменеву зіркоподібну структуру або у плоский панельний модуль (рис. 4.3). З отриманих заготовок створюють готові фільтрувальні елементи різноманітного конструктивного виконання, серед яких найбільш поширені циліндричні та панельні варіанти.

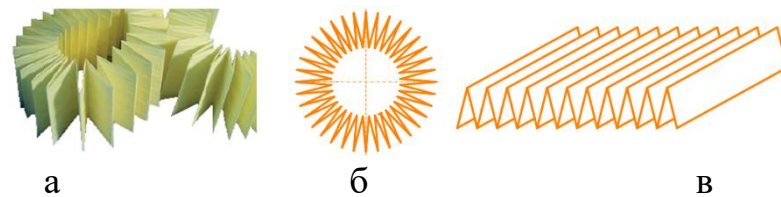


Рис. 4.3. Етапи формування фільтрувального паперу:

а – вигляд стрічки після процесу гофрування; б – надання зіркоподібної просторової конфігурації; в – формування панельної структури.

У сучасних конструкціях фільтрів найчастіше використовують V-подібний профіль гофри, що забезпечує стабільність структури паперу. Для підвищення ефективності використання внутрішнього об'єму фільтрувального елемента все більшого поширення набуває W-подібне гофрування, яке дозволяє збільшити активну площу фільтрації без ускладнення монтажу (рис. 4.4). Конструктивні параметри гофрованих фільтрувальних вставок повинні бути оптимізовані так, щоб гарантувати високу ефективність уловлювання забруднень при мінімальних аеродинамічних втратах та забезпечувати тривалий експлуатаційний ресурс. Водночас важливим критерієм є збільшення площі фільтрувального шару за мінімального об'єму вставки.

Стандартний повітряний фільтр складається з жорсткого або напівжорсткого корпусу та розташованого всередині нього фільтрувального середовища. Найчастіше корпус виготовляють із поліуретану, який одночасно виконує роль герметизуючого елемента, забезпечуючи щільний контакт із фільтрувальним матеріалом та запобігаючи підсосу нефільтрованого повітря.

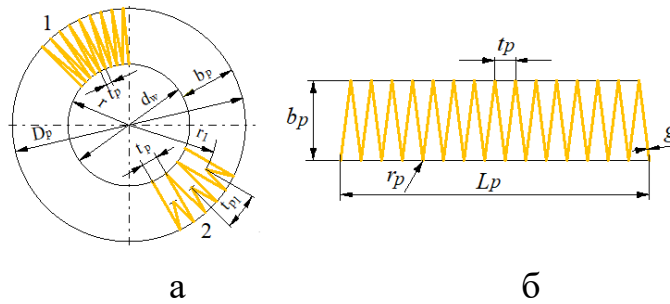


Рис. 4.4. Формування гофр фільтрувального паперу:

а – циліндрична вставка (1 – V-подібне гофрування, 2 – W-подібне гофрування);

б – панельна вставка; D_p – зовнішній діаметр циліндричної частини; d_w – внутрішній діаметр циліндричної частини; b_p – висота гофри; t_p – крок гофри; L_p – довжина панелі; g – товщина паперу; r_p – радіус вигину гофри.

Поліуретанові торцеві елементи циліндричної фільтрувальної вставки забезпечують щільне з'єднання країв гофрованого шару, формуючи впорядковані канали руху повітряного потоку та накопичення твердих частинок аерозолі. Вони одночасно виконують роль елементів фіксації, гарантують жорстке і герметичне встановлення вставки всередині корпусу повітряного фільтра. Для підвищення опірності деформації під впливом перепадів тиску, що виникають у процесі роботи двигуна, особливо за значного забруднення фільтраційного матеріалу, застосовують підсилювальні структури – металеві або полімерні сітчасті каркаси, які забезпечують необхідну конструкційну міцність і стабільність форми.

На відміну від циліндричних елементів, панельні фільтрувальні вставки мають спрощене конструктивне виконання. В процесі складання кінцеві ділянки гофр через одну фіксуються шляхом склеювання, утворюючи канали для доступу повітря і уловлювання пилу. Надалі гофрований елемент з'єднують по периметру поліуретановою рамкою, що одночасно забезпечує надійну герметизацію стику із корпусом фільтра. Відсутність підсосу неочищеного повітря є обов'язковою умовою ефективної роботи фільтрувальної системи.

Правильний вибір повітряного фільтра для конкретного двигуна базується на визначенні оптимальної площі фільтрувального матеріалу, що гарантує дотримання допустимого діапазону швидкості фільтрації, встановленого

експериментально. Максимально припустимі значення цього параметра знаходяться у межах $v_{F_{\max}} = 0,08\text{--}0,12$ м/с.

Показник швидкості фільтрації трактують як середню швидкість проходження повітря через площу активного фільтрувального шару, а його числове значення визначають за відповідною математичною залежністю:

$$v_{F_{\max}} = \frac{Q_{F_{\max}}}{A_c \cdot 3600} \text{ [m/s]}, \quad (4.1)$$

У конструкціях сучасних легкових автомобілів одним із проблемних питань є забезпечення достатнього монтажного простору для розміщення повітряного фільтра в обмеженому об'ємі моторного відсіку. На відміну від них, у вантажних транспортних засобах впускний тракт, разом із фільтрувальним елементом, як правило, розташовується поза межами кабіни, що дозволяє уникнути просторових обмежень та пов'язаних із ними технічних компромісів.

Скорочення площі фільтрувального полотна неминуче веде до збільшення швидкості повітряного потоку крізь волокнисту структуру, якщо об'ємна витрата повітря залишається сталою. Це викликає інтенсивне зростання аеродинамічного опору фільтра, який зростає пропорційно до квадрата швидкості потоку. У свою чергу, це негативно позначається на роботі силового агрегату, спричиняючи:

- зменшення коефіцієнта наповнення циліндрів;
- падіння ефективної потужності двигуна;
- підвищення токсичності відпрацьованих газів.

Крім того, надмірне збільшення швидкості фільтрації може спричинити зниження ефективності уловлювання твердих частинок. За умов високих швидкостей виникає ефект вторинного винесення: частинки, вдаряючись об волокна, не закріплюються на них, а повторно захоплюються повітряним потоком і прямують до вихідного каналу фільтра.

Забезпечення раціонального рівня швидкості фільтрації можливе шляхом коректного підбору ключових конструктивних параметрів фільтрувальної вставки та оптимізації геометрії гофрованого шару (рис. 4.5).

