

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

ДИПЛОМНА РОБОТА

Освітнього ступеня «Магістр»

на тему: **«ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПАЛИВНИХ
ФІЛЬТРІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО
ЗГОРЯННЯ»**

Виконав: студент 6 курсу групи Ат-61

Спеціальності 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва)

Дудич Остап Олексійович

(прізвище ім'я та по батькові)

Керівник: к.т.н., доцент Шевчук В.В.

(наук. ст., вчене звання, прізвище та ініціали)

Рецензент: _____

(наук. ст., вчене звання, прізвище ініціали)

ДУБЛЯНИ 2021

Магістерська робота: 54 с. текст. част., 27 рис, 10 табл., 18 джерел.
«Дослідження ефективності роботи паливних фільтрів автомобільних двигунів внутрішнього згоряння» Дудич О.О. – Магістерська робота. Кафедра автомобілів і тракторів. – Дубляни, Львівський НАУ, 2021.

Здійснено аналіз впливу забруднення палива на надійність двигунів внутрішнього згоряння та вимог, що висуваються до дизельного палива;

Проведено теоретичну оцінку зміни стану фільтра тонкої очистки в процесі експлуатації;

З використанням методу електромеханічних аналогій отримана залежність зміни швидкості реагування мембрани від параметрів подачі палива, в'язкості палива і засміченості фільтруючого елемента. При цьому показано, що визначальним для швидкості коливань мембрани є її засміченість, а отримана закономірність зміни швидкості коливань від стану фільтруючого елемента в період експлуатації двигуна близька до лінійної.

Здійснено дослідження зміни ресурсу фільтра тонкого очищення в залежності від пробігу транспортного засобу;

Обґрунтовано економічну ефективність використання пристроїв для оцінки стану фільтра тонкої очистки палива.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1	
СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	7
1.1. Загальна характеристика забруднення палива.....	7
1.2. Вплив забруднення палива на надійність двигунів внутрішнього згоряння.....	10
1.3. Вимоги, що пред'являються до дизельного палива.....	12
Висновок за розділом.....	15
РОЗДІЛ 2	
ТЕОРЕТИЧНІ ДОЛІДЖЕННЯ ОЦІНКИ СТАНУ ФІЛЬТРА ТОНКОЇ ОЧИСТКИ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	16
2.1. Загальні теоретичні положення методу аналогій.....	16
Висновки за розділом	19
РОЗДІЛ 3	
МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	20
3.1. Методика та результати досліджень застосування методу аналогій для оцінки стану фільтруючого елемента фільтра тонкого очищення.....	20
3.2. Оцінка зміни ресурсу фільтра тонкого очищення в залежності від пробігу транспортного засобу.....	31
3.3. Результати дослідження димності дизельних двигунів, укомплектованих фільтрами з різним пробігом.....	35
3.4. Результати експлуатаційних досліджень автомобілів, укомплектованих фільтрами тонкого очищення з пробігом більше 10000 км.....	38
РОЗДІЛ 4	
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	39
4.1. Загальні вимоги безпеки до технічного стану автомобілів, обладнання та інструменту.....	39
4.2. Розрахунок та вибір необхідної кількості засобів індивідуального захисту.....	42
4.3. Концепція захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій.....	44
РОЗДІЛ 5	
ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ	49
5.1. Обґрунтування економічної ефективності використання пристроїв для оцінки стану фільтра тонкої очистки палива	49
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53

ВСТУП

Багаторічний досвід експлуатації техніки, обладнаної дизельними двигунами, показує, що забрудненість моторних палив показує різний вплив на показники дизеля.

Збільшення виробництва палива пов'язано не з розвитком економіки, а з щорічним збільшенням кількості автомобілів. При цьому, досить велика частина палива для них виготовляється в процесі тіньової нафтопереробки, крім того, визнається наявність процесу розведення палива на автозаправних станціях (АЗС). Застосування неякісного, забрудненого, а також кустарно виготовленого палива є результатом підвищеного викиду токсичних речовин і парникових газів, зниження експлуатаційних характеристик двигунів і зниження їх ресурсу.

Вимоги до якості палива з точки зору розміру часток визначаються малими зазорами (до 2 мкм) в плунжерних парах паливних насосів високого тиску двигунів. Якщо відносний термін служби плунжерних пар взяти за 1, то при очищенні палива до розміру часток порядку 20 мкм термін їх служби збільшується в 1,8 рази, а при очищенні палива до розміру часток 5 мкм збільшується в 8,5 разів. Високий ступінь очищення палива позитивно позначиться і на зменшенні зношування деталей циліндропоршневої групи (ЦПГ), де площа пружного контакту поршневого кільця і робочої поверхні гільзи визначає стиснення паливо-повітряної суміші в камері згоряння, а значить потужність і екологічну безпеку двигуна. Не дивлячись на велику кількість робіт, присвячених підвищенню якості очищення палива від забруднень і оцінку стану елементів, які визначають ресурс фільтрів, ця проблема повністю не вирішена до теперішнього часу.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Загальна характеристика забруднення палива

Під час виробництва, зберігання, транспортування та використання палива в нього потрапляють частинки, що знаходяться в кристалічному, аморфному, рідкому і газоподібному станах. Ці домішки можуть володіти високою твердістю або бути пластичними, можуть коагулювати і утворювати досить складні ланцюги, вступати в хімічні реакції один з одним і утворювати небажані хімічні сполуки. Забрудненнями можна вважати всі частинки, які потрапили в паливо, незалежно від їх структури, складу і кількості, яка може істотно змінюватися.

Тому актуальними стають питання зниження викидів шкідливих речовин цими двигунами [1], при цьому відомо, що тверді частинки - це дуже великий відсоток від загальних викидів.

За чинними стандартами і технічними умовами заводи-виробники обмежують максимальну кількість забруднень в дизельному паливі, при цьому не виділяються будь-які групи, а також вода. Наприклад, частка сірки не повинна перевищувати 10 мг / кг для класу К5 і 350 мг / кг для класу К3; загальне забруднення ≤ 24 мг / кг; масова частка води ≤ 200 мг / кг. Об'єднана проба становить 3 дм³ незалежно від представленого на експертизу обсягу палива.

Існуючі методи оцінки забруднень можуть виявляти вміст механічних забруднень в разі, якщо їх концентрація $\geq 0,005\%$. Метод Діна-Старка дозволяє визначити зміст вільної води в паливі, якщо її більше, ніж 0,025%, все інше - сліди води в паливі [2]. У дизельне паливо, як правило, вносяться присадки, що поліпшують його експлуатаційні властивості (рис.1.1) [3].

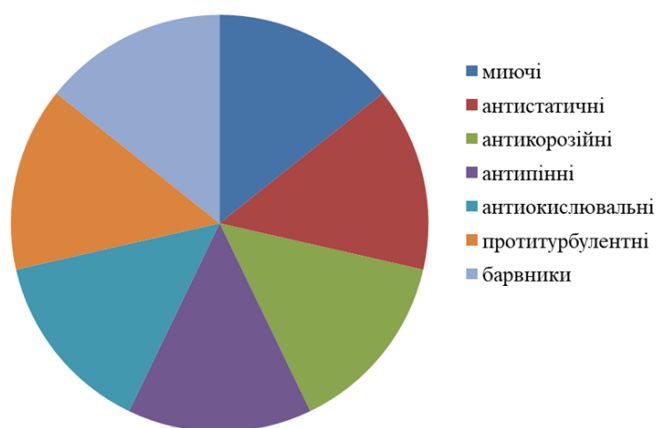


Рисунок 1.1- Види присадок, що поліпшують властивості дизельного палива.

Пакування, транспортування та зберігання дизельного палива повинно відповідати ГОСТ 1510, термін зберігання дизпалива - 1 рік. У цей період присадки в дизельному паливі повинні вести себе нейтрально, а під час перевезення палива або зберігання в ньому може накопичуватися дуже велика кількість забруднень (рис.1.2). У загальному випадку, присадки можуть хімічно реагувати з забрудненнями, як правило, які не є нейтральними.

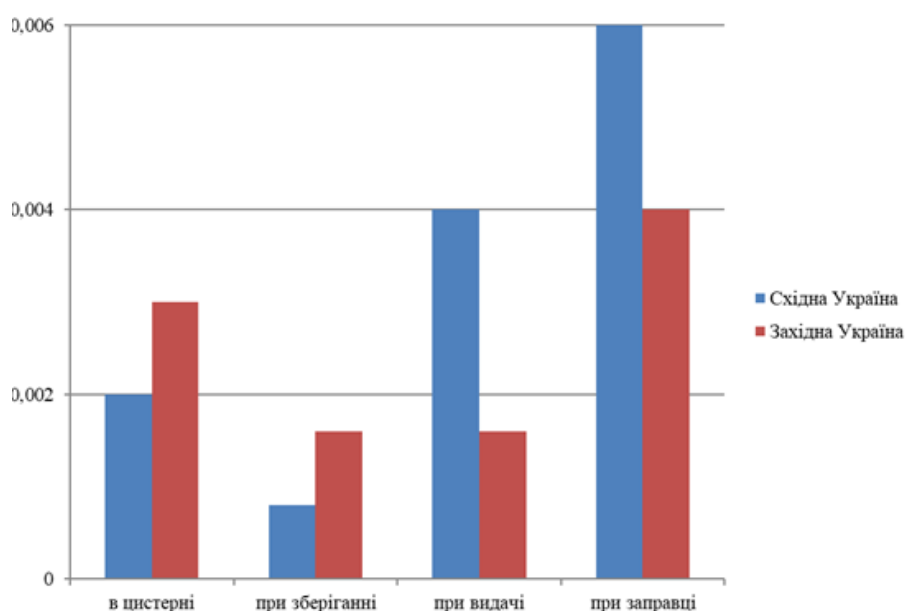


Рисунок 1.2 – Забрудненість дизельного палива на складах АТП.

Відомо, що існує безпосередня залежність забрудненості палива в паливних баках транспортних засобів від запиленості, а, отже, і від сезону

експлуатації. Забрудненість може досягати значень 200...400 г на 1 т палива [4], [5], [6], а якщо протягом п'яти років транспортний засіб працює на будівництві, часто використовує для переміщення польові дороги, то вміст забруднень може збільшуватися до 1,5 разів. У середній кліматичній зоні при транспортуванні, зберіганні і заправці транспортних засобів влітку забрудненість палива має вигляд, представлений на рисунку 1.3, в баках транспортних засобів - на рисунку 1.4.

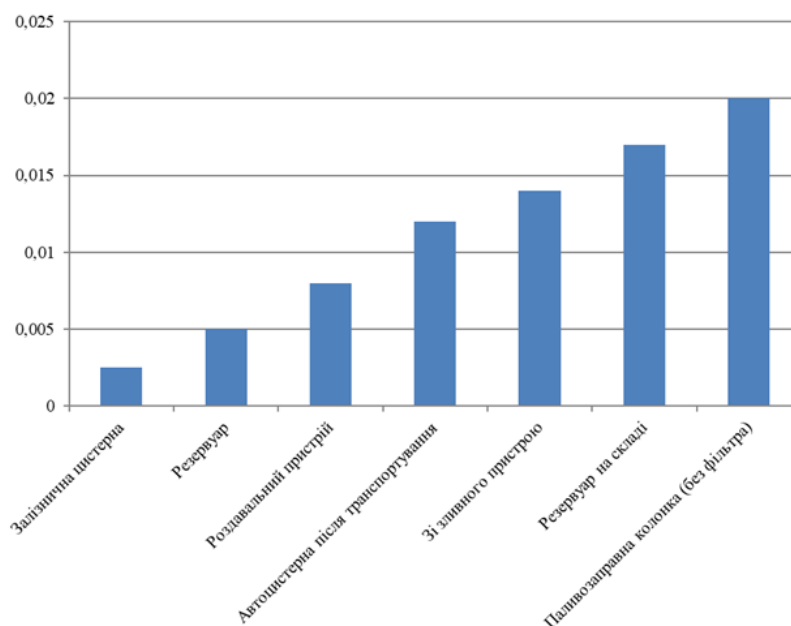


Рисунок 1.3 – Накопичення забруднень (%)

