

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

## Пояснювальна записка до дипломної роботи магістра

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»

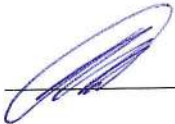
Спеціалізація: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

на тему: «Підвищення зносостійкості і відновлення елементів паливної  
апаратури дизеля нанесенням плівкових покриттів»

Шифр: МРТАМ 24. 23594.000 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група МТВАм -23-1  В.О. Безрукий

Керівник

 д.т.н., проф. О.В. Диха

До захисту допускаю:

Зав. кафедри ТАМ  Диха О.В.

6 12 2024 р.

Хмельницький, 2024 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень: спеціаліст

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»

Спеціалізація: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Зав.кафедрою ТАМ

Диха О.В.

"30" вересня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ**

Безрукий Вячеслав Олександрович

1. Тема проекту:

«Підвищення зносостійкості і відновлення елементів паливної апаратури дизеля нанесенням плівкових покриттів»

керівник проекту: Диха Олександр Володимирович, д.т.н., проф.

Затверджено наказом університету від 26.08. 2024р. № 60

2. Строк подання студентом проекту на кафедру: 20.12.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту:

- 1) Дані про умови роботи паливної системи дизелів
- 2) Технічні умови на обслуговування і ремонт паливної системи дизелів
- 3) Матеріали науково-дослідної практики.
- 4) Нормативно – технологічна документація по способам підвищення зносостійкості деталей паливної системи
- 5) Результати літературного огляду і патентного пошуку.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Конструктивні особливості паливної системи дизелів, актуальність теми роботи та задачі досліджень
2. Огляд літературних джерел та патентно-інформаційних матеріалів щодо підвищення довговічності паливної системи дизелів
3. Дослідження зносостійкості деталей паливної апаратури дизельних двигунів
4. Модернізація паливної системи дизелів для роботи на високов'язких паливах і розробка системи її технічного обслуговування і ремонту
5. Організація безпечної роботи при забезпеченні заходів підвищення зносостійкості

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

6. Дата видачі завдання: 30 вересня 2024р.


**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Конструктивні особливості паливної системи дизелів	1.11.2024	
2	Огляд літературних джерел та патентно-інформаційних матеріалів щодо підвищення довговічності паливної системи дизелів	15.11.2024	
3	Дослідження зносостійкості деталей паливної апаратури дизельних двигунів	1.12.2024	
4	Модернізація паливної системи дизелів для роботи на високов'язких паливах і розробка системи її технічного обслуговування і ремонту	15.12.2024	
5	Підготовка публікації	15.12.2024	
6	Оформлення презентаційних матеріалів	20.12.2024	

Студент

 Безрукий В.О.

Керівник роботи

 Диха О.В.

## РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 89 сторінок, кількість рисунків - 32, таблиць - 2, додатків - 1, кількість джерел згідно із переліком посилань - 18.

Студент гр. МТВАм-24-1 Безрукий В.О.

Тема «Підвищення зносостійкості і відновлення елементів паливної апаратури дизеля нанесенням плівкових покриттів»

Розробка економічних методів поверхневого зміцнення деталей паливної апаратури з нанесенням відновлюючих покриттів в умовах ремонтних підприємств, без значних витрат на обладнання, є важливим і актуальним напрямів досліджень.

В роботі для модернізації паливної системи дизелів для роботи на високов'язких паливах, оцінки процесів і механізму зношування під час її експлуатації та розробці доступної для ремонтних підприємств технології хромування з модифікуванням покриттів при ремонті та відновленні деталей паливної системи дизелів вирішені наступні задачі:

1. Розроблені методи визначення структурної деградації зміцненої робочої поверхні і діагностики паливної системи до і після відновлення її деталей.
2. Проаналізований склад плівкових покриттів, що використовуються для зміцнення, а також механізм зношування і відмов деталей паливної системи.
3. Досліджений процес використання високов'язких палив та оцінений її вплив на роботу паливної системи дизелів.
4. Проведена модернізація паливної системи дизелів для роботи на високов'язких паливах.
5. Розроблений технологічний процес хромування для деталей паливної системи із забезпеченням вимог експлуатації до таких деталей після їх відновлення.





6.

**Перелік ключових слів:** дизельний двигун, паливна система, зношування, високов'язкі палива, хромування.

## Зміст

### Вступ

<b>1.</b>	<b>Конструктивні характеристики паливних систем дизельних двигунів</b>	<b>6</b>
1.1.	Особливості конструкції паливних систем дизеля.....	6
1.2.	Обґрунтування теми та формулювання мети досліджень.....	23
<b>2.</b>	<b>Огляд літературних інформаційних матеріалів та патентно-інформаційних матеріалів щодо підвищення довговічності паливних систем дизельних двигунів.....</b>	<b>27</b>
2.1	Основні несправності та причини паливних систем дизеля та способи їх усунення.....	27
2.2.	Оцінка ефективності роботи дизельних двигунів автомобілів на різних видах палива.....	39
2.3.	Існуючі технології ремонту та зміцнення вузлів паливної системи дизельних двигунів при технічному обслуговуванні та ремонті..	45
<b>3.</b>	<b>Дослідження зносостійкості деталей паливної апаратури дизеля.....</b>	<b>51</b>
3.1.	Методологія і методи досліджень.....	51

					МРМТВА 24. 23594.000.ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Підвищення зносостійкості і відновлення елементів паливної апаратури дизеля нанесенням плівкових покриттів			Літ.	Аркуш	Аркушів		
Розроб.	Безрукий									4	80	
Перевір.	Диха							ХНУ, гр. МТВАм-24-1				
Н.контр.	Бабак											
Затвер	Диха											

- 3.2. Механізм і кінетика зношування деталей паливної апаратури дизельних двигунів, зміцнених плівковими покриттями.....54
- 3.3. Дослідження технологічного процесу з використанням модифікування нанододатками.....60
- 3.4. Дослідження використання високов'язких палив і робота модернізованої паливної системи дизелів.....63

**4.Модернізація паливної системи дизельних двигунів для роботи на паливі підвищеної в'язкості та розробка систем її технічного обслуговування та ремонту.....71**

- 4.1. Модернізація паливної системи дизелів для роботи на високов'язких паливах.....71
- 4.2. Розробка технології хромування з модифікуванням покриттів при ремонті деталей модернізованої паливної системи дизелів.....75
- 4.3. Виробниче впровадження технології хромування з модифікуванням покриттів при ремонті деталей модернізованої паливної системи дизелів.....76