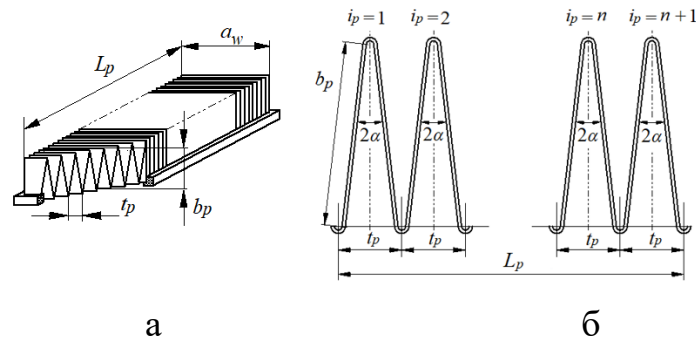


Рис. 4.5. Геометрія фільтрувального шару:

а – геометричні параметри гофри; б – i_p – кількість гофр; L_p – довжина вставки; a_w – ширина гофри; b_p – висота бокової частини гофри; t_p – крок гофри; α – кут нахилу половини гофри.

У випадку панельних вставок площу фільтрувальної поверхні визначають відповідно до їх геометричних параметрів (рис. 4.5), які пов'язані залежністю:

$$A_c = 2h_p \cdot a_w \cdot t_p \cdot i_p [m^2]. \quad (4.2)$$

Ширина вставки a_w та її довжина L_p обмежуються габаритами фільтра. За фіксованого кроку гофри t_p та визначеної довжини L_p кількість гофр має конструктивну межу. Збільшення фільтраційної поверхні можливе шляхом збільшення висоти бокової частини гофри b_p , що сприяє зменшенню швидкості фільтрації та падіння тиску. Проте цей параметр також має граничне значення: надмірно високі гофри втрачають стабільність форми, деформуються, торкаються одна одної і, як наслідок, зменшують реальну площу фільтрації.

Ще одним способом збільшення площі фільтрації є підвищення кількості гофр у встановленому перерізі. Це також сприяє зниженню швидкості потоку та аеродинамічного опору. Але надмірне ущільнення гофр призводить до зростання втрат тиску, що робить такий підхід обмежено ефективним.

У науково-технічних джерелах представлено значну кількість досліджень, спрямованих на оптимізацію фільтрувальних середовищ та конструкцій повітряних фільтрів, перш за все – для зменшення перепаду тиску або підвищення ефективності очищення. Саме ці показники визначають енергетичні втрати двигуна та прискорений знос його деталей.

На рисунку 4.6 наведено приклади конструкцій панельних фільтрувальних вставок для двигунів легкових автомобілів, виготовлених із різних типів матеріалів. Торцеві частини вставок забезпечують щільне прилягання до

верхньої та нижньої частин корпусу фільтра, одночасно виконуючи функцію ущільнення.



Рис. 4.6. Типи фільтрувальних вставок для очищення повітря, що надходить у двигун:

а - фільтрувальні вставки з паперового матеріалу; б - вставка з нетканого матеріалу у жорсткому каркасі; в - вставка з нетканого матеріалу, виготовлена як монолітне формоване тіло.

Приклади конструкцій циліндричних фільтрувальних вставок, які застосовуються як другий ступінь у двоступеневих системах фільтрації, наведено на рисунку 4.7.



Рис. 4.7. Варіанти виконання фільтрувальних картриджів, що працюють як другий ступінь після інерційного фільтра:

а - циліндричний картридж з еліптичним поперечним перерізом; б, в, г, д) циліндричні картриджі з круглим поперечним перерізом.

У процесі роботи повітряного фільтра відбувається поступове накопичення пилових частинок у порах фільтрувального паперу, що істотно обмежує пропускну здатність повітряного тракту. Зі збільшенням шару затриманих домішок інтенсивно зростає гідроаеродинамічний опір, що проявляється у вигляді надмірного перепаду тиску. Візуально ця проблема виражається у деформації гофрованої структури: гофри втрачають стабільність, згинаються й торкаються одна одної. Для збереження геометричної жорсткості та підвищення довговічності конструкції застосовуються спеціальні методи підсилення – формування профільованих зон на поверхні гофри, потовщення

тильної частини або нанесення вузьких клеєвих швів, що стабілізують гофри між собою (рис. 4.8).

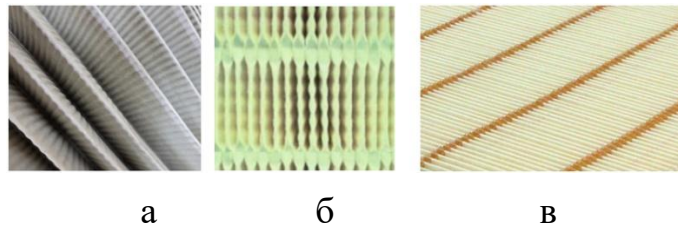


Рис. 4.8. Способи підсилення гофр:

а - тиснення на поверхні гофри; б спеціальне потовщення задньої частини гофри; в нанесення крапель клею.

4.2 Конструкції фільтрів із осьовим напрямком протікання повітря

Зниження просторової стійкості гофрованих елементів, необхідність їх підсилення, а також тенденція до компактності конструкцій без погіршення якості фільтрації стали передумовою появи принципово нових підходів до виготовлення фільтрувальних систем. Інноваційні рішення передбачають організацію осьового руху повітряного потоку крізь фільтрувальну вставку.

Переваги такого підходу включають:

- усунення надмірної турбулентності потоку;
- забезпечення прямолінійного переміщення повітря і твердих частинок у напрямку виходу фільтра;
- істотне зниження аеродинамічного опору системи.

Одним із ефективних інженерних рішень є фільтрувальні вставки PowerCore (Donaldson), конструкція яких наведена на рисунку 4.9. Такі вставки утворені почерговими шарами гладкого та гофрованого паперу. Канали фільтрації блокуються у шаховому порядку: відкритий на вході канал заглушений на виході і навпаки.

Це створює умови, коли повітряний потік вимушено проходить через бокові поверхні каналів, що виконують роль активного фільтрувального середовища. Подібне інженерне рішення поєднує високу ефективність очищення із мінімальними втратами тиску, що особливо важливо для сучасних екологічно орієнтованих силових агрегатів.



Рис. 4.9. Конструктивно-функціональні особливості фільтрувальної вставки

PowerCore:

а - схема фільтраційного процесу; б) траєкторія руху повітряного потоку крізь канали вставки.