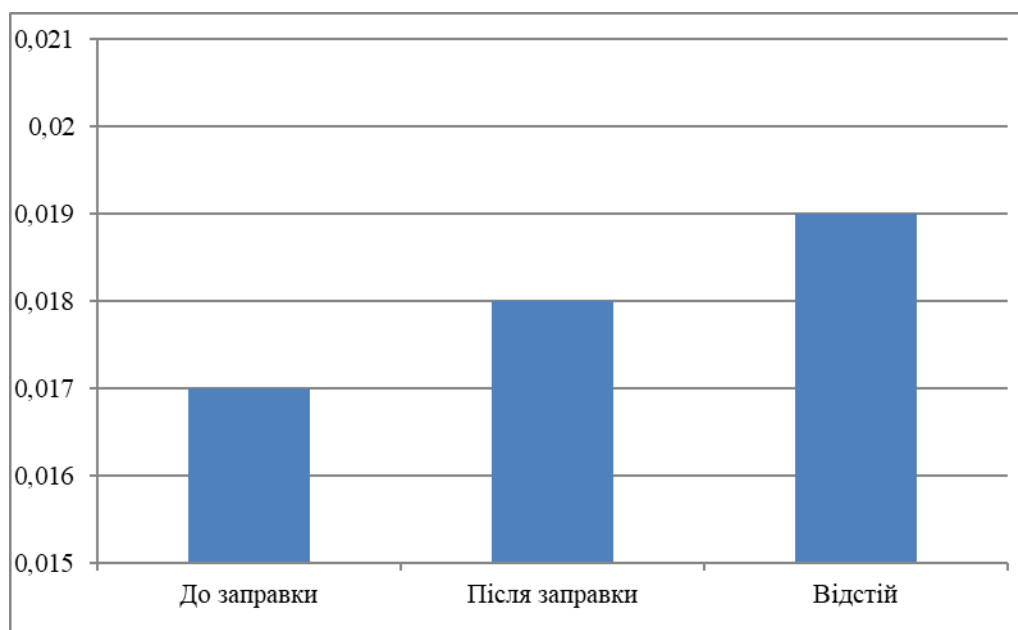


Рисунок 1.4 – Забрудненість палива в баках автомобіля (%)

При коливаннях температури і вологості дизельне паливо починає вбирати пари вологи з повітря, і чим більше площа поверхні палива, тим більше парів буде поглинено. Пари можуть утворювати окремі мікрокраплі, а якщо вони перемішуються з паливом, то утворюють водопаливну емульсію [7]. Перехід води в емульсійний стан з діаметром краплі 7...8 мкм відбувається при зниженні температури палива, а осадження на поверхні холодного палива мікрокрапель супроводжується підвищенням температури, це надзвичайно ускладнює видалення вологи з палива.

У паливі розчинена вода знаходиться у вигляді окремих молекул, і до точки насичення ці молекули не взаємодіють з молекулами вуглеводнів. Таким чином, вихідний обсяг забруднень палива багаторазово збільшується при його зберіганні в ємностях на складах, транспортних цистернах і паливних баках транспортних засобів, і багато разів перевершує дані, зазначені в стандартах. Безумовно, це вкрай негативно позначиться на надійності, в першу чергу, паливної апаратури і циліндропоршневої групи двигуна при його експлуатації.

1.2 Вплив забруднення палива на надійність двигунів внутрішнього згорання

Від забруднення палива в першу чергу страждають саме деталі, сполучення і вузли паливної апаратури, при цьому витрати, пов'язані з усуненням наслідків її відмов (паливний насос високого тиску і форсунки), досить великі і можуть становити до 90% всіх трудових витрат. Відомо, що відхилення потужності дизеля від номінального значення в межах - 7%...+ 5% можна вважати відмовою [8]. Оскільки зменшення потужності через граничне зношення основних сполучень, що відповідають за ресурс двигуна не перевищує 5 %, то основною причиною таких відмов вважають несправність саме паливної апаратури двигуна.[9,10]. А більше половини відмов, що припадають на паливну систему, пов'язують із забрудненістю палива. Не нормовані відхилення в технічному стані паливної апаратури істотно знижують надійність інших сполучень двигуна, прискорюючи

процес їх зношування. Як приклад на рисунку 1.6 показано вплив технічного стану та регулювань паливної апаратури на зношування верхньої зони циліндра дизельного двигуна внутрішнього згоряння.[11].

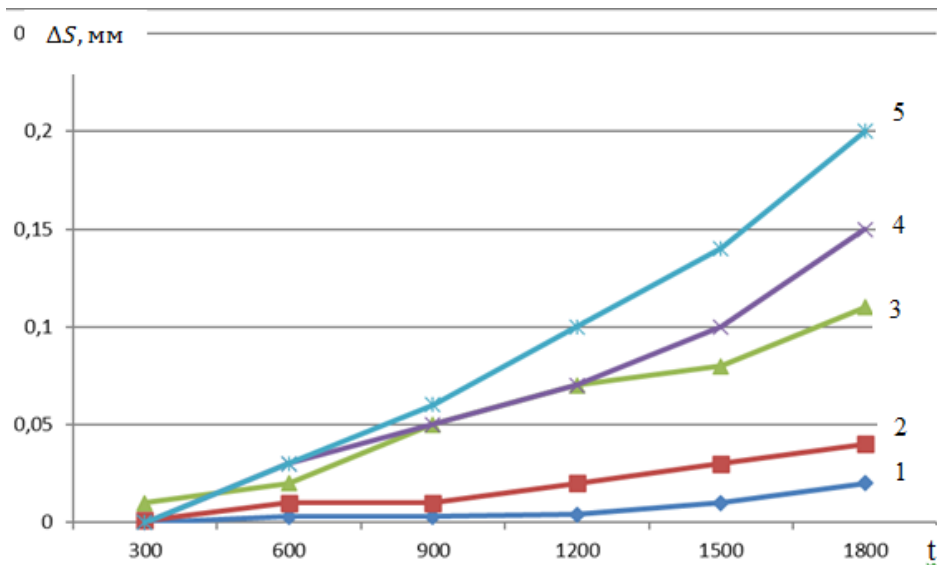


Рисунок 1.5 – Зношування верхньої зони циліндра (ΔS) в залежності від напрацювання (t) при різному технічному стані паливної апаратури: 1 - нормальне регулювання паливної апаратури; 2 - жорсткість пружини форсунки зменшена на 40%; 3 - циклова подача палива збільшена на 22,5%; 4 - кут випередження початку подачі зменшений на 29%; 5 - результат спільної дії зазначених факторів

Прискореному процесу зношування сприяє і потрапляння забруднень з паливом безпосередньо в камеру згоряння. Тверді частинки забруднень залишають подряпини, в першу чергу, на поверхні гільз, оскільки робочі поверхні поршневих кілець мають тверді зносостійкі покриття (хром, молибден). Ці подряпини в процесі зношування збільшуються в розмірах, можуть призводити до відколів і викришування робочої поверхні гільз - в результаті падає ступінь стиснення, знижуючи потужність дизеля і збільшуючи викид шкідливих речовин в атмосферу.

Прецизійна пара у складі нагнітального клапана з гніздом, голки з конусом розпилювача форсунки і плунжера з втулкою мають високу чистоту обробки поверхонь [12]. При попаданні абразивних частинок в паливний насос високого тиску і форсунки процес зношування прецизійних деталей

істотно інтенсифікується. Результатом цього стає погіршення процесу упорскування палива і його сумішоутворення, що призводить до втрати стійкості роботи дизеля, погіршення пускових і потужних характеристик, підвищенню токсичності та димності відпрацьованих газів. Подальша експлуатація двигуна стає або занадто затратною, або взагалі неможливою.

Що стосується наявності води в паливі, то вона, не будучи хімічно нейтральною, призводить до утворення шламів, що забивають пори фільтруючих елементів фільтрів і канали паливопроводів, а також утворення хімічних сполук, що викликають хімічну і електрохімічну корозію деталей паливної апаратури. Мاستило прецизійних деталей паливної апаратури проводиться безпосередньо в процесі проходження по ним палива, тому наявність води в паливі призводить до погіршення цього процесу і інтенсифікує зношування. Кристалізація води при низьких температурах може призвести до руйнування перегородок фільтруючих елементів і стати причиною повного припинення подачі палива в дизель. Мікробіологічне ураження дизпалива також можливо тільки в присутності води, при цьому зростання мікроорганізмів викликає істотне збільшення кислотності палива, вміст у ньому смол, йодного числа, в'язкості, а також знижує його випаровуваність і хімічну стабільність [13]. Таким чином, збільшення ступеня забрудненості дизельного палива в процесі експлуатації транспортного засобу ще більше погіршує і прискорює процеси зношування деталей і вузлів двигуна, вносячи незворотні зміни в його експлуатаційні показники.

1.3 Вимоги, що пред'являються до дизельного палива

Всі вищевказані факти істотно позначаються на вимогах, пропонованих до дизельного палива. Для надійної та економічної роботи дизеля паливо повинне відповідати наступним технічним і екологічним вимогам:

- не викликати корозії паливопроводів, паливних баків і інших деталей двигуна;

- забезпечувати тонке розпилювання і хороше сумішоутворення;
- добре прокачуватися для надійної та безперебійної роботи насоса високого тиску, а значить мати певну в'язкість, необхідні низькотемпературні властивості;
- не містити води і механічних домішок;
- повністю згоряти, не утворюючи сажистих речовин, щоб двигун легко запускався і плавно працював;
- забезпечувати мінімальний викид токсичних речовин в атмосферу.

На виробництво дизельного палива в Україні діє чинний державний стандарт ДСТУ 3868-99 "Дизельне паливо Євро". Паливо можна використовувати в техніці класу II (вміст сірки 0,05%) і старій техніці, що не відповідає сучасним класам (вміст сірки 0,2%).

Крім вищевказаних стандартів на ринку дизпалива в Україні діє велика кількість технічних умов, в більшості своїй передбачають відступи від стандартів за основними показниками якості. Причому ці відступи не узгоджені ні з виробниками техніки, ні з організаціями які її експлуатують. Введені технічні умови істотно полегшують виробництво палива, але призводять до підвищення жорсткості процесу згорання палива в камері згорання двигуна і збільшення навантажень на деталі циліндропоршневої групи.

У свою чергу, в Європі, борються вже зі зменшенням виділення парникових газів, при цьому уряд стимулює використання транспортних засобів, обладнаних дизельними двигунами, за допомогою надання податкових пільг для їх власників, а також утриманням цін на дизельне паливо на «привабливому» рівні. У травні 2007 р. ЄС схвалив введення нових стандартів Євро5 і Євро-6 для автомобілів з дизельними двигунами. Згідно Євро-5, викиди оксидів азоту не повинні перевищувати 180 мг / км, а викиди твердих частинок - 5 мг / км. Стандарт Євро-6 обмежує вміст оксидів азоту на рівні не більше 80 мг / км. Добре видно і ще одну спрямованість стандартів - це проблема парникового ефекту і, пов'язаного з ним глобального потепління.

Швеція, ще до прийняття стандартів Євро, в 1991 р ввела специфікації на дизельне паливо класу I і II, що передбачають вміст сірки 10 і 50 ppm. У 1993 р. в Каліфорнії (США) був введений стандарт, що обмежує вміст сірки до 500 ppm, ароматичних вуглеводнів до 36%, поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ) - до 1,7%. Країни Південно-Східної Азії наводять свої стандарти у відповідність до стандартів США і ЄС: Японія, Китай і Південна Корея перейшли на виробництво високоякісних низькосірчистих дизельних палив з вмістом сірки до 50 ppm. У Канаді з 1 червня 2006 р діє стандарт, що обмежує вміст сірки до 15 ppm. Слідом за вимогами щодо обмеження вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах дизелів стандарти Євро посилюють вимоги до якості самих дизельних палив (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Вимоги стандартів Євро до якості дизельних палив

Показник	Стандарт щодо обмеження вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигунів				
	Євро-2 1996 р.	Євро-3 2000 р.	Євро-4 2005 р.	Євро-5 2009 р.	Євро-6 2015 р.
Вміст сірки, %	≥ 0,05	≥ 0,035	≥ 0,005	≥ 0,001	≥ 0,001
Цетанове число	≤ 49	≤ 51			
Змащуюча здатність при 60%, мкм,	Не нормується	60			
Фракційний склад: 95% переганяється до, °С	370	360			
Густина при 15°С, кг/м ³	820 - 860	820 - 845			
Окислювальна стабільність	Не нормується	≥ 25			
Вміст метилових ефірів жирних кислот, %	-	≥ 5			

Багаторічний досвід експлуатації техніки, обладнаної дизельними двигунами, показує, що забрудненість моторних палив показує різний вплив на показники дизеля. Наприклад, збільшення зазору в плунжерних парах з 0,8 мкм до 7 мкм супроводжується збільшенням індикаторної витрати палива всього на 5%, однак робить пуск дизеля практично неможливим. Тому для забезпечення безвідмовної роботи прецизійних деталей паливної апаратури з

палива необхідно видаляти частинки забруднень розміром, перевищуючим половину величини зазору в плунжерній парі. Тому номінальна тонкість очищення дизельного палива не повинна перевищувати 5 мкм, а абсолютна величина - 10 мкм. Результати досліджень показують, що при тонкості очищення палива 2-5 мкм тривалість роботи плунжерних пар збільшується в 2,5 ... 4 рази. Крім тонкості очищення дизельного палива істотну роль грає також і повнота очищення: за відсутністю механічних домішок в дизельному паливі приймається їх кількість $\leq 0,005\%$ (менше 50 г на 1 т), а гранично допустимий вміст води в дизельному паливі складає 0,025 ... 0,03% (мас.).