**Висновок**

**Список використаних джерел**

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

## ВСТУП

Останніми роками в Україні широко використовуються машини іноземного виробництва з системою подачі палива типу «common rail». Виробники таких автомобілів не надають інформації про те, як ремонтувати вузли паливної системи, а в деяких випадках запчастин і комплектуючих взагалі немає. Для ефективної експлуатації машин нового покоління та розробки методів ремонту необхідно проаналізувати природу відмов і з'ясувати фактори, що змінюють нестійку структуру роботи кожного компонента. Водночас на цій основі також необхідно розробляти підходи та вивчати способи їх зміцнення, щоб використовувати методи діагностики, ступінь зносу та пропонувати методи ремонту з урахуванням твердості. Рівень реставраційного покриття відповідає рівню виробника комплектуючого. У цьому випадку також важливо розробити техніку та параметри для видалення частково збереженого зміцненого шару без порушення одів поверхневого зміцнення деталей паливної апаратури шляхом нанесення ремонтних покриттів в умовах ремонтної діяльності, без великих витрат на обладнання, є важливим і актуальним напрямком досліджень

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1. Конструктивні характеристики паливних систем дизельних двигунів, актуальність тем роботи та питань дослідження

## 1.1. Особливості конструкції паливних систем дизеля

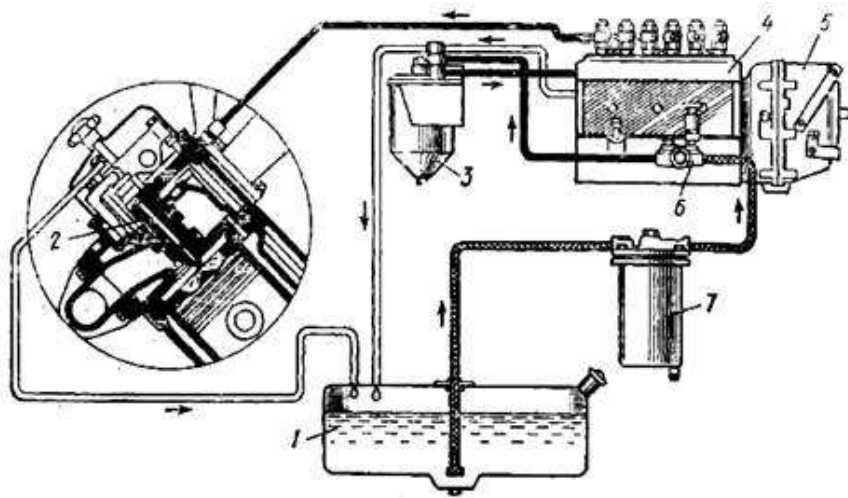
Сучасні дизельні двигуни, в тому числі всі вітчизняні моделі, використовують роздільну систему впорскування палива в циліндр. Такі системи встановлюють один комбінований насос високого тиску і закриту індивідуальну форсунку в кожному циліндрі двигуна.

Система живлення дизельного двигуна складається з лінії низького тиску та лінії високого тиску. Паливо подається з головного бака по лінії низького тиску до насоса високого тиску. Лінія високого тиску відповідає за впорскування дозованої кількості палива в циліндри відповідно до послідовності роботи циліндрів двигуна.

Принципова схема системи живлення дизеля наведена на малюнку. 1.1 Насос низького тиску 6 (на практиці цей насос зазвичай монтується на корпусі насоса високого тиску) забирає паливо з бака 1 через фільтр грубого очищення 7 у його всмоктувальну порожнину. Потім цей насос впорскує паливо через фільтр точного очищення 3 у паливний насос високого тиску 4. Паливний насос високого тиску 4 впорскує паливо безпосередньо в камеру згоряння двигуна через форсунку 2. Надлишок палива зливається в паливний бак через дренажну трубу разом з повітрям, що потрапив в систему. Він також зливає паливо, яке потрапило в порожнину пружини інжектора. Паливні баки, які використовуються в автомобілях з дизельними двигунами, розраховані на подолання великих відстаней (350-400 км). Прикріпіть їх до кронштейна і зафіксуйте затискачами. В середині паливного бака встановлена перегородка, що підвищує його міцність і запобігає розбризкуванню палива. До корпусу бака приварена заливна горловина з ущільнювальною пробкою, а в корпусі бака є два клапани. Розрізняють вхідний клапан, який відкривається при зниженні

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тиску до 0,097-0,098 МПа, і випускний, який відкривається при зниженні тиску в баку. Тиск у баку зростає до 0,11~0,115 МПа.



1 - паливний бак 3 - паливний фільтр; 4 - паливний насос високого тиску; 5 - регулятор; 6 - Паливний насос низького тиску. 7 - Фільтр очищення сирого палива

**Рисунок 1.1 - Принципова схема системи живлення дизеля:**

Лінія низького тиску включає фільтри грубої та тонкої очистки палива, насос подачі палива з додатковим насосом ручного насоса системи, паливопровід низького тиску.

Фільтри для очищення сирого палива призначені для вловлювання великих частинок, які забруднюють паливо перед його подачею до паливного насоса. Структуру такого фільтра показано на рисунку 1.2. Фільтр складається з корпусу 4, в якому розташований фільтруючий елемент 3, і сітчастого металевого каркаса, на який намотаний пухнастий бавовняний шнур. Паливо, що проходить між витками шнура, залишає в ворсинках механічні домішки. Очищене паливо надходить у внутрішню порожнину фільтруючого елемента, а потім надходить у вихідний паливний патрубков. У нижній частині корпусу є дренажний отвір із пробкою 5 для зливу осаду. Зверху корпус закритий

									Арк.
									9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ				

кришкою 1 з ущільнювальною прокладкою 2. У кришці виконані різьбові гнізда для штуцерів підведення і відключення паливопроводів.

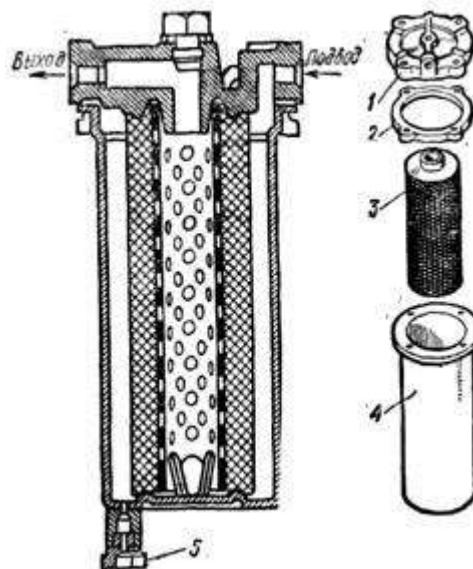
Фільтр прецизійного очищення забезпечує остаточне очищення палива перед його подачею до паливного насоса високого тиску. Він розташований у найвищій точці паливної системи і сприяє збору та видаленню повітря, що потрапляє в паливну систему.