Застосування технології PowerCore стало важливим кроком у вдосконаленні систем очищення повітря на впуску двигуна. Сутність інженерного рішення полягає в поєднанні осьового режиму протікання повітря із нанофібровим фільтрувальним середовищем, що забезпечує значне підвищення ефективності уловлювання частинок при одночасному зменшенні розмірів конструкції. За однакової витрати повітря фільтри нового покоління можуть бути у 2–3 рази компактнішими за традиційні аналоги з гофрованим паперовим елементом, при цьому досягаючи майже абсолютного рівня очищення ($\phi_f = 99,97\%$), що перевищує показники звичайних серійних фільтрів ($\phi_f = 99,85\%$).

Останнє покоління – вставка PowerCore G2 – демонструє ще більш прогресивні можливості: зменшення габаритів фільтраційного блока приблизно на 60% та майже трикратне збільшення пиломісткості порівняно з поширеними конструкціями, без змін площі фільтрувального паперу чи форм-фактору вставки (рис. 4.10). Це робить таку технологію особливо привабливою для сучасних двигунів, де критично важливими є компактність, низький опір повітряного тракту та стабільність параметрів фільтрації протягом усього ресурсу.

Скорочення розмірів фільтрувальної вставки відкриває можливість відповідного зменшення габаритів усього повітряного фільтра, що є важливим чинником для сучасних компактних силових агрегатів. Завдяки спеціально розробленій структурі фільтрувальні елементи технології PowerCore демонструють значно більшу пиломісткість порівняно з класичними гофрованими паперовими вставками.

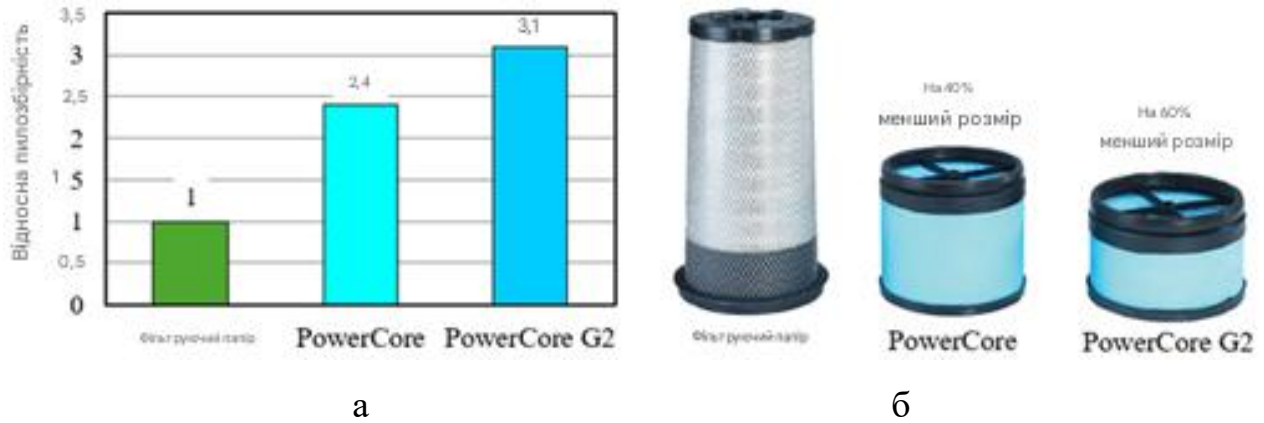


Рис. 4.10. Порівняльна оцінка картриджів PowerCore та традиційних паперових фільтрувальних елементів:

а - відносна пилопоглинальна здатність; б - об'єм, який займає елемент у конструкції.

Подальшим етапом розвитку цієї технології стала поява модифікації PowerCore G2, серійне виробництво якої розпочалось у 2008 році. В основу її інженерного вдосконалення покладено високоточне формування геометрії фільтраційних каналів залежно від конкретних параметрів двигуна, для якого призначається фільтр. Такий підхід дозволяє оптимізувати характеристики очищення повітря для різних умов експлуатації.

Подібний принцип організації повітряного потоку реалізовано й у фільтрувальному елементі Direct Flow, розробленому компанією Cummins (рис. 4.11 а). У цьому конструктивному варіанті гофри формують систему каналів, які по чергово герметизуються з одного або іншого короткого боку, перетворюючись на панельні секції.

Конфігурація фільтра може набувати таких форм:

трапецієподібна структура, утворена двома панельними модулями, розміщеними під малим кутом один до одного (рис. 4.11 а);

композиція зі співвісних циліндричних секцій (рис. 4.11 б).

У результаті повітряний потік спрямовується:

через передні ділянки гофрованих каналів, а також уздовж їхніх бічних поверхонь;

далі – у напрямку вихідного отвору, через протилежну сторону фільтра.



Рис. 4.11. Принцип роботи панельної фільтрувальної вставки Direct Flow:
а - схема руху повітряного потоку; б - конструкція вставки.

Технологія виготовлення фільтраційного осердя PowerCore була також застосована компанією Baldwin у фільтрі Channel Flow (рис. 4.12). Використання цього інженерного рішення дає змогу зменшити простір, необхідний для розміщення фільтра, до 50% у порівнянні з традиційними циліндричними фільтрами.

Ту ж технологію застосувала компанія Mann+Hummel у фільтрі PicoFlex, в результаті чого фільтрувальний елемент CompacPlus має на 50% більшу площу фільтраційного середовища, ніж стандартний повітряний фільтр.



Рис. 4.12. Фільтрувальні вставки, виготовлені за сучасними технологіями:
а - традиційний PowerCore (Donaldson); б - CompacPlus (Mann+Hummel); в - Channel Flow (Baldwin).

Попри високі експлуатаційні показники та значні конструктивні переваги фільтрів типу PowerCore, їх широке впровадження у системи фільтрації повітря для двигунів внутрішнього згоряння поки що стримується підвищеною собівартістю, що суттєво перевищує ціну традиційних циліндричних фільтрувальних елементів.

4.3 Технологічні та функціональні властивості нанofібрових фільтрувальних матеріалів

Стрімкий розвиток технологій формування надтонких волокон сприяв активному використанню нанofібрових структур у повітряних фільтрах

автомобілів. До нанofібр відносять волокна з діаметром менше 1 мкм, які у промислових масштабах отримують за технологіями електроформування (electrospinning) або розплавно-повітряного формування (meltblown).

На практиці в автомобільних системах переважно застосовуються нанofібри діаметрального діапазону 50–500 нм, а товщина сформованого з них фільтраційного шару зазвичай не перевищує 1–5 мкм. Оскільки такий шар має незначну власну жорсткість, він формується на підсилювальній основі – целюлозній, поліамідній або поліестеровій, що сприймає механічні навантаження і забезпечує довговічність матеріалу.