Висновки за розділом

На основі аналізу характеристики забруднення палива, впливу забруднення палива на надійність двигунів внутрішнього згоряння та вимог, що висуваються до дизельного палива, метою роботи є: підвищення ефективності роботи та довговічності двигунів внутрішнього згоряння завдяки дослідженню роботи паливних фільтрів автомобільних двигунів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Провести аналіз впливу забруднення палива на надійність двигунів внутрішнього згоряння та вимог, що висуваються до дизельного палива;
2. Здійснити теоретичну оцінку зміни стану фільтра тонкої очистки в процесі експлуатації;
3. Провести дослідження зміни ресурсу фільтра тонкого очищення в залежності від пробігу транспортного засобу;
4. Обґрунтувати економічну ефективність використання пристроїв для оцінки стану фільтра тонкої очистки палива.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ СТАНУ ФІЛЬТРА ТОНКОЇ ОЧИСТКИ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

2.1 Загальні теоретичні положення методу аналогій

При розрахунку складних математичних систем часто вдаються до електромеханічної аналогії, протиставляючи механічній системі відповідну електричну [16].

Наприклад, при механічних коливаннях періодично змінюються координата тіла x і проекції його швидкості v на осі координат (v_x, v_y) , при електромагнітних коливаннях змінюються заряд конденсатора q і сила струму в ланцюзі I .

Аналогічність уявлення базується не на природі величин, що протиставляються, а на процесах їх періодичної зміни. Тіло на пружині - попередньо розтягнутої або стиснутої - повертається до положення рівноваги під дією сили пружності F , яка пропорційна зміщенню тіла від положення рівноваги. При цьому жорсткість k пружини є коефіцієнтом пропорційності:

$$F = - kx \quad (2.1)$$

Розряд конденсатора обумовлений наявністю різниці потенціалів (напругою U) між пластинами конденсатора. При цьому напруга пропорційно заряду q , а коефіцієнтом пропорційності є величина зворотна ємності:

$$U = \frac{1}{c} \quad (2.2)$$

У механічній системі внаслідок інертності тіла, зумовленої наявністю маси, воно поступово збільшує швидкість під дією сили з нуля до деякого максимального значення. Після припинення дії сили ця швидкість не стає відразу рівною нулю. Якщо розглянути конденсатор в складі коливального контуру, то електричний струм в котушці - за рахунок явища самоіндукції - збільшується під дією напруги поступово і не зникає в момент, коли напруга

стає рівною нулю. В даному випадку індуктивність контуру L буде грати ту саму роль, що і маса тіла m у механіці.

Кінетичної енергії тіла $\frac{mv^2}{2}$ буде відповідати енергія магнітного поля струму $\frac{Li^2}{2}$ а імпульсу тіла mv - потік магнітної індукції Li . Процесу заряду конденсатора буде відповідати прикладенні до тілу, прикріпленому до пружини, потенційної енергії $\frac{kx^2}{2}$ (При зміщенні тіла на відстань x_m від положення рівноваги).

Таким чином, можна констатувати, що жорсткість k пружини відіграє при механічному коливальному процесі таку ж роль, як величина $\frac{1}{C}$ при електромагнітних коливаннях, а початкова координата x_m відповідає заряду q_m . Тому відповідність між механічними і електричними величинами при коливальних процесах можна представити у вигляді таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Відповідність між механічними і електричними величинами

Механічні величини	Електричні величини
Координата x	Заряд q
Швидкість $v_x = x'$	Сила струму $i = q'$
Прискорення $a_x = v_x'$	Швидкість зміни сили струму i'
Маса m	Індуктивність L
Жорсткість k	Величина, зворотна електроємності $\frac{1}{C}$
Сила F	Напруга U
В'язкість β	Опір R
Потенціальна енергія деформованої пружини $\frac{kx^2}{2}$	Енергія електричного поля конденсатора $\frac{q^2}{2C}$
Кінетична енергія $\frac{mv^2}{2}$	Енергія магнітного поля котушки $\frac{Li^2}{2}$
Імпульс mv	Потік магнітної індукції Li

Виведемо рівняння вільних незгасаючих електромагнітних коливань в контурі і коливань горизонтального пружинного маятника.

Застосовуючи до пружинного маятника закон збереження енергії, отримаємо рівність:

$$E_k + E_n = E \quad (2.3)$$

де кінетична енергія $E_k = \frac{mv^2}{2}$, потенційна енергія $E_n = \frac{kx^2}{2}$.

$$\text{Тоді } \frac{mv^2}{2} \frac{kx^2}{2} = \frac{kx_m^2}{2} = \text{const}, \quad (2.4)$$

$$\text{Так як } \frac{mv^2}{2} \rightarrow \frac{Li^2}{2} \text{ і } \frac{kx^2}{2} \rightarrow \frac{q^2}{2C}, \quad (2.5)$$

Отримаємо

$$\frac{q^2}{2C} + \frac{Li^2}{2} = \frac{q_{\max}^2}{2C} = \text{const}, \quad (2.6)$$

Розв'яжемо рівняння (6) з урахуванням того, що похідна повної енергії за часом дорівнює нулю, так як енергія постійна. Тому і сума похідних за часом від енергій магнітного і електричного полів дорівнює нулю.

$$\left(\frac{Li^2}{2}\right)' + \left(\frac{q^2}{2C}\right)' = 0 \quad (2.7)$$

$$\left(\frac{Li^2}{2}\right)' = -\left(\frac{q^2}{2C}\right)' \quad (2.8)$$

Фізично трактувати рівняння (2.8) можна наступним чином: швидкість зміни енергії магнітного поля по модулю дорівнює швидкості зміни енергії електричного поля, а знак «мінус» вказує на те, що при зростанні енергії електричного поля енергія магнітного поля убиває (і навпаки) - в результаті повна енергія системи не змінюється. Обчислимо обидві похідні в рівнянні (2.8):

$$\frac{2}{L} Li i' = -\frac{1}{2C} 2qq', \quad (2.9)$$

$$Li i' = -\frac{qq'}{C}, \quad (2.10)$$

Так як $i \rightarrow q'$,

тоді

$$Li'q = -\frac{qi}{C} \text{ і } i \rightarrow q'', \quad (2.11)$$

$$Lq''i = -\frac{qi}{C} \quad (2.12)$$

Отримаємо рівняння, що описує процеси в коливальному контурі

$$q'' = \frac{1}{LC} q, \quad (2.13)$$

Висновки за розділом

З використанням методу електромеханічних аналогій отримана залежність зміни швидкості реагування мембрани від параметрів подачі палива (сила, що діє на мембрану при створенні розрідження; частота пульсацій палива в паливопроводі), в'язкості палива і засміченості фільтруючого елемента (зміна коефіцієнта пружності; зміна маси мембрани). При цьому показано, що визначальним для швидкості коливань мембрани є її засміченість, а отримана закономірність зміни швидкості коливань від стану фільтруючого елемента в період експлуатації двигуна близька до лінійної.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Методика та результати досліджень застосування методу аналогій для оцінки стану фільтруючого елемента фільтра тонкого очищення

Розглянемо фільтрацію палива в системі подачі палива двигуна внутрішнього згорання. Вона характеризується пульсацією палива з частотою, що залежить від кількості форсунок і обертів двигуна.

Введемо наступні припущення:

- пульсація палива змінюється за гармонійним законом;
- пульсація палива не залежить від забрудненості фільтруючого елемента фільтра;
- сила, створювана за рахунок розрідження на виході фільтра
- паливним насосом високого тиску (ПНВТ), прямопропорційна
- тиску, помноженому на площу перетину паливопроводу;
- фільтр повністю заповнений паливом (розглядається не
- перше включення фільтра).

Насправді форма імпульсу тиску палива за рахунок високої швидкодії форсунок буде близька до прямокутника (рис. 3.1). При цьому зі збільшенням забрудненості фільтра прямокутні фронти будуть завалюватися по обидва боки. Завалювання фронтів буде пов'язано, в першу чергу, з уповільненням відгуку фільтруючого елемента (мембрани) на зміну тиску - як при його підвищенні, так і зниження з максимального рівня до мінімального.

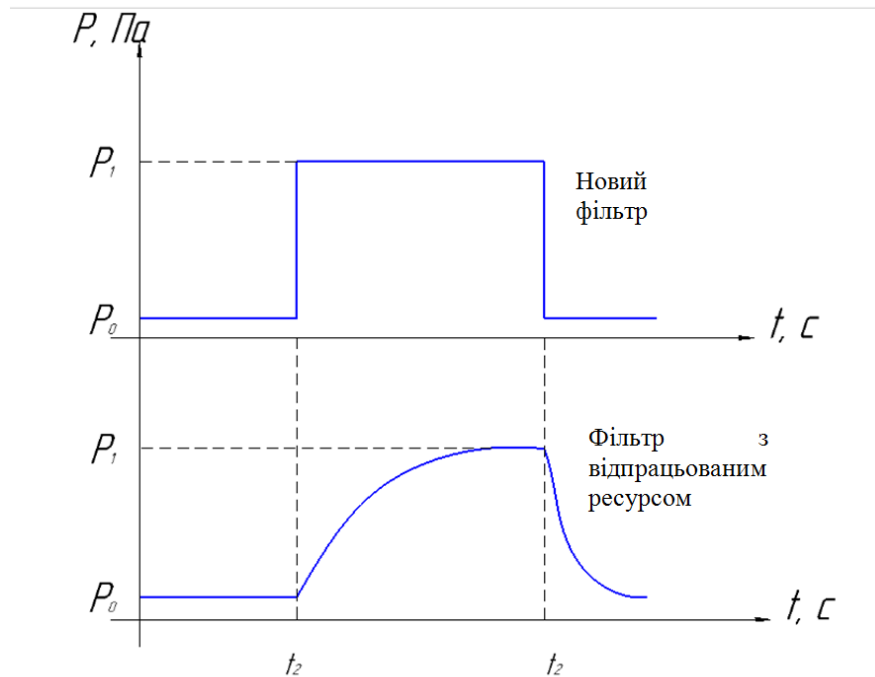


Рисунок 3.1 – Зміна форми імпульсу тиску палива, пов'язана із забрудненням фільтра і розтягуванням мембрани

Знайдемо максимальну швидкість зміни положення мембрани фільтра, що знаходиться в середовищі палива, при дії на нього змінної сили, яка визначається пульсацією тиску в паливопроводі з частотою, яка залежна від кількості форсунок і оборотів двигуна (рис. 3.2).

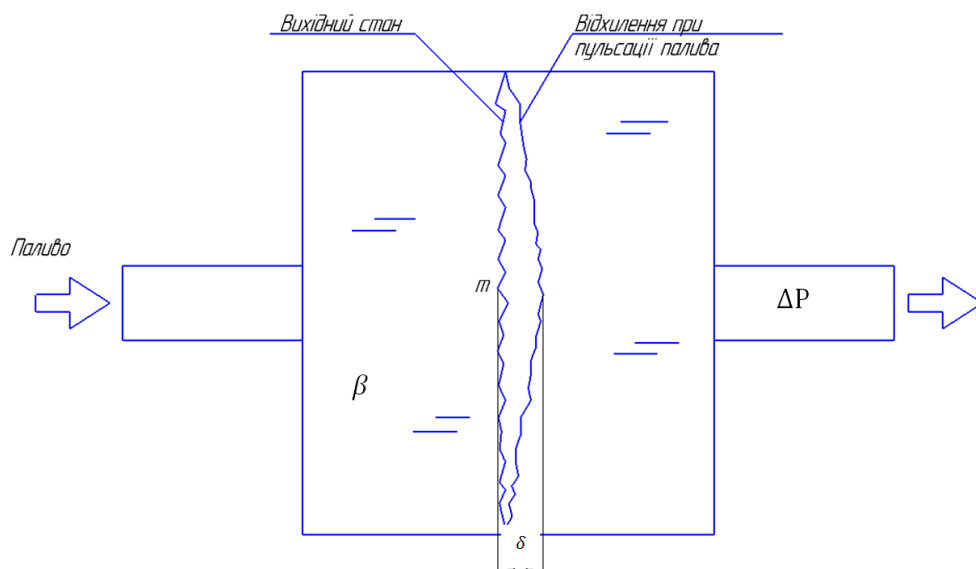


Рисунок 3.2 – Відхилення мембрани при пульсації тиску

При цьому, пульсація тиску ΔP пропорційна частоті обертання колінчастого вала ω і кількості форсунок n . Сила F , яка діє на мембрану, пропорційна пульсації тиску ΔP . Відхилення мембрани δ пропорційно

пульсації тиску ΔP і жорсткості її кріплення k до стінок фільтра. Зміна маси мембрани m впливає на швидкість реагування відхилення мембрани на зміну тиску ΔP .