Пристрій прецизійного фільтра показано на рисунку 1.3. Сприяє більш ретельному очищенню палива. Через центр корпусу цього фільтра проходить стрижень 5, на якому розташований фільтруючий елемент 4 у вигляді сталеві сітчастої рами. Через раму проходить перфорована трубка, обмотана тканиною. На тканину наноситься спеціальний склад (деревне борошно, просочене пульперним бакелітом), а поверх нього накладається кілька шарів марлі. Фільтруючий елемент закритий з торця пластинчастим фланцем. Цей елемент притискається до кришки корпусу фільтра циліндричною пружиною 2 за допомогою шайби 3. У кришці знаходиться патрубок 6, через який частина палива і повітря, що надходять в систему, стікає в дренаж. трубопровід. Осад зливається через пробку 1.

В даний час використовуються фільтри зі змінними паперовими картриджами, особливо на автомобілях КАМАЗ.

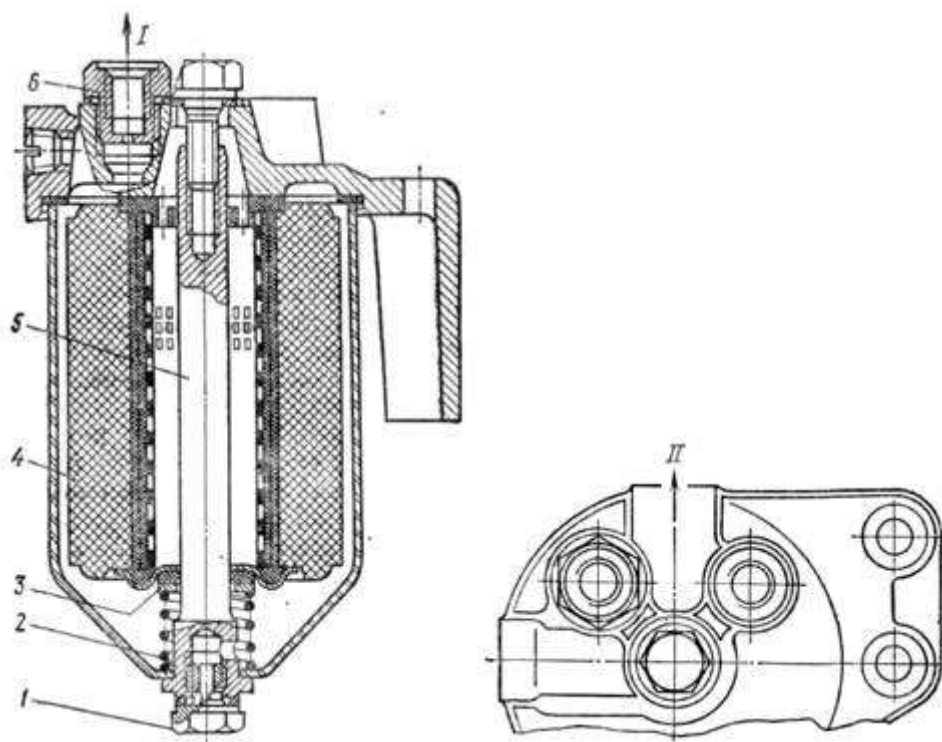
Поршневі паливні насоси використовуються в більшості автомобільних дизельних двигунів. Будова такого насоса показано на малюнку. 1.4.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10



1 - кришка. 2 - прокладка 3 - фільтруючий елемент; 4 - корпус; 5 - пробка для зливу осаду

**Рисунок 1.2 - Фільтр грубого очищення палива:**



1 - пробка для зливу осаду; 2 - Весна. 3 - шайба. 4 - Фільтруючий елемент. 5 - стрижень. 6 - сопло; I – після зливу палива. II - до насоса високого тиску

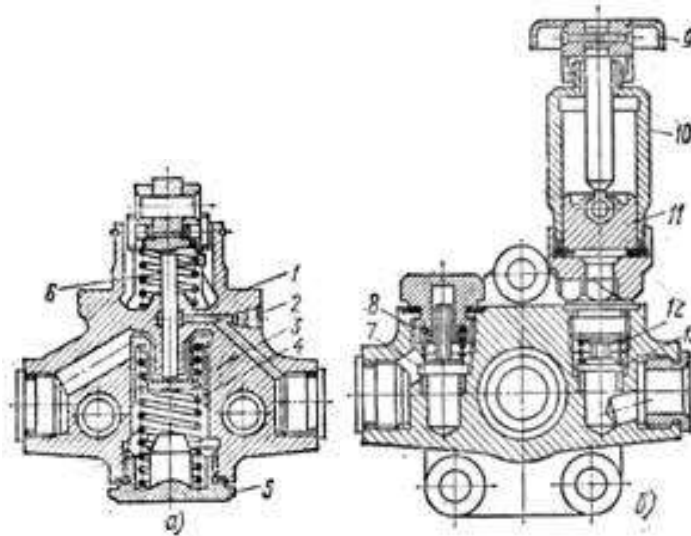
**Рисунок 1.3- Фільтр очищення палива:**

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ

Арк.

11



а - головний насос; б - зливний; 4 - поворотна пружина поршня; б - стрижень.  
7 і 13 - клапани. 8 і 12 - пружина. 9 - ручка; 10 - циліндр ручного насоса

**Рисунок 1.4 - Насос подачі палива**

Поршень 3, розташований в корпусі 1, рухається в одному напрямку під дією штока 6, який ексцентрично піднімається на кулачковий вал насоса. У середині поршня встановлена пружина 4 (опирається на канавку в пробці 5), яка змушує поршень обертатися в протилежному напрямку. Паливо надходить у корпус насоса через клапан 7, який відкривається під дією розрідження і закривається під тиском пружини 8. При відкритті клапана 13, навантаженого пружиною 12, паливо подається в насос високого тиску.