Нанofіброве покриття може наноситися односторонньо або з двох сторін фільтрувального субстрату, залежно від вимог до очищення повітря та допустимого аеродинамічного опору. На рисунку 4.13 представлено мікроскопічне зображення нанofібрового матеріалу діаметром волокон $d_n \approx 0,15$ мкм, отримане методом електронної мікроскопії при збільшенні $\times 1000$. Для масштабного порівняння поруч показано людську волосину ($d_p \approx 50\text{--}70$ мкм) та целюлозне волокно підкладки ($d_c \approx 10$ мкм)

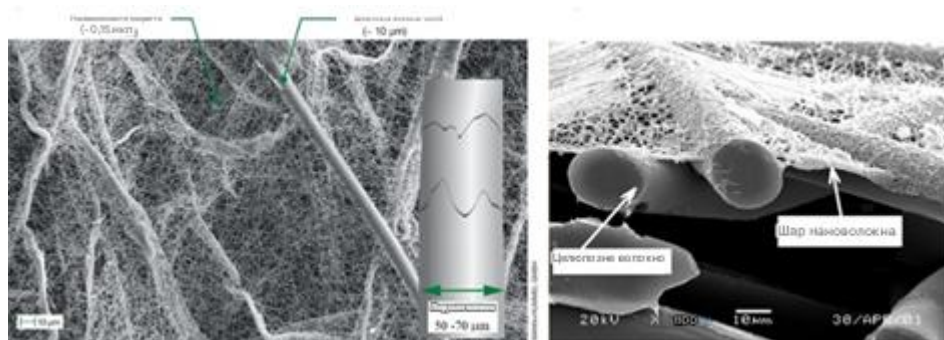


Рис. 4.13. Нанofіброве покриття целюлозного фільтраційного шару:
а - топографія поверхні; б структура за поперечним перерізом.

Застосування нанofібрового шару як модифікуючого покриття для традиційних целюлозних фільтрів повітря автомобілів дозволяє суттєво підвищити якість очищення за рахунок більш ефективного затримання дрібнодисперсних частинок, діаметр яких становить менше 5 мкм. На рисунку 4.14 представлено незавантажене фільтраційне середовище з нанесеним нанofібровим шаром (діаметр волокон 100–400 нм) та структура шару після акумуляції пилових частинок.

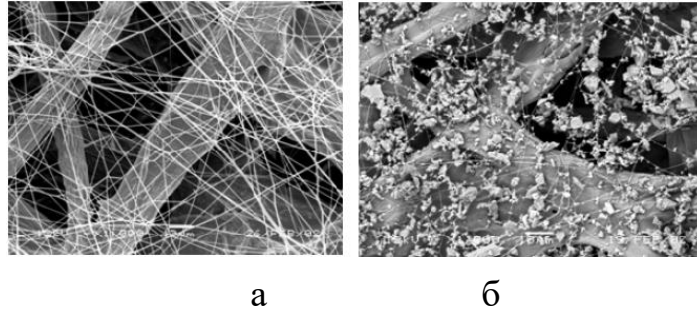


Рис. 4.14. Мікроструктура шару нановібр на целюлозному середовищі:
а - вихідна поверхня; б - пиловий осад на нановібровому шарі.

Графічні дані на рисунку 4.15 демонструють зміну ефективності фільтрації залежно від розміру частинок для двох варіантів фільтраційного матеріалу: традиційного целюлозного та модифікованого додаванням нановібр. Особливо виражене збільшення продуктивності спостерігається у діапазоні найагресивніших абразивних частинок, що спричиняють інтенсивне зношування поверхонь деталей двигуна.

Для частинок діаметром $d_p < 3,5$ мкм ефективність зростає $\varphi = 75,15\% \rightarrow \varphi = 97\%$,

а для частинок $d_p < 1,5$ мкм покращення є ще більш значним $\varphi = 29,2\% \rightarrow \varphi = 82,1\%$.

Ці результати підтверджують високу перспективність застосування нановібрових матеріалів у конструкціях повітряних фільтрів, що працюють в умовах інтенсивного запилення та підвищених вимог до надійності.

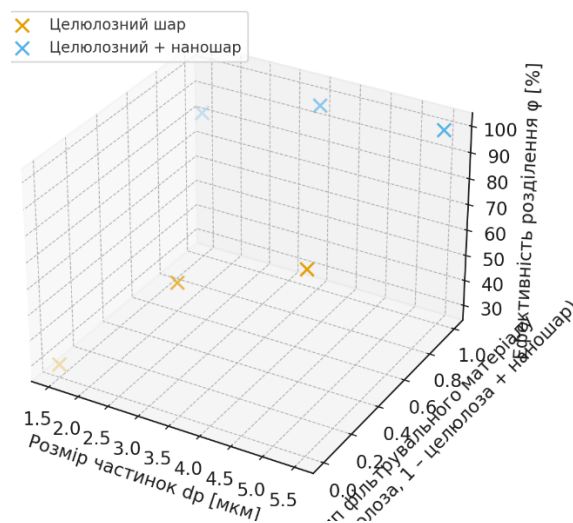


Рис. 4.15. Порівняльна ефективність фільтрації частинок різного розміру стандартного целюлозного матеріалу та матеріалу, модифікованого нановібрами.

4.4 Експериментальні дослідження нагромадження забруднень на фільтраційному шарі

Оцінювання ефективності функціонування фільтраційного середовища здійснюється з використанням комплексу показників, що визначають експлуатаційні властивості процесу фільтрації, а саме:

φ_f – ефективність утримання частинок,

d_{pmax} – гранична (номінальна) дисперсність частинок, що затримуються,

k_m – пиломісткість фільтраційного шару,

Δ_{pf} – перепад тиску повітряного потоку на фільтрувальному елементі.

Ефективність утримання забруднень φ_f характеризує здатність фільтраційного шару ізолювати тверді частинки й визначається як відношення маси пилу m_z , що залишилась на фільтрувальному матеріалі, до маси пилових частинок m_D , які надійшли до фільтра разом із повітряним потоком протягом визначеного інтервалу часу.

$$\varphi_f = \frac{m_z}{m_D} 100\% \quad (4.3)$$

Точність фільтрації характеризує здатність фільтраційного середовища затримувати найбільші за розміром частинки твердої фази й визначається граничним діаметром частинок d_{pmax} , які все ще можуть пройти крізь фільтр і опинитися у потоці очищеного повітря.

