



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

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«20» листопада 2023 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Мазуру Андрію Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технологічного процесу обслуговування системи фільтрації палива на дизельних двигунах Cummins ISF та YD25 з дослідженням фільтруючого елементу

Керівник роботи Гевко Іван Богданович., д.т.н., проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «20» листопада 2023 року № 4/7-1072

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 грудня 2023

3. Вихідні дані до роботи Характеристика системи фільтрації палива на дизельних двигунах Cummins ISF та YD25

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)

Огляд забруднення дизельного палива – 1А1. Методи очищення палива і пристрої для очищення в системах живлення дизельних двигунів – 1А1. Метод аналогій для оцінки стану фільтруючого елемента фільтра тонкого очищення – 1А1.

Процес вимірювання мас фільтрів нового, з пробігом – 1А1. Оцінка зміни ресурсу фільтра тонкого очищення в залежності від пробігу автомобіля – 1А1.

Огляд обладнання для оцінки якості палива – 1А1. Методика проведення вимірювань розрідження в паливопроводі системи Common Rail за допомогою калібратора «Метран» – 1А1. Результати вимірювань розподілу розрідження на виході фільтра від обертів двигуна в залежності від пробігу автомобіля – 1А1.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада 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 20.11.2023р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	24.11.2023	
2	Технологічний розділ	30.11.2023	
3	Конструкторський розділ	05.12.2023	
4	Науково-дослідний розділ	07.12.2023	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	14.12.2023	
6	Оформлення графічної частини	21.12.2023	
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра	25.12.2023	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Мазур А.М.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Гевко І.Б.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Удосконалення технологічного процесу обслуговування системи фільтрації палива на дизельних двигунах Cummins ISF та YD25 з дослідженням фільтруючого елементу».

Робота виконана на кафедрі автомобілів ТНТУ ім. І. Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи магістра д.т.н., професор Гевко І.Б..

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 66 сторінок формату А4 та 8 аркушів формату А1 графічної частини 1 сторінки додатків.

Ключові слова: обслуговування, система фільтрації, паливо, дизельний двигун, вдосконалення.

## ЗМІСТ

<b>Вступ.....</b>	<b>6</b>
<b>1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>7</b>
1.1 Загальна характеристика забруднення палива.....	7
1.2 Види присадок, що поліпшують властивості дизельного палива.....	10
1.3 Вимоги дизельного палива.....	12
<b>2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>14</b>
2.1 Технології та засоби для покращення якості палива в дизельних двигунах.....	14
2.2 Техніки вимірювання дієздатності фільтраційних компонентів та системи моніторингу їх насичення забрудненнями.....	17
2.3 Метод аналогій оцінювання стану фільтруючого елемента фільтру тонкої очистки.....	20
2.4 Аналіз тривалості служби фільтра тонкої очистки на основі пробігу автомобіля.....	32
<b>3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>36</b>
3.1 Проектування пристроїв для вимірювання ступеня засміченості елемента паливного фільтра тонкого очищення.....	36
<b>4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>41</b>
4.1 Аналітичне вивчення даних отриманих під час вимірювань.....	41
4.2 Результати досліджень.....	46
<b>5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....</b>	<b>54</b>
5.1 Виробничий травматизм на автомобільному транспорті.....	54
5.2 Поглиблений аналіз виробничих травм.....	55
5.3 Паспортизація об'єктів підвищеної небезпеки.....	60
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>64</b>
<b>БІБЛІОГРАФІЯ.....</b>	<b>65</b>
<b>ДОДАТКИ</b>	

## ВСТУП

Вдосконалення технологічного процесу обслуговування – важлива частина оптимізації роботи будь-якої системи. Особливо це стосується критичних систем, таких як система фільтрації дизельного палива в двигунах. Правильна робота цієї системи впливає на ефективність роботи двигуна, економічність використання палива, а також на довговічність і надійність всього транспортного засобу.

Двигуни Cummins ISF та YD25 широко використовуються в різноманітній автотехніці. Відмінною якістю та надійністю, вони вимагають уважного ставлення до процесу обслуговування. Однією з ключових частин цих двигунів є система фільтрації дизельного палива. Паливні фільтри відіграють вирішальну роль у захисті двигуна від забруднень, які можуть потрапити в паливо під час його виробництва, транспортування чи зберігання.

Центральним елементом паливного фільтра є фільтруючий елемент. Його дослідження дозволить зрозуміти, як відбувається процес фільтрації, які забруднення і в якій кількості затримуються на фільтрі, а також як можна підвищити ефективність цього процесу.

У контексті сучасних технологічних викликів та високих вимог до екологічності та ефективності двигунів, пошук шляхів вдосконалення системи фільтрації дизельного палива стає актуальним напрямом наукових досліджень. У цій роботі ми розглянемо основні аспекти системи фільтрації дизельного палива на прикладі двигунів Cummins ISF та YD25, зокрема, звернемо увагу на дослідження фільтруючого елемента.

# 1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

## 1.1 Загальна характеристика забруднення палива

Забруднення дизельного палива є актуальною проблемою для автомобільної промисловості, адже воно безпосередньо впливає на роботу двигунів, зокрема таких популярних як Cummins ISF та YD25. Паливо може забруднюватися на різних етапах: від виробництва, транспортування, зберігання до подачі до двигуна.

Основні види забруднень дизельного палива включають:

Механічні забруднення в дизельному паливі визначаються як тверді частки, які потрапляють в паливо на різних етапах його життєвого циклу – від добування, транспортування, зберігання до використання у двигуні.

Походження забруднень:

Добування: Під час видобутку нафти можуть потрапляти мінеральні частки, пісок та інші елементи, присутні в надрах.

Транспортування: Під час транспортування, особливо через трубопроводи, можуть змішуватися різні партії палива, що призводить до потрапляння часток корозії та інших домішок.

Зберігання: У великих ємностях або резервуарах, де паливо зберігається тривалий час, може відбуватися осідання твердих часток на дно.

Типи механічних забруднень:

Пісок і глина: Мікроскопічні частки, які можуть зашкодити точному обладнанню, такому як форсунки.

Металеві частки: Від корозії трубопроводів або іншого обладнання.

Вуглець: Частки, які утворюються в результаті неповного згоряння.

Вплив на двигун та систему живлення:

Забивання фільтрів: Механічні забруднення можуть швидко забивати паливні фільтри, що призводить до падіння тиску в системі і зниження продуктивності двигуна.

Пошкодження форсунок: Тверді частки можуть призвести до фізичного пошкодження форсунок, зменшуючи їхній ресурс роботи та ефективність.

Зниження ефективності згоряння: Присутність твердих часток може впливати на якість згоряння палива в циліндрах, знижуючи ефективність і підвищуючи викиди.

Методи боротьби з механічними забрудненнями:

Фільтрація: Використання якісних паливних фільтрів з високою ступенем відсіву.

Періодична заміна палива в резервуарах: Це допомагає зменшити кількість осіданого на дні резервуара піску та інших важких часток.

Регулярний технічний огляд та чистка системи: Перевірка на наявність забруднень та їх видалення.

Отже, механічні забруднення дизельного палива вимагають серйозного підходу та уваги при обслуговуванні, адже вони можуть суттєво впливати на роботу та ресурс двигуна.

Водяні забруднення в дизельному паливі представляють собою наявність води у різних формах, від дрібних молекул до крапель, що розподілені в паливі. Вода може потрапити в паливо на різних етапах його добування, транспортування та зберігання.

Походження забруднень:

Добування: Під час видобутку нафти вода може змішуватися з паливом, оскільки деякі родовища містять воду разом із нафтою.

Транспортування: Паливо може забирати вологу з повітря, особливо при транспортуванні морем або іншими водними шляхами.

Зберігання: Конденсація вологи з атмосферного повітря в резервуарах під час змін температури може призвести до утворення водяних крапель на стінках ємностей, які потім опускаються в паливо.

Форми водяних забруднень:

Розчинена вода: Молекули води розчинені в паливі на молекулярному рівні. Ця форма води найважче видаляється.

Емульгована вода: Вода в формі дрібних крапель, розподілена в паливі.

Вільна вода: Краплі води, які розділені від палива та збираються на дні резервуара.

Вплив на двигун та систему живлення:



**Корозія:** Вода може призвести до корозії компонентів системи паливоподачі, зокрема трубок, насосів та форсунок.

**Мікробний ріст:** У присутності води можуть розвиватися бактерії та грибки, що призводить до біологічних забруднень.

**Низька якість згоряння:** Вода знижує ефективність згоряння палива, збільшуючи викиди та знижуючи потужність двигуна.

**Методи боротьби з водяними забрудненнями:**

**Водовіддільники:** Використання спеціальних фільтрів або обладнання, що відділяють воду від палива.

**Періодична перевірка резервуарів:** Видалення вільної води з дна резервуарів.

**Ізоляція зберігаючих ємностей:** Запобігання конденсації вологи зовнішнього повітря.

Водяні забруднення в дизельному паливі можуть мати серйозні наслідки для роботи двигуна та системи паливоподачі. Тому важливо постійно контролювати якість палива та вживати заходів для запобігання потраплянню води в систему.

Хімічні забруднення в дизельному паливі включають ряд різних речовин, що потрапляють в паливо або утворюються в ньому через хімічні реакції. Вони можуть суттєво впливати на якість палива та його ефективність при згорянні.

**Походження забруднень:**

**Процес рафінування:** Недосконалості процесу рафінування можуть призвести до потрапляння різноманітних домішок в паливо.

**Додавання присадок:** Деякі присадки до палива або їх розклад можуть утворювати небажані хімічні сполуки.

**Взаємодія з матеріалами системи:** Паливо може реагувати з матеріалами паливної системи, що призводить до утворення хімічних з'єднань.

**Окислення:** Під впливом кисню паливо може окислюватися, що призводить до утворення смол і інших забруднюючих речовин.

**Типи хімічних забруднень:**

**Смоли та парафіни:** Утворюються під час окислення палива і можуть призвести до забивання фільтрів та інших компонентів системи.

Кислоти: Можуть утворюватися під час окислення або в результаті взаємодії палива з вологістю.

Метали: Наприклад, залізо, мідь або цинк, які можуть потрапити в паливо з обладнання або під час корозії компонентів системи.

Вплив на двигун та систему живлення:

Корозія: Кислоти та інші корозійно-активні речовини можуть пошкоджувати компоненти паливної системи.

Забивання фільтрів: Смоли, парафіни та інші великі молекули можуть забивати паливні фільтри.

Нестабільність палива: Деякі хімічні забруднення можуть змінювати фізико-хімічні властивості палива, що призводить до проблем з згорянням.

Методи боротьби з хімічними забрудненнями:

Стабілізатори: Додавання спеціальних присадок, які запобігають окисленню палива.

Очищення палива: Використання спеціальних фільтрів або методів рафінування для видалення хімічних забруднень.

Періодична перевірка якості: Аналіз палива на присутність хімічних забруднень, щоб вчасно вжити заходів.

Хімічні забруднення в дизельному паливі можуть мати негативний вплив на роботу двигуна, продуктивність та довговічність системи паливоподачі. Тому важливо систематично контролювати та очищати паливо від таких домішок. Для забезпечення надійної роботи двигуна необхідно ефективно фільтрувати дизельне паливо від цих забруднень. У центрі такої системи знаходиться фільтруючий елемент, який відіграє ключову роль у відсіванні забруднень. Вдосконалення та дослідження цього елемента можуть значно покращити якість очищення палива та забезпечити триваліший термін служби двигуна.

## **1.2 Види присадок, що поліпшують властивості дизельного палива**

Додавання присадок до дизельного палива є стандартною практикою в галузі, щоб вдосконалити ряд властивостей палива і забезпечити оптимальну

роботу дизельних двигунів. Ось декілька ключових видів присадок і їх функції.

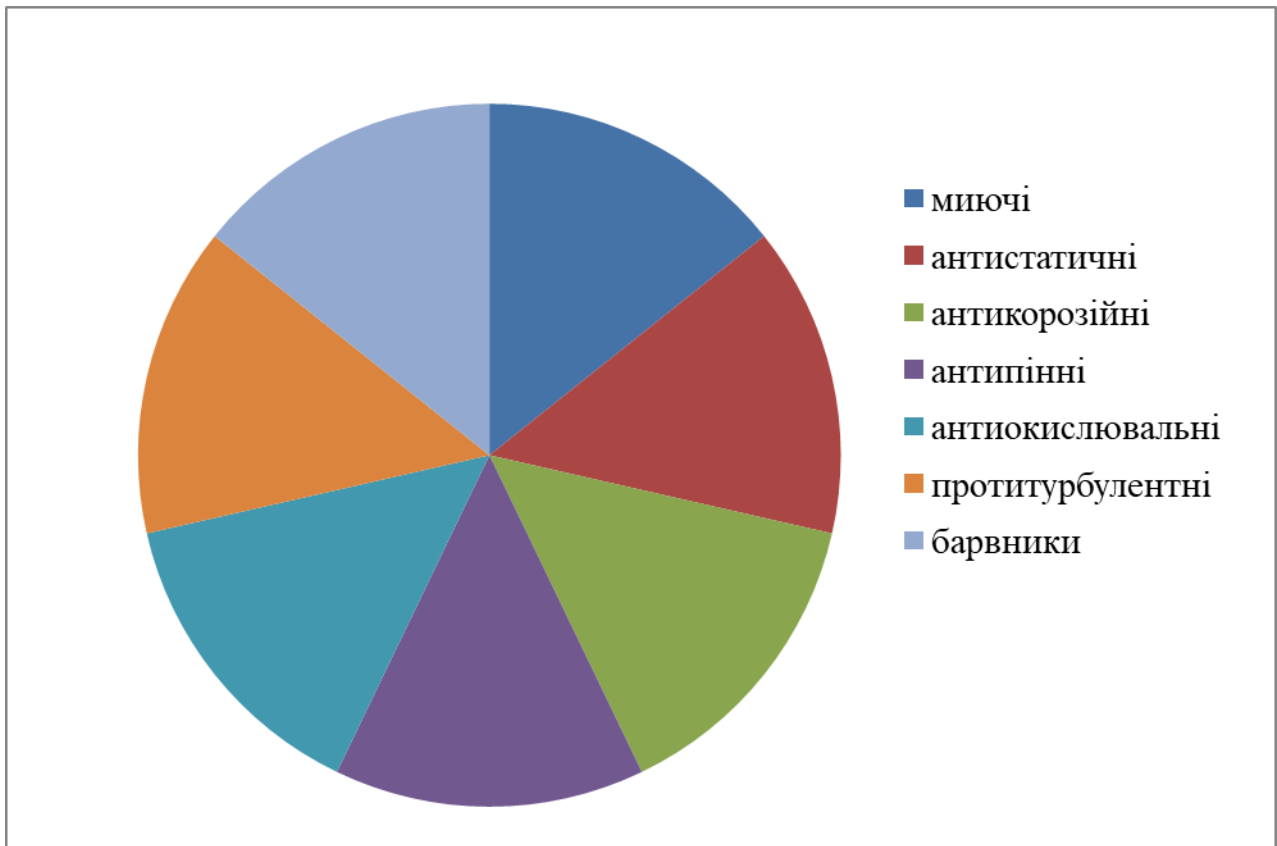


Рис. 1.1. Специфікація присадок для покращення якості дизельного палива.

**Противіокислювальні присадки:**

**Функція:** Запобігають окисленню палива, яке може призвести до утворення смол і осадів у системі паливоподачі.

**Переваги:** Збільшують термін придатності палива, зменшують можливість утворення осадів на деталях двигуна.

**Присадки проти забивання фільтра (депресанти парафіну):**

**Функція:** Запобігають відкладанню кристалів парафіну при низьких температурах.

**Переваги:** Забезпечують стабільну роботу двигуна в холодний період, попереджають забивання паливних фільтрів.

**Протикорозійні присадки:**

**Функція:** Захищають компоненти системи паливоподачі від корозії.

**Переваги:** Збільшують термін служби деталей двигуна, запобігають витокам палива через корозійні отвори.

Присадки для покращення згоряння:

Функція: Оптимізують процес згоряння палива в камері згоряння.

Переваги: Зменшують викиди шкідливих речовин, підвищують ефективність двигуна, можуть знижувати викид частки.

Детергентні присадки:

Функція: Запобігають утворенню осадів на деталях системи паливоподачі, таких як форсунки.

Переваги: Підтримують чистоту компонентів системи, забезпечують стабільне та ефективне згоряння палива.

Біоцидні присадки:

Функція: Запобігають росту мікроорганізмів у паливі, особливо у присутності води.

Переваги: Запобігають біологічному забрудненню палива, що може призвести до корозії та забивання фільтрів.

Антистатичні присадки:

Функція: Знижують статичний заряд, який може утворитися під час перекачування палива.

Переваги: Запобігають можливості виникнення іскори та пожежі.

Використання присадок до дизельного палива допомагає забезпечити надійну роботу двигунів, збільшує термін служби компонентів системи та оптимізує екологічні показники. Підбір правильних присадок залежить від конкретних умов експлуатації та потреб двигуна.

### **1.3 Вимоги дизельного палива**

Дизельне паливо використовується в широкому спектрі дизельних двигунів, які працюють в різних умовах та середовищах. Щоб забезпечити оптимальну роботу цих двигунів і знизити викиди забруднюючих речовин, дизельне паливо повинно відповідати ряду вимог. Ось основні вимоги, які пред'являються до дизельного палива:

Сучасні стандарти вимагають значного зниження вмісту сірки у дизельному паливі, що сприяє зменшенню викидів оксидів сірки. У багатьох

країнах допустимий вміст сірки не повинен перевищувати 10-15 ppm (частин на мільйон).

Важливий параметр, особливо для роботи в холодних умовах. Він показує, при якій мінімальній температурі паливо зберігає свої текучі властивості.

Це показник здатності палива до запалювання. Вище цетанове число вказує на кращі властивості запалювання палива, що сприяє ефективному згорянню і зниженню детонації.

Мінімальна температура, при якій паливо може спалахнути від джерела відкритого вогню. Це важливий параметр безпеки.

Паливо повинно бути вільним від води та механічних забруднень, щоб запобігти корозії та забиванню фільтрів.

Дизельне паливо повинно залишатися стабільним протягом тривалого періоду зберігання, не втрачаючи своїх ключових властивостей.

Вимоги до вмісту ароматичних вуглеводнів в паливі змінюються в залежності від регіональних стандартів, але зазвичай їх концентрацію намагаються знизити.

Ці параметри впливають на атомізацію палива в камері згорання і, відповідно, на ефективність згорання.

Дизельне паливо повинно бути сумісним з різними присадками, які додають для покращення його властивостей.

Паливо повинно відповідати екологічним стандартам, щоб знизити викиди забруднюючих речовин.

Дотримання цих вимог забезпечує надійність роботи дизельних двигунів, зниження експлуатаційних витрат та сприяє охороні навколишнього середовища.