Робота паливного насоса показана на малюнку. 5. Поршень 3, рухаючись під дією штока 4, виштовхує паливо з порожнини А через нагнітальний клапан 1 в отвір у порожнину В. У міру того, як поршень змінює напрямок і рухається під дією пружини 8, тиск у порожнині В змінюється. підвищує і подає паливо в насос високого тиску. Під час цього ходу під поршнем створюється розрідження, яке відкриває впускний клапан 2 і дозволяє паливу витікати з бака

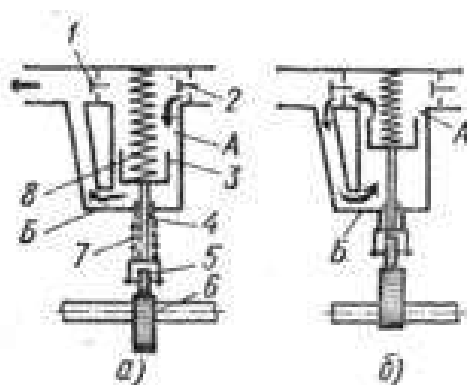
						МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			12

через фільтр грубої промивки в порожнину насоса А. Якщо двигун не працює, використовуйте насос з ручним приводом, приєднаний до насоса подачі палива.

Для ліній низького тиску використовують трубопроводи зі сталі, міді або маслобензостойкої пластмаси. У магістралі високого тиску використовується високоміцний сталевий трубопровід, на кінці якого виконана посадка, що утримує накидну гайку, що кріпить трубопровід до штуцера і патрубку паливного насоса високого тиску.

Для досягнення хорошого розпилення палива, що впорскується в середовище щільного стисненого повітря, паливо має подаватися під високим тиском. Для цього дизелі оснащуються насосами високого тиску, які разом з форсунками і трубопроводами утворюють лінії високого тиску.

Паливо впорскується в циліндр двигуна в строго певній кількості (в залежності від навантаження двигуна і режиму його роботи) через закриту форсунку під дією насоса високого тиску.



а - рух поршня вниз - паливо подається в насос високого тиску. б - рух поршня вгору - паливо заповнює порожнину В; 1 - випускний клапан і 2 - впускний клапан. 3 - поршень; 4 - стрижень. 5 - ролик. 6 - Кулачок приводного валу. 7 і 8 - пружини. А і В - порожнина

**Рисунок 1.5 - Схема роботи насоса подачі палива**

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Тому паливний насос високого тиску спочатку вимірює задану кількість палива, що подається до кожного циліндра за один робочий хід. Тому що ці дози мають бути дуже малими і однаковими в кожному балоні. Насоси високого тиску працюють з високою точністю.

Паливо подається паливним насосом високого тиску в дуже короткі і строго визначені моменти часу з можливістю зміни випереджаючого моменту вприскування по відношенню до проходження поршня через ВМТ. Кінець такту стиснення. Паливний насос живить всі циліндри двигуна.

Паливні насоси високого тиску, які використовуються в сучасних автомобільних дизельних двигунах, є плунжерними, з окремими секціями для кожного циліндра двигуна. Усі секції об'єднані в один корпус і приводяться в рух загальним розподільним валом, який отримує обертання від розподільного вала двигуна через зубчасту передачу.

У більшості насосів високого тиску всі плунжерні секції розташовані в один ряд, але в деяких насосах, наприклад, встановлених на двигунах ЯМЗ-740, плунжерні секції розташовані в два ряди під кутом  $75^\circ$  один до одного розміщені.

Пристрій насоса високого тиску показано на малюнку. 6. Складається з корпусу насоса 7, плунжерної секції, розподільного вала 1, регулятора обертів і муфти переднього впорскування. Кожна секція насоса являє собою втулку 11 і плунжер 12, що рухається всередині неї.

Гільза вставляється в отвір корпусу насоса і закріплюється кріпильним гвинтом 6. Отвір у верхній частині гільзи є впускним і з'єднується з каналом В подачі палива в корпусі насоса. Нижній (наскрізний) отвір в гільзі з'єднаний з паливовідвідним каналом А. На зовнішній поверхні верхньої частини плунжера є кругла канавка. Над нею ліпна канавка, що починається знизу спіральною канавкою і закінчується прямою вертикальною канавкою. Ця канавка з'єднує простір над плунжером з кільцевою порожниною, утвореною круговим

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

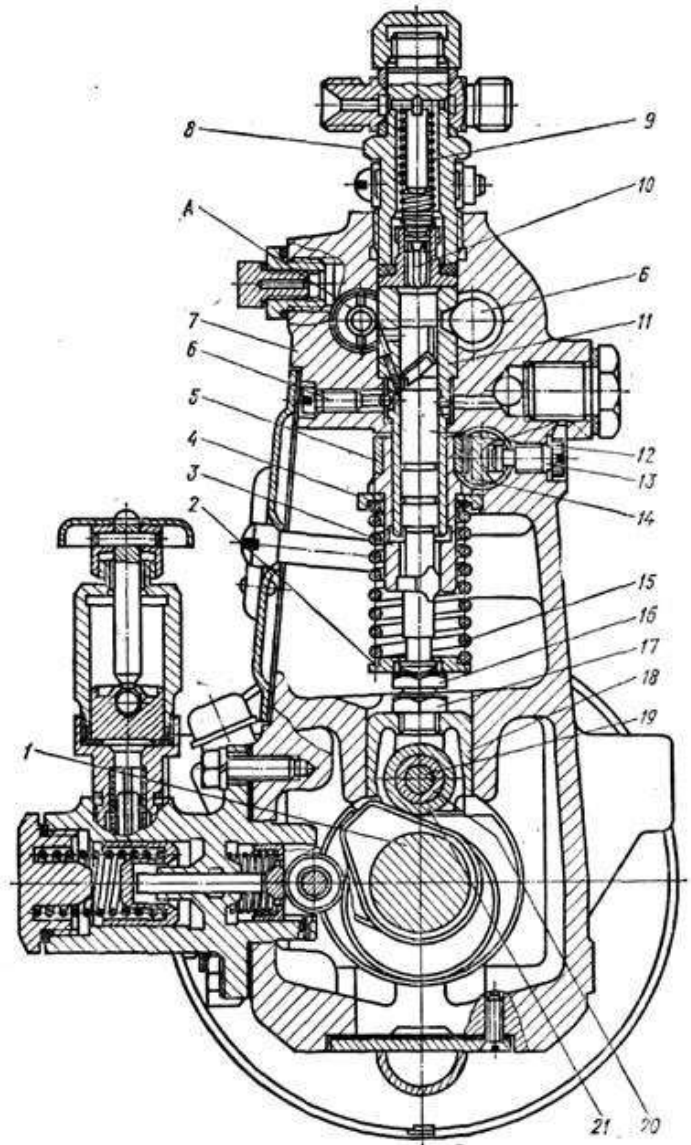
обертанням плунжера. Сідло нагнітального клапана 10 кріпиться до гільзи зверху і притискається до торцевої поверхні гільзи металевим штуцером 8, угвинченим у корпус насоса. До штуцера приєднаний напірний трубопровід високого тиску.