Пиломісткість фільтраційного матеріалу відображає його ресурсні властивості й визначається масою пилу k_m , що акумулюється на одиниці площі робочого шару до настання критичного стану фільтраційного елемента. До таких станів належать, зокрема:

зменшення показників якості очищення (ефективності або точності фільтрації) нижче встановлених нормативних значень;

досягнення максимально допустимого перепаду тиску, за якого подальша експлуатація фільтра стає неможливою або нераціональною.

Перепад тиску Δ_{pf} визначають як різницю статичного тиску перед фільтраційним елементом (p_{c1}) та після нього (p_{c2}), що є інтегральною характеристикою аеродинамічного опору фільтра:

$$\Delta p_f = p_{s1} - p_{s2} \text{ [Pa]} \quad (4.4)$$

Експлуатаційні властивості бар'єрних фільтрів формуються під впливом широкого спектра факторів, серед яких ключову роль відіграють фізико-хімічні характеристики пилових частинок, параметри повітряного потоку, будова фільтраційного матеріалу та умови його роботи.

Для конкретного типу повітряного фільтра й відповідного фільтраційного шару, що функціонує в межах встановленого діапазону витрати повітря $Q_{\min}$ – $Q_{\max}$, при припущенні незмінності властивостей атмосферного повітря та дисперсності пилу, визначальними параметрами працездатності бар'єрної системи очищення повітря двигуна є:

m_p – кількість пилу, яка була накопичена та утримана фільтраційною перегородкою;

Q_F – об'ємна витрата повітря, що проходить крізь фільтр під час його роботи.

У практиці випробувань характеристики бар'єрних фільтрів здебільшого представляють у вигляді залежності однієї величини від іншої, залишаючи усі додаткові параметри сталими. Такі дослідження виконують у лабораторних умовах на спеціалізованих стендах із використанням стандартизованих пилових домішок, що забезпечує коректність порівнянь.

До найважливіших характеристик, що застосовуються для оцінювання фільтрів у транспортній галузі, належать:

$$\varphi_f = f(m_p) \text{ or } \varphi_f = f(k_m), \quad (4.5)$$

$$\Delta p_f = f(m_p) \text{ or } \Delta p_f = f(k_m), \quad (4.6)$$

$$d_{pmax} = f(m_p) \text{ or } d_{pmax} = f(k_m), \quad (4.7)$$

$$\Delta p_f = f(Q_F) \text{ or } \Delta p_f = f(v_F), \quad (4.8)$$

Рисунок 4.16 ілюструє результати визначення ключових фільтраційних характеристик паперового фільтраційного матеріалу, встановлені експериментально в лабораторних умовах. Дослідженню підлягали такі залежності:

$\varphi_w = f(k_m)$ – зміна ефективності утримання частинок,

$d_{pmax} = f(k_m)$ – варіювання граничного розміру частинок, що проходять крізь фільтр,

$\Delta_{pw} = f(k_m)$ – зростання аеродинамічного опору фільтраційного шару у функції від коефіцієнта пилопоглинання k_m , який є індикатором ступеня завантаження фільтра.

Випробуваний фільтраційний матеріал був виготовлений у формі компактного циліндричного картриджа, активна площа якого становила $A_c = 0,148 \text{ м}^2$.

Такий фільтрувальний елемент був умовно позначений як «дослідний фільтр».

Дослідження виконувалося на спеціалізованому стенді за умов постійної витрати повітря $Q_F = 35 \text{ м}^3/\text{год}$, що еквівалентно швидкості фільтрації $v_F = 0,065 \text{ м/с}$.

Ефективність очищення повітря визначали гравіметричним методом упродовж послідовних циклів випробувань, у межах яких реєстрували:

масу пилу, що подавалася у повітряний потік,

масу пилу, яка залишалася в структурі фільтраційного середовища.

Позаду дослідного фільтра встановлювався абсолютний фільтр, що дозволяв здійснювати точний масовий баланс та перешкоджав потраплянню пилових частинок до вимірювального обладнання.

Тривалість кожного циклу подачі пилу становила:

$\tau_{pd} = 2 \text{ хв}$ на початковому етапі досліджень,

$\tau_{pd} = 4\text{--}5 \text{ хв}$ при істотному накопиченні пилу в шарі фільтра.

Близько за 60 секунд до завершення циклу проводилося вимірювання фракційного складу пилу за фільтром за допомогою лічильника частинок.

Під час дослідження використовували випробувальний пил РТС-D, що відповідає характеристикам пилу, із максимальною дисперсністю частинок $d_{pmax} = 80 \text{ мкм}$.

За результатами кожного вимірювального циклу виконувалося обчислення ефективності фільтрації φ_w відповідно до аналітичної залежності (4.3).

$$\varphi_j = \frac{m_{Fj}}{m_{Dj}} = \frac{m_{Fj}}{m_{Fj} + m_{Aj}} 100\%. \quad (4.9)$$

коефіцієнт пилопоглинання k_{mj} фільтраційного матеріалу:

$$k_{mj} = \frac{\sum_{j=1}^n m_{Fj}}{A_w} [\text{г/м}^2]. \quad (4.10)$$

точність фільтрації, визначена як найбільший діаметр пилової частинки $d_{pj} = d_{p\max}$, зареєстрований лічильником частинок у повітряному потоці Q_f за фільтром;

• перепад тиску Δp_f фільтра, що визначається як різниця статичних тисків перед і після фільтра.