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Технології та засоби для покращення якості палива в дизельних двигунах

Дизельний двигун внутрішнього згоряння має паливну систему, яка складається з ряду ключових вузлів і механізмів, зображених на рисунку 2.1. Ці компоненти забезпечують ефективне живлення і роботу двигуна.

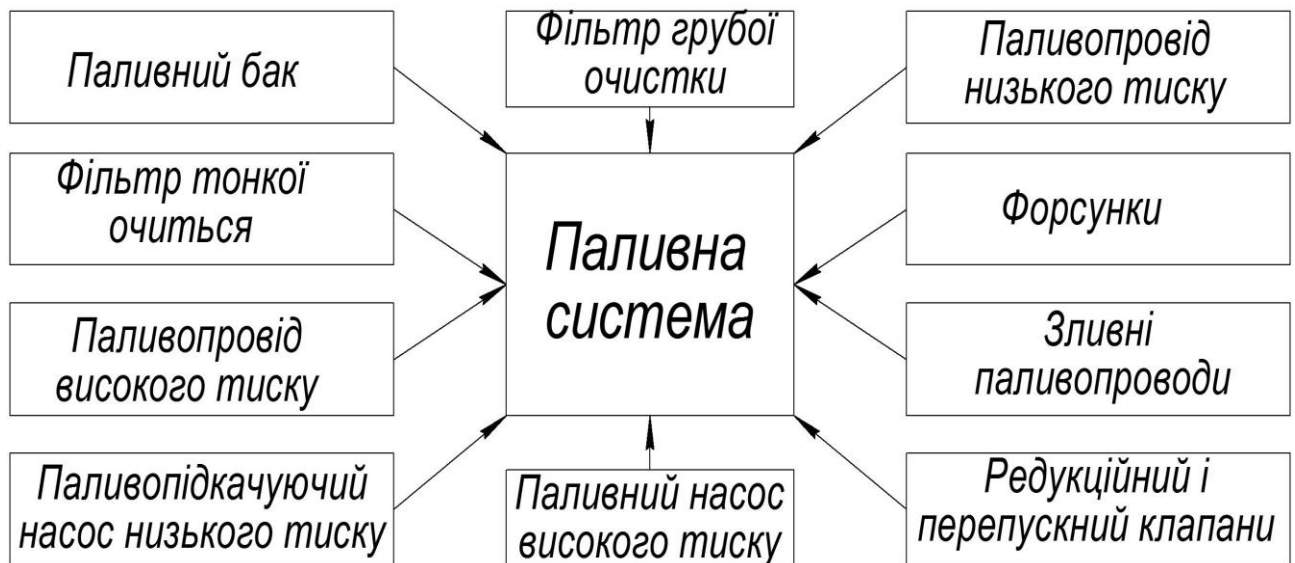


Рис. 2.1. Блок-схема паливної системи дизельного двигуна внутрішнього згоряння

Для забезпечення якості палива в дизельних моторах використовується складний багатоступенчастий процес очищення, деталі якого можна переглянути на рисунку 2.2.

Дизайн паливної системи та умови користування автомобілем впливають на кількість і розміщення фільтрів. У дизельних моторах таких як «Massey Ferguson 205» та «Tatra 815», фільтри зазвичай розташовані послідовно, причому не мають додаткових фільтрів у горловині бака та крану для зливу. Це відображає вищі стандарти чистоти палива та специфіку його транспортування та зберігання.

Для багатьох двигунів, як зарубіжних, так і вітчизняних, типовим є таке розташування компонентів паливної системи: фільтр для грубої очистки розташовано перед насосом низького тиску, а фільтр для докладної очистки - після нього. Ця конфігурація допомагає оптимізувати процес очищення палива.

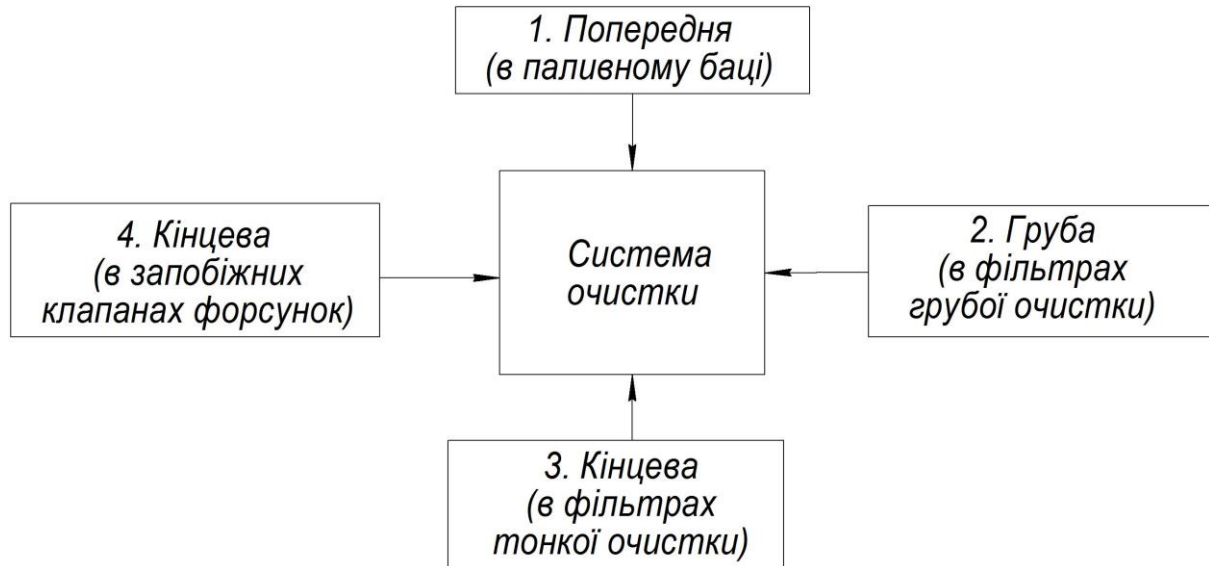


Рис. 2.2. Комплексний процес очищення палива

Методи фільтрації можуть бути класифіковані за механізмом дії на два основні типи:

Техніки, що використовують силові поля (зокрема магнітне, гравітаційне, ультразвукове та інші або їх комбіновані варіанти);

Методи, засновані на використанні пористих матеріалів для відсіву забруднень.

Ці два підходи допомагають оптимізувати процес фільтрації залежно від конкретних потреб і умов застосування.

Метод відстоювання палива в гравітаційному полі, хоча й простий та економічний, має певний недолік - потребу в тривалому часі для процесу. Для оптимізації цього методу на автомобілях використовують гравітаційні відстійники, щоб запобігти змішуванню палива і осаду, а в паливних баках створюють спеціальні зони для аккумуляції та виведення осаду.

Магнітні поля ефективні для видалення частинок із феромагнітними характеристиками. Однак, через обмеженість цього методу, його часто використовують у комбінації з іншими техніками очищення для досягнення оптимальної якості палива.

Відцентрові пристрої для очищення палива включають центрифуги, де паливо обертається разом із ротором, та гідроциклони, у яких створюється обертальний потік самого палива. Кожен з цих типів має свої особливості та переваги в залежності від конкретного застосування.

У мобільних дизельних транспортних системах рідко використовують гідроциклони, тому що їх ефективна робота потребує створення високого тиску на вході. Основна причина цього - значний гідравлічний опір, який виникає при драматичній зміні напрямку потоку рідини, зокрема на  $180^\circ$ .

Центрифуги класифікують за швидкістю обертання на низько- та високооборотні, а також за типом шару - на товстошарові та тонкошарові. В залежності від системи приводу, вони можуть використовувати пневматику, газ, електрику, механіку або гідравліку. Кожний тип має свої особливості, які ілюстровані на рисунках 2.3 та 2.4.

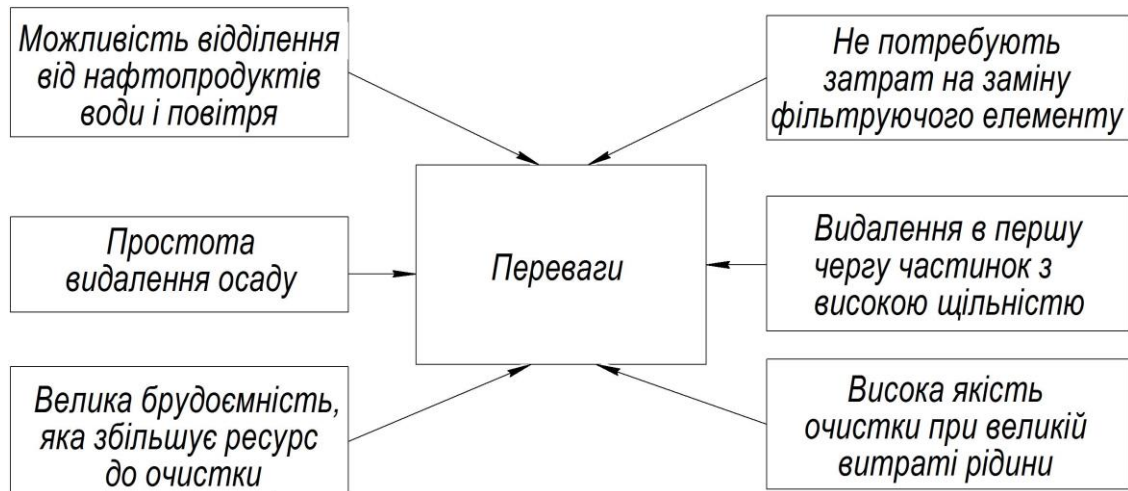


Рис. 2.3. Переваги центрифуг

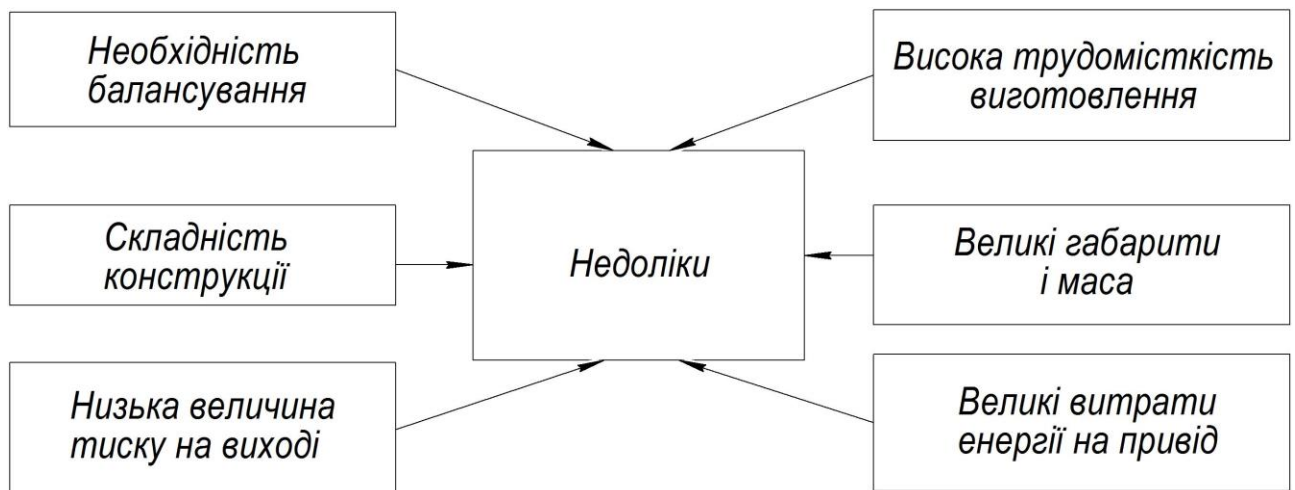


Рис. 2.4. Недоліки центрифуг

Стандарт ДСТУ 3868-99 встановлює вимоги до очищення дизельного палива. Згідно з цим стандартом, до систем очищення відносяться пористі, щільні та сітчасті фільтраційні елементи, кожен з яких має свої специфікації та області застосування



Завдяки сучасним методам та обладнанню для очищення палива, які розроблені відповідно до стандартів, можливо забезпечити якісне паливо на всіх стадіях: від виробництва до експлуатації транспортних засобів. Це в свою чергу дозволяє дизельним двигунам досягати оптимальних економічних, технічних та екологічних показників.

## 2.2 Техніки вимірювання дієздатності фільтраційних компонентів та системи моніторингу їх насичення забрудненнями

Техніки вимірювання довговічності фільтрів покладаються на комбіноване використання розрахункових та експериментальних методів. Розглянемо метод оцінки ресурсу фільтра на основі принципу фільтрації Дарсі. Цей метод є відповідний для циліндричного пористого фільтруючого елемента (мембрани) і враховує поступове збільшення щільності фільтруючого матеріалу від країв до середини, а також зниження його пропускної здатності за специфічним гіперболічним принципом.

$$\Delta P_0 = (P_H - P_B) = \frac{V_{vp}}{2\pi K_0 H} \left\{ n_B \ln \bar{d} - (n_B - 1) \left[ 1 - \frac{\ln \bar{d}}{(\bar{d} - 1)} \right] \right\} \quad (2.1)$$

Припускаючи, що ефективність видалення забруднень становить приблизно 95%, можна вивести наступний вираз для характеристики процесу фільтрації палива за допомогою фільтруючого елемента:

$$d_{0.95} = \frac{5.134 \sqrt{K_0}}{\sqrt{n_B [1 - (1 - \Psi_0) n_B]}} \quad (1.2)$$

Відштовхуючись від того, що пористий фільтр проходить через етапи, де його пористість поступово засмічується, можна моделювати життєвий цикл фільтра. Ця модель дозволяє встановити граничний строк служби ( $\tau$ ) фільтруючого елемента, кореляцією між початковим  $\Delta P_0$  та кінцевим  $\Delta P$  перепадом тиску через фільтр:

$$\Delta P = \frac{\Delta P_0}{(1 - m\tau)^2} \quad (2.3)$$

$$m = \frac{4\lambda\phi c_0 V}{\Psi_{cp} \pi (d_H^2 - d_B^2) H} \quad (2.4)$$

$$\text{де } \Psi_{cp} = 0,5(\Psi_0 + (1 - (1 - \Psi_0)n_B)) \quad (2.5)$$

Важливо пам'ятати, що при оцінці ресурсу фільтруючих елементів для агротехніки частіше використовують показник  $\tau$  у мото - годинах, в той час як для автомобільної техніки цей показник вимірюється у кілометрах пробігу.

В очевидному контексті експлуатації автотранспорту глибокий теоретичний аналіз і експериментальна перевірка зазначених параметрів може бути непростим завданням, яке потребує значних знань і спеціалізованого обладнання. Це спонукає спеціалістів шукати більш доступні методи для визначення стану фільтруючого елемента прямо під час експлуатації двигуна. Це може допомогти прийняти рішення про заміну фільтра чи продовження його використання, особливо якщо паливо, яке використовується, має низький рівень забрудненості.

Розглянемо передові технологічні підходи в цьому секторі. Однією з відомих інновацій є система моніторингу стану фільтра. Ця система включає в себе манометр для вимірювання тиску, корпус із вбудованим фільтруючим елементом та зворотний клапан. Особливість даної конструкції полягає в додатковому гідроклапані і дросельному клапані, які інтегровані в основний потік системи. Манометр з'єднано з цим дроселем для точного моніторингу (див. рис. 2.5).

Тим не менш, цей підхід має певні обмеження. Він не передбачає механізму оповіщення водія або обслуговуючого персоналу про потенційні пошкодження чи порушення герметичності фільтруючого елемента. Існує альтернативна система сповіщення про засмічення фільтра в двигуні внутрішнього згорання. Ця система включає манометричний датчик, вбудований у корпус і підключений до входу та виходу фільтра. Щоб уникнути спотворення даних через зміну характеристик палива, система включає додатковий сенсорний елемент і гідравлічний опір після фільтра. Цей гідравлічний опір має властивості, що відповідають характеристикам фільтра, і його входи та виходи підключені до додаткового сенсора (див. рис. 2.6).

Даний підхід, хоча й має свої переваги, все ще залишає прогалину в контролі стану фільтру. При дефектах герметичності фільтруючого елемента система не виявляє зміни тиску відповідним чином, оскільки збільшення тиску після фільтра призводить до зменшення дії на мембрану основного датчика. Це

робить мембрану менш чутливою до змін, і вона може не відгукнутися на розгерметизацію. Таким чином, потрібно розробити вдосконалену систему контролю, що буде ефективно відстежувати такі неполадки.

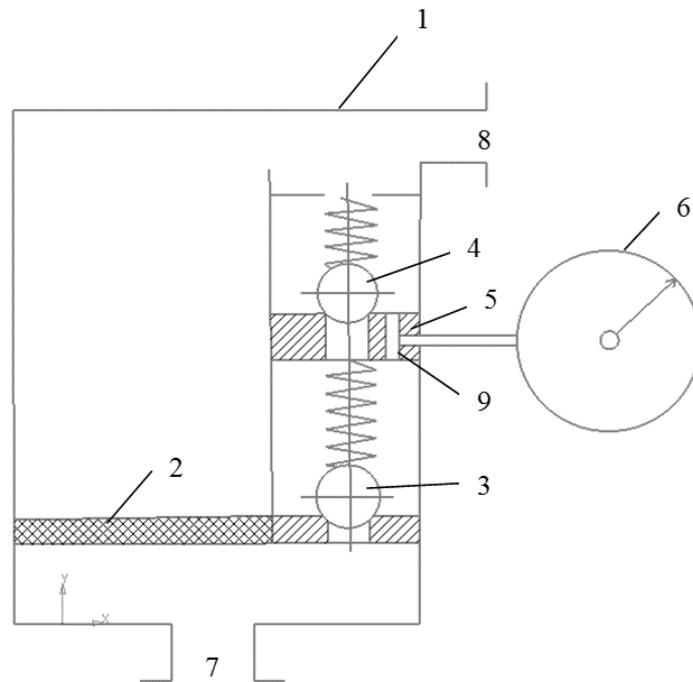


Рис. 2.5. Індикатор ступеня забруднення фільтра:

1 - корпус; 2 - фільтруючий елемент; 3 - зворотний гідроклапан; 4 - додатковий зворотний гідроклапан; 5 - перегородка; 6 - манометр; 7 - вхідний отвір; 8 - вихідний отвір; 9 - канал.