Перейдемо до наступної схеми фільтруючого елемента (рис. 3.3). уявімо мембрану як тіло з масою m , що знаходиться у в'язкій рідині (коефіцієнт в'язкості β)¹. Коефіцієнт жорсткості k визначає жорсткість кріплення мембрани до стінок фільтра. Сила F виникає при кожній пульсації тиску в паливопроводі.

Користуючись правилами аналогій, складемо електричну схему: вона виглядає як коливальний контур, що містить зовнішнє джерело змінного струму (рисунок 3.4), закон зміни якого визначається законом пульсації палива.

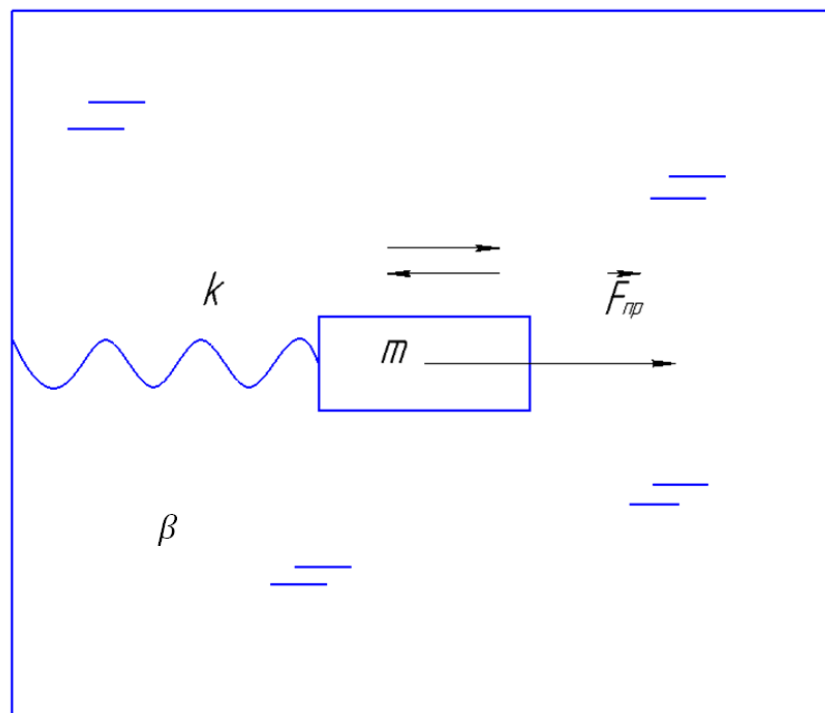


Рисунок 3.3 – Еквівалентна схема фільтруючого елемента (напрямок сили показано в момент створення розрідження)

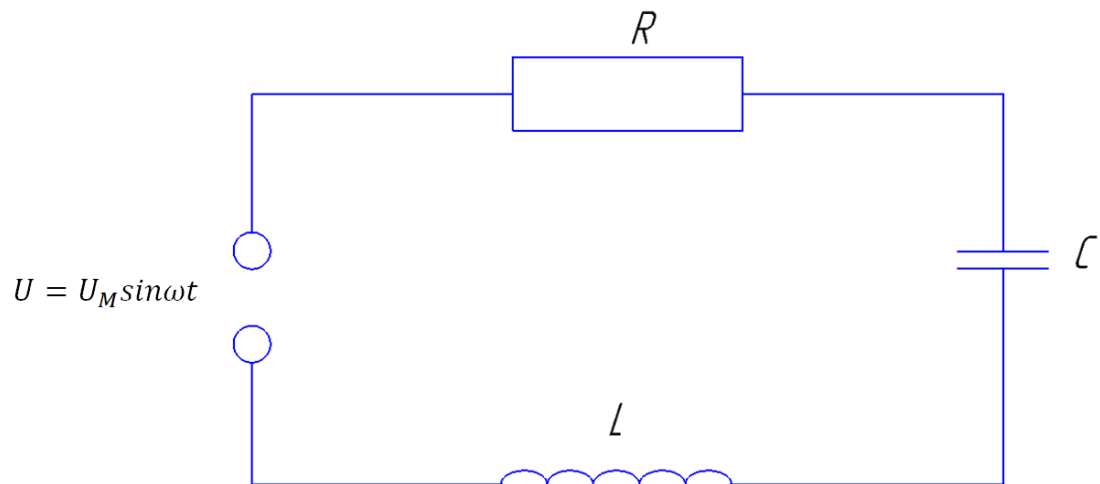


Рисунок 3.4 – Коливальний контур

Використовуємо закон Ома для ділянки кола для змінного струму і знайдемо максимальну силу струму:

$$\frac{U_M}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \quad (3.1)$$

де U_M - максимальне (амплітудне) значення напруги, В; Z - повний опір ланцюга, Ом; R - активний опір, Ом; L - індуктивність, Гн; C - ємність, Ф; частота вимушених коливань с^{-1}

Встановимо відповідності характеристик механічної та електричної схем (табл. 3.1):

$$F \rightarrow U, \quad (3.2)$$

$$m \rightarrow L, \quad (3.3)$$

$$k \rightarrow \frac{1}{C}, \quad (3.4)$$

$$\beta \rightarrow R, \quad (3.5)$$

Тоді

$$\vartheta \sim \frac{F}{\sqrt{\beta^2 + \left(\omega m - \frac{k}{\omega}\right)^2}}, \quad (3.6)$$

Зміну коефіцієнта пружності (жорсткості) k кріплення мембрани до стінок корпусу і маси m мембрани можна визначити експериментально у нового фільтра і фільтра, який виробив свій ресурс. В'язкість палива задається технічними умовами, і також може бути оцінена експериментально. Для оцінки коефіцієнта пружності (жорсткості) k можна застосувати

найпростішу схему вимірювання (рис. 3.5). З цією метою можна застосувати залежність, що описує силу пружності в залежності від зміщення пружини

$$F_{\text{пр}} = -k(\delta_2 - \delta_1), \quad (3.7)$$

де δ - зміщення; k - коефіцієнт пружності

Далі, обчислюючи тангенс кута нахилу прямої, можемо знайти шуканий коефіцієнт k і для нового фільтра, і аналогічно для фільтра, використавшого свій ресурс.

Експеримент з вимірювання коефіцієнта пружності мембрани (рис. 3.6) показав наступне (табл. 3.2 - 3.4).



Рисунок 3.6 – Установка для вимірювання коефіцієнта пружності мембрани фільтрів: 1 - мікроскоп; 2 - мембрана фільтра, закріплена на столі мікроскопа; 3 – динамометр

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку коефіцієнта пружності мембрани нового фільтра

Номер випробування	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%

Таблиця 3.3 - Результати розрахунку коефіцієнта пружності мембрани фільтра з пробігом 10 тис. км

Номер випробування	Деформуюча сила (Н)	Положення покажчика	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%

Таблиця 3.4 - Результати розрахунку коефіцієнта пружності мембрани фільтра з пробігом 20тис. км (фільтр замінений)

Номер випробування	Деформуюча сила (Н)	Положення пказчика	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 рисунку 3.7 показаний зведений графік зміни коефіцієнта пружності мембрани фільтра в залежності від пробігу.

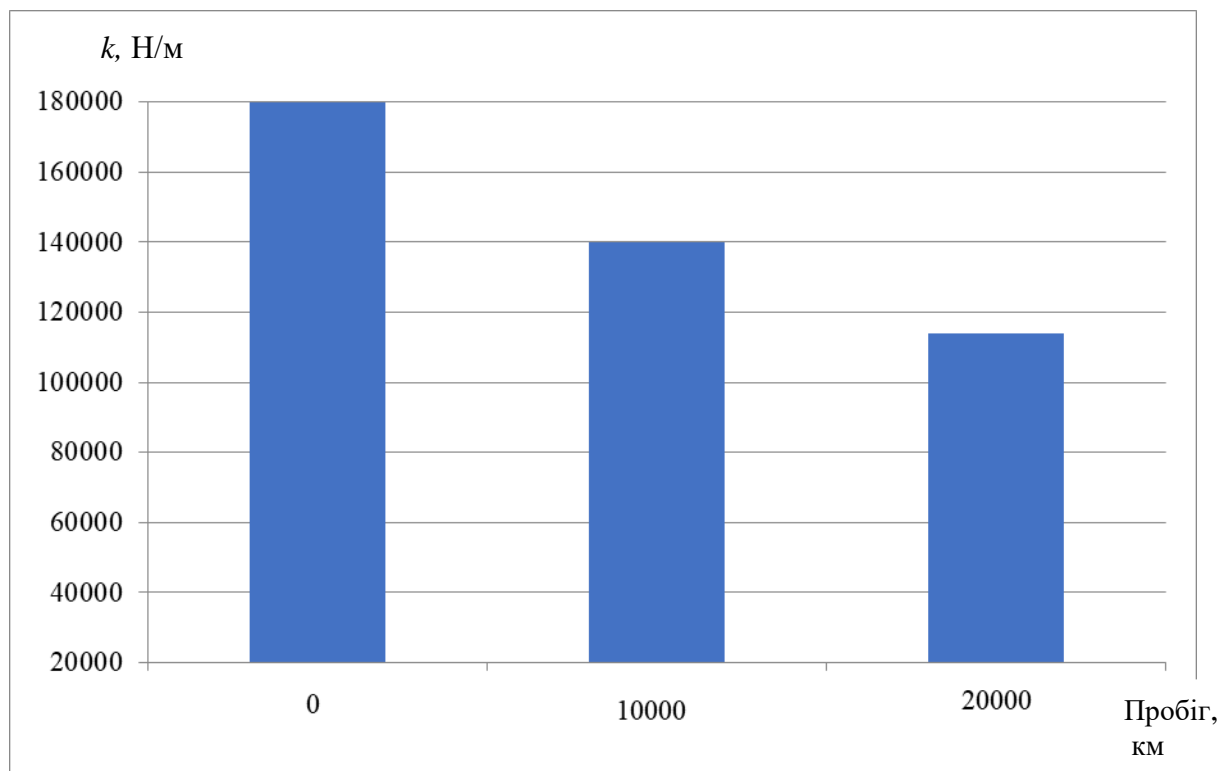


Рисунок 3.7 – Зміна коефіцієнта пружності мембрани фільтра від пробігу

В отриманому виразі (3.1) не можна безпосередньо замінити механічні аналоги на електричні за співвідношеннями (3.7), можна тільки оцінити відхилення величин в заданих межах (наприклад, прийнявши за одиницю (або за 100%) початкове значення, а граничне розрахувавши у відсотках від вихідного).

Прийmemo за вихідні наступні значення.

1. Паливний насос високого тиску, марка Denso HP3 артикул 2940000370, що включає паливопідкачуючий насос Feed pump (рис. 3.8). Частота обертання валу підкачуючого насоса $1000^{\text{хв}^{-1}}$ ($\approx 17\text{с}^{-1}$), при цьому прокачується об'єм палива $245 \pm 60\text{см}^3/\text{хв}$.

2. Кінематична в'язкість дизельного палива: літнє $3\text{-}6\text{мм}^2/\text{с}$, зимове $1,8\text{-}5\text{мм}^2/\text{с}$, арктичне $1,5\text{-}4\text{мм}^2/\text{с}$.

3. Розрідження в паливопроводі $\Delta P = 5000 \dots 12000\text{ Н/м}^2$.

4. Площа паливопроводу $S = 38,5 \cdot 10^{-6}\text{ м}^2$.

5. Процес вимірювання мас фільтрів нового, з пробігом 10 тис.км і 20 тис.км представлений на малюнках 2.9 - 2.12.



Рисунок 3.8 – Паливопідкачуючий насос Feed pump



Рисунок 3.9 - Маса нового фільтра



Рисунок 3.10 - Маса нового фільтра після заповнення паливом і подальшої просушки



Рисунок 3.11 - Маса фільтра з пробігом 10 000 км



Рисунок 3.12 - Маса фільтра з пробігом 20 000 км

Тоді:

1. Частота пульсацій палива в паливопроводі дорівнює частоті обертання валу паливопідкачуючого насоса $1000 \text{ хв}^{-1} (\approx 17 \text{ с}^{-1})$;

2. Маса нового фільтра після заповнення паливом і наступної просушки $m_0 = 0,124 \text{ кг}$; з пробігом 10000 км $m_{10} = 0,127 \text{ кг}$; з пробігом 20000 км $m_{20} = 0,173 \text{ кг}$;

3. Коефіцієнт жорсткості нового фільтра $k_0 = 182428 \text{ Н/м}$; з пробігом 10000 км $k_{10} = 141492 \text{ Н/м}$; з пробігом 20000 км $k_{20} = 1144800 \text{ Н/м}$

4. Середнє значення коефіцієнта в'язкості літнього палива $\beta_{\text{л}} = 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, зимового палива $\beta_{\text{з}} = 3,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, арктичного палива $\beta_{\text{а}} = 2,75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;

5. Сила, що діє на мембрану при створенні розрідження $F = P_{\text{ср}} S = 8,5 \cdot 10^3 \cdot 38,5 \cdot 10^{-6} \approx 0,33 \text{ Н}$.