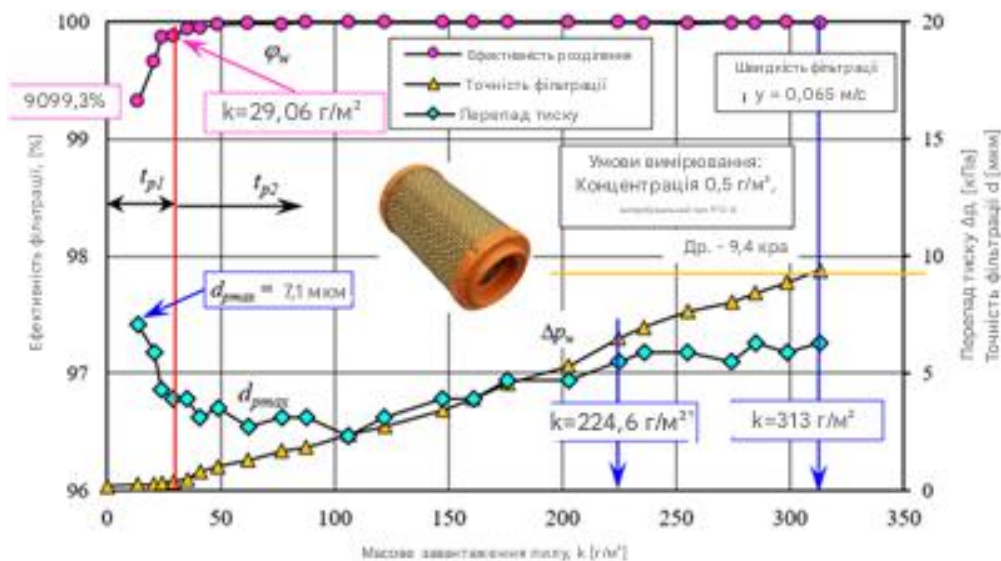


Рис. 4.16. залежності основних показників роботи фільтраційного шару – ефективності затримання частинок $\varphi_f = f(k_m)$, точності фільтрації $d_{p\max} = f(k_m)$ та перепаду тиску $\Delta p_f = f(k_m)$ – від коефіцієнта пилонакопичення k_m , що характеризує ступінь завантаження фільтра пилом.

Аналіз роботи фільтраційного матеріалу дозволив виділити два характерні етапи його функціонування (рис. 4.16). Початковий етап (t_{p1}) триває від моменту початку подачі пилу до досягнення ефективності очищення $\varphi_w = 99,5\%$.

На старті фільтрації ефективність становить близько 99,3%, але поступово зростає у міру накопичення частинок пилу в порах фільтраційного шару. При досягненні рівня $\varphi_w = 99,5\%$ коефіцієнт пилопоглинання дорівнює $k_m = 29,02 \text{ г/м}^2$.

Після цього фільтр переходить у другий період стабілізованої роботи (t_{p2}), для якого характерні значення ефективності у межах $\varphi_w = 99,5\text{--}99,9\%$.

Як свідчать заміри, на початку фільтрації за фільтром фіксуються частинки розміром до $d_{r\max} = 7,1$ мкм, тоді як після виходу на стабільний режим – не більше ніж $d_{r\max} = 2,7\text{--}3,9$ мкм.

Перепад тиску Δp_w зростає пропорційно до збільшення маси пилу, що повністю узгоджується з теоретичними моделями фільтрації у волокнистих структурах. Максимально зафіксоване значення становило $\Delta p_w = 9,4$ кПа при $k_m = 313$ г/м².

Після перевищення порога $k_m = 224,6$ г/м² у повітрі за фільтром знову з'являються частинки розміром $d_{r\max} > 5$ мкм, що відповідає критерію вичерпання ресурсу фільтрувального елемента та вимагає його заміни.

Тривалість початкового періоду tr_1 становить близько 12% від загального циклу ефективної експлуатації фільтра. Оскільки на цьому етапі можливе проникнення крупнодисперсних частинок, здатних прискорювати абразивне зношування деталей двигуна, здійснюються науково-технічні пошуки методів мінімізації тривалості початкової стадії роботи фільтра через використання більш досконалих матеріалів.

Рисунок 4.17 подає результати порівняльних випробувань залежностей $\varphi_f = f(k_m)$, $d_{r\max} = f(k_m)$ та $\Delta p_w = f(k_m)$ для трьох різних типів фільтраційних шарів, серед яких два композитні матеріали з багатокомпонентною структурою.

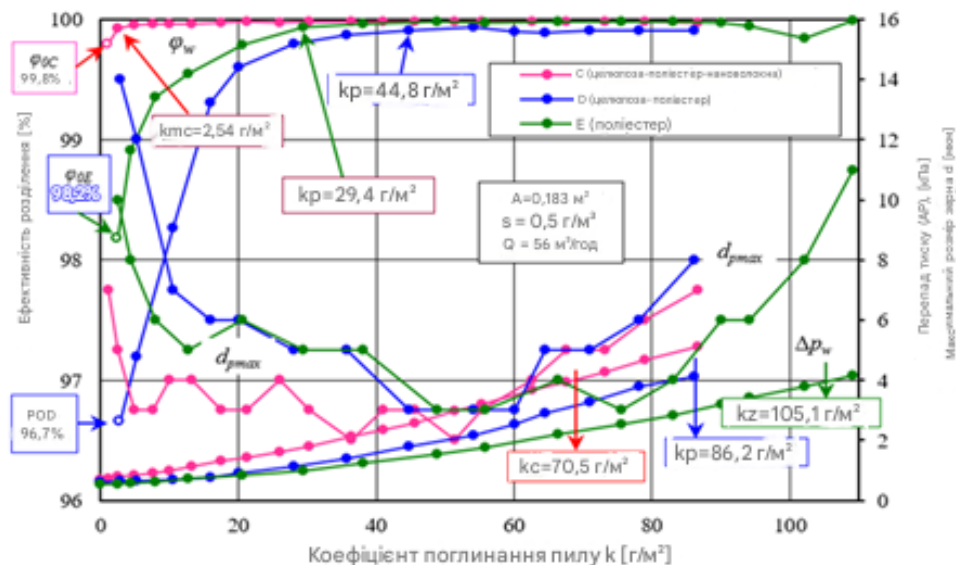


Рис. 4.17. Порівняння параметрів ефективності очищення φ_w , граничного розміру частинок $d_{r\max}$ та аеродинамічного опору Δp_w залежно від коефіцієнта пилопоглинання k_m для різних типів фільтраційних матеріалів:

С – композит: 80% целюлоза, 20% поліестер із нанofібровим покриттям; D – змішаний матеріал на основі целюлози та поліестеру; Е – поліестерове волокнисте середовище.

У дослідженні були застосовані циліндричні фільтрувальні картриджі, виготовлені з таких матеріалів.

Матеріали відібрано з огляду на суттєві відмінності у структурних параметрах і технологічних властивостях. Дослідження всіх варіантів здійснено на одній випробувальній базі із застосуванням уніфікованої методики, що дозволяє коректно порівнювати результати між собою.

Результати доводять, що хоча характер зміни фільтраційних параметрів для всіх досліджених вставок залишається подібним, їхні числові значення істотно визначаються фізико-структурними властивостями матеріалу. Зі збільшенням коефіцієнта пилопоглинання k_m (що свідчить про накопичення більшої маси домішок у шарі) відбувається закономірне зростання:

ефективності вилучення частинок,
точності розділення за розмірами,
перепаду тиску у фільтрувальному прошарку.