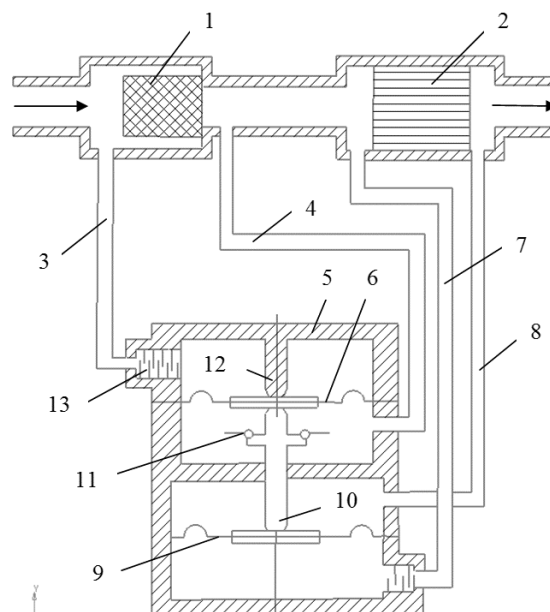


Рис. 2.6. Сенсор забруднення фільтра в системі живлення:

1 - корпус; 2 - фільтруючий елемент; 3 - зворотний гідроклапан; 4 - додатковий зворотний гідроклапан; 5 - перегородка; 6 - манометр; 7 - вхідний отвір; 8 - вихідний отвір; 9 - канал.

Інноваційний моніторинговий пристрій для стеження за станом фільтра системи живлення двигуна внутрішнього згоряння має декілька обмежень. По-перше, пристрій вимагає безперервного живлення, оскільки він підключений до електронної системи управління двигуном. Це може додати додаткові витрати на енергію та можливі перебої в роботі при відмові джерела живлення.

По-друге, індикатори забруднення фіксуються на постійній основі в системі живлення, що може обмежити їхню гнучкість та адаптивність до змінних умов роботи.

Окрім того, система сигналізації здатна ідентифікувати лише рівень забруднення, а не якість фільтрації. Це означає, що деякі потенційні проблеми можуть бути непоміченими, поки вони не вплинуть на роботу двигуна.

Враховуючи ці обмеження, необхідно розробляти нові підходи або вдосконалювати існуючі системи моніторингу для більш точного і своєчасного визначення стану фільтрів, щоб гарантувати оптимальний термін служби та ефективність фільтрації.

### **2.3 Метод аналогій оцінювання стану фільтруючого елементу фільтру тонкої очистки**

Аналіз фільтрації палива в системі подачі є важливим етапом забезпечення оптимальної роботи двигуна внутрішнього згоряння. Коливання палива можуть впливати на стабільність роботи двигуна, тому важливо розуміти механізми цих пульсацій.

Додатково враховуючи введені припущення, можемо розглянути наступні моменти:

**Гармонійні Коливання:** Якщо пульсація палива дійсно змінюється за гармонійним законом, це означає, що її можна представити у вигляді синусоїди або косинусоїди. Це спрощує аналіз пульсацій і дозволяє застосовувати стандартні математичні методи для їх вивчення.

**Відсутність Залежності від Забрудненості:** Якщо пульсація палива не залежить від ступеня забруднення фільтру, це значить, що процес фільтрації може бути стабільним незалежно від стану фільтру. Однак це також може

означати, що забруднений фільтр не обов'язково буде викликати нестабільність в роботі двигуна.

**Прямопропорційна Залежність Від Тиску:** Ця залежність підкреслює важливість стабільної роботи паливного насоса ПНВТ, оскільки від нього залежить тиск в системі.

**Фільтр, заповнений паливом:** Це припущення важливе для уникнення введення повітряних бульбашок в систему, що може вплинути на роботу двигуна.

На основі цих припущень можна створити математичну модель для аналізу фільтрації палива в системі подачі, яка допоможе краще зрозуміти фактори, що впливають на ефективність і стабільність цього процесу.

Виходячи з цього, форма імпульсу тиску палива, сформованого за допомогою форсунок, відіграє важливу роль у роботі системи подачі палива. Прямокутний імпульс тиску, в якому швидкі підйоми та спади відображають дію форсунок, може бути представлений таким чином:

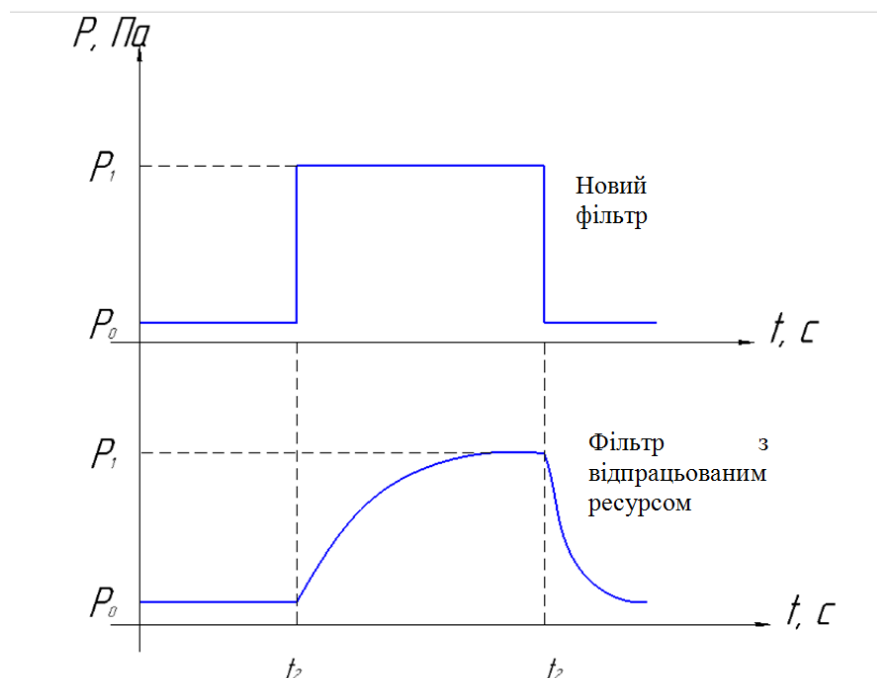


Рис. 2.5. Коливання імпульса тиску палива, забрудненого фільтра та розтягнутої мембрани

**Властивості Прямокутного Імпульсу:** Відзначимо, що ідеальний прямокутний імпульс має різке зростання та падіння, що відображає миттєве відкриття та закриття форсунки.

Вплив забруднення на форму імпульсу: З появою забруднень у фільтрі, гострота прямокутного імпульсу може сплaskатися, і, як результат, граничний перехід імпульсу стане менш різким.

Зі збільшенням забрудненості фільтра, час реакції мембрани фільтруючого елемента збільшується. Це може бути викликано зменшенням пористості та збільшенням опору при проходженні палива через забруднений фільтр.

Враховуючи ці особливості, важливо постійно контролювати стан фільтру палива. Завалені фронти можуть свідчити про забруднення фільтру та потребу його заміни. Також це може вказувати на необхідність корекції параметрів системи подачі палива, аби забезпечити оптимальну роботу двигуна.

Вивчаючи механіку руху мембрани в середовищі палива при дії на неї змінної сили від пульсацій тиску, можна розглянути декілька ключових факторів:

Матеріал мембрани, її товщина, модуль пружності та інші характеристики визначатимуть, наскільки швидко вона може реагувати на зовнішні зміни.

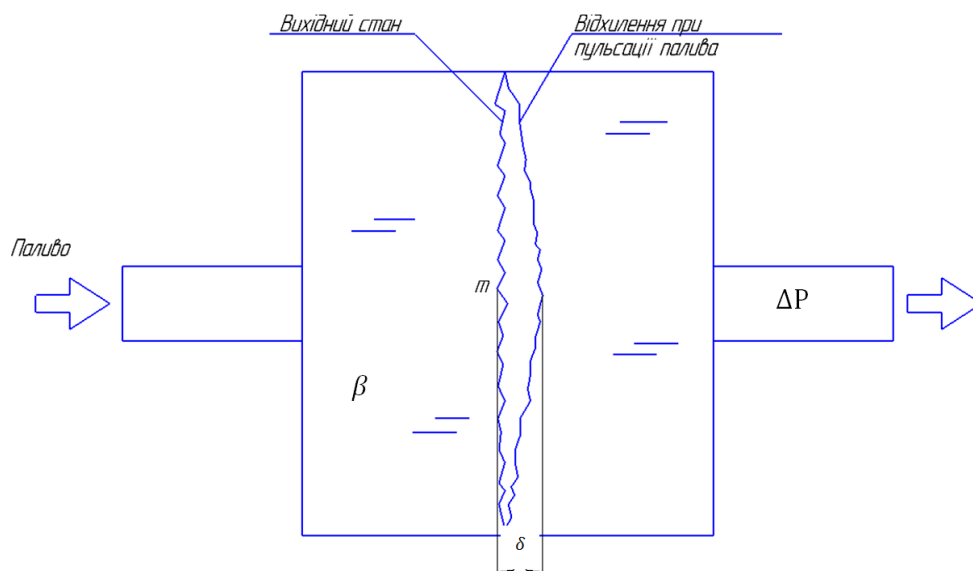


Рис. 2.6. Вплив пульсуючого тиску на мембрану

Частота і амплітуда пульсацій в паливопроводі, що визначаються кількістю форсунок і оборотами двигуна, будуть впливати на швидкість зміни положення мембрани.

В'язкість палива може змінювати швидкість руху мембрани, оскільки більш в'язке паливо буде утруднювати її рух.

Для визначення максимальної швидкості зміни положення мембрани можна скористатися рівнянням руху мембрани, яке враховує всі ці фактори.

Для отримання конкретних значень потрібно знати параметри системи, включаючи характеристики мембрани, палива та динаміку пульсацій. Рівняння може бути вирішене чисельно або аналітично, в залежності від вхідних даних та задачі.

Дія пульсуючого тиску на мембрану визначається рядом параметрів. Пульсація тиску  $\Delta P$  корелює з швидкістю обертання двигуна, виміряною через частоту обертання колінчастого вала  $\omega$ , та з кількістю використовуваних форсунок  $n$ .

Сила  $F$ , яка взаємодіє з мембраною, залежить від величини пульсації тиску  $\Delta P$ . Чим більший тиск, тим сильніше мембрана відчуває його вплив.

Глибина відхилення мембрани  $\delta$  не лише корелює з пульсацією тиску  $\Delta P$ , але й з її механічними властивостями, такими як жорсткість кріплення  $k$ . Так, мембрана з більш жорстким кріпленням може менше відхилятися при однаковому зовнішньому тиску.

Зі збільшенням маси мембрани  $m$ , її інерційність зростає, що може збільшити час реагування на дію зовнішнього тиску. Тому легша мембрана може швидше реагувати на зміни тиску.

Таким чином, розуміння цих залежностей важливе при проектуванні та оптимізації систем, що використовують мембрани, для забезпечення їх надійності та ефективності.

Дослідження динаміки мембрани в системі фільтрації є важливим аспектом під час її проектування. Поглянемо на розширений опис системи:

Уявляючи мембрану як об'єкт з певною масою  $m$ , що плаває в рідині з визначеним коефіцієнтом в'язкості  $\beta$ , можна уявити, що її рух буде впливати на в'язкі опори рідини. Це може знизити швидкість руху мембрани або змінити її реакцію на зовнішні сили.

Коефіцієнт жорсткості  $k$  не просто визначає силу, яка потрібна для деформації мембрани, але також інформує наскільки швидко вона повертається до своєї початкової форми після видалення сили.

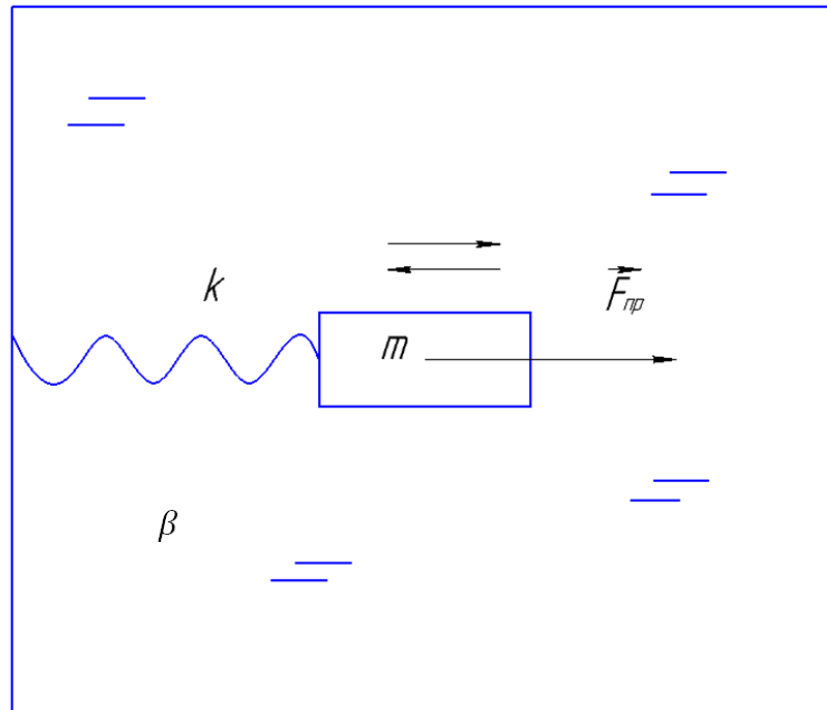


Рис. 2.7. Аналіз механічної властивості фільтруючого елемента, можна створити його еквівалентну електричну схему

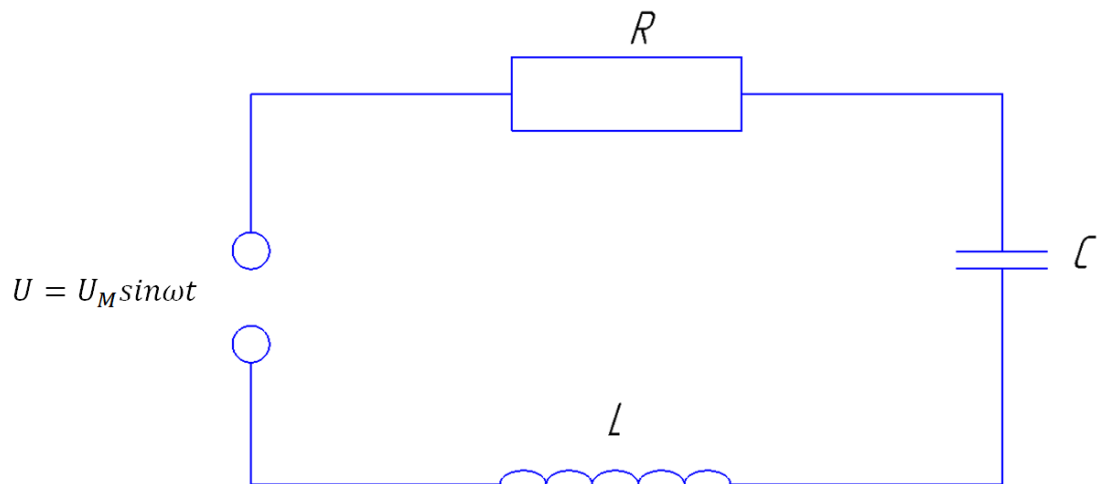


Рис. 2.8. Контур коливальний

При кожній пульсації тиску в паливопроводі виникає сила  $F$ , яка взаємодіє з мембраною. Залежно від величини цієї сили, мембрана може відхилятися на різні відстані від свого нормального положення.

Враховуючи вищевказані параметри, реакція мембрани на зміни у системі може бути представлена рівнянням руху, яке включає масу, жорсткість та



в'язкість. Таке рівняння допоможе визначити динамічну поведінку мембрани під різними умовами роботи.

Врахування цих аспектів важливе для оптимізації проекту та забезпечення надійності системи фільтрації.

Використовуючи концепції електротехніки для моделювання механічних систем, можна створити аналогічну електричну схему.

Переформулюємо в контексті вивчення електричного контуру:

В аналізі резонансного кіла змінного струму можна використовувати аналог закону Ома. Для простоти розглянемо ділянку кола з резистором  $R$ , конденсатором  $C$  та індуктивністю  $L$ , що знаходяться під дією джерела змінної напруги.

$$\frac{U_M}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (2.6)$$

Розглянемо порівняльний аналіз між механічною та електричною схемами. Для цього встановимо відповідності між основними характеристиками обох схем:

$$F \rightarrow U, \quad (2.7)$$

$$m \rightarrow L, \quad (2.8)$$

$$k \rightarrow \frac{1}{C}, \quad (2.9)$$

$$\beta \rightarrow R, \quad (2.10)$$

Тоді

$$\vartheta \sim \frac{F}{\sqrt{\beta^2 + \left(\omega m \frac{k}{\omega}\right)^2}}, \quad (2.11)$$

Для того, щоб отримати коректну інформацію про зміну коефіцієнта пружності (жорсткості) кріплення мембрани та її масу, необхідно здійснити порівняльні вимірювання. Можна провести вимірювання на новому фільтрі та порівняти результати з фільтром, що вже був у використанні.

В'язкість палива, зазвичай, вказана в технічному паспорті продукції, проте її також можна перевірити експериментальним методом.

Для визначення коефіцієнта пружності (жорсткості)  $k$  рекомендується використовувати простий прилад для вимірювання. Цей прилад дозволить

визначити силу пружності, базуючись на зміщенні пружини під дією навантаження. Такий метод дасть змогу отримати достовірні дані про стан фільтра.

$$F_{\text{пр}} = -k(\delta_2 - \delta_1), \quad (2.12)$$

Використовуючи графічний метод, можна розрахувати коефіцієнт  $k$ . Вимірювання проводяться за допомогою графіка залежності, де тангенс кута нахилу кривої є ключовим показником. Для цього потрібно обчислити цей тангенс як для нового фільтра, так і для того, що служив певний час.

На основі проведеного експерименту з вимірювання коефіцієнта пружності мембрани (див. рис. 2.9) було отримано результати, які представлені в таблицях 2.1 - 2.3. Ці результати допоможуть краще зрозуміти динаміку змін фізичних характеристик мембрани в процесі її експлуатації.



Рис. 2.9. Обладнання для оцінки еластичності мембрани в пристроях фільтрації: 1 - мікроскоп; 2 - мембрана фільтра, закріплена на столі мікроскопа; 3 - динамометр

Таблиця 2.1. Характеристики еластичності мембрани неексплуатованого фільтра.

Номер випр.	Деформуюча сила (Н)	Положення покажчика	Абсолютна деформація (м)	Коефіцієнт пружності (Н / м)
1	0	4,8	0,000000000	
2	9,8	5,1	0,000057692	169866,667
3	19,6	5,4	0,000115385	169866,667
4	29,4	5,6	0,000153846	191100,000
5	39,2	5,9	0,000211538	185309,091
6	49	6,1	0,000250000	196000,000
			Середнє арифметичне	182428,485
			Коефіцієнт Стьюдента (N = 5, P = 0,9)	2,1
			Абсолютна статична похибка	11340,755
			Відносна погрішність	6,217%

У виведеному рівнянні (2.6) пряма підстановка механічних характеристик на їхні електричні аналоги за формулами (2.12) не є прямолінійною. Втім, можливо визначення відносних відхилень цих параметрів у межах встановлених діапазонів. Наприклад, виходячи з базового (початкового) значення як за 100%, можемо аналізувати зміни у величинах у відсотковому відношенні до базового показника.