1 - розподільний вал; 2 - нижня пластина; 3 - поворотна втулка; 4 - верхня пластина; 5 - зубчастий сектор; 6 - кріпильний гвинт; 7 - корпус; 8 - Примірка. 9 - Пружина нагнітального клапана.

10 - нагнітальний клапан; 11 - втулка. 12 - плунжер. 13 - Гвинт для обмеження руху рейки. 14 - Пальці приводної напівмуфти. 15 - Весна. 16 - Налаштування BIND. 17 - контргайка. 18 - штовхач. 19 - вісь ролика; 20 - плаваюча гільза. 21 - ролик. А і Б - канали відводу і подачі палива

**Рисунок 1.6 - Розріз насоса високого тиску**

Плунжери всіх секцій приводяться в рух загальним розподільним валом 1, розташованим у нижній частині корпусу і встановленим на конічних роликівих підшипниках. Кулачок діє на плунжер 12 через роликівий штовхач 18, який постійно притискається до кулачка пружиною 15. Завдяки дії цієї пружини плунжер на пластині 2 опускається. Повороту штовхача перешкоджає роликівий вал 19, який має виступ, що входить в паз на



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата





VMТ. Із збільшенням частоти обертання вала двигуна час кожного ходу поршня зменшується. Тому момент подачі палива також необхідно варіювати так, щоб все впорснуте паливо встигло запалитися і згоріти, коли поршень знаходиться близько до верхньої мертвої точки.

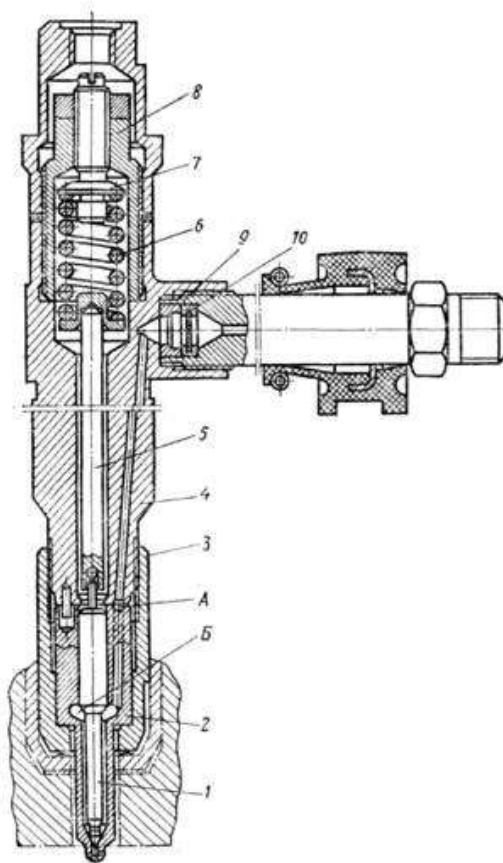
Обертаючи розподільний вал насоса, змінюється кут випередження подачі палива. Поворот розподільного вала в напрямку обертання збільшує кут подачі палива вперед і зменшує кут заднього ходу. Кут випередження змінюється автоматично під дією відцентрової муфти, встановленої на передньому кінці розподільного вала насоса.

Існує невелика різниця в часі між моментом, коли відкривається нагнітальний клапан і подається паливо з насоса, і моментом, коли паливо впорскується з форсунки. Це пояснюється деформацією паливопроводу високого тиску і стисливістю палива.

Форсунки, що використовуються в сучасних дизелях, закритого типу з гідравлічним підйомом голки. Тобто прохідна ділянка розпилювача перекивається голкою, яка піднімається тиском палива під час уприскування.

На малюнку 8 зображено закритий сопловий пристрій. Він складається із сталевого корпусу 4, до якого гайками 3 кріпиться корпус розпилювача 2. Голка 1 прикріплена до корпусу розпилювача і утворює точну пару з корпусом розподільника. У нижній частині розпилювача є чотири отвори для впорскування палива.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18



1 – голка розпилювача; 3 – гайка розпилювача; 5 - стрижень. 6 - Весна. 7 - регулювальний гвинт; 8 - пружинна гайка; 9 - Примірка. 10 - Фільтр. А - кільцева канавка; Б - порожнина під усіченим конусом голки

**Рисунок 1.8 - Закрита насадка**

Корпус розпилювача кріпиться до корпусу сопла двома штифтами. Кінець стрижня 5 упирається в хвостовик голки, верхня частина якої служить опорою для поворотної пружини 6. Ця пружина повертає голку у вихідне положення після завершення впорскування палива.

Пружина 6 розташована у внутрішній порожнині фасонної гайки 8, а її нижня частина вкручена в корпус форсунки. Попередній натяг пружини 6 можна відрегулювати затягуванням гвинта 7, де верх пружини спирається на плече.

По трубопроводу високого тиску, з'єднаному зі штуцером 9, всередині якого встановлений сітчастий фільтр 10, паливо подається в форсунку, а після

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

проходження через фільтр паливо надходить у внутрішні проточні канали корпусу форсунки і корпусу розпилювача. ., пас. Ввести в кільцеву порожнину навколо голки.

Впорскування відбувається, коли тиск палива, створюваний насосом, збільшується та перевищує тиск у пружині 6, що змушує голку підніматися та відкривати прохід для палива до отвору форсунки розпилювача.

При припиненні подачі палива насосом тиск у кільцевій порожнині знижується і під дією пружини 6 голка опускається, перекриваючи доступ палива до отвору форсунки розпилювача. Цей момент відповідає закінченню впорскування палива.

Паливо, що витікає із зазору між голкою і корпусом форсунки, рухається по вертикальному шляху в зливну трубу і направляється в бак. При установці форсунки до головки блоку циліндрів необхідно забезпечити високу герметичність. Для цього торці розпилювачів Nut 3 ущільнені від проникнення газу гофрованими мідними та сталевими шайбами та ущільнювальними кільцями.

Також необхідно змінювати кут випередження впорскування палива відповідно до зміни режиму роботи двигуна. З цієї причини паливний насос високого тиску оснащений автоматичною муфтою, яка змінює кут випередження впорскування палива відповідно до зміни частоти обертання колінчастого вала двигуна. У більшості автомобільних дизельних двигунів використовуються автоматичні зчеплення, але вони відрізняються окремими елементами конструкції. За принципом дії всі вони відносяться до відцентрових регуляторів.