Такі закономірності характерні для волокнистих бар'єрних фільтрів, де пилова «кірка» на поверхні гофр формується поступово.

Найбільш помітна різниця між досліджуваними зразками проявляється на початковому етапі очищення, тобто до досягнення умовно необхідного рівня фільтрації $\varphi_w = 99,9\%$.

матеріал D демонструє найдовший перехідний період – $k_m D_p = 44,8 \text{ г/м}^2$;
матеріал С – найкоротший, оскільки вже при $k_m C_p = 2,54 \text{ г/м}^2$ досягається стабільно висока якість фільтрації.

Це безпосередньо пов'язано з наявністю нанofібрового шару, який формує набагато дрібніші порові канали й ефективно затримує навіть мікроскопічні частинки вже на старті роботи.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Атестація робочих місць за умовами праці та паспортизація об'єктів

Атестація робочих місць є важливим інструментом державної політики у сфері охорони праці, спрямованим на забезпечення законодавчо гарантованих прав працівників на безпечні умови праці, належний рівень виробничої гігієни, а також на отримання пільгового пенсійного забезпечення та компенсацій у разі виконання робіт в умовах дії шкідливих чи небезпечних факторів.

Організація і проведення атестації регламентуються Постановою Кабінету Міністрів України №442 від 01.08.1992 р. «Про порядок проведення атестації робочих місць за умовами праці», а також відповідними методичними рекомендаціями, затвердженими Міністерством праці України та Головним державним санітарним лікарем.

Основні завдання атестації робочих місць полягають у:

ідентифікації причин виникнення небезпечних та шкідливих виробничих факторів;

комплексній оцінці умов виробничого середовища та трудового процесу на відповідність чинним нормам охорони праці;

підтвердженні або зміні категоріювання робочих місць за ступенем шкідливості та небезпечності;

визначенні права працівників на додаткові соціальні гарантії, пільги та компенсації;

розробленні коригувальних і профілактичних заходів, спрямованих на оздоровлення та покращення виробничих умов.

Санітарно-гігієнічний моніторинг параметрів виробничого середовища виконується атестованими лабораторіями підприємств або державних контролюючих органів. Періодичність проведення атестації закріплюється у колективному договорі, проте має становити не більше ніж 5 років між циклами.

Атестації також підлягають окремі види технологічного устаткування. На основі результатів технічної експертизи, діагностування обладнання та інших

перевірок складається паспорт об'єкта, який містить оцінку відповідності вимогам промислової безпеки.

Комплекс робіт, що виконується під час атестації:

- формування переліку робочих місць, які підлягають оцінюванню;
- розроблення схем розташування обладнання та зонування робочих місць;
- дослідження шкідливих і небезпечних виробничих факторів, а також показників важкості й напруженості праці;
- перевірка відповідності найменувань посад фактичному змісту трудових функцій згідно з «Класифікатором професій ДК 003:2010»;
- складання «Карт умов праці» для окремих робочих місць або їх груп;
- класифікація робочих місць за Гігієнічною класифікацією праці;
- визначення виробництв і професій, що підлягають пільговому пенсійному забезпеченню;
- розроблення організаційно-технічних заходів щодо усунення або мінімізації дії шкідливих факторів та розрахунок необхідних витрат;
- технічна діагностика та паспортизація обладнання, будівель і споруд виробничих підрозділів.

Для координації процесу на підприємствах створюються постійно діючі комісії з атестації робочих місць, до складу яких входять представники адміністрації, служби охорони праці, профспілок та, за потреби, фахівці санітарно-епідеміологічних служб.

Ліцензування і сертифікація належать до ключових механізмів державного регулювання безпеки, застосовуваних щодо видів діяльності та продукції, що становлять потенційну небезпеку для життя та здоров'я людей. Їхня основна мета полягає у забезпеченні відповідності технологічних процесів, обладнання й готової продукції вимогам нормативно-правових актів у сфері безпеки праці та техногенної безпеки.

Ліцензування проводиться уповноваженими центральними органами виконавчої влади (міністерствами, державними службами, агентствами), які мають право видавати спеціальні дозволи – ліцензії – або передавати повноваження щодо підготовки обґрунтованих висновків про їх надання своїм територіальним підрозділам. Отримання ліцензії є обов'язковою умовою

здійснення діяльності, що пов'язана з використанням обладнання підвищеної небезпеки, виконанням техногенно ризикових робіт чи впливом на безпеку населення.

Сертифікація продукції передбачає випробування, технічне оцінювання та подальший нагляд за відповідністю продукції установленим стандартам. Ці функції реалізуються органами сертифікації та випробувальними лабораторіями, акредитованими Державною службою України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів. Сертифікат підтверджує, що виріб може експлуатуватися без загрози для людини та довкілля.

До переліку продукції, яка підлягає обов'язковій сертифікації через підвищений рівень ризику, належать:

- електромеханічні ручні інструменти;
- зварювальне обладнання та електротехнічні пристрої (двигуни, генератори, трансформатори);
- протипожежне обладнання та засоби пожежогасіння;
- дорожні транспортні засоби всіх категорій;
- засоби індивідуального та колективного захисту працівників;
- вантажопідіймальні машини та кранове устаткування;
- будівельні матеріали, конструкції та інші вироби, що впливають на безпеку експлуатації об'єктів.

Таким чином, механізми ліцензування і сертифікації відіграють визначальну роль у попередженні виробничого травматизму, зниженні техногенних ризиків і підвищенні рівня надійності технічних систем у сфері транспортної інфраструктури.

5.2 Зони хімічного забруднення та осередки хімічного ураження

Показником рівня хімічної небезпеки хімічно небезпечного об'єкта (ХНО) є кількість населення, яке може опинитися в межах прогнозованої зони хімічного забруднення при виникненні аварійної ситуації. Така зона просторово формується у вигляді еліпса, довша вісь якого відповідає максимальній глибині

перенесення забрудненого повітря із концентрацією, що перевищує порогові значення для здоров'я людини.

Залежно від чисельності населення, яке потрапляє у межі прогнозованої зони впливу, прийнято виділяти чотири ступені хімічної небезпеки:

I ступінь – більше ніж 3000 осіб;

II ступінь – від 300 до 3000 осіб;

III ступінь – від 100 до 300 осіб;

IV ступінь – менше ніж 100 осіб.

Для адміністративно-територіальних утворень рівень небезпеки визначається часткою їх площі, яка може бути охоплена зоною можливого хімічного забруднення (ЗМХЗ) при аварії на ХНО:

I ступінь – зона охоплює понад 50% території;

II ступінь – від 30% до 50% території;

III ступінь – від 10% до 30%;

IV ступінь – менше ніж 10% території.