Початкові дані, на яких будемо базуватися, виглядають наступним чином:

Ми розглядаємо паливний насос Denso HP3, код 2940000370, обладнаний додатковим паливopідкачуючим насосом Feed pump (див. рис. 2.11). Він забезпечує частоту обертання в 1000 об/хв (або приблизно 17 об/с), перекачуючи  $245 \pm 60 \text{ см}^3$  палива за хвилину.

Таблиця 2.2. Характеристики еластичності мембрани фільтра після експлуатації протягом 10 тис. км.

Номер випр..	Деформуюча сила (Н)	Положення показника	Абсолютна деформація (м)	Коефіцієнт пружності (Н / м)
1	0	6	0,000000000	
2	9,8	6,4	0,000076923	127400,000
3	19,6	6,7	0,000134615	145600,000
4	29,4	7,1	0,000211538	138981,818
5	39,2	7,4	0,000269231	145600,000
6	49	7,7	0,000326923	149882,353
			Середнє арифметичне	141492,834
			N = 5, P = 0,9	2,1
			Абсолютна статична похибка	8254,828
			Відносна погрішність	5,834%

Дизельне паливо має такі характеристики кінематичної в'язкості:

Літнє: 3-6 мм<sup>2</sup>/с.

Зимове: 1,8-5 мм<sup>2</sup>/с.

Арктичне: 1,5-4 мм<sup>2</sup>/с.

Перепад тиску у паливопроводі становить від 5000 до 12000 Н/м<sup>2</sup>.

Діаметр паливопровода має площу перерізу 38,5 x 10<sup>-6</sup> м<sup>2</sup>.

Процес вагового контролю фільтрів - нового, а також після 10 тис. км і 20 тис. км пройденого шляху - ілюструється на рисунках 2.12 до 2.15.

Отже, розглядаючи параметри системи:

Частота коливань рідини в паливному трубопроводі відповідає швидкості вращения валу підкачувального насоса, яка становить 1000 об/хв (або приблизно 17 об/с).

Таблиця 2.3 - Параметри еластичності мембрани встановленого фільтра після експлуатації на відстань 20 тис. км.

Номер випр..	Деформуюча сила (Н)	Положення покажчика	Абсолютна деформація (м)	Коефіцієнт пружності (Н / м)
1	0	6	0,000000000	
2	9.8	6.5	0,000096154	101920,000
3	19.6	6.9	0,000173077	113244,444
4	29.4	7.3	0,000250000	117600,000
5	32.9	7.7	0,000326923	119905,882
6	49	8.1	0,000403846	121333,333
			Середнє арифметичне	114800,732
			Коефіцієнт Стьюдента (N = 5, P = 0,9)	2.1
			Абсолютна статична похибка	7348,629
			Відносна погрішність	6,401%

На діаграмі 2.7 відображено динаміку коефіцієнта еластичності мембрани фільтра, враховуючи накопичений пробіг.

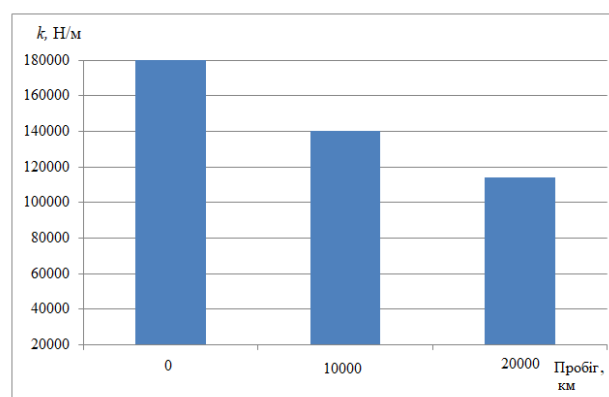


Рис. 2.10. Динаміка зміни еластичних властивостей мембрани фільтра залежно від накопиченого пробігу.



Рис. 2.11. Підкачуючий паливний насос Feed pump.



Рис. 2.12. Вага свіжого фільтра після виробництва



Рис. 2.13. Вага фільтра після заправки паливом та наступного висушування

Вага нового фільтра після наповнення його паливом та додаткової просушки визначена як  $m_0=0,124$  кг. Для фільтра після 10000 км експлуатації вона становить  $m_{10}=0,127$  кг, а після 20000 км -  $m_{20}=0,173$  кг.

Жорсткість нового фільтра  $k_0$  виміряна у 182428 Н/м. Після 10000 км пробігу  $k_{10}$  досягає 141492 Н/м, а після 20000 км -  $k_{20}$  збільшилася до 1144800 Н/м.

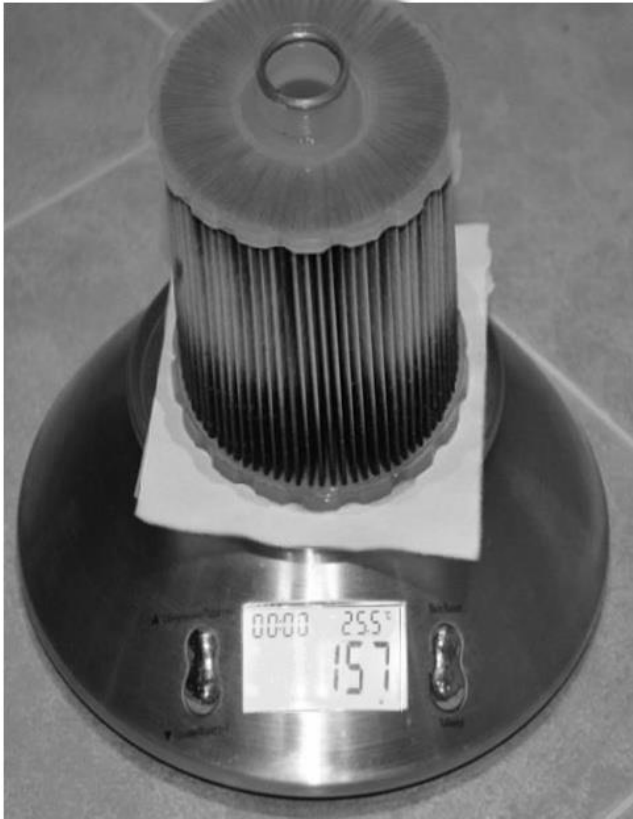


Рис. 2.14. Вага фільтра після експлуатації на відстань 10 тис. км.



Рис. 2.15. Вага фільтра після використання на протязі 20 000 км

Середня в'язкість літнього палива  $\beta_{\text{л}}$  визначена на рівні  $[[4,5 \cdot 10]]^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , зимового палива  $\beta_{\text{з}}$  дорівнює  $3,4 \cdot [[10]]^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , а для арктичного палива  $\beta_{\text{а}}$  встановлена у  $2,75 \cdot [[10]]^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Сила, яка впливає на мембрану при створенні вакууму, дорівнює  $F = P_{\text{ср}} S$ , що при перерахунках дає приблизний результат в 0,33 Н.

Використовуючи наведені вище параметри та вносячи їх у вираз (2.6) з урахуванням відносин (2.12), з допомогою програми MSExcel 2007 року було проведено аналіз зміни динамічних властивостей мембрани. Відзначено, що швидкість реагування мембрани корелює з характеристиками подачі палива і ступенем її забруднення.

Враховуючи надані вхідні дані, можемо відзначити, що динамічні характеристики мембрани значною мірою залежать від стану її фільтруючого елемента. Особливо істотний вплив має рівень засміченості та ступінь деформації мембрани. Аналізуючи наведені дані, можемо визначити, що тенденція зміни швидкості відгуку мембрани на протязі часу експлуатації є майже прямолінійною, як це відображено на графіку 2.16.

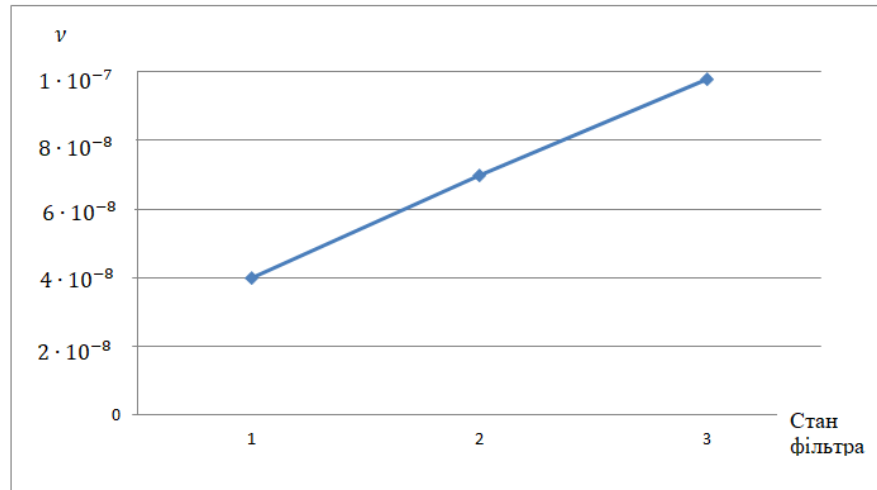


Рис. 2.16. Динаміка руху фільтруючого компонента (мембрани) на фоні змін таких параметрів як  $k$ ,  $\omega$ ,  $m$ ,  $\beta$ ,  $F$  протягом часу експлуатації.

#### 2.4 Аналіз тривалості служби фільтра тонкої очистки на основі пробігу автомобіля

Під час роботи фільтруючих систем, пори фільтру поступово забиваються, що знижує їх ефективність. Ресурс таких елементів можна оцінювати за різницею між початковим і кінцевим розрідженнями - від  $\Delta P_0$  до  $\Delta P_k$  протягом часу  $\tau_{\text{фе}}$ . Цей процес, де пори фільтра поступово закупорюються, може бути представлений конкретною формулою або залежністю.

$$\Delta P_k = \frac{\Delta P_0}{(1 - m_q \tau_{\text{фе}})}; \eta = \frac{G_\phi}{G_0} = \frac{G_\phi}{V_H \tau_{\text{фе}} c_0 \rho_T}; m_q = \frac{\lambda_q \eta c_0 V_H \rho_T}{Q_\phi \Psi_{\text{ср}} \rho_3}, \quad (2.13)$$

Аналізуючи даний рівняння, можна вивести відношення для визначення тривалості служби фільтруючого елемента на основі початкових та кінцевих параметрів.

$$\tau_{\text{фе}} = \frac{1}{m_q} \left[ 1 - \left( \frac{\Delta P_k}{\Delta P_0} \right)^{-0.5} \right] \quad (2.14)$$

На основі наданих формул і дослідницьких даних ми можемо спростити оцінювання стану фільтруючого елемента. Оскільки фактори, такі як  $\Delta P_k$ ,  $\Delta P_0$ , та  $\tau_{\text{фе}}$ , мають значущий вплив на функціонування фільтра, важливо коректно визначити їх. Щоб отримати точні значення розрідження, було застосовано високоточний калібратор тиску Метран (див. рис. 2.18). Цей датчик розташовувався в системі живлення перед паливним насосом високого тиску



Denso HP3, дозволяючи нам точно вимірювати розрідження в паливопроводі з встановленим фільтром тонкого очищення. Таким чином, використання таких високоточних приладів може значно спростити та покращити процес оцінки стану фільтра.



Рис. 2.18. Використовуючи калібратор тиску Метран, було проведено вимірювання розрідження в паливопроводі системи Common Rail. Даний інструмент забезпечує високу точність даних, що дозволяє отримати надійну інформацію про стан розрідження в системі.

На рис. 2.19-2.20 представлені графіки, що відображають зміни розрідження в паливопроводі залежно від пробігу автомобіля, отримані на основі результатів вимірювань.

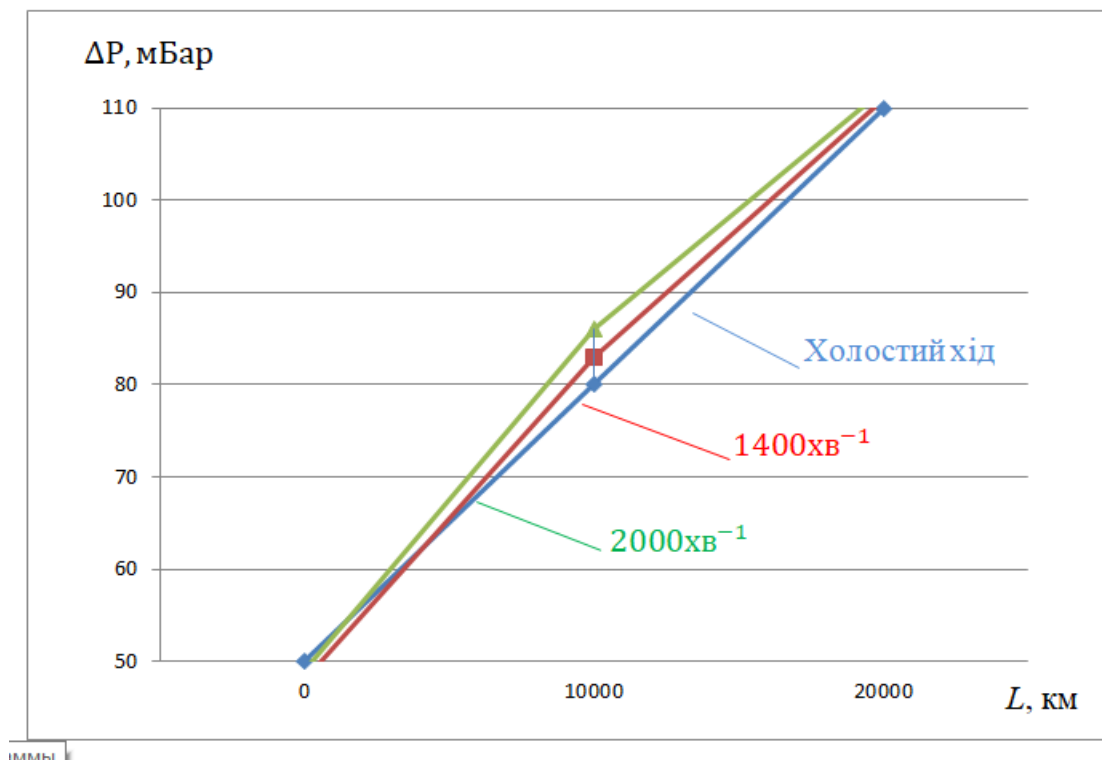


Рис. 2.19. Графік показує взаємозв'язок між розрідженням  $\Delta P$  у паливопроводі та пробігом  $L$  автомобіля.

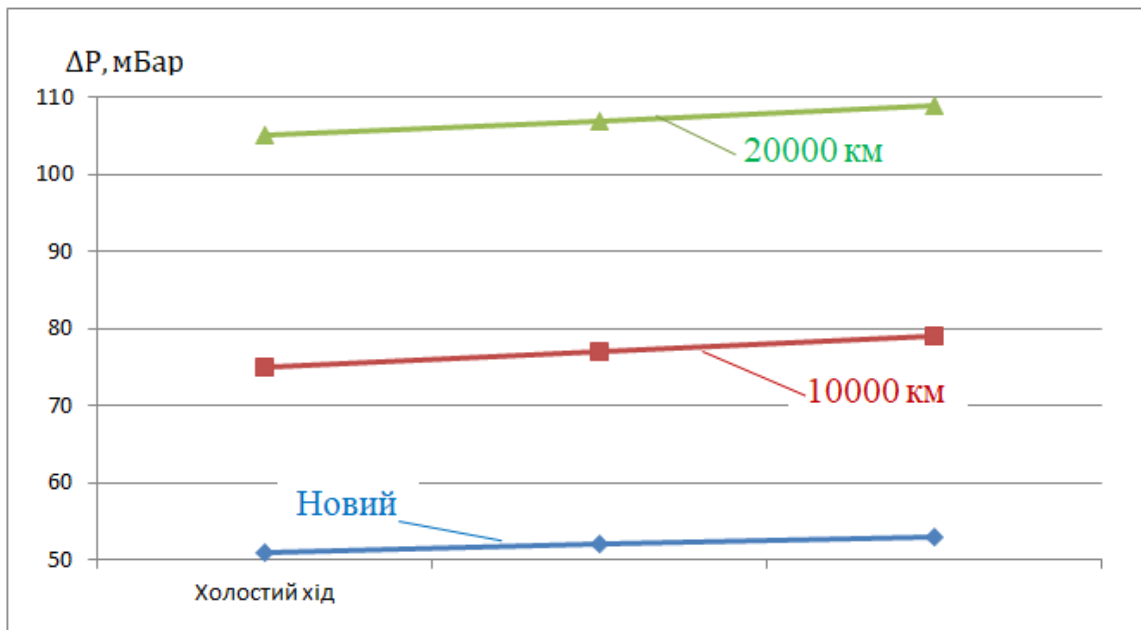


Рис. 2.20. Графік відображає зміну розрідження  $\Delta P$  у паливопроводі в залежності від частоти обертання двигуна та стану фільтрів з різними пробігами.

Функціональні зв'язки, представлені на рисунку 2.19, можна виразити за допомогою таких математичних виразів:

$$\text{- Для холостого ходу } \Delta P = 8.4 \cdot 10^{-8} L^2 + 1.7 \cdot 10^{-3} L + 50.5; \quad (2.15)$$

$$\text{- При } 1400 \text{ хв}^{-1} \Delta P = 7.2 \cdot 10^{-8} L^2 + 1.935 \cdot 10^{-3} L + 51.5; \quad (2.16)$$

$$\text{- При } 2000 \text{ хв}^{-1} \Delta P = 6.65 \cdot 10^{-8} L^2 + 2.03 \cdot 10^{-3} L + 52, \quad (2.17)$$

Враховуючи точність апроксимації графіків, яка становить не менше 0,99, можна визначити, що рівняння (2.15) - (2.16) надають можливість адекватно визначити розрідження у паливній системі Common Rail відносно пробігу автомобіля в трьох оперативних умовах: на холостому ході, при швидкості обертання в  $1400 \text{ хв}^{-1}$  та  $2000 \text{ хв}^{-1}$ .

Для визначення початкових величин розрідження  $\Delta P_0$  на режимі холостого ходу, внесемо  $\Delta P$  до правої частини формули  $\left(\frac{Li^2}{2}\right)' = -\left(\frac{q^2}{2C}\right)'$  та комбінуємо його із константою:

$$8.4 \cdot 10^{-8} L^2 + 1.7 \cdot 10^{-3} L + (50.5 - \Delta P) = 0, \quad (2.18)$$

Розрахуємо дискримінант даного рівняння.

$$D = (1.7 \cdot 10^{-3})^2 - 4 \cdot 8.4 \cdot 10^{-8} \cdot (50.5 - \Delta P) \geq 0, \quad (2.19)$$

Отже, відповідно до розрахунків, значення  $\Delta P \geq 42$ , що є трохи менше від зазначеного виробником системи Common Rail значення в 48-49 мБар.