На підставі цих даних, підставляючи їх в формулу (3.1) і використовуючи залежності (3.7), з використанням MSExcel 2007 року отримані залежності зміни швидкості реагування мембрани на параметри подачі палива і її засміченості.

Таблиця 3.6 – Розрахункові значення зміни швидкості реагування мембрани

Стан фільтра	Пробіг, тис. км	$\omega, \text{с}^{-1}$	$k, \text{Н/м}$	$m, \text{кг}$		$\beta, \text{м}^2/\text{с}$	Ф. Н	Швидкість руху мембрани, v	
1	0	182480	17	0,124	Л	$4,5 \cdot 10^{-6}$	0,33	$4,34 \cdot 10^{-8}$	Літнє, зимове, арктичн с
2	10	141482		0,157	З	$3,4 \cdot 10^{-6}$		$7,07 \cdot 10^{-8}$	
3	20	114800		0,173	А	$2,7 \cdot 10^{-6}$		$9,6 \cdot 10^{-8}$	

Як було зазначено вище, залежності можуть бути проаналізовані тільки на якісному рівні. З аналізу даних, наведених у таблиці, видно, що визначальним для швидкості коливань мембрани є її стан - розтягнутість фільтруючого елемента і його засміченість. При цьому закон зміни

швидкості від стану фільтруючого елемента в період його експлуатації близький до лінійного (рис. 3.13).

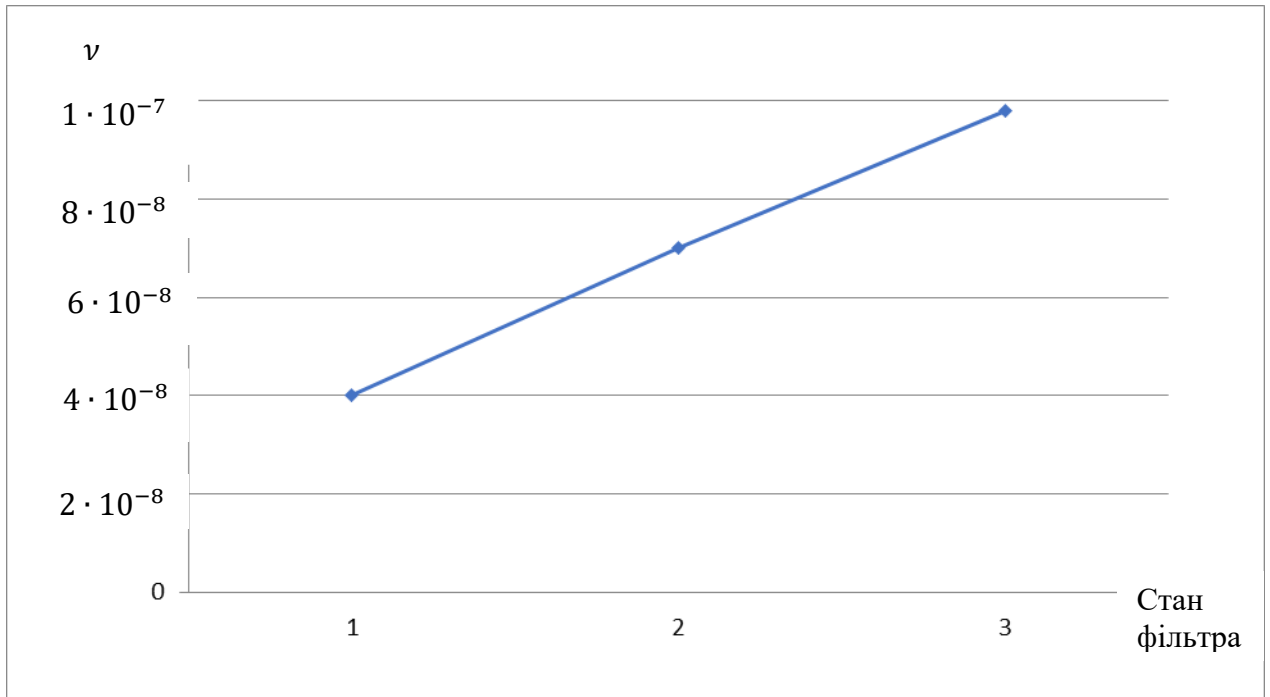


Рисунок 3.13 – Зміна швидкості руху фільтруючого елемента (мембрани) в залежності від пробігу та зміни параметрів k, ω, m, β, F

3.2 Оцінка зміни ресурсу фільтра тонкого очищення в залежності від пробігу транспортного засобу

У конструкціях більшості фільтруючих елементів процес фільтрування супроводжується поступовим закупорюванням їх пір, при цьому ресурс фільтруючих елементів розглядається в період зміни розрідження від деякого початкового ΔP_0 до кінцевого ΔP_k за час $\tau_{\text{фе}}$. Закон фільтрування з поступовим закупорюванням пір виглядає наступним чином :

$$\Delta P_k = \frac{\Delta P_0}{(1 - m_q \tau_{\text{фе}})}; \eta = \frac{G_\phi}{G_0} = \frac{G_\phi}{V_H \tau_{\text{фе}} c_0 \rho_T}; m_q = \frac{\lambda_q \eta c_0 V_H \rho_T}{Q_\phi \Psi_{\text{ср}} \rho_3}, \quad (3.8)$$

де Q_ϕ - об'єм пористої структури фільтруючого елемента; $\Psi_{\text{ср}}$ - середня за обсягом пористість фільтруючого елемента; c_0 - масова концентрація забруднень на вході в фільтруючий елемент; η - експлуатаційний коефіцієнт

очищення палива; λ_q - емпіричні коефіцієнти ресурсних випробувань; V_H - номінальна витрата палива; ρ_T - щільність палива.

З першої формули можна виразити ресурс фільтруючого елемента

$$\tau_{\text{фе}} = \frac{1}{m_q} \left[1 - \left(\frac{\Delta P_K}{\Delta P_0} \right)^{-0.5} \right] \quad (3.9)$$

Як видно з вищенаведених формул, для оцінки стану фільтруючого елемента необхідно врахувати дуже багато чинників. Спробуємо знайти рішення, що спрощує цю оцінку. визначимо ΔP_K , ΔP_0 , $\tau_{\text{фе}}$ для фільтра тонкого очищення палива системи Common Rail. Розрідження в паливопроводі з встановленим в ньому фільтром тонкого очищення палива системи Common Rail, визначалося шляхом установки датчика калібратора тиску "Метран " (рис. 3.14) в системі живлення перед паливним насосом високого тиску марки Denso HP3.



Рисунок 3.14 – Вимірювання калібратором тиску "Метран" розрідження в паливопроводі системи Common Rail

Результати вимірювань розрідження в паливопроводі від пробігу автомобіля наведені на рисунках 3.15-3.16.

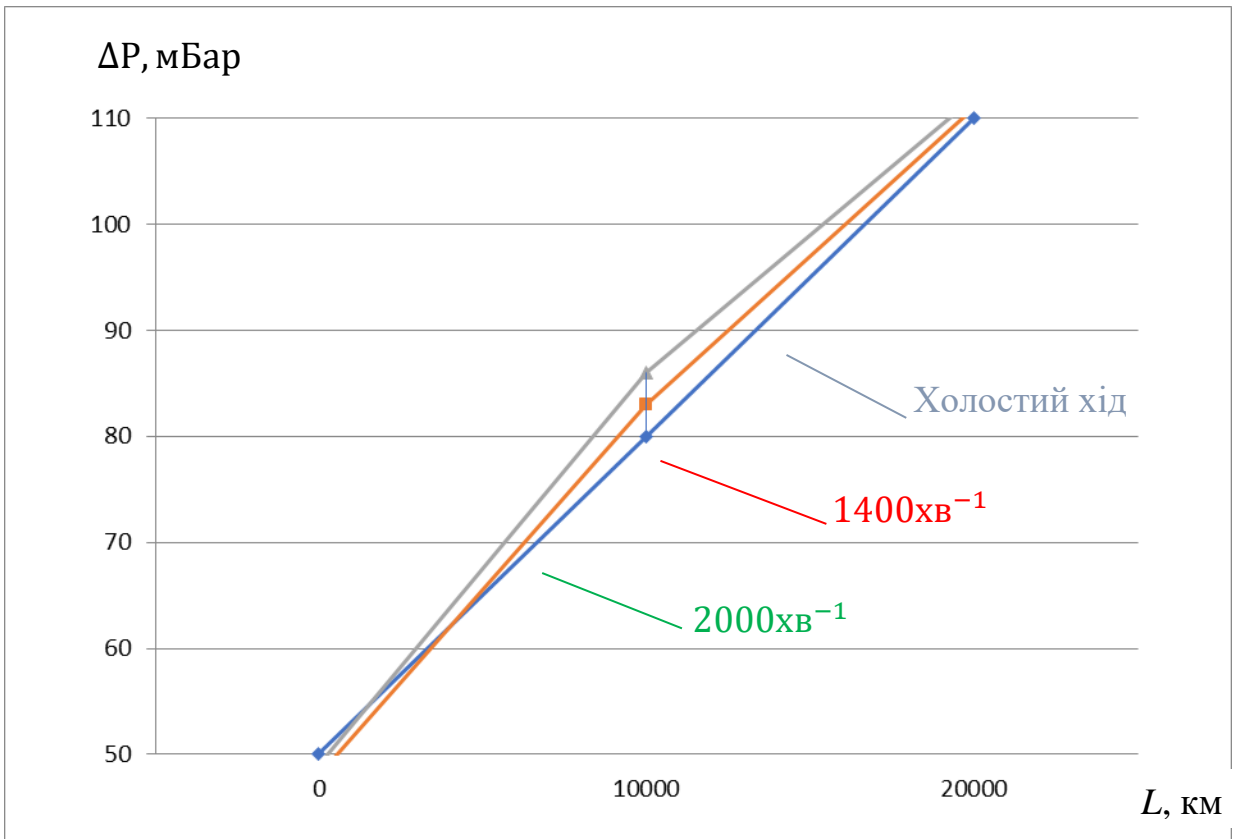


Рисунок 2.15 - Залежність розрідження ΔP в паливопроводі від пробігу L автомобіля

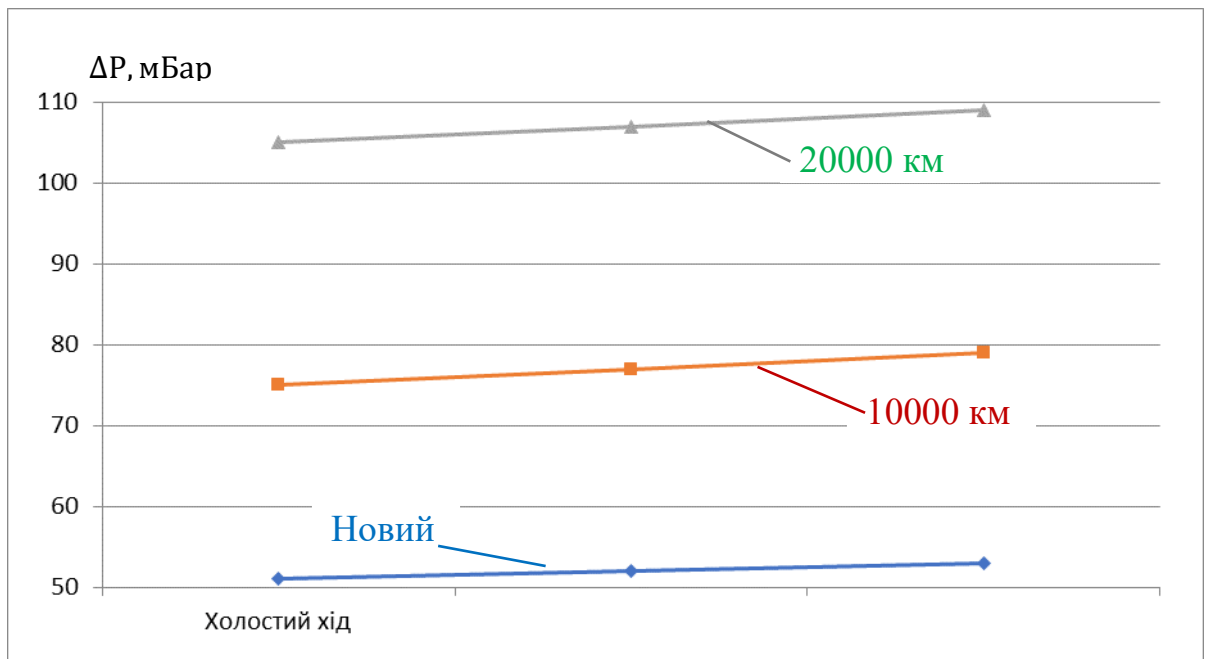


Рисунок 3.16 – Залежність розрідження ΔP в паливопроводі від обертів двигуна для фільтрів з різним пробігом

Залежності, наведені на графіку 3.15, можуть бути описані наступними рівняннями:

$$- \text{Для холостого ходу } \Delta P = 8.4 \cdot 10^{-8} L^2 + 1,7 \cdot 10^{-3} L + 50,5; \quad (3.10)$$

$$- \text{При } 1400_{\text{хв}}^{-1} \Delta P = 7,2 \cdot 10^{-8} L^2 + 1,935 \cdot 10^{-3} L + 51,5; \quad (3.11)$$

$$- \text{При } 2000_{\text{хв}}^{-1} \Delta P = 6,65 \cdot 10^{-8} L^2 + 2,03 \cdot 10^{-3} L + 52, \quad (3.12)$$

при цьому величина достовірності апроксимації графіків експериментальних залежностей не гірше, ніж 0,99. Таким чином, формули (2.23) - (2.25) дозволяють оцінити розрідження в системі подачі палива Common Rail в залежності від пробігу транспортного засобу на трьох режимах: холостий хід, при частоті обертання колінчастого вала $1400_{\text{хв}}^{-1}$ і $2000_{\text{хв}}^{-1}$.