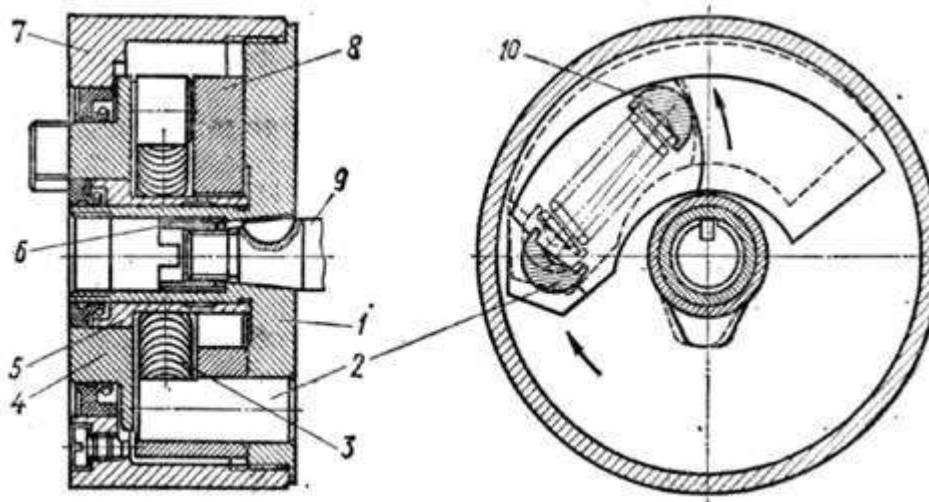
Муфта випередження автоматичного впорскування палива (рис. 9) складається з двох напівмуфт, відомих 1 і випередження 4. Вантаж 8 розміщений на відомій напівмуфті і під дією відцентрової сили відгалужується вбік. Ці вантажі шарнірно закріплені на двох осях 2. Пружина 3 розміщена у

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вирізі вантажу і закріплена на приводній напівмуфті, на якій розміщена пружина 3. Вісь 2 і палець 10 з іншого боку з'єднують провідну частину муфти з відомою частиною.

Муфта діє як відцентровий регулятор. Зі збільшенням частоти обертання колінчастого вала двигуна, а отже, і розподільного вала паливного насоса, вантаж 8, прикріплений до муфти, прагне розійтися в протилежному напрямку через дію відцентрової сили. Зміщення навантаження призводить до того, що відома напівмуфта повертається відносно приводу на кут у напрямку повороту розподільного вала, відповідно збільшується випередження подачі палива. При зменшенні частоти обертання вала двигуна і розподільного вала насоса відцентрова сила зменшується, п'ята і муфта переміщуються вліво, а важіль і тяга, що контролюють подачу палива, знімають рейку в корпусі насоса, збільшуючи подачу палива і колінчастий вал. швидкість.

Зменшення тиску на педаль керування паливом зменшує натяг пружини та зменшує частоту обертання вала двигуна.



**Рисунок 1.9 - Муфта автоматичного випередження впорскування палива**

Регулятор підтримує мінімальну частоту обертання колінчастого вала двигуна на холостому ході в діапазоні 450-550 об/хв і обмежує максимальну частоту обертання 2250-2275 хв-1.

						МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			21

Технічне обслуговування системи живлення автомобіля включає перевірку герметичності системи, перевірку надійності кріплення окремих елементів до рами і двигуна, очищення і заміну фільтрів, злив відкладень.

Під час поточного технічного обслуговування зовнішнім оглядом перевіряється наявність витоків палива та наявність палива в баку за показаннями манометрів.

Під час роботи ТО1 фільтр сирого палива (FGO) видаляє осад. Для цього відкручуємо пробку в нижній частині склянки і зливаємо осад до появи чистого палива. Якщо ви заправляєте автомобіль невідстояним паливом, зливайте осад щотижня.

Очищайте фільтруючий елемент фільтра грубого очищення кожні ТО2 (після пробігу 32 000 км). Одночасно злийте паливо всередині чашки FGO, послабте чотири болти, які кріплять чашку, і зніміть чашку. Очистіть фільтруючий елемент, промийте його бензином або чистим дизельним паливом і продуйте стисненим повітрям. Збирайте в зворотному порядку.

Якщо ви керуєте автомобілем у запилених умовах, очищайте фільтр FGO кожні 350-400 км.

Виконуючи ТО2, продуйте стисненим повітрям фільтруючий елемент повітряного фільтра та замініть його, якщо він сильно забруднений. Злити осад з паливного фільтра тонкого очищення (FTO). Щоб злити осад, послабте пробку в нижній частині корпусу FTO та зливайте, доки не з'явиться чисте паливо.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 1.2 Обґрунтування теми та формулювання мети дослідження

Для роботи дизеля ефективна діагностика стану системи подачі палива і своєчасне технічне обслуговування. Основною причиною поломки в системі подачі палива є надмірний знос і засмічення плунжерної пари, що призводить до зниження продуктивності насоса і тиску в гідроакумуляторі. Це знижує вихідну потужність, ускладнює запуск дизельного двигуна та призводить до його зупинки. Несправність цього пристрою також може бути пов'язана зі зношеними запірними клапанами. Основною причиною несправності електрогідравлічного сопла керування в системах CR є кавітаційний знос клапана та сідла, голки розпилювача та поршня керування. Ми розглянемо відомі способи ремонту та зміцнення деталей, доступних для форсунок і паливних насосів.

Особливий внесок у дослідження в цьому напрямку внесли вчені І.В.Подборнов, Ю.М.Полукаров, Р.С.Щур, Т.М.Дуда. Kwon SC, Lee JY досліджували можливість покращення зносостійкості таких деталей шляхом нанесення на них різних методів і композицій.

Перший напрямок передбачає нанесення гальванічного покриття з нікелюванням. Розглянуто рекомендовані теоретичні та експериментально обґрунтовані параметри процесу. Складається інформація про структуру та якість таких покриттів (наявність включень, раковин, тріщин, розмір і структура частинок, що утворюються). Проведення процесу осадження нікелю в умовах зовнішнього магнітного поля або ультразвукового впливу підвищує мікротвердість і забезпечує текстурування ремонтного шару. У той же час цей спосіб ускладнює процес ремонту в умовах ремонтної майстерні.

Другий напрям — використання хромування з армуючими нанопорошковими добавками. Наночастинки оксидів металів, таких як ZrO<sub>2</sub>, використовуються для зміцнення, подрібнення структури покриття та підвищення його мікротвердості.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Недоліком цього напрямку є підвищена схильність наночастинок осідати на дно рідинної ванни в процесі електролізу. Виявлено роботи, які рекомендують пом'якшити вплив цього недоліку. Перш за все, це передбачає використання механічного змішування електролітів. Запропонований спосіб не повністю гарантує рівномірний розподіл наночастинок у кристалізованому покритті.

Ми досліджуємо нові технології нанесення плівкових покриттів різного складу на іноземні автовиробники. Часто це складні багатошарові композиції, зміцнені іонним бомбардуванням поверхні, електронно-плазмовим напиленням, магнетронним плазмовим напиленням і т. д. Цей метод дуже ефективний як за якістю покриття, так і за рівнем властивостей. Разом з тим, такі методи не можна застосовувати в умовах ремонтних підприємств, оскільки для їх використання необхідне спеціальне складне обладнання, спеціалісти високого класу.

Хромування – найдешевший варіант при ремонті деталей в СТО. Покращувати такі покриття можна введенням наночастинок. Враховуючи те, що для зміцнення використовують наносуміші з різними складами і способами виробництва, їхнє введення є доцільним при дослідженні специфічних модифікованих домішок і їх утримання в електроліті в суспензії під час кристалізації є ефективним. У літературі існують суперечливі рекомендації щодо параметрів процесу, типу та кількості введених домішок. Тому бажано детально вивчити застосовність технології хромування армування компонентів паливної системи. При цьому необхідно оптимізувати параметри технологічного процесу та розробити обладнання для його здійснення.

Безперебійна і маневрена робота двигунів внутрішнього згорання навіть в умовах дефіциту того чи іншого виду палива призвела до розробки не тільки нафтових альтернатив, але і так званих «багатопаливних» двигунів, що працюють на різних видах палива впровадження. Використовуйте

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

альтернативні види палива. Внаслідок вищезазначених факторів неминучим є перехід частини машино-тракторного парку країни на види палива з альтернативної сировини.

Одним із радикальних шляхів зниження споживання рідких видів палива є розширення використання нетрадиційних (альтернативних) енергоносіїв і видів палива на їх основі та створення автомобільних силових установок, призначених для роботи з ними, що вирішує більшість проблем проблеми. Екологічні проблеми транспортування енергії.

У сільському господарстві рекомендується використовувати паливо підвищеної в'язкості, яке, як правило, дешевше дизельного палива. Паливо з високою в'язкістю – це паливо з в'язкістю понад 11,5 сСт (мм<sup>2</sup>/с). Існує два типи вина: на нафтовій основі і без нафтової.

Розглянемо основні типи високов'язких рідин, які можна використовувати в двигунах мобільних енергетичних транспортних засобів. Високов'язке нафтове паливо має іншу назву: важке нафтове паливо.

Таким чином, метою цього дослідження було модернізувати паливні системи дизельних двигунів для роботи з паливом з високою в'язкістю, оцінити процеси та механізми зношування під час експлуатації та вдосконалити технології покриття та хромування, доступні для ремонтних компаній. При ремонті та відновленні деталей паливної системи дизельних двигунів.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Розробити методику визначення структурного зносу армованих робочих поверхонь та діагностики стану паливної системи до та після ремонту вузлів.
2. Вивчення складу плівкових покриттів, що використовуються для зміцнення машин іноземного виробництва, а також властивостей, динаміки, механізмів зношування та відмови вузлів паливної системи та надання

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пропозицій щодо економічного ремонту в умовах діючих ремонтних підприємств.

3. Досліджено процес використання високов'язких палив та оцінено його вплив на роботу паливних систем дизеля.

4. Модернізація паливних систем дизельних двигунів для роботи на паливі з підвищеною в'язкістю.

5. Розробити нові технологічні процеси хромовання, які можуть конкурувати з технологіями, що використовуються для компонентів паливної системи, і забезпечити працездатність таких компонентів після ремонту.

6. Провести експлуатаційні випробування нових технологічних процесів відновлення частин паливної системи у виробничих умовах.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

## 2.Огляд літературних інформаційних матеріалів та патентно-інформаційних матеріалів щодо підвищення довговічності паливних систем дизельних двигунів

### 2.1 Основні несправності та причини паливних систем дизеля та способи їх усунення

Існує кілька основних причин несправностей дизеля і конкретних способів їх усунення і запобігання самостійно.

Несправність №1. Дизелі працюють без диму, але не на повну потужність.

У більшості випадків така поведінка в дизельних двигунах спричинена засміченням фільтрів тонкого та грубого очищення дизельного палива.



Рисунок 2.1-Засмічені фільтри тонкого і грубого очищення дизельного палива

Як правило, така проблема виникає через те, що автомобіліст враховує лише час роботи фільтра. При цьому всі автовиробники вказують у своїх документах термін, що означає роботу їх двигунів на стандартному паливі європейської якості. Іншими словами, не враховується можливість потрапляння в паливо різноманітних грязьових і водних домішок. Це призводить до кількох

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

простих рекомендацій. Паливні фільтри слід міняти в два рази частіше, ніж це вказує виробник автомобіля в інструкції.

Перевірте паливний фільтр наступним чином:

1. Замініть паливопровід, що з'єднує ПНВТ і фільтр з непрозорого матеріалу, на прозорий шланг (щоб було видно бульбашки повітря).
2. Прокачайте паливну систему, щоб видалити повітря з паливної системи.
3. Запустіть двигун.

Якщо фільтр засмічується, ви можете побачити, як бульбашки повітря починають рухатися за чистою паливопроводом під час роботи двигуна.

Виправити цю проблему дизеля легко.

1. Зніміть пробку зливного отвору на дні бака та злийте весь осад.
2. Далі потрібно очистити фільтр сирого палива, який знаходиться всередині паливного бака (можна протягнути фільтр через спеціальний люк з штуцером з паливопроводу. Зняття цього штуцера призведе до фільтра грубого очищення Шлях відкрито);
3. Замініть фільтр тонкого очищення.

Після виконання вищевказаних дій вам потрібно буде знову прокачати дизельну паливну систему.

Помилка номер 2. Двигун працює на високих обертах і стабільно працює на середніх обертах і холостому ходу.

Ця несправність дизеля може статися з трьох причин. Брудний паливний фільтр. Поломка ременя ГРМ (рисунок 2.2). Надходження повітря в паливну систему (рис. 2.3).

Почніть з перевірки паливного фільтра та з'ясуйте можливі причини несправності.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Шланг впорскування палива від'єднується від штуцера фільтруючого елемента, що веде до ПНВТ.
2. Опустіть кінець знятої паливної лінії в резервуар чистого дизельного палива.
3. Двигун запуститься.