При розрахунках коренів рівняння можна бачити, що лише один з них має позитивне значення.

$$L = \frac{-17 + \sqrt{33.6 \cdot \Delta P - 1407.8}}{16.8} \cdot 10^4, \text{ км} \quad (2.20)$$

Згідно з рисунком 2.21, є залежність  $L = f(\Delta P)$  між ресурсом фільтруючого елемента паливного фільтра тонкого очищення та розрідженням у паливопроводі, позначена як  $\tau_{\text{фе}} = f(\Delta P)$ . Оцінка цього розрідження, яке слугує ключовим параметром оцінки стану фільтруючого елемента, дозволяє визначити, чи настав час для заміни фільтра. Даний показник розрідження також регулюється технічною специфікацією виробника. Тому, знаючи його значення, можна точно визначити, чи потребує фільтр заміни.

Для інших режимів роботи двигуна можна провести схожий аналіз, використовуючи відповідні параметри і умови.

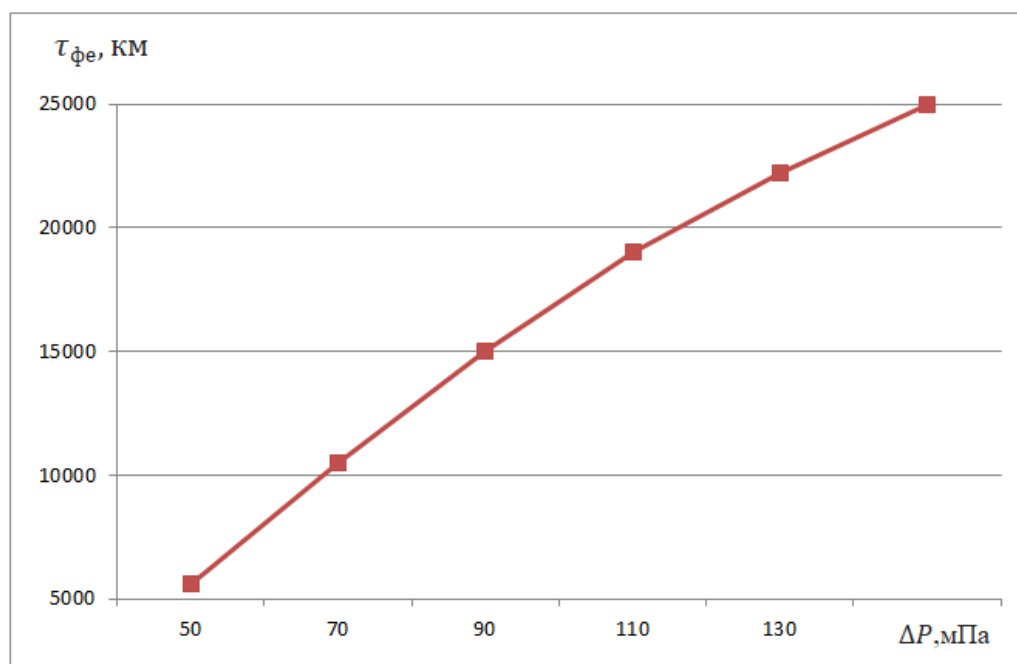


Рис.2.21. Зміна ресурсу паливного фільтра тонкого очищення відповідно до величини розрідження  $\Delta P$  у паливній системі Common Rail.

### 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Проектування пристроїв для вимірювання ступеня засміченості елемента паливного фільтра тонкого очищення

Система впорскування палива Common Rail, створена інженерами компанії Bosch і застосована в дизельних двигунах виробництва Cummins ISF та YD25, представляє собою новітнє рішення в області впорскування дизельного палива. Основна особливість системи Common Rail полягає у використанні спільного резервуара високого тиску для подачі палива до форсунок, відомого як паливна рампа (див. рисунок 3.1). Цей підхід відрізняє систему Common Rail від класичних дизельних двигунів із насосом-форсункою, де паливо подається під невеликим тиском.

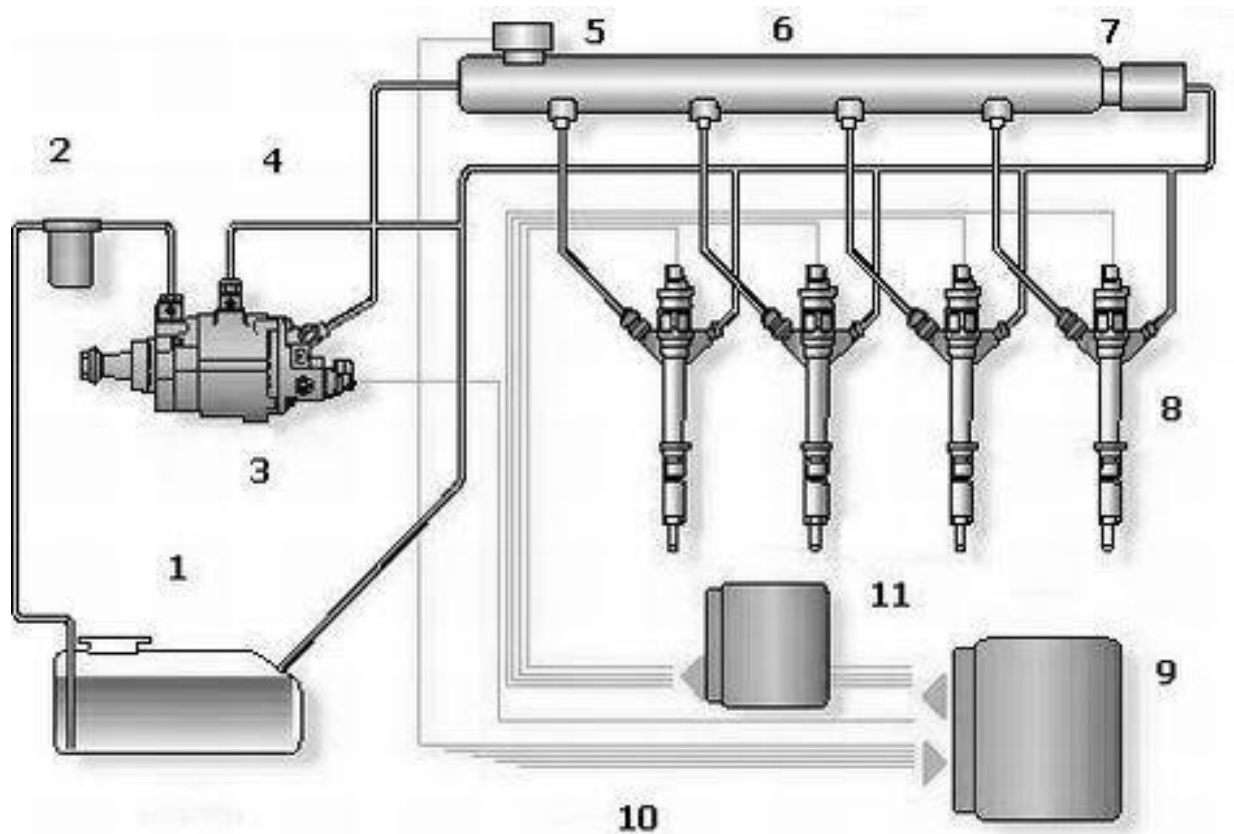


Рис. 3.1. Схематичний огляд системи Common Rail.

1 - паливний бак; 2 - паливний фільтр; 3 - паливний насос високого тиску;  
 4 - трубопроводи; 5 - датчик тиску палива; 6 - паливна рампа; 7 - регулятор тиску палива; 8 - форсунки; 9 - електронний блок управління; 10 - сигнали від датчиків;  
 11 - підсилювальний блок (на деяких моделях автомобілів).

Система Common Rail відрізняється від традиційних двигунів із кулачковим паливним насосом високого тиску своєю унікальною особливістю: контроль над підйомом голки форсунки здійснюється через соленоїд, а не під впливом тиску палива. В системі Common Rail, керування циклічністю подачі палива виконує водій, тоді як кут випередження та параметри впорскування задаються програмою в електронному блоку управління. Основна фішка цієї системи полягає у тому, що створення тиску та фактичний момент впорскування палива відбуваються незалежно один від одного. Це дарує інженерам змогу реалізувати багатофазне впорскування палива протягом одного робочого циклу, забезпечуючи оптимальну роботу двигуна.

Система Common Rail була введена на ринок в відповідь на зростаючі стандарти в області ефективності споживання палива та екологічної безпеки. Основна перевага цієї системи полягає у високому тиску впорскування палива, що забезпечує його дрібне розпилення у камері згоряння. Таке розпилення сприяє кращому змішуванню палива з повітрям, що в свою чергу забезпечує більш чисте та ефективне згоряння. Результатом є покращення показників двигуна: зменшення споживання палива, зниження викидів шкідливих речовин і зниження рівня шумів.

Система Common Rail вимагає високої якості та чистоти дизельного палива. Вона має більш складну структуру і налаштування, що робить її коштовнішою порівняно з традиційними системами.

Ця система вимагає особливої уваги під час обслуговування, зокрема, дотримання встановлених технічних характеристик для кожного її компонента. Несправність навіть однієї частини може призвести до порушення роботи всієї системи. Особливо важливим є фільтр для тонкого очищення палива, оскільки від його ефективності залежить робота високоточних компонентів, таких як форсунки паливного насоса високого тиску, які іграють ключову роль у продовженні терміну служби двигуна.

Для точної та своєчасної діагностики ступеня забруднення фільтруючого елемента було розроблено спеціалізовану систему моніторингу. Вона базується на використанні калібратора тиску "Метран" (див. рисунок 3.2). Система включає у себе наступні компоненти: 1. Паливний бак. 2. Фільтр для тонкого

очищення дизельного палива. 3. Магістраль низького тиску. 4. Паливний насос високого тиску (ПНВТ). 5. Магістраль високого тиску. 6. Паливна рампа. 7. Клапан для контролю потоку палива. 8. Інжектори. 9. Магістраль для зворотного потоку палива. 10. Електромагнітний клапан. 11. Калібратор тиску Метран.

Ця система дозволяє ефективно відстежувати та контролювати якість палива та стан фільтра, забезпечуючи оптимальну роботу двигуна.

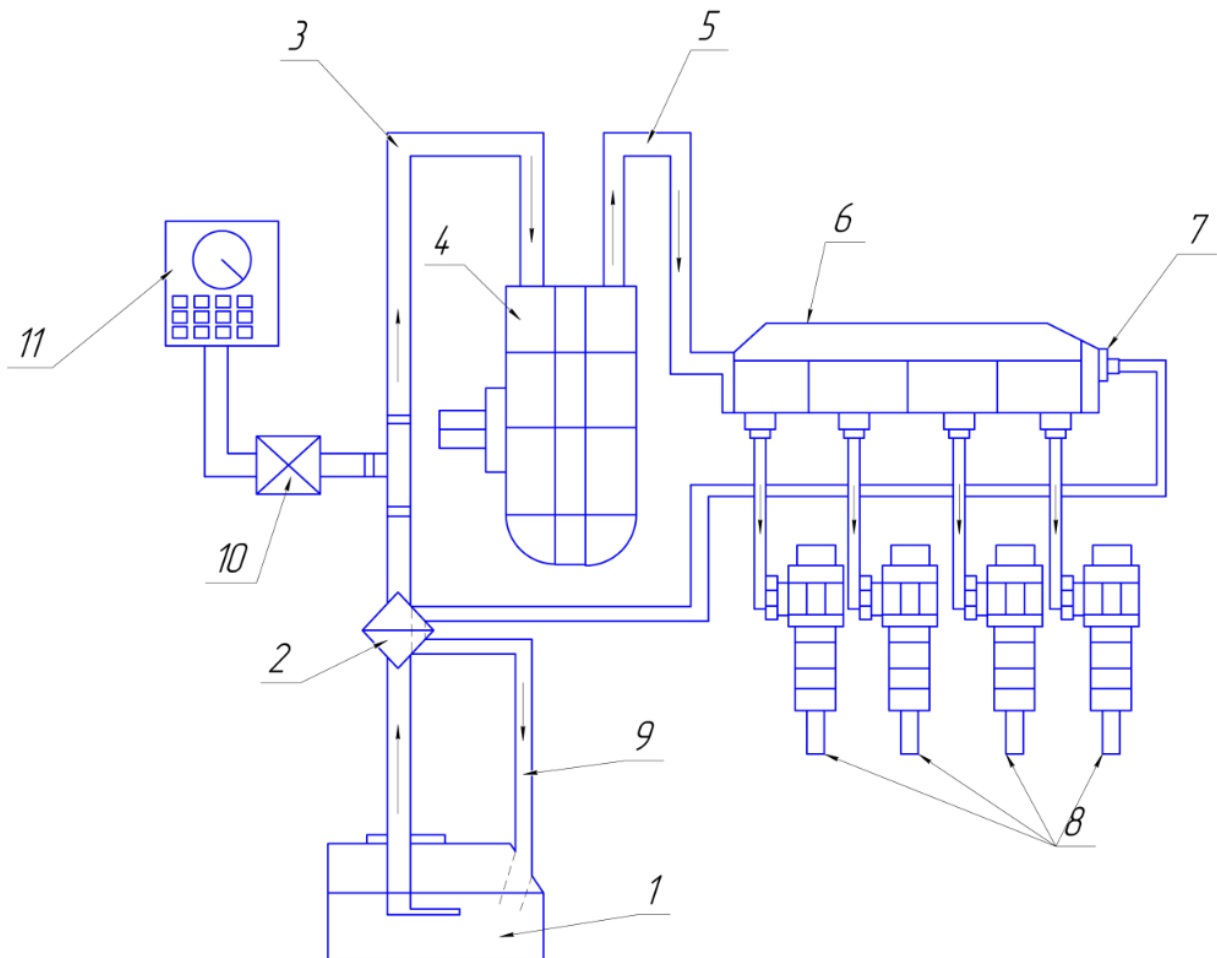


Рис. 3.2. Концептуальна структура системи моніторингу фільтра тонкого очищення палива.

Прилад Метран для вимірювання тиску розташований у водійському приміщенні. Електромагнітний клапан використовується для тимчасової активації калібратора Метран, оскільки він не розрахований на безперервну роботу.

Контрольний механізм стану фільтра в двигуні з внутрішнім згорянням працює наступним чином. Під час роботи двигуна з системою подачі палива

Common Rail, паливо поступає з бака 1 до системи подачі палива завдяки вакууму, створюваному паливним насосом високого тиску 4. Паливо проходить через фільтр 2, де воно очищається від смолистих утворень, парафінів, механічних і інших домішок, а потім поступає до паливної рампи 6. Фільтр 2 в процесі експлуатації забивається абразивними частинками, механічними домішками, а також закоксується важкими смолами і парафіном, що містяться в паливі. Це призводить до створення вакууму в паливопроводі після фільтра 2 перед паливним насосом 4. Під час роботи двигуна ступінь забруднення фільтруючого елемента фільтра 2 впливає на вакуум в паливопроводі між фільтром і паливним насосом. Зміну вакууму вимірює калібратор тиску Метран 11. Для вимірювання вакууму в паливопроводі після фільтра 2 використовується електромагнітний клапан 10, який відкриває канал подачі вакууму до калібратора Метран 11. Електромагнітний клапан 10 активується водієм з кабіни автомобіля.

Пропонована технічна концепція була адаптована для автомобіля з системою подачі палива Common Rail (див. рис. 3.3). Детальні дані з проведених експериментів можна знайти у таблиці 3.1.



Рис. 3.3. Здійснення запропонованої технічної концепції в реальних умовах.



Таблиця 3.1. Дані про зміни тиску в паливній системі відносно відстані пройденої автомобілем та умов експлуатації мотора.

Номер фільтра	Режим	Розрідження, мБар		
		Пробіг 0 км	Пробіг 10000км	Пробіг 20000км
1	2	3	4	5
1	Холостий хід	50,5	76	118
	1400хв <sup>-1</sup>	51,5	78	119
	2000хв <sup>-1</sup>	52	79	119
2	Холостий хід	49	75	120
	1400хв <sup>-1</sup>	50,5	76	122
	2000хв <sup>-1</sup>	51	77	123
3	Холостий хід	50	80	114
	1400хв <sup>-1</sup>	51	81	112
	2000хв <sup>-1</sup>	54	83	111
4	Холостий хід	53	73	118
	1400хв <sup>-1</sup>	52	74	119
	2000хв <sup>-1</sup>	53	75	119
5	Холостий хід	50	15	121
	1400хв <sup>-1</sup>	50,5	79	122
	2000хв <sup>-1</sup>	51	79	123
6	Холостий хід	51	76	119
	1400хв <sup>-1</sup>	52	77	120
	2000хв <sup>-1</sup>	52	78	120
7	Холостий хід	49	75	122
	1400хв <sup>-1</sup>	50	77	125
	2000хв <sup>-1</sup>	53	78	125
8	Холостий хід	52	80	121
	1400хв <sup>-1</sup>	52	81	121
	2000хв <sup>-1</sup>	55	82	121
9	Холостий хід	53	70	110
	1400хв <sup>-1</sup>	53	70	110
	2000хв <sup>-1</sup>	54	71	110
10	Холостий хід	51	65	105
	1400хв <sup>-1</sup>	51	66	105
	2000хв <sup>-1</sup>	52	66	105



## 4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

### 4.1 Аналітичне вивчення даних отриманих під час вимірювань

Для глибокого вивчення отриманих даних ми склали діаграми, які відображають залежність розрідження після фільтрації від швидкості обертання двигуна, враховуючи пробіг автомобіля. Відповідні графіки представлено на рисунках 4.1 - 4.6.

Аналізуючи дані з рис. 4.1, можна зробити висновок про те, що із зростанням обертів колінчастого вала спостерігається підвищення розрідження, проте 4-й фільтр виходить з загального тренду.