Знайдемо початкові значення розрідження ΔP_0 для режиму холостого ходу, для чого перенесемо ΔP у формулі (2.8) в праву частину і згрупуємо з вільним членом:

$$8,4 \cdot 10^{-8} L^2 + 1,7 \cdot 10^{-3} L + (50,5 - \Delta P) = 0, \quad (3.13)$$

Визначимо дискримінант рівняння

$$D = (1,7 \cdot 10^{-3})^2 - 4 \cdot 8,4 \cdot 10^{-8} \cdot (50,5 - \Delta P) \geq 0, \quad (3.14)$$

Звідки $\Delta P \geq 42$ мБар, що трохи нижче даних виробника системи Common Rail (48-49 мБар).

Знаходячи далі корені рівняння, можна помітити, що тільки один з них буде позитивним.

$$L = \frac{-17 + \sqrt{33,6 \cdot \Delta P - 1407,8}}{16,8} \cdot 10^4, \text{ км} \quad (3.15)$$

Шукана залежність $L = f(\Delta P)$, фактично представляє собою залежність ресурсу фільтруючого елемента паливного фільтра тонкого очищення від розрідження в паливопроводі $\tau_{\text{фе}} = f(\Delta P)$, наведена на рисунку 3.17. Оцінюючи це розрідження, яке є непрямим, але всеохоплюючим, параметром стану фільтруючого елемента і регламентується відповідною технічною документацією виробника, можна однозначно стверджувати, чи потрібна заміна фільтра тонкої очистки чи ні.

Аналогічні дії можна провести для двох інших режимів роботи двигуна.

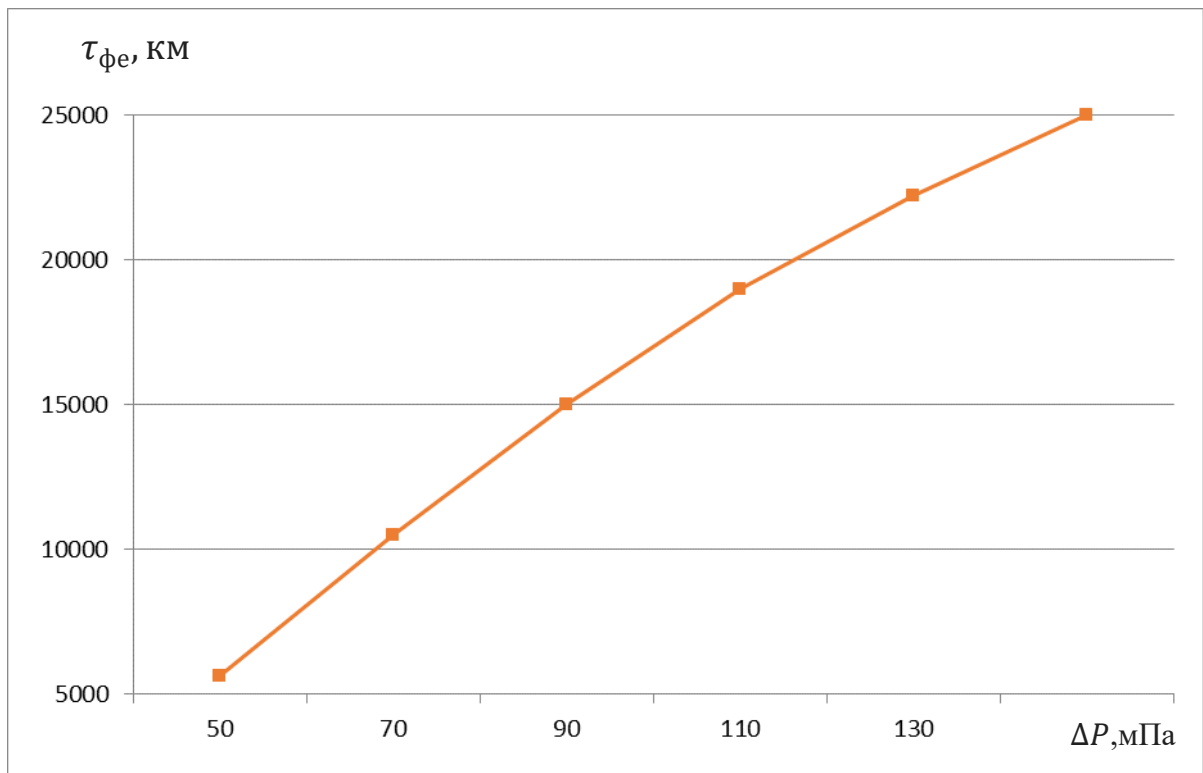


Рисунок 3.17 – Залежність ресурсу паливного фільтра тонкої очистки палива від розрідження ΔP в паливопроводі системи Common Rail

3.3 Результати дослідження димності дизельних двигунів, укомплектованих фільтрами з різним пробігом

Згідно з методикою, викладеною вище, були проведені випробування дизеля з фільтрами, що мають різний пробіг (5 тис.км, 10 тис. км, 15 тис.км), а також новим фільтром без пробігу.



Рисунок 3.18 – Фільтр встановлений на двигуні автомобіля

Газозабірний зонд з пробовідбірним шлангом розміщувався у вихлопній трубі автомобіля, фільтри по черзі встановлювалися на двигун (рис. 3.18).

На рисунках 3.19-3.22 показані виміри №3, №4, №5, а також всі шість вимірів, відповідно (перші три виміри при обчисленні $K_{ср}$ не враховуються, оскільки є калібрувальними).

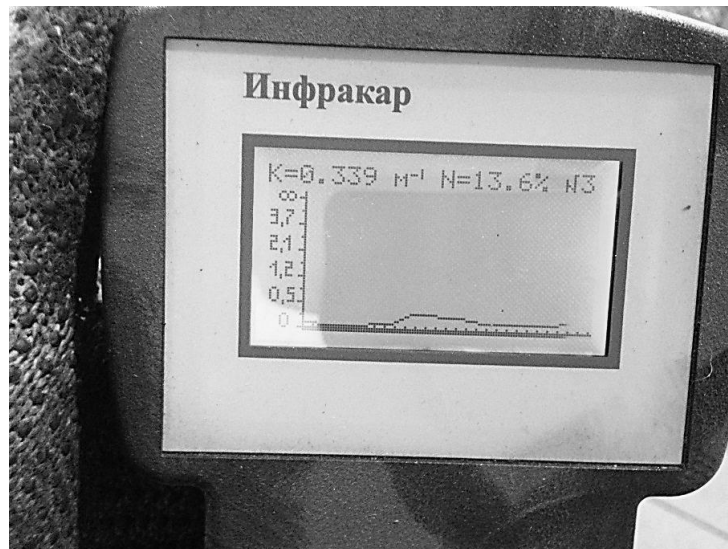


Рисунок 3.19 – Вимірювання димності №3

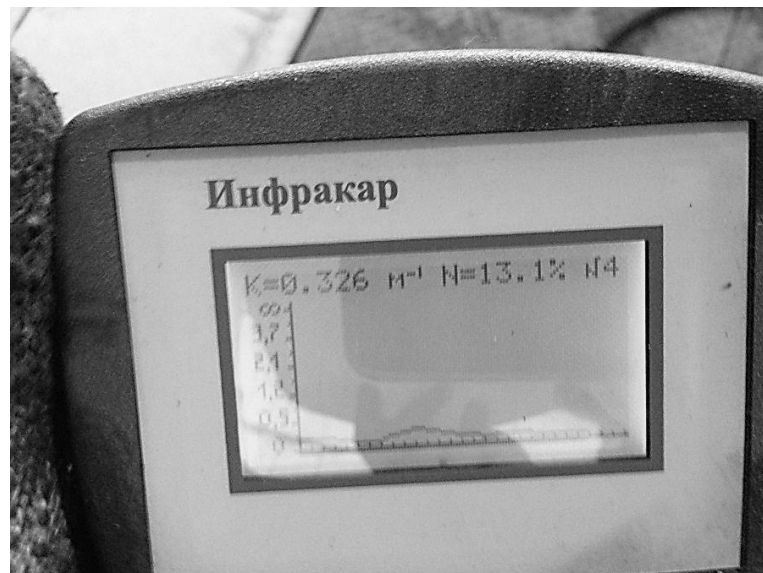


Рисунок 3.20 – Вимірювання димності №4



Рисунок 3.21 – Вимірювання димності №5



Рисунок 3.22 – Всі шість вимірювань димності

При проведенні досліджень не виявлено різниці в показниках димності двигуна в залежності від використання фільтра з тим чи іншим пробігом.

3.4 Результати експлуатаційних досліджень автомобілів, укомплектованих фільтрами тонкого очищення з пробігом більше 10000 км

Контроль стану для відібраних фільтрів з перевищенням (10000 км) пробігом відповідно до методики, викладеної в розділі 3, показав наступне (табл. 3.7).

Таблиця 3.7 – Результати вимірів розрядження після фільтрів тонкого очищення палива з виробленим ресурсом

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

Експеримент показав наступне:

– жоден з фільтрів в процесі випробувань не вийшов за межі допустимого розрядження (120 мбар);

– всі відібрані в процесі випробувань фільтри по закінченню другого терміну пробігу мали кінцеві значення розрядження на їх виході в допустимих межах (117-120 мБар).

Таким чином, термін експлуатації фільтрів тонкого очищення палива, які мають розрядження на виході, що не перевищують значень 70-71 мБар при пробігу 10000 км, може бути продовжений до досягнення 20000 км.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Загальні вимоги безпеки до технічного стану автомобілів, обладнання та інструменту

Технічний стан, обладнання та укомплектованість автомобілів повинні відповідати Правилам технічної експлуатації рухомого складу автомобільного транспорту, Правилам дорожнього руху України, Санітарним правилам з гігієни праці водіїв автомобілів, інструкціям заводів-виробників.

До робочого місця водія автомобіля ставляться такі вимоги:

- скло вікон не повинно мати тріщин та затемнень, не допускається використовувати додаткові предмети або наносити покриття, що обмежують оглядовість із місця водія, погіршують прозорість скла;
- сидіння та спинка повинні мати справне регулювання, що забезпечує зручну посадку водія;
- ручки дверей, замки, а також привід керування дверима, сигналізація роботи дверей (відкрито, зачинено), аварійні виходи автобусів та пристрої приведення їх у дію повинні бути справними;
- підлога кабіни (салону) автомобіля повинна застилатися килимком, що не має випадкових отворів та інших пошкоджень.

До несприятливих виробничих чинників у кабінах автомобілів належать шум. Основними його джерелами є двигун з вентилятором системи охолодження і випускним трубопроводом, ходова частина, кузов і вантаж. Істотний внесок у загальний рівень шуму можуть здійснювати причіп і шумовий клімат середовища руху.

Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку в кабінах вантажних автомобілів не повинні перевищувати 70 дБА, легкових автомобілів та автобусів - 60 дБА.

Основними джерелами забруднення повітряного середовища кабіни автомобіля токсичними речовинами є двигун, картер, карбюратор, бензобак, повітря придорожньої зони, рідкий вантаж і пасажери. Безумовно, головний забруднювач - відпрацьовані гази двигуна самого автомобіля і гази, що потрапляють в кабіну з придорожньої зони.