**Рисунок 2.2-Збій ГРМ дизеля**



**Рисунок 2.3-Повітря потрапляє в паливну систему дизеля**

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

У цьому випадку, якщо двигун починає нормально працювати і знаходиться під навантаженням, фільтр з прецизійним очищенням слід замінити. Якщо несправність дизеля повторюється, необхідно почистити фільтр грубої очистки.

Якщо несправність не була усунена, вміст ванни слід залити соляркою при працюючому двигуні. Якщо ви не помітили в ньому бульбашок повітря, то, ймовірно, система подачі палива негерметична. зламаний.

Щоб усунути цю несправність, потрібно перевірити, чи всі з'єднання в паливній системі герметичні. Ймовірно, вам просто потрібно десь затягнути хомут або замінити пошкоджений гумовий шланг.

Якщо жоден з перерахованих вище кроків не дав позитивного результату, слід перевірити компресію дизеля. Таке порушення часто виникає через збій в роботі клапанного механізму. Крім того, необхідно перевірити і відрегулювати тепловий зазор клапана.

Якщо після цього двигун продовжує працювати, вам може знадобитися почистити клапан або відновити пошкоджену форму сідла клапана. Ця робота є не просто ремонтом і вимагає використання спеціального обладнання.

Окремо також варто згадати про так званих гідрокомпенсаторах, які сьогодні встановлюються практично у всіх двигунах. Якщо це обладнання виходить з ладу, виникатимуть усі подібні збої, перелічені вище. Також сам гідрокомпенсатор дуже примхливий до неякісного масла, а фільтруючий елемент потребує частішої заміни, тому його вихід з ладу не така вже й рідкість.

Помилка номер 3. Коли від'єднати паливний шланг від форсунки, двигун перестане стукати.

Причиною цієї несправності є вихід з ладу однієї з форсунок (рисунки 2.4). Зніміть паливні шланги один за іншим, щоб визначити, яка форсунка пошкоджена.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



**Рисунок 2.4-Поломка форсунки через неякісне паливо**

Якщо ви знайдете циліндр, який не працює, ви повинні негайно замінити насадку на цьому циліндрі на насадку на робочому циліндрі. Якщо після цієї операції стукіт з'являється в іншому циліндрі, це означає, що проблема 100% в несправному інжекторі.

Якщо після зміни положення форсунки стукіт в циліндрі не зникає, значить, форсунка справна, а причиною поломки є поршнева група. Як правило, такі проблеми виникають після ремонту двигуна, якщо прокладка, що відокремлює блок циліндрів від головки, поставлена невідповідної товщини. Або болти головки блоку циліндрів можуть бути затягнуті нерівномірно.

Несправність №4. Дизель з ланцюговим приводом ГРМ ламається і починає стукати, з вихлопної труби йде чорний дим.

Очевидною причиною такої поломки є фізичний знос ланцюгової передачі або ослаблення натяжного механізму, що можна діагностувати простим оглядом. Робиться це після зняття клапанної кришки і натискання приводу. При цьому привід явно просідав.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Несправності усуваються за допомогою натяжних механізмів, але якщо ланцюг сильно зношена, її рекомендується замінити. По-перше, не забудьте правильно встановити мітки часу.

Помилка номер 5. При збільшенні обертів дизельного двигуна з вихлопної труби йде чорний дим.

Чорний дим із вихлопної труби після 5000 км вказує на серйозне засмічення повітряного фільтра (рис. 2.5). Подібні симптоми спостерігаються в дизельних двигунах, де паливна система не працює належним чином (надлишок палива потрапляє в циліндри). Крім того, що дизель димить, може виникнути аномальне розширення коректора паливного насоса, що регулює високий тиск, і інші збої в роботі турбокомпресора.



**Рисунок 2.5-забитий повітряний фільтр**

Почнемо з перевірки працездатності повітряного фільтра.

1. Зніміть картридж повітряного фільтра.
2. Закріпіть кришку корпусу повітряного фільтра в закритому положенні.
3. Заведіть двигун і ведіть машину.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Можливий один із двох результатів. Якщо утворення чорного диму значно зменшилося, проста заміна повітряного фільтра вирішить проблему.

Інтенсивність виділення чорного диму практично не змінилася, тому замініть повітряний фільтр і закрийте кришку корпусу.

У другому випадку ключем потрібно злегка послабити контргайку на гвинті подачі палива (знаходиться за паливним насосом високого тиску). Тому, відкрутивши гвинт на чверть, потрібно якомога міцніше затягнути контргайку.

Після запуску двигуна ви помітите, що обороти холостого ходу знизилися. Повернення швидкості до попереднього рівня відбувається шляхом відкручування упору важеля, що визначає інтенсивність подачі газу. Якщо ви виконаєте наведені вище кроки, ви точно отримаєте менше диму з вихлопної труби. Однак потужність дизельного двигуна може трохи знизитися.

Зрештою, послабивши та затягнувши два вищезгаданих гвинти послідовно, вам потрібно буде знайти баланс, який дозволить дизельному двигуну виробляти достатню потужність і пропускати дим із вихлопної труби.

Пошкоджена форсунка може призвести до того, що ваш дизельний двигун димить і не видає повної потужності.

Втрата потужності двигуна:

- Об'єм впорскування занадто малий.
- Забита паливна магістраль або паливний фільтр.
- Несправний обприскувач.
- Витік палива з труби високого тиску.
- Надто рання ін'єкція.
- Тиск відкриття форсунки високий.
- Деренчання поршневих кілець.
- Зношений поршень або вкладиш шатуна.
- Недостатня компресія.

Чорний дим:

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

- Впорскування палива надто повільне.
- Тиск відкриття форсунки низький.
- Застрягання голки в небулайзері.
- Лопнула пружина форсунки.
- Випускний клапан ПНВТ не закривається.
- Занадто низька компресія.
- Якщо двигун втрачає потужність і збільшується димлення вихлопу на високих обертах, слід перевірити повітряний фільтр на наявність бруду.

Нерівномірна робота двигуна:

- Аерація паливної системи.
- Розпилювач переливів.
- Тріщини в паливопроводах високого тиску.
- Лопнула пружина форсунки.
- Підвищення тиску відкриття форсунки.
- Зношений газорозподільний механізм.

Запуск двигуна складний.

- Знос нагнітального елемента насоса високого тиску.
- Неправильна подача палива двигуном.
- Знос інжектора. Це може призвести до поганого розпилення палива.