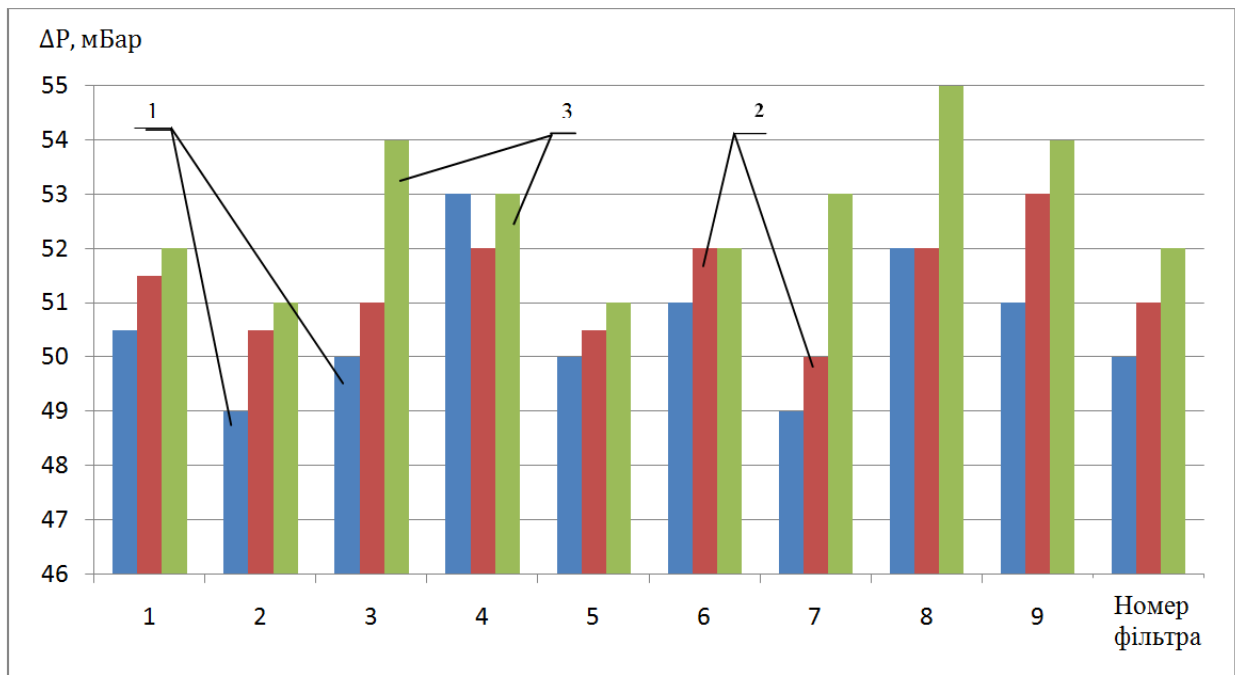


Рис. 4.1. Динаміка розрідження після нового фільтра в залежності від підвищення швидкості обертання двигуна:

1 - холостий хід; 2 - при  $1400 \text{ хв}^{-1}$ ; 3 - при  $2000 \text{ хв}^{-1}$

Аналіз даних з рисунка 4.5 показує, що з підвищенням пробігу автомобіля показники розрідження стають більш стабільними та менш змінними при зростанні числа обертів двигуна.

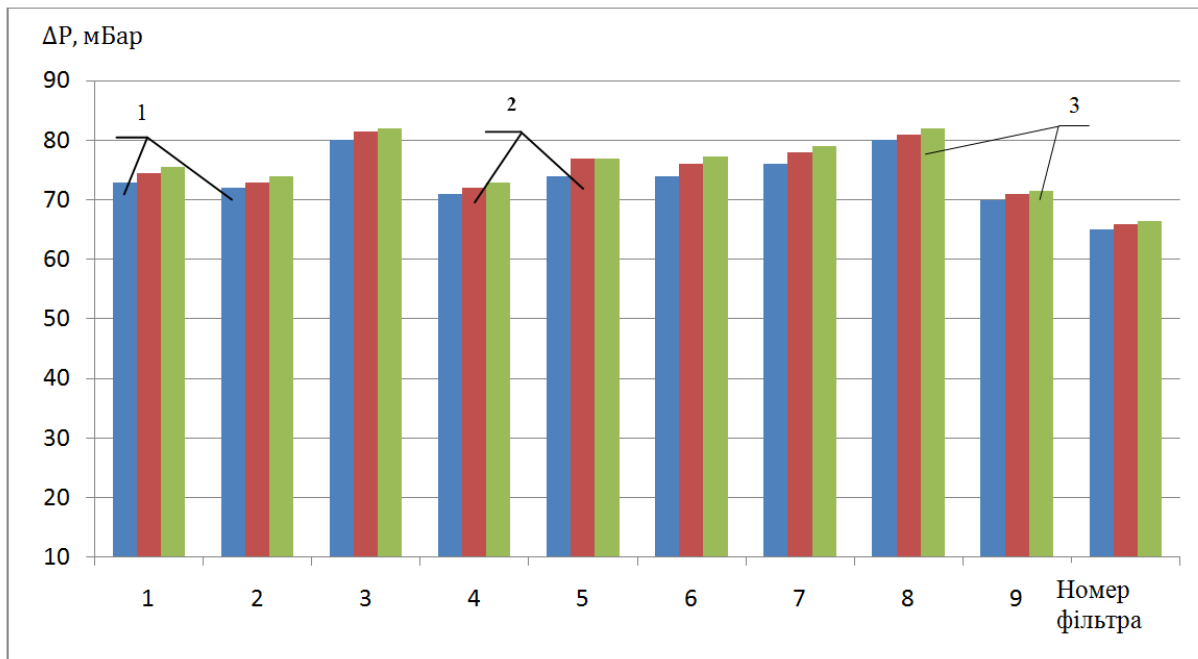


Рис. 4.2. Аналіз показників розрідження для фільтра з пробігом 10 000 км можна спостерігати, що при зростанні числа обертів двигуна характеристики розрідження проявляють зміни, з урахуванням тих самих позначень.

Аналізуючи дані з рисунка 4.3, можна помітити, що з ростом пробігу деякі фільтри показують збільшення відхилень у показниках розрідження. Конкретно, фільтри під номерами 3, 9 та 10 демонструють стабільність та здатні працювати до граничного розрідження у 120 мБар.

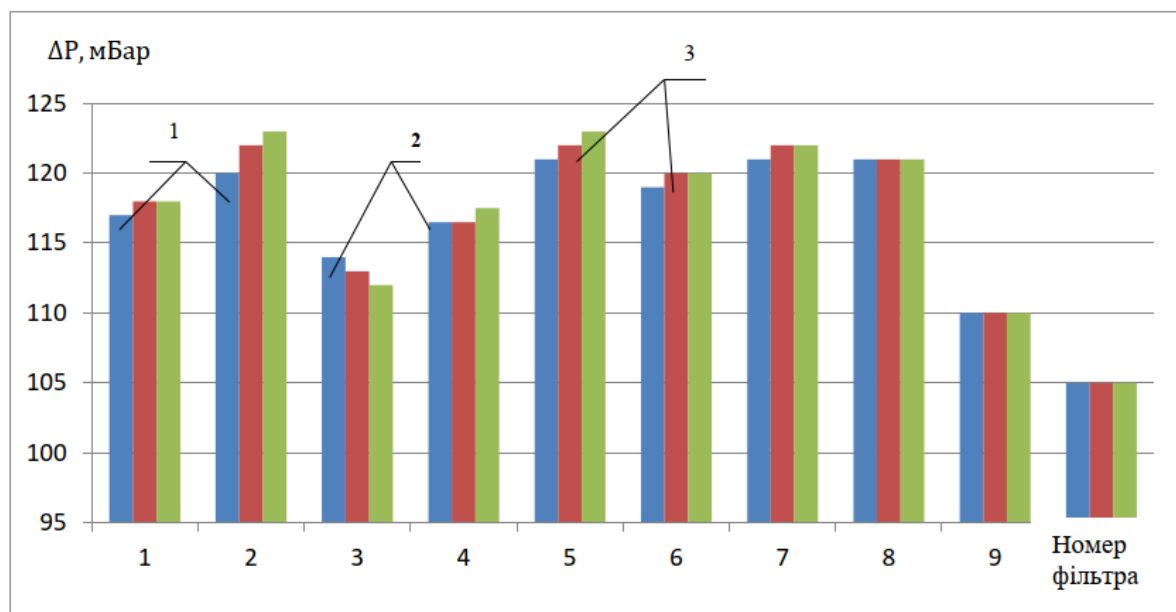


Рис. 4.3. Аналіз розрідження фільтра після 20000 км пробігу при різних обертах двигуна, спостерігається тенденція до збільшення відхилень у показниках.

На рисунку 4.4 ілюструється, як з ростом пробігу у фільтрах збільшується різниця у показниках розрідження, що вказує на зміни в ефективності їх роботи.

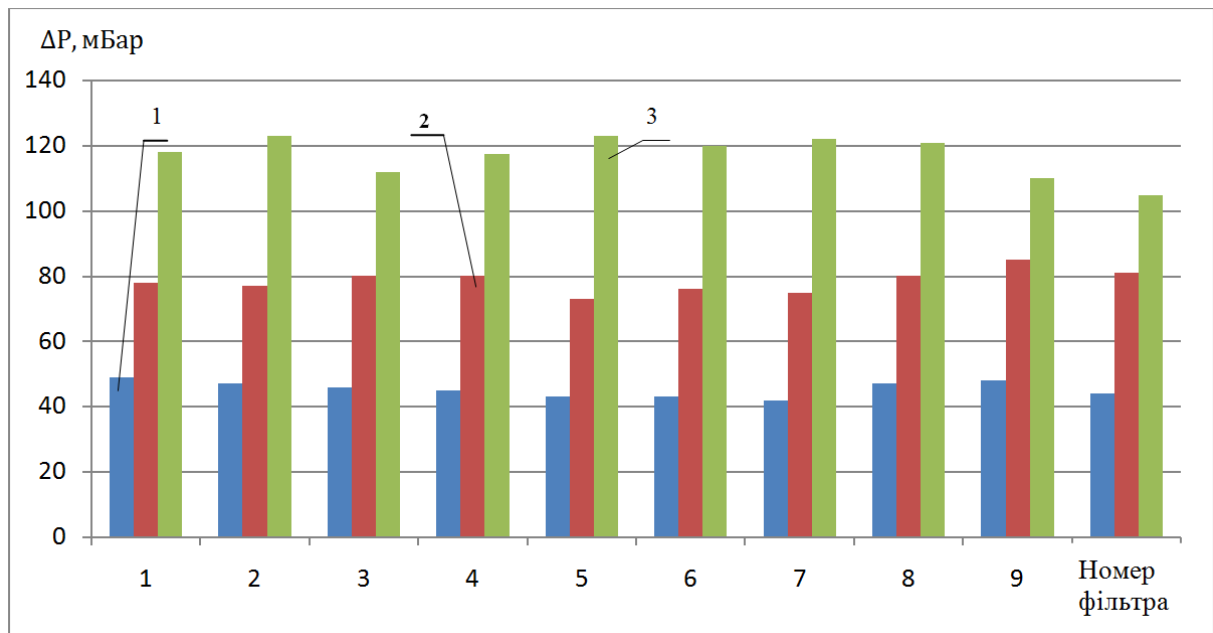


Рис. 4.4. На холостих обертах із зростанням пробігу спостерігається варіативність розрідження в фільтрах.

1 - новий фільтр; 2 - фільтр з пробігом 10000 км; 3 - фільтр з пробігом 20000 км

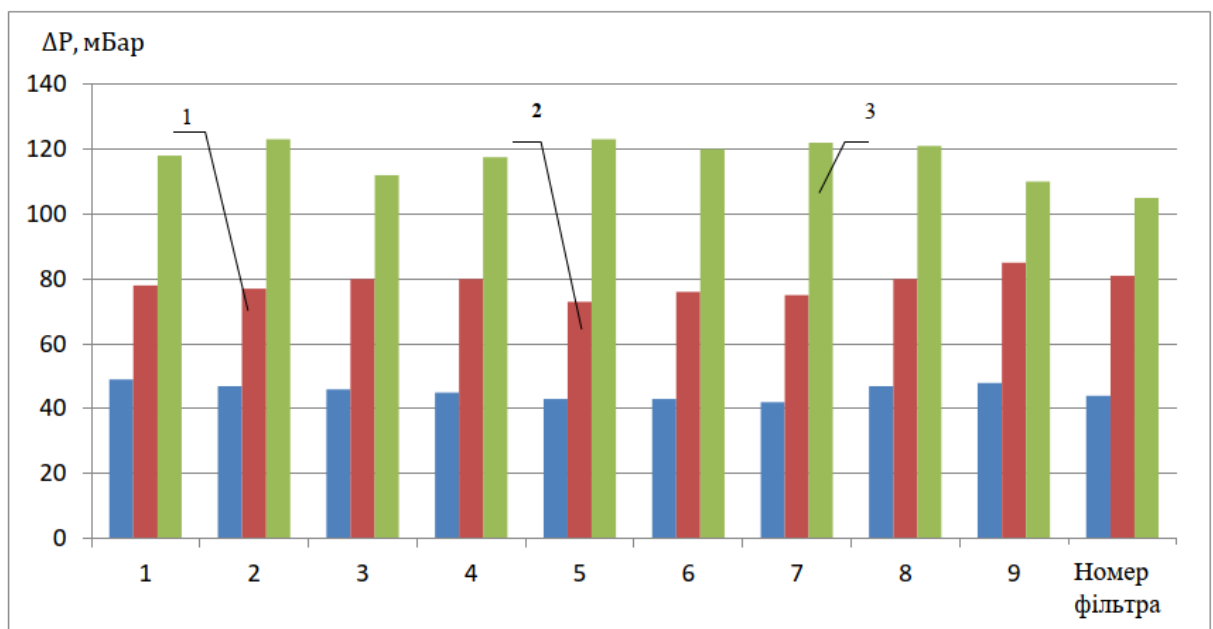


Рис. 4.5. При обертах  $1400 \text{ хв}^{-1}$  зі зростанням пробігу відзначається відмінність розрідження у фільтрах.

Аналізуючи дані, представлені на рисунках 4.4 - 4.6, можна зробити висновок, що частота обертання практично не впливає на динаміку

розрядження. Відповідно до даних таблиці 3.1, більшість фільтрів (23 з 30, або 76,7%) працюють в межах нормативних показників розрядження.

Фільтри, що працюють в діапазоні 105...108,3 мБар, мають запас стійкості до засмічення близько 11%.

У діапазоні 108,3...111,7 мБар цей запас знижується до 8,3%.

Для діапазону 111,7 ... 115 мБар запас складає приблизно 5,5%.

У фільтрах з діапазоном 115...118,3 мБар запас становить всього 2,8%.

Найбільше засмічені фільтри, що працюють в діапазоні 118,3...120 мБар, мають мінімальний запас у 0,7%.

Відзначимо, що фільтри, чиї показники знаходяться в межах 105...111,7 мБар, є найбільш оптимальними за умовами експлуатації, їхній загальний відсоток складає приблизно 23%.

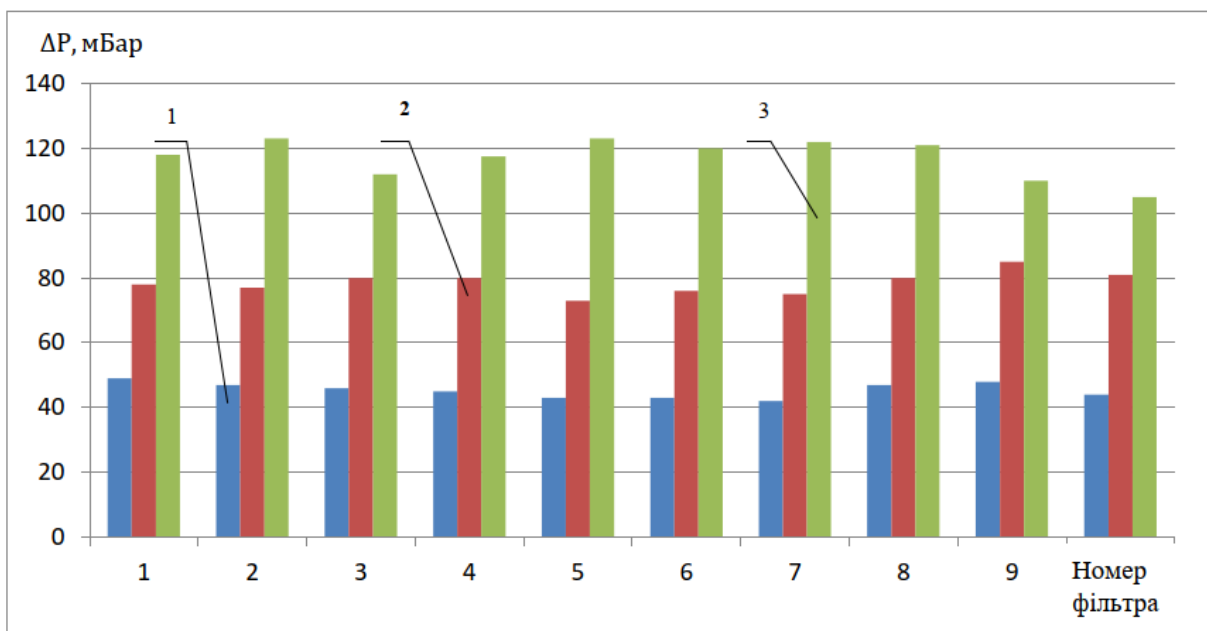


Рис. 4.6. При швидкості обертання  $2000 \text{ хв}^{-1}$  можна спостерігати варіації розрядження у фільтрах в залежності від їхнього пробігу.

На початку експерименту середнє значення розрядження для усіх свіжовстановлених фільтрів дорівнює 51,63 мБар з відхиленням в 1,43 мБар. Під час використання виявлено, що фільтри можна розділити на дві основні категорії за характером зміни їх робочих характеристик.

Перша категорія включає фільтри, які досить швидко втрачають свою працездатність, прямуючи до межі допустимого розрідження. Конкретно: 73% (22 фільтра) досягли межі після 10000 км, і цей відсоток зріс до 77% (23 фільтра) після 20000 км.

Друга категорія представлена фільтрами, що демонструють стабільнішу роботу. Лише 27% (8 фільтрів) наблизилися до граничного розрідження після 10000 км, і ця цифра скоротилася до 23% (7 фільтрів) після 20000 км.

Рисунок 4.7 ілюструє динаміку розрідження для цих двох груп фільтрів. Лінії на графіку показують апроксимацію даних і відображають ступінь їх надійності ( $R^2$ ).