Зона хімічного забруднення (ЗХЗ) охоплює територію, на якій небезпечні хімічні речовини (НХР) створюють рівні концентрацій, що становлять безпосередню загрозу життю та здоров'ю людей. Вона складається з:

зони первинного впливу – місця розливу або викиду НХР;

зони переносу – території поширення токсичних парів чи газів до уражаючих концентрацій.

Геометричні параметри ЗХЗ залежать від об'єму та швидкості викиду НХР, їх фізико-хімічних характеристик (щільності, леткості, токсичності), метеорологічних умов (температура, вологість, швидкість і напрямок вітру), а також рельєфу місцевості.

У межах ЗХЗ можуть формуватися осередки хімічного ураження, тобто ділянки території, де внаслідок впливу токсичних речовин виникають масові ураження людей, тварин та можливе пошкодження елементів біосфери. Кількість осередків і масштаб наслідків визначаються характером аварії, тривалістю дії НХР та ефективністю протиаварійних заходів.

Залежно від токсикологічних характеристик небезпечних хімічних речовин (НХР), що потрапляють у навколишнє середовище під час аварій, виділяють чотири основні типи осередків хімічного ураження:

Осередок ураження нестійкими швидкодіючими НХР

До цієї групи належать речовини, що характеризуються високою леткістю та здатністю швидко проникати в організм людини (синильна кислота, аміак, бензол, фтористі водні сполуки, дихлоретан тощо).

Осередок ураження нестійкими повільнодіючими НХР

Такі речовини мають короткий період збереження токсичності у довкіллі, проте ураження проявляються поступово (метилбромід, гранозан, оросген тощо).

Осередок ураження стійкими швидкодіючими НХР

Для цих сполук характерна збереженість токсичних властивостей та швидка дія на організм (аміак у високих концентраціях, фосфорорганічні сполуки, анілін, фурфурол та ін.).

Осередок ураження стійкими повільнодіючими НХР

До цієї категорії належать речовини, токсичний вплив яких зберігається тривалий час і проявляється із запізненням (наприклад, сульфатна кислота).

Особливості осередків хімічного ураження

Осередки, сформовані швидкодіючими НХР, характеризуються:

практично миттєвим ураженням значної кількості людей (від декількох хвилин до десятків хвилин);

виникненням тяжких форм інтоксикації та високою часткою уражених, що потребують невідкладної медичної допомоги;

необхідністю оперативного медичного реагування як безпосередньо в зоні ураження, так і під час транспортування потерпілих (важлива само- та взаємодопомога);

нагальною евакуацією населення із небезпечної території.

Для повільнодіючих НХР характерні:

поступове наростання медико-санітарних втрат серед населення;

складність оперативного виявлення уражених, що вимагає активного медико-санітарного контролю;

планова евакуація постраждалих у міру звернення по допомогу чи ідентифікації симптомів.

Осередки ураження стійкими НХР

Вони становлять довготривалу токсичну загрозу і відзначаються:

збереженням небезпеки ураження протягом тривалого часу;

ризиком ураження людей, що потрапляють у зону після аварії;

наявністю вторинного ураження через випаровування НХР із одягу, шкіри, заражених предметів;

потребою у проведенні дегазації території, обладнання, транспорту та засобів захисту;

необхідністю невідкладної санітарної обробки потерпілих;

загрозою додаткових уражень від осіб, які не пройшли санітарної обробки.

Дегазація та санітарна обробка

У зонах ураження нестійкими НХР зазвичай дегазаційні заходи не проводяться, оскільки токсична концентрація швидко знижується природним шляхом.

Основні принципи дегазації:

кислоти нейтралізуються лужними реагентами, а луги – кислотними;

інколи реакція між дегазуючою речовиною і НХР супроводжується виділенням значної кількості тепла, що може стати причиною пожеж або вибухів – тоді застосовують суміш дегазуючих реагентів із піском чи ґрунтом;

окремі реагенти самі є токсичними, тому їх використання вимагає застосування засобів індивідуального захисту органів дихання та шкіри.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі магістра проведено комплексне науково-технічне дослідження, спрямоване на удосконалення гальмівних систем легкових автомобілів та підвищення надійності силового агрегату транспортного засобу шляхом оптимізації технологічних процесів ремонту антиблокувальної системи гальм (ABS) та аналізу фільтрації запиленого повітря двигуна. Виконані теоретичні й експериментальні дослідження підтвердили актуальність теми роботи для сучасних умов експлуатації автомобільного транспорту.

У загально-технічному розділі проведено огляд конструкції та принципів роботи ABS, проаналізовано типові відмови та їх вплив на безпеку руху. Сформульовано основні вимоги до забезпечення функціональної ефективності системи активної безпеки автомобіля.

У технологічному розділі розроблено структуру виробничої ділянки для виконання діагностичних і ремонтних робіт, обґрунтовано вибір технологічного обладнання, сформовано раціональне планування робочих місць та маршрутний технологічний процес відновлення працездатності ABS. Впроваджено заходи з удосконалення організації операційного обслуговування, що дозволило зменшити трудомісткість та підвищити якість виконання робіт.

У конструкторському розділі виконано розрахунки нормальних реакцій дорожнього покриття на осі автомобіля під час гальмування, оптимізовано співвідношення тисків у гальмівних механізмах залежно від завантаження транспортного засобу, а також визначено необхідне приводне зусилля стоянкового гальма, що забезпечує утримання автомобіля на нормативному уклоні. Результати розрахунків підтвердили відповідність вимогам безпеки руху.

У науково-дослідному розділі досліджено механізми фільтрації та конструкції фільтрувальних елементів із осьовим напрямом руху повітря. Проведений аналіз властивостей нанофібрових матеріалів підтвердив їх підвищену фільтраційну ефективність і менший опір потоку порівняно з традиційними целюлозними носіями. Експериментальні випробування процесів накопичення пилових частинок у фільтрувальному шарі дозволили встановити

закономірності зміни параметрів фільтрації та сформулювати рекомендації для підвищення ресурсу двигуна.

У розділі охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях запропоновано комплекс профілактичних і захисних заходів щодо запобігання виробничому травматизму, мінімізації техногенних ризиків та зниження впливу небезпечних факторів на персонал.

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.
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. Шапко В.Ф. Автомобільні двигуни. Основи теорії та характеристики поршневих двигунів внутрішнього згоряння: Навчальний посібник. – Кременчук: КНУ, 2011. – 194 с.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.

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.