Однією з найбільш складних проблем автодорожньої медицини є нормування мікроклімату кабін автомобілів. Мікроклімат у кабіні залежить від особливостей систем опалювання, вентиляції, а також ряду конструктивних параметрів самого автомобіля (герметичність кабіни, розташування двигуна, його теплоізоляція, теплоємність і теплопровідність матеріалів, ступінь застосування кабіни і т.д.).

Під час виконання ремонтних робіт і обслуговування автомобілів всі механічні засоби, які використовуються для ремонтних робіт, повинні відповідати вимогам Державних стандартів.

Вантажопідйомні машини повинні відповідати вимогам правил безпечної експлуатації вантажопідйомних кранів, затверджених Держтехнаглядом України. Вантажопідйомні машини і механізми не можуть бути допущені до експлуатації, якщо вони не пройшли реєстрації [24].

Небезпечні місця на всіх верстатах, машинах, механізмах, які експлуатуються в майстерні, повинні мати запобіжні пристрої у відповідності з Державним стандартом “Обладнання виробниче”, “Верстати металоріжучі”. Захисні пристрої не повинні допускати [1]: доторкання людини до рухомих частин; викидання з верстата ріжучого інструменту або деталі; перевищення гранично допустимих величин вібрації і шуму; можливості травмування при встановленні і заміні ріжучого інструменту.

Огороджувальні пристрої не повинні впливати на роботу механізму і автоматично фіксуватись в робочому положенні, від їх конструкцій вимагається кріплення, відсутність перешкод для роботи, прибирання і обслуговування. Внутрішні поверхні захисних дверей, кришок огороження і місця їх кріплення фарбуються в червоний колір.

Робочі місця залежно від виконання робіт відповідно обладнуються: стелажми, столами, шафами, тумбочками, при потребі кріслами і іншими пристроями для зручного і безпечного виконання робіт і зберігання інструменту, пристосувань і деталей.

Ширина проходів між стелажми і машинами, які стоять на зберіганні, повинна бути не менше 1 м, між торцями машин і будинком не менше 0,5 м, між машинами, що ремонтуються, не менше 1,2 м, між машиною і зовнішніми воротами не менше 2 м. Віддаль від стіни до верстата повинна бути не менше 0,8 м. Якщо між верстатами нема проходу, то вони повинні встановлюватись на віддалі один від одного на 1 м, якщо між верстатами є односторонній прохід, то на віддалі 3,1 м, при двосторонньому русі - 4,5 м. Якщо верстати обслуговуються з зовнішньої сторони, то ця віддаль зменшується відповідно на 1,4 м [24].

На столах і стелажми, призначених для складання виробів і матеріалів, робляться чіткі написи про гранично допустимі на них навантаження.

Лещата на верстатах встановлюються на віддалі 1 м одні від одних, а для захисту працюючих від можливих уламків встановлюються сітки. При двосторонній роботі на верстатах сітка встановлюється по середині, а при односторонній – зі сторони, поверненої до робочих місць проходами і вікнами. Робочі місця забезпечуються комплектом необхідного робочого і вимірювального інструменту, а також відповідними підйомно-транспортними засобами. В приміщенні з холодними підлогами, а також в вологих приміщеннях на робочих місцях під ноги працюючих встановлюються дерев'яні решітчасті підставки. Виробничі процеси потрібно організувати так, щоб шум і вібрація не перевищували встановленої санітарної норми [27].

Засоби захисту необхідно готувати до початку робочого процесу або заблокувати їх так, щоб виконання робочого процесу було неможливим при відключених засобах захисту або їх несправності. Захисні пристосування повинні спрацьовувати при виникненні небезпеки і не повинні припиняти своєї дії скоріше, ніж припиниться дія небезпечного виробничого чинника.

На кран-балці і інших підймальних пристроях необхідно встановити пристрій, який відключає механізм піднімання від електромережі у випадку піднімання вантажу з понаднормовою масою. На рейках кран-балки необхідно установити з обох боків у крайніх положеннях кран-балки кінцеві вимикачі і упорні башмаки для запобігання переміщення у небезпечне положення.

Зварювальне відділення повинно бути відгороджене від інших відділень ширмами або щитами, його необхідно обладнати достатньою припливно-витяжною вентиляцією для видалення забрудненого повітря та шкідливих газів.

4.2 Розрахунок та вибір необхідної кількості засобів індивідуального захисту

Засоби індивідуального та колективного захисту працівників повинні використовуватися під час технологічних операцій, що виконуються в умовах де діють шкідливі для здоров'я людини виробничі чинники. У робочу зону під час технічного обслуговування та ремонту автомобілів потрапляє значна кількість шкідливих речовин, що часто значно перевищує нормативні значення ГДК. При зростанні рівнів концентрації, інтенсивності і періоду дії понад гранично допустимі межі, виробничі шкідливі фактори впливають на організм людини, тому для безпечного виконання низки робіт потрібно визначити кількість різних видів засобів індивідуального захисту.

Розрахунок необхідної кількості засобів індивідуального захисту проводиться для відповідних робочих місць відповідно до галузевих норм і визначається із співвідношення [10]:

$$n_{i.z.z.} = 12 \cdot N / T_n - H_{бу}. \quad (4.1)$$

де: N – середньоспискова кількість працівників, які зайняті на роботах із шкідливими умовами праці (у бригаді, відділку); T_n – термін використання засобів індивідуального захисту згідно галузевих норм для кожного виду професії; 12 – місяці поточного року; $H_{бу}$ – наявність придатних засобів захисту ($H_{бу} = 15-20\%$).

Для умов пункту технічного обслуговування автомобільного підприємства проведемо розрахунок необхідної кількості засобів індивідуального захисту для працівників зайнятих у ремонтно-обслуговочих процесах оскільки значна кількість робіт проводиться в умовах, коли показники гігієни праці потребують нормалізації:

$$1) n_{i.z.z.} = 12 \cdot 8 / 12 - 1 = 7 \text{ ком.}$$

$$2) n_{i.z.z.} = 12 \cdot 1 / 12 - 0,2 = 0,8 \text{ ком.}$$

$$3) n_{i.z.z.} = 12 \cdot 3 / 12 - 0,75 = 2,25 \text{ ком.}$$

Таблиця 4.1 – Розрахункова потреба у засобах індивідуального захисту

Галузь/робоче місце	Засоби захисту				
	Костюм заг. призначення	Черевики чоботи	Рукавиці	Окуляри	Респіратори
1) Слюсар	$1/12$	$1/24$	$1/6$	$1/24$	$1/3-6$
2) Зварювальник	$1/12$	$1/24$	$1/6$	$1/24$	$1/3-6$
3) Майстер-наладчик	$3/12$	$3/24$	$3/6$	$3/24$	$3/3-6$
4) Водій-наладчик	$12/12$	$12/24$	$12/6$	$12/24$	$12/3-6$

Примітка: Чисельник – кількість працівників; знаменник – термін використання (міс.).

З метою повного забезпечення засобами індивідуального захисту, вони повинні видаватись своєчасно, згідно нормативів, і виділені кошти на їх придбання заборонено використовувати не за призначенням. Використання засобів індивідуального захисту суттєво запобігає впливу на працівників виробничих чинників.

4.3 Концепція захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій

Концепцію захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій було схвалено Указом Президента України від 26 березня 1999 року № 284/99.

Концепція визначає загальну мету і завдання у сфері захисту громадян, які перебувають на території України, земельного, водного, повітряного простору в межах держави, об'єктів виробничого і соціального призначення, а також довкілля від надзвичайних ситуацій.

Причини виникнення та класифікація надзвичайних ситуацій. Щодня в світі фіксуються тисячі подій, при яких відбувається порушення нормальних умов життя і діяльності людей і які можуть призвести або призводять до загибелі людей або до значних матеріальних втрат. Такі події називаються надзвичайними ситуаціями.

Загальні ознаки НС

- наявність або загроза загибелі людей чи значне погіршення умов їх життєдіяльності
- заподіяння економічних збитків
- істотне погіршення стану довкілля.

До надзвичайних ситуацій, як правило, призводять аварії, катастрофи, стихійні лиха та інші події, такі як епідемії, терористичні акти, збройні конфлікти тощо.

Аварії поділяються на дві категорії:

До I категорії належать аварії, внаслідок яких: загинуло 5 чи травмовано 10 і більше осіб; встався викид отруйних, радіоактивних, біологічно небезпечних речовин за санітарно-захисну зону підприємства; збільшилась концентрація забруднюючих речовин у навколишньому природному середовищі більш як у 10 разів; зруйновано будівлі, споруди чи основні конструкції об'єкта, що створило загрозу для життя і здоров'я значної кількості працівників підприємства чи населення;

До II категорії належать аварії, внаслідок яких: загинуло до 5 чи травмовано від 4 до 10 осіб; зруйновано будівлі, споруди чи основні конструкції об'єкта, що створило загрозу для життя і здоров'я працівників цеху, дільниці (враховуються цех, дільниця з чисельністю працівників 100 осіб і більше).

Випадки порушення технологічних процесів, роботи устаткування, тимчасової зупинки виробництва в результаті спрацювання автоматичних захисних блокувань та інші локальні порушення у роботі цехів, дільниць і окремих об'єктів, падіння опор та обрив дротів ліній електропередач не належать до аварій, що мають категорії.

Надзвичайні ситуації мають різні масштаби за кількістю жертв, кількістю людей, що стали хворими чи каліками, кількістю людей, яким завдано моральної шкоди, за розмірами економічних збитків, площею території, на якій вони розвивались, тощо.

Вагомість надзвичайної ситуації визначається передусім кількістю жертв та ступенем впливу на оточуюче життєве середовище, тобто рівнем системи «людина - життєве середовище» Виходячи з ієрархії систем, можна говорити про:

Індивідуальні надзвичайні ситуації, коли виникає загроза для порушення життєдіяльності лише однієї особи; надзвичайні ситуації рівня мікроколективу, тобто коли загроза їх виникнення чи розповсюдження наслідків стосується сім'ї, виробничої бригади, пасажирів одного купе тощо; надзвичайні ситуації рівня колективу; надзвичайні ситуації рівня мікроколективу; надзвичайні ситуації для жителів міста, району; надзвичайні ситуації для населення області; надзвичайні ситуації для населення країни; надзвичайні ситуації для жителів континенту; надзвичайні ситуації для всього людства.

Як правило, чим більшу кількість людей обходить надзвичайна ситуація, тим більшу територію вона охоплює. І навпаки, при більшій площі поширення катастрофи чи стихійного лиха від нього страждає більша кількість людей. Через це в основу існуючих класифікацій надзвичайних ситуацій за їх масштабом найчастіше кладуть територіальний принцип, за

яким надзвичайні ситуації поділяють на локальні, об'єктові, місцеві, регіональні, загальнодержавні (національні), континентальні та глобальні (загальнопланетарні).

Сьогоднішня ситуація в Україні щодо небезпечних природних явищ, аварій і катастроф характеризується як дуже складна. Тенденція зростання кількості надзвичайних ситуацій, важкість їх наслідків змушують розглядати їх як серйозну загрозу безпеці окремої людини, суспільству та навколишньому середовищу, а також стабільності розвитку економіки країни. До роботи в районі надзвичайної ситуації необхідно залучати значну кількість людських, матеріальних і технічних ресурсів. Запобігання надзвичайним ситуаціям, ліквідація їх наслідків, максимальне зниження масштабів втрат та збитків перетворилося на загальнодержавну проблему і є одним з найважливіших завдань органів виконавчої влади і управління всіх рівнів.

Положення про класифікацію надзвичайних ситуацій за характером походження подій, котрі зумовлюють виникнення надзвичайних ситуацій на території України, розрізняє чотири класи надзвичайних ситуацій — надзвичайні ситуації техногенного, природного, соціально-політичного, військового характеру. Кожен клас надзвичайних ситуацій поділяється на групи, які містять конкретні їх види.

Надзвичайні ситуації техногенного характеру — це транспортні аварії (катастрофи), пожежі, неспровоковані вибухи чи їх загроза, аварії з викидом (загрозою викиду) небезпечних хімічних, радіоактивних, біологічних речовин, раптове руйнування споруд та будівель, аварії на інженерних мережах і спорудах життєзабезпечення, гідродинамічні аварії на греблях, дамбах тощо.

Надзвичайні ситуації природного характеру — це небезпечні геологічні, метеорологічні, гідрологічні морські та прісноводні явища, деградація ґрунтів чи надр, природні пожежі, зміна стану повітряного басейну, інфекційна захворюваність людей, сільськогосподарських тварин, масове ураження сільськогосподарських рослин хворобами чи шкідниками, зміна стану водних ресурсів та біосфери тощо.