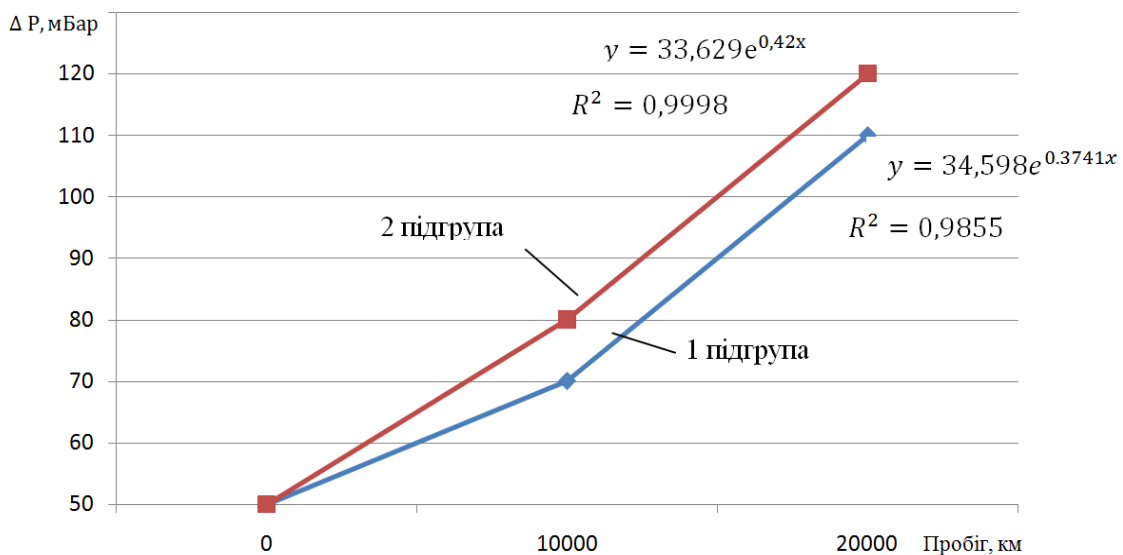


Рис. 4.7. Розрідження на виході фільтрів змінюється для двох відокремлених підгруп в різний спосіб, враховуючи їх пробіг

Після ретельного аналізу наданих даних можна висловити припущення, що частина фільтрів (близько 23-27% від усіх встановлених) може служити довше, ніж рекомендований виробником термін в 10000 км. Зокрема, їх можна використовувати до 20000 км без зниження їх ефективності. Це вказує на високу якість та довговічність матеріалів, з яких виготовлені ці фільтри, і може стати підставою для перегляду рекомендацій виробника щодо термінів заміни.

Аналіз отриманих даних вказує на можливість надання водієві інструменту для моніторингу стану фільтра тонкого очищення палива без виходу з кабіни транспортного засобу. Завдяки цьому, водій може вчасно

виявити зниження ефективності фільтра, прогнозувати потенційні проблеми та отримувати рекомендації щодо його заміни. Цей процес стає можливим завдяки використанню калібратора тиску "Метран", який активується через електромагнітний клапан. Такий підхід може підвищити безпеку і знизити витрати на обслуговування транспортного засобу.

#### 4.2 Результати досліджень

Відповідно до процедур, виконали дослідження роботи дизельного двигуна з використанням фільтрів різного стану: нового фільтра та фільтрів після використання на відстанях 5 тис.км, 10 тис.км і 15 тис.км. Для вимірювання показників було обладнано спеціальний газозабірний зонд із шлангом для взяття проб, який розташовувався в вихлопному каналі транспортного засобу. Після цього, на дизельний двигун послідовно встановлювалися різні фільтри для аналізу їх ефективності (див. рисунок 4.8). Такий підхід дозволив оцінити вплив стану фільтра на роботу двигуна та якість вихлопних газів.



Рис. 4.8. Двигун автомобіля оснащений спеціальним фільтром для оптимізації його роботи та забезпечення ефективного очищення.

На ілюстраціях 4.9-4.12 зображені результати вимірювань №3, №4 та №5. Також представлено загальний огляд всіх шести вимірювань. Важливо зазначити, що при розрахунках  $K_{cp}$  перші три вимірювання не беруться до уваги, оскільки вони використовуються для калібрації системи.

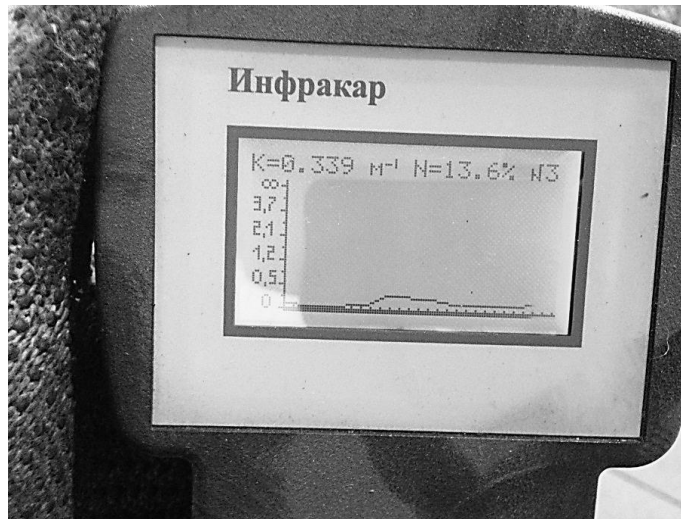


Рис. 4.9. Аналіз димності за даними вимірювань №3.

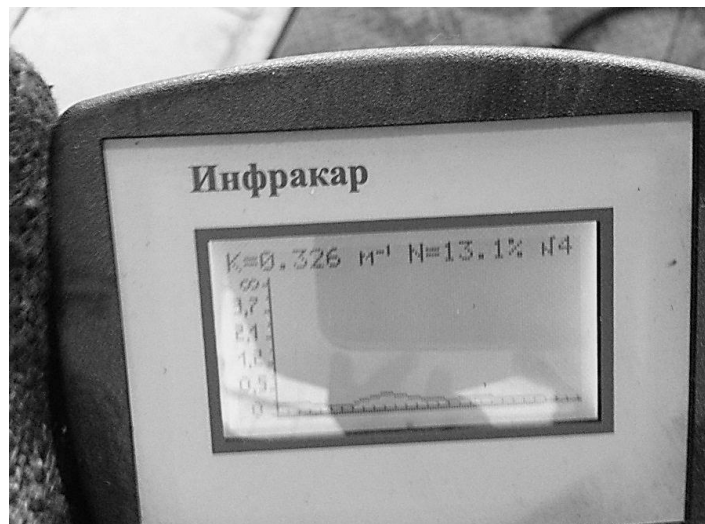


Рис. 4.10. Аналіз димності за даними вимірювань №4.



Рис. 4.11. Аналіз димності за даними вимірювань №5.



Рис. 4.12. Комплексне дослідження димності на основі шести проведених вимірювань.

Під час дослідницьких робіт було встановлено, що показники димності двигуна не змінюються незалежно від стану та перебігу використаного фільтра.

Для аналізу впливу змінного навколишнього тиску в паливі на еластичні характеристики фільтруючого елемента, не пропускаючи паливо безпосередньо через фільтр, було виконано серію експериментів. З шести абсолютно нових фільтрів були взяті фільтруючі елементи, які потім були занурені у ємності з паливом. Особливість однієї з ємностей полягала в тому, що під фільтруючим елементом знаходилася ультразвукова пристрій "Ретона" (див. рисунок 4.13). Експеримент тривав 100 годин. При цьому половина фільтруючих елементів була відокремлена від впливу зовнішніх чинників (це були контрольні елементи), тоді як інші три елементи зазнавали ультразвукової взаємодії.

По завершенню 100-годинних тестів, обидва елементи фільтрації були висушені у відкритому просторі. Після цього було проведено аналіз щодо зміни їх ваги та еластичних властивостей.

Аналіз вимірювань вказав на такі результати:

Фільтруючий елемент, що пройшов ультразвукову обробку, виявив збільшення маси приблизно на 2 г у порівнянні з елементом без взаємодії з ультразвуком.

Еластичність фільтруючого елемента, що зазнав ультразвукового впливу, зменшилася, в середньому, на 8100 Н/м в порівнянні з контрольним зразком.





Рис. 4.13. Елементи фільтрації, занурені у резервуари з паливом.

Поява цього ефекту зумовлена тим, що коливання палива, яке перебуває в контакті з фільтруючим елементом, активізують його розтягнення, знижуючи його еластичність. Забруднюючі частинки в паливі лише посилюють цей процес. Застрявши у порах фільтраційного елемента, вони підвищують його вагу, що в свою чергу, викликає більше розтягнення при коливаннях. Таким чином, чим грязніше паливо, тим значущіше приростання ваги з-за проникнення рідини, і як результат – інтенсивніше розтягнення фільтруючого елемента, незалежно від його первісної чистоти.

Додатково, відповідно до методики, описаної в розділі 3, за допомогою вібраційного густиноміра «ВП-2М», було проведено оцінку густини палива перед та після ультразвукової обробки. Густинні показники були наступними:  $0,8323 \text{ г/см}^3$  для первісного палива та  $0,8321 \text{ г/см}^3$  після обробки. Ці дані свідчать про те, що ультразвукова обробка практично не вплинула на густину палива. Під час експерименту температура палива контролювалася кожні 5 хвилин, при цьому відхилення від початкового значення ( $21^\circ\text{C}$ ) не було зафіксовано.

Вивчаючи ефективність фільтрів з відмінним станом експлуатації, були проведені тести на пропускання палива. Фільтри з різним часом використання були оцінені щодо їх здатності затримувати забруднення.

В ході дослідження було встановлено, що нові фільтри демонструють найвищий рівень очищення палива від домішок. З іншого боку, фільтри, що були в експлуатації протягом тривалого часу, втрачають свою первісну ефективність, дозволяючи більше забруднень проникати через своє середовище.

Також було виявлено, що фільтри після пробігу 10 тисяч кілометрів починають значно знижувати якість фільтрації, а ті, що працювали більше 15 тисяч кілометрів, потребують невідкладної заміни.

Для підтвердження цих результатів були використані спеціальні прилади, що вимірюють кількість і розмір часток в паливі до та після проходження через фільтр.

Для визначення впливу зносу фільтра на ефективність фільтрації палива, була розроблена спеціальна методика. В експеримент брали участь три фільтри: абсолютно новий, з пробігом 10021 км та з пробігом 14783 км (див. рис. 4.14).

Ці фільтри були поєднані в системі, де одне з'єднання виходило від паливного насоса, а інше веде до паливного баку. Для симуляції реальних умов роботи двигуна, він був стартований і при фіксованій частоті обертання колінчастого вала в  $820 \text{ хв}^{-1}$ , протягом короткого періоду часу (20с) паливо проходило через фільтр, потім збиралося в ємність для вимірювань. Після завершення циклу двигун вимикали, а паливо з фільтра також збиралося в ємність.

Експеримент проводився п'ять разів для кожного фільтра для отримання найточніших результатів. Графічне представлення результатів можна переглянути на малюнках 4.15 - 4.17.

Виходячи з даних вимірювань, можна зробити висновок, що з пробігом фільтра його продуктивність зменшується, що відзначалося істотним зниженням пропускання палива на 20% у фільтрів з найбільшим пробігом порівняно з новим.



Рис. 4.14. Фільтри:

1 - новий; 2 - з пробігом 10021 км; 3 - з пробігом 14783 км



Рис. 4.15. Паливо, яке пройшло через абсолютно новий фільтра



Рис. 4.16. Паливо, яке пройшло через фільтра з пробігом 10021км



Рис. 4.17. Паливо, яке пройшло через фільтр з пробігом 14783 км

Після проведення операційних тестів автомобілів, оснащених фільтрами високої чистки з пробігом понад 10 000 км, було отримано такі висновки:

Експертиза показала, що автомобілі, що мали пробіг понад 10 000 км із встановленими фільтрами тонкого очищення, продемонстрували невелике зниження продуктивності у порівнянні з тими, що були новими. Це свідчило про певне накопичення забруднень у фільтрі протягом тривалого часу використання.

Було зроблено аналіз відходів, які накопичувалися в фільтрі після тривалого використання, і було виявлено, що більшість з них складалася з мікроскопічних частинок пилу, сажі та інших забруднювачів.

Також було зазначено, що паливна система автомобілів із старими фільтрами потребувала більше часу на запуск в холодну погоду, що може свідчити про недостатній рівень пропускання фільтру через накопичені забруднення.

Водії також відзначили, що після 10 000 км експлуатації вони відчували незначне зниження динаміки автомобілів при русі, що може бути пов'язано з менш ефективною роботою фільтра.

Висновок: регулярна заміна або очищення фільтра тонкого очищення після пробігу 10 000 км є необхідною для забезпечення оптимальної роботи паливної системи автомобіля.

Аналіз фільтрів із завищеним пробігом (10000 км), проведений згідно методики з розділу 3, виявив такі особливості (див. діаграму 4.1):

Фільтри показали збільшену концентрацію накопичених домішок, що свідчило про їхнє інтенсивне використання протягом тривалого часу.

В порівнянні з новими фільтрами старі фільтри мали нижчу пропускну здатність, що може вказувати на їхнє часткове забруднення.

Якість матеріалу, з якого виготовлені фільтри, після 10 000 км використання, показала деякі ознаки втоми, особливо в зонах найбільшого навантаження.

На деяких фільтрах були помічені сліди корозії, що свідчить про вплив вологи або агресивних речовин.

Таблиці 4.1. Показники ефективності фільтрів тонкого очищення палива після тривалої експлуатації

Пробіг до початку випробувань, км	Початкове значення розрідження, мБар	Пробіг після закінчення випробувань, км	Кінцеві значення розрідження, мБар
9832	65	19823	119
10023	67	19024	117
11250	66	20891	120
10102	68	20754	120

Вивчення роботи фільтрів під час тестування дало такі висновки:

Незалежно від інтенсивності використання, жоден фільтр не показав розрідження, яке би перевищувало встановлений пороговий рівень в 120 мБар.

Після завершення довготривалого тесту всі випробувані фільтри продемонстрували велику стабільність у своїй роботі, індикуючи розрідження в межах 117-120 мБар.

Враховуючи ці дані, можна рекомендувати розглядати можливість продовження терміну служби фільтрів тонкого очищення до 20000 км, якщо вони після 10000 км мають розрідження менше або рівне 70-71 мБар.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1 Виробничий травматизм на автомобільному транспорті

У сфері обслуговування і експлуатації рухомого складу автотранспорту, що є джерелом підвищеної небезпеки, за певних умов можуть виникнути небезпечні фактори, які приводять до нещасних випадків (НВ).

Глибоке вивчення матеріалів про НВ дає можливість виявити загальні закономірності, що дозволяють передбачати подальший перебіг подій, вжити заходів щодо попередження виробничого травматизму.

Відразу слід зауважити, що коефіцієнт смертності через ДТП у 12 разів вищий від коефіцієнта смертності через порушення правил технічної безпеки. Таким чином, ДТП є значним джерелом тяжких нещасних випадків. Але крім ДТП, які дуже ретельно висвітлює служба ДАІ, важливо розглянути інші нещасні випадки, що скоюються на автотранспортному підприємстві. З цього питання дуже скрупульозні дослідження провів В.П. Могила, деякими його результатами ми і скористалися.

Причинами травматизму є організаційні і технічні недоліки виробництва.

Для розроблення ефективних заходів щодо профілактики травматизму доцільно всі НВ умовно розділити на дві основні групи: перша - випадки, зумовлені організаційними недоліками виробництва; друга - випадки, спричинені технічними недоліками виробництва. Наслідком організаційних недоліків є небезпечні або помилкові дії виконавців робіт через незнання ними інструкцій з техніки безпеки і безпеки руху, встановленого порядку виконання трудових операцій відповідно до технології, виконання невластивої професії роботи.

Унаслідок технічних недоліків виробництва можуть виникати небезпечні умови праці для виконавців робіт через технічні. Дослідження показали, що НВ першої групи з працівниками автотранспорту складають 53%, а другої - 47%. Якщо виключити виробничі травми через ДТП, то НВ першої групи складають 32%, а другої 68%, тобто небезпечні умови праці є однією з головних причин НВ з працівниками автотранспорту (без урахування НВ через ДТП).

## 5.2 Поглиблений аналіз виробничих травм

Дані показують, що в загальній кількості НВ виробничі травми водіїв і слюсарів з ремонту автомобілів складають 89,7% при тому, що питома вага цих професій у загальній кількості працівників АТП складає 73,1% . Найвища частота виробничих травм у теслярів, столярів, ковалів, газозварників і електрозварників, слюсарів з ремонту автомобілів, водіїв, мідників і мийників рухомого складу. До інших професій віднесені шиномонтажники, заправники, сантехніки, мастильники, комірники.

Для ефективного впливу на умови і чинники, які призводять до НВ, необхідно знати, при виконанні яких робіт і дій виконавці найчастіше одержують травми. Проведення аналізу НВ дає такі відомості.

Оскільки при виконанні робіт з поточного ремонту і технічного обслуговування автомобілів відбувається найбільша кількість НВ, то значний інтерес становлять дані про частоту виникнення травм при обслуговуванні основних агрегатів і механізмах автомобіля.

Дані показують, що найбільш часто НВ трапляються з водіями і слюсарями з ремонту автомобілів з невеликим стажем роботи на АТП, особливо до 1 року. У міру збільшення стажу роботи на АТП імовірність НВ зменшується.

За статистикою НВ на АТП травмування робітників цих професій у віці до 30 років спостерігається рідше, ніж у віці від 30 до 50 років.

Розподіл НВ за часом доби показав, що для сумарного розподілу характерні три періоди: між 8-ю і 12-ю год, між 12-ю і 13-ю год і між 13-ю і 17-ю год. Найбільша кількість НВ відбувається між 8-ю і 12-ю та 13-ю і 17-ю год, що збігається з періодами виконання робіт. Різке падіння кількості НВ у період між 12-ю і 13-ю год пояснюється тим, що на АТП у цей час влаштовуються обідні перерви. НВ в основному відбуваються на вулицях і дорогах, у місцях навантаження і розвантаження автомобілів, на автостанціях. Характерно, що кількість НВ, зокрема зі смертельним наслідком, у другій половині робочої зміни (після обіду) на 13% більша, ніж у першій. Причому, як показує розподіл НВ зі смертельним і тяжким результатом, у період між 15-ю і 16-ю год

відбувається більше НВ із тяжкими наслідками (11% від загальної кількості).

Значне зростання кількості НВ з тяжкими наслідками після 17-ї год порівняно із сумарним розподілом НВ пояснюється зростанням у цей період кількості ДТП, при яких водії АТП одержують травми.

Розподіл кількості НВ за місяцями. Найбільша кількість НВ відбувається в лютому, вересні і жовтні. Розподіл НВ за кварталами такий: I - 26%, II - 22,5%, III - 26,5%, IV - 25%. Кількість НВ зі смертельним і тяжким результатом у другому півріччі на 12% більша, ніж у першому. Надто високу частоту НВ у травні і листопаді можна пояснити великою кількістю святкових днів у ці місяці. Максимум НВ при ДТП у вересні і жовтні пояснюється погіршенням дорожніх умов, появою туманів, скороченням світлого часу доби і виконанням найбільшого обсягу вантажних перевезень.

Аналіз травмуючих факторів у сфері експлуатації автотранспорту проводився із урахуванням специфіки робіт, що виконуються на АТП. Такий підхід дозволив отримати достовірні результати для профілактики цих факторів.

Оскільки рухомі транспортні засоби та падіння з висоти і на поверхні постраждалих є наймасовішими травмуючими чинниками у сфері обслуговування та експлуатації автотранспорту, то доцільно більш докладно розглянути обставини виникнення цих факторів. При дослідженні чинника «рухомі транспортні засоби» виявлено розподіл НВ за обставинами травмування.

Травмування іншим транспортним засобом, зокрема при зіткненні транспортних засобів, у більшості випадків відбувається на вулицях і дорогах при ДТП. Сюди належать наїзди інших транспортних засобів на водіїв, які знаходяться біля автомобілів на вулиці чи дорозі або коли виходять із них. Мета зупинки - огляд кріплення вантажу, посадка або висадка пасажирів, перевірка технічного стану автомобіля або причепу, виконання ремонту, доливання води або мастила у двигун та ін. Характерно, що якби автомобілі не знаходились на проїжджій частині, то НВ через наїзди були б попереджені. Найбільша кількість НВ стається через зіткнення транспортних засобів, це найбільш поширений вид ДТП.



Травмування відбуваються при перекиданні транспортних засобів на дорогах і вулицях внаслідок недотримання правил дорожнього руху потерпілими водіями і при наїздах транспортних засобів на дорожні споруди, придорожні дерева і стовпи внаслідок втрати керування автомобілем і подальшого з'їждження з проїжджої частини. Сюди ж віднесені наїзди транспортного засобу на пішоходів на територіях АТП, у місцях навантаження і розвантаження автомобілів, на автостанціях і в інших місцях, де можливий рух транспортних засобів.

Травмування транспортним засобом, що самовільно почав рух, відбувається як на вулицях і дорогах, так і в інших місцях. Причиною мимовільного руху автомобілів і причепів є те, що їх залишають незагальмованими на малих схилах. При цьому характерно, що водії, побачивши початок самовільного руху автомобіля, в більшості випадків прагнуть зупинити його, підкладаючи під колесо який-небудь предмет, або потрапити на робоче місце. Внаслідок таких дій є НВ з тяжким наслідком.

Травмування колесом рухомого транспортного засобу відбувається в основному при поставленні автомобілів на робоче місце або при виїзді з нього (наїзд на ноги виконавця, що лежить під автомобілем), а також при штовханні автомобіля для перестановки його на робоче місце (наїзд на стопу ноги штовхаючого виконавця — переважно при повороті автомобіля) .

Травмування рухомих транспортних засобом після запуску його двигуна заводною рукояткою або стартером при включеній передачі відбувається в основному на територіях і у виробничих приміщеннях АТП. Наслідком є наїзд на виконавця роботи або працівника, який іде або стоїть поруч. Наслідки таких НВ також є надзвичайно тяжкими.

Травмування буксируючим транспортним засобом відбувається в процесі відчеплення гнучкого буксира при буксируючому автомобілі, що стоїть, а також при несправних гальмах буксирного автомобіля. Характерно, що коефіцієнт смертності при таких НВ складає 40-50%.

Другий за масовістю травмуючий чинник - падіння постраждалих з висоти і на поверхні. Проаналізуємо його більш докладно.

У загальній кількості НВ травми через падіння постраждалих з висоти склали 57%, а на поверхні - 43%.

Падіння на території АТП, у місцях навантаження і розвантаження, на автостанціях, дорогах і вулицях, автозаправних станціях відбуваються з причини слизької поверхні (наявність ожеледі, пролитих мастил) і найчастіше в зимовий період, особливо у місцях відкритої стоянки автомобілів, де утворюється ожеледь після зливання води з системи охолодження двигунів.

Травми при падінні з кузова вантажного автомобіля і сходів автопаливозаправника найчастіше відбуваються при перевірці кріплення вантажу, знятті запасного колеса, виконанні вантажно-розвантажувальних робіт, очищенні платформ кузова, різкому гальмуванні при повороті автомобіля, заправці цистерни паливом, при закритті бортів кузова з платформи та ін.

Падіння в оглядову канаву відбуваються при спробі постраждалого переступити або перестрибнути канаву, при запуску двигуна заводною рукояткою безпосередньо на канаві, при слизькій поверхні перехідного містка, при спусканні з буфера автомобіля, що стоїть на канаві. Падіння в оглядову канаву відбувається здебільшого при слизькій підлозі, при зриві гайкового ключа.

При вході або виході з автобуса падіння найчастіше відбувається з лівого боку автобусів марок ЛАЗ і ПАЗ, у яких робоче місце водія розташоване безпосередньо над колесом, що створює труднощі при посадці. При виході з автобусів з правого боку падіння найчастіше відбувається через попадання ноги постраждалого на який-небудь предмет (камінь, шматок льоду та ін.).

Падіння в приміщеннях у більшості випадків трапляється через слизькість підлоги внаслідок пролитих на ній мастильних матеріалів, води, гальмівної рідини, захаращеності проходів, відсутність або недостатність освітлення, швидку ходьбу або біг потерпілого, зношення підошви взуття.

Падіння відбувається з вологих, брудних, засніжених, обмерзлих або погнутих підніжок вантажних автомобілів, коли стерті лінії і виступи, а також при закритті або відкритті замків бортів кузова безпосередньо з підніжки кабіни

і через незручність посадки на робоче місце вантажних автомобілів марок КАЗ, МАЗ і КамАЗ (робоче місце безпосередньо над колесом).

Падіння з буфера відбувається при заливанні охолоджувальної рідини в радіатор, мастила у двигун, перевірки технічного стану двигуна і в інших випадках.

Падіння з крила автомобіля бувають нечасто. Падіння з коліс вантажних автомобілів (звичайно задніх) відбувається при спробі піднятися в кузов автомобіля, коли нога зісковзує з поверхні шини.

У салоні автобусів найчастіше падають кондуктори - при різкому гальмуванні або прискоренні, а також при крутому повороті автобуса. Падіння водіїв і ремонтних робітників у салоні автобуса, який не рухається, спостерігається рідко, в основному через слизькість підлоги і захаращеність салону.

Падіння з драбин є наслідком застосування непристосованих драбин та слизькості опірної поверхні. Падіння в оглядову канаву з драбин спричинюються слизькістю сходинок через їх зношеність або відсутність чи несправність поручнів. Слизькість і несправність естакад і рамп також приводять до падінь виконавців робіт.

Травми відбуваються при зістрибуванні водіїв з підніжок вантажних автомобілів, з робочих місць автомобілів, у яких робоче місце розташоване безпосередньо над колесом, з кузовів і буферів, з драбин. Звичайно зістрибування викликає вивих гомілковосто-пного суглоба і травмування інших частин тіла внаслідок наступного падіння.

Травми через падіння в кузовах вантажних автомобілів стаються при очищенні кузова, при навантаженні або розвантаженні вантажів, при різкому гальмуванні або прискоренні руху.

Інші травмуючі чинники складають 6,9% від загальної кількості. До них належать: кузов автомобіля-самоскида, що опустився, оксид вуглецю, електричний струм, дишло причепа, розрив гнучкого зчеплення, жорсткий буксир, шпindel токарного верстата, свердло і оброблювана ним деталь, шина колеса, що лопнула, заточний верстат, пружина, що зірвалася, диск пили, фреза, стенд демонтажу шин, дверці кабіни, багажник автобуса, капот двигуна,

рульове колесо, шток гальмівної камери, важіль коробки передач, металева стружка.

### **5.3 Паспортизація об'єктів підвищеної небезпеки**

Паспортизацію об'єктів підвищеної небезпеки здійснюють відповідно до вимог Наказу МНС від 18 грудня 2000 року № 338 «Про затвердження Положення про паспортизацію потенційно небезпечних об'єктів», де використані терміни вживаються в такому значенні.

Паспортизація потенційно небезпечного об'єкта – процедура підготовки і надання паспорта потенційно небезпечного об'єкта;

Державний реєстр потенційно небезпечних об'єктів – автоматизована інформаційно-довідкова система обліку та обробки інформації щодо потенційно небезпечних об'єктів;

Паспорт потенційно небезпечного об'єкта – документ визначеної форми, який містить структуровані дані про окремий потенційно небезпечний об'єкт;

Джерело небезпеки – технологічний об'єкт (устаткування, агрегат тощо), який за певних обставин (аварія, порушення технологічного регламенту тощо) може спричинити надзвичайну ситуацію;

Чинники небезпеки – внутрішні (наявність небезпечних речовин, застосування небезпечних технологічних процесів, незадовільний стан будівель і обладнання, порушення умов безпечної експлуатації тощо) та зовнішні (особливості місцезнаходження небезпечних об'єктів, несприятливі природні умови тощо) фактори, які можуть безпосередньо спричинити виникнення надзвичайної ситуації на об'єкті або негативно вплинути на її розвиток;

Ідентифікація потенційно небезпечного об'єкта – процедура виявлення на об'єкті джерел та чинників небезпеки, на підставі яких об'єкт визнається потенційно небезпечним;

Об'єкт господарської діяльності – виробництва, цехи, споруди і будови, які використовуються юридичною особою або фізичною особою - підприємцем для виробничої, науково-дослідницької, комерційної або іншої діяльності;

Відповідальні особи ПНО – юридичні або фізичні особи, які є власниками ПНО або за якими ці об'єкти закріплені на правах повного господарського відання або оперативного управління чи перебувають у їх володінні та користуванні.

Паспортизація ПНО здійснюється відповідно до переліків потенційно небезпечних об'єктів, затверджених комісіями з питань техногенно- екологічної безпеки (ТЕБ) та НС, які складаються на підставі результатів ідентифікації ПНО.

Перелік потенційно небезпечних об'єктів складається і подається на електронному й паперовому носіях.

Територіальний орган державного нагляду у сфері ЦЗ формує перелік потенційно небезпечних об'єктів окремої області (регіону) і щороку до 1 листопада подає його на затвердження до відповідної комісії з питань ТЕБ та НС. Затвержені переліки потенційно небезпечних об'єктів направляються до Державного департаменту страховий фонд документації (СФД) та ДСНС України.

Галузеві переліки потенційно небезпечних об'єктів складають відповідні центральні органи виконавчої влади і щорічно до 1 грудня надають їх до Державного департаменту СФД та ДСНС України.

Територіальний орган державного нагляду у сфері ЦЗ щорічно до 1 січня надає на електронному й паперовому носіях затверджений регіональний перелік потенційно небезпечних об'єктів до Державного департаменту СФД для здійснення державного обліку ПНО, готує розпорядчий документ щодо проведення паспортизації ПНО, а також організовує контроль за станом паспортизації ПНО.

Відповідальна особа ПНО у тридцяти денний термін після отримання акта (розпорядчого документа) територіального органу державного нагляду у сфері ЦЗ або відповідного центрального органу виконавчої влади щодо проведення паспортизації ПНО подає до місцевого органу державного нагляду у сфері ЦЗ оформлений паспорт потенційно небезпечного об'єкта на електронному й паперовому носіях. Копія паспорта потенційно небезпечного об'єкта залучається до наглядової справи ПНО.

Форма паспорта потенційно небезпечного об'єкта повинна відповідати виду господарської діяльності окремого об'єкта (1НС – підприємство, 2НС – вугільна шахта, 3НС – гідротехнічний об'єкт, 4НС – кар'єр, 5НС – автозаправна станція, 6НС – сухопутний тунель, 7НС – міст, віадук, шляхопровід, 8НС – залізнична станція, 9НС – магістральний трубопровід, 9аНС – відгалуження від магістрального трубопроводу; 10НС – родовище нафти, газу, конденсату; 11НС – підземна станція метрополітену; 12НС – тунель метрополітену).

Форми паспортів потенційно небезпечних об'єктів розміщуються на офіційному сайті МНС України.

Паспорт потенційно небезпечного об'єкта заповнюється державною мовою з обов'язковою вказівкою повної офіційної і скороченої назв об'єкта, з додержанням вимог щодо чіткості заповнення та однозначного тлумачення наведеної інформації.

Заповнений у повному обсязі (усі графи) паспорт потенційно небезпечного об'єкта має бути завірений підписом керівника та печаткою.

Відповідальна особа ПНО, яка має декілька окремо розташованих ПНО, оформляє відповідну форму паспорта на кожний об'єкт з обов'язковою вказівкою на його фактичне місцезнаходження.

Паспорт потенційно небезпечного об'єкта підлягає переоформленню кожні п'ять років.

У разі будь-яких змін характеристик ПНО відповідальні особи ПНО зобов'язані у десятиденний термін скласти та надіслати до місцевих органів державного нагляду у сфері ЦЗ та Науково-дослідного, проектно-конструкторського та технологічного інституту мікрографії (НДІ макрографії) Повідомлення про зміни у паспорті потенційно небезпечного об'єкта.

Керівники ПНО згідно з чинним законодавством України несуть відповідальність за несвоєчасне подання паспорта потенційно небезпечного об'єкта, змін до нього, неповний обсяг інформації та подання недостовірної інформації.

Територіальні та місцеві органи державного нагляду у сфері ЦЗ згідно з чинним законодавством мають право здійснювати контроль щодо обсягу, правдивості та своєчасності інформації, наданої в паспорті потенційно

небезпечного об'єкта. У разі виявлення змін у стані ПНО порівняно з даними паспорта потенційно небезпечного об'єкта територіальні та місцеві органи державного нагляду у сфері ЦЗ зобов'язують адміністрацію ПНО пройти повторну ідентифікацію, оформити Повідомлення про зміни у паспорті потенційно небезпечного об'єкта або оновлений паспорт потенційно небезпечного об'єкта.

Територіальні та місцеві органи державного нагляду у сфері ЦЗ організують збирання та щоквартальне надсилання отриманих паспортів потенційно небезпечних об'єктів на адресу НДІ мікрографії для подальшої їх обробки та внесення інформаційних даних до Державного реєстру ПНО. У разі необхідності НДІ мікрографії має право розробляти окремі форми паспортів потенційно небезпечних об'єктів або вносити зміни до них.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

За результатами дослідження технологічного процесу обслуговування системи фільтрації палива на дизельних двигунах Cummins ISF та YD25 було виявлено ряд моментів, які потребують вдосконалення.

Стан фільтруючого елементу: Аналіз використаних фільтрів показав, що їх ресурс часто був вичерпаний задовго до заявленого терміну експлуатації. Це свідчить про необхідність перегляду інтервалів заміни або використання вдосконалених матеріалів у фільтруючому елементі.

Технологічний процес: Було виявлено, що в існуючому порядку обслуговування системи фільтрації немає чітких рекомендацій щодо проведення проміжних перевірок стану фільтру. Введення регулярних діагностичних процедур дозволить виявляти проблеми на ранніх стадіях і запобігати можливим пошкодженням двигуна.

Використання сучасного обладнання: Наявність високоточного обладнання для діагностики та тестування системи фільтрації може істотно покращити якість обслуговування. Це дозволить визначити стан фільтруючого елементу з більшою точністю і виробляти заміну тільки при необхідності.

На підставі проведеного дослідження рекомендується вдосконалити технологічний процес обслуговування системи фільтрації палива, акцентуючи увагу на чіткому визначенні термінів служби фільтрів, введенні проміжних діагностичних процедур, підвищенні кваліфікації персоналу та використанні сучасного обладнання для діагностики системи.



**БІБЛІОГРАФІЯ**

1. Ляшук О.Л., Гудь В.З., Пиндус Ю.І., Левкович М.Г., Хорошун Р.В. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи магістра за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр» галузі знань 27 «Транспорт» спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2020. – 66 с.

2. Гевко І.Б. Техніко-економічне обґрунтування процесу механічної обробки з використанням комбінованого свердла-мітчика / І.Б.Гевко, Р.Я., Ляшук, І.І.Стойко, Н.М.Марчук, М.Д.Сіправська // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст.–Вип. 40.–Луцьк, 2018. С.21-31.

3. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Луциків І.В., Плекан У.М., Клендій В.М. - Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 276 с.

4. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Гудь В.З., Левкович М.Г., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. - Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 544 с.

5. Конспект лекцій з курсу «Технології обслуговування автотранспортних засобів». / Р.В. Хорошун, О.Л. Ляшук, Н.Т. Навроцька. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ, 2021. – 194 с.

6. Ляшук О.Л. Конспект лекцій з дисципліни«Технічна експлуатація автомобілів» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / О.Л. Ляшук, В.М.Клендій, Р.В.Хорошун. – Тернопіль: Вид. ТНТУ – 2018. – С. 302.

7. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: організація і управління: Підручник – К.: Знання. 2004. – 478 с.

8. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Технологія [Текст]: Підручник. / О.А. Лудченко. - Київ: Знання-Прес, 2007. - 527с.

9. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Левкович

М.Г., Гудь В.З., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 544 с.

10. Lyashuk, O., Levkovych, M., Vovk, Y., Gevko, I., Stashkiv, M., Slobodian, L., Pyndus, Y. The study of stress-strain state elements of the truck semi-trailer body bottom. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 2023, 118, 161-172. ISSN: 0209-3324. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2023.118.11>.

11. Sokil, B., Lyashuk, O., Sokil, M., Vovk, Y., Lebid, I., Hevko, I., Khoroshun R Matviyishyn, A. (2022). Methodology of Force Parameters Justification of the Controlled Steering Wheel Suspension. Communications, 24(3), B247-B258.

12. Охорона праці в галузі та цивільний захист: навчальний посібник / Ю. А. Гасило, О. А. Крюковська. К. О. Левчук, Р. Я. Романюк. — Кам'янське : ДДТУ, 2017. — 369 с.

13. Lyashuk, O., Levkovych, M., Vovk, Y., Gevko, I., Stashkiv, M., Slobodian, L., Pyndus, Y. The study of stress-strain state elements of the truck semi-trailer body bottom (2023) Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport, 118, pp. 161-172. (Scopus).

14. Aulina, V., Kropivnya, V., Kuzyka, O., Lyashuk, O., Bosyia, M., Vovk, Y., Kropivnaa, A., Sokol, M., Senyk, A., Slobodyan, L. The Influence of Titanium as a Desferoidizing Element on the Stability of Production of Magnesium Cast Irons with Compacted Graphite (2021) Tribology in Industry - Kragujevac : University of Kragujevac, 4 (43), pp. 654-666. (Scopus).

15. Безпека в надзвичайних ситуаціях : навч. посібник для студентів ЗВО України : у 2 ч. Ч. 1: Надзвичайні ситуації / М. Л. Лисиченко, В. В. Вамболь, С. О. Вамболь, М. М. Кірієнко, І. А. Черепньов, В. М. Власовець ; за ред. М. Л. Лисиченка ; ХНТУСГ. – Харків : ТОВ “ПромАрт”, 2021. – 202 с.

16. Охорона праці на автомобільному транспорті : навчальний посібник / Пістун І. П., Хом'як Й. В., Хом'як В. В. - 2-ге вид., стер. - Суми : Університетська книга, 2015. - 374 с.

17. Навчальний посібник «Техноекологія та цивільна безпека. частина «Цивільна безпека»» / автор-укладач В.С. Стручок– Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с.