Надзвичайні ситуації соціально-політичного характеру — це ситуації, пов'язані з протиправними діями терористичного та антиконституційного спрямування: здійснення або реальна загроза терористичного акту (збройний напад, захоплення і затримання важливих об'єктів, ядерних установок і матеріалів, систем зв'язку та телекомунікацій, напад чи замах на екіпаж повітряного чи морського судна), викрадення (спроба викрадення) чи знищення суден, встановлення вибухових пристроїв у громадських місцях, викрадення або захоплення зброї, виявлення застарілих боєприпасів тощо.

Надзвичайні ситуації воєнного характеру — це ситуації, пов'язані з наслідками застосування зброї масового ураження або звичайних засобів ураження, під час яких виникають вторинні фактори ураження населення внаслідок зруйнування атомних і гідроелектричних станцій, складів і сховищ радіоактивних і токсичних речовин та відходів, нафтопродуктів, вибухівки, сильнодіючих отруйних речовин, токсичних відходів, нафтопродуктів, транспортних та інженерних комунікацій тощо.

Рівень національної безпеки не може бути достатнім, якщо в загальнодержавному масштабі не буде вирішене завдання захисту населення, об'єктів економіки, національного надбання від надзвичайних ситуацій техногенного, природного або іншого характеру.

Загрози життєво важливим інтересам громадян, держави, суспільства поділяються на зовнішні та внутрішні і виникають під час надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру та воєнних конфліктів.

Основними завданнями захисту населення і територій під час надзвичайних ситуацій є:

- розроблення і реалізація нормативно-правових актів, додержання державних технічних норм та стандартів з питань забезпечення захисту населення і територій від наслідків надзвичайних ситуацій;
- забезпечення готовності органів управління, сил і засобів до дій, призначених для запобігання надзвичайним ситуаціям та реагування на них;
- розроблення та забезпечення заходів щодо запобігання виникненню надзвичайних ситуацій;

- збирання та опрацювання інформації про надзвичайні ситуації;
- прогнозування та оцінка наслідків надзвичайних ситуацій;
- оповіщення населення про загрозу, виникнення надзвичайної ситуації;
- організація захисту населення (персоналу) та надання безкоштовної медичної допомоги;
- проведення рятувальних та інших невідкладних робіт щодо ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та організація життєзабезпечення постраждалого населення;
- здійснення заходів щодо соціального захисту населення;
- розроблення та забезпечення цільових і науково-технічних програм, спрямованих на запобігання надзвичайним ситуаціям та забезпечення сталого функціонування підприємств, установ, організацій незалежно від форм власності та підпорядкування, а також підвідомчих їм об'єктів виробничого і соціального захисту в разі виникнення надзвичайних ситуацій;
- міжнародне співробітництво у галузі захисту населення від надзвичайних ситуацій.

З метою захисту населення, зменшення втрат та шкоди економіці в разі виникнення надзвичайних ситуацій має проводитися спеціальний комплекс заходів. Він має такі складові: оповіщення та інформування; спостереження і контроль; укриття у захисних спорудах; евакуаційні заходи; інженерний захист; медичний захист; біологічний захист; радіаційний і хімічний захист.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ

5.1 Обґрунтування економічної ефективності використання пристроїв для оцінки стану фільтра тонкої очистки палива

Розрахуємо економічний ефект, ґрунтуючись на положенні про продовження терміну експлуатації частини фільтрів (23...27% від загальної кількості) після встановленого виробником терміну їх заміни (10000 км) до 20000 км.

Приймемо наступні дані за основу для розрахунку:

Середній річний пробіг автомобілів - 20000 км;

m - парк автомобілів в АТП, двигуни яких обладнані системою Common Rail, шт;

$Z_{пфто}$ - витрати на придбання фільтрів тонкого очищення, грн. ;

$Z_{зфто}$ - витрати на заміну фільтрів тонкого очищення при технічному обслуговуванні паливних систем автомобілів.

Тоді кількість фільтрів, придатних до подальшої експлуатації (23...27% - в середньому приймемо 25%), так само (рис.4.19):

$$m_{фто} = 0,25 \quad (5.1)$$

Сумарні експлуатаційні витрати на систему очищення палива, якщо заміні підлягають всі фільтри - незалежно від реального ресурсу:

$$Z_{сумм} = (Z_{пфто} + Z_{зфто})m \quad (5.2)$$

Сумарні експлуатаційні витрати на систему очищення палива, якщо заміні підлягають тільки фільтри, що виробили свій ресурс - з урахуванням результатів вимірів розрядження на їх виході:

$$Z'_{сумм} = Z_{пфто}(m - m_{фто}) + Z_{зфто}(m - m_{фто}) = (Z_{пфто} + Z_{зфто})(m - m_{фто}) \quad (5.3)$$

Різниця в експлуатаційних витратах на систему очищення палива:

$$\Delta Z = Z_{сумм} - Z'_{сумм} \quad (5.4)$$

Нехай $m = 20$ шт;

$Z_{\text{пфто}} = 850$ грн.;

$Z_{\text{зфто}} = 210$ грн.;

Тоді

$Z_{\text{сумм}}(850+210) \cdot 20 = 21200$ грн.

$Z'_{\text{сумм}}(850+210)(20-5) = 16500$ грн.

Різниця в експлуатаційних витратах на систему очищення палива:

$\Delta Z = 4700$ грн.

Розроблено алгоритм, а також програма оцінки ресурсу фільтрів тонкого очищення палива системи Common Rail для автомобілів з дизельними двигунами в електронному процесорі MS Excel 2020 року.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Багаторічний досвід експлуатації техніки, обладнаної дизельними двигунами, показує, що забрудненість моторних палив показує різний вплив на показники дизеля.

Результати досліджень показують, що при тонкості очищення палива 2-5 мкм тривалість роботи плунжерних пар збільшується в 2,5 ... 4 рази. Крім тонкості очищення дизельного палива істотну роль грає також і повнота очищення: за відсутністю механічних домішок в дизельному паливі приймається їх кількість $\leq 0,005\%$ (менше 50 г на 1 т), а гранично допустимий вміст води в дизельному паливі складає 0,025 ... 0,03% (мас.).

З використанням методу електромеханічних аналогій отримана залежність зміни швидкості реагування мембрани від параметрів подачі палива (сила, що діє на мембрану при створенні розрідження; частота пульсацій палива в паливопроводі), в'язкості палива і засміченості фільтруючого елемента (зміна коефіцієнта пружності; зміна маси мембрани). При цьому показано, що визначальним для швидкості коливань мембрани є її засміченість, а отримана закономірність зміни швидкості коливань від стану фільтруючого елемента в період експлуатації двигуна близька до лінійної.

Частота пульсацій палива в паливопроводі дорівнює частоті обертання валу паливопідкачуючого насоса $1000 \text{ хв}^{-1} (\approx 17 \text{ с}^{-1})$;

Маса нового фільтра після заповнення паливом і наступної просушки $m_0 = 0,124 \text{ кг}$; з пробігом 10000 км $m_{10} = 0,127 \text{ кг}$; з пробігом 20000 км $m_{20} = 0,173 \text{ кг}$;

Коефіцієнт жорсткості нового фільтра $k_0 = 182428 \text{ Н/м}$; з пробігом 10000 км $k_{10} = 141492 \text{ Н/м}$; з пробігом 20000 км $k_{20} = 1144800 \text{ Н/м}$

Середнє значення коефіцієнта в'язкості літнього палива $\beta_{\text{л}} = 4,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, зимового палива $\beta_{\text{з}} = 3,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, арктичного палива $\beta_{\text{а}} = 2,75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;

Сила, що діє на мембрану при створенні розрідження $F = P_{cp}S = 8,5 \cdot 10^3 \cdot 38,5 \cdot 10^{-6} \approx 0,33$ Н.

В результаті експлуатаційних досліджень автомобілів, укомплектованих фільтрами тонкого очищення з пробігом більше 10000 км отримали аступні результати:

– жоден з фільтрів в процесі випробувань не вийшов за межі допустимого розрідження (120 мбар);

– всі відібрані в процесі випробувань фільтри по закінченню другого терміну пробігу мали кінцеві значення розрідження на їх виході в допустимих межах (117-120 мБар).

Таким чином, термін експлуатації фільтрів тонкого очищення палива, які мають розрідження на виході, що не перевищують значень 70-71 мБар при пробігу 10000 км, може бути продовжений до досягнення 20000 км.

Розроблено алгоритм, а також програма оцінки ресурсу фільтрів тонкого очищення палива системи Common Rail для автомобілів з дизельними двигунами в електронному процесорі MS Excel 2016 року; при цьому, розрахункова різниця в експлуатаційних витратах на систему очищення палива для парку з 20 транспортних засобів, укомплектованих системою Common Rail, при кратному пробігу 20000 км становить 4700 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сандомирський М.Г. Трактори та автомобілі. Ч.1. Автотракторні двигуни // Навчальний посібник / М.Г. Сандомирський, М.Ф. Бойко, А.Т. Лебедев– К.: Вища школа, 2000. – 357с.
2. Головчук А.Ф. Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки: Підручник: У 3 кн. / А.Ф. Головчука , В.Ф. Орлов, О.П. Строков; – К.: Грамота, 2003 – Кн.1: Трактори. - 336 с.
3. Сандомирський М.Г., Бойко М.Ф., Лебедев А.Т. Трактори та автомобілі. Ч.1. Автотракторні двигуни // Навчальний посібник / М.Г. Сандомирський, М.Ф. Бойко, А.Т. Лебедев і інш.; За ред. проф. А.Т. Лебедева. – К.: Вища школа, 2000. – 357 с.
4. ДСТУ 3868-99. Паливо дизельне технічні умови (33992)
<https://www.google.com.ua/search?q=2.+ДСТУ+ГОСТ>
5. Антипенко А.М., Сорокін С.П., Поляков С.О. Властивості та якість паливо-мастильних матеріалів – Харків: ЧП Черв'як, 2006. – 213 с.
6. Окоча А.І., Антипенко А.М. Паливо-мастильні та інші експлуатаційні матеріали: Підручник. – К: Урожай, 1996. – 336 с.
7. Окоча А.І., Білоконь Я.Ю. Автотракторні витратні матеріали: Довідник. – К.: Фаза, 2002. – 102 с.
8. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення / В.Я. Чабанний, В. А., Павлюк-Мороз В.А., С.О. Магопець та ін. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2005. – 449 с.
9. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення / В.Я. Чабанний, В. А., Павлюк-Мороз В.А., С.О. Магопець та ін. – Кіровоград: РВЛ КНТУ,
10. Полянський, С. К., Коваленко, В. М. Експлуатаційні матеріали для автомобілів і будівельно-дорожніх машин : Підручник. Київ : Либідь, 2005. 504 с.
11. Колосюк, Д. С., Зеркалов, Д. В. Експлуатаційні матеріали: Підручник. Київ : Арестей, 2006. 260 с.

12. Бойченко, С. Пушак, А., Топільницький, П., Лейда, К. Моторні палива. Властивості та якість: Підручник. Київ : Центр навчальної літератури, 2017. 328 с.
13. Кравець, А. М. Альтернативні види палива для двигунів внутрішнього згоряння : конспект лекцій з дисципліни «Основи надійності та експлуатаційні матеріали для БКВРМ». Харків : УкрДАЗТ, 2010. 29 с.
14. Кравець, А. М., Кравець, В. Г. Моторні оливи : конспект лекцій з дисципліни «Основи надійності та експлуатаційні матеріали для БКВРМ». Харків : УкрДАЗТ, 2012. 38 с.
15. Кравець, А. М. Дослідження показників якості лакофарбових матеріалів та покриттів з них : метод. вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Основи надійності та експлуатаційні матеріали для БКВРМ». Харків : УкрДАЗТ, 2012. 14 с.
16. Кравець, А. М., Кравець, В. Г. Пластичні мастила: конспект лекцій з дисципліни «Основи надійності та експлуатаційні матеріали для БКВРМ». Харків : УкрДАЗТ, 2013. 36 с.
17. Кравець, А. М., Євтушенко, А. В. Спеціальні оливи для вузлів і систем БКВРМ : конспект лекцій з дисципліни «Основи надійності та експлуатаційні матеріали для БКВРМ». Харків : УкрДАЗТ, 2015. 33 с.
18. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І.І. Автомобільні двигуни. Підручник. – К.: Арістей. – 2004. – 475 с.
19. Вікович І. А. Теорія руху транспортних засобів: підручник / І. А. Вікович. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 672 с.
20. Водяник І. І. Експлуатаційні властивості тракторів і автомобілів / І. І. Водяник. – К.: Урожай, 1994. – 224 с.
21. Сахно В. П. Експлуатаційні властивості автомобілів / В. П. Сахно. – К.: Видавництво “КВІЦ”, 2006. – 174 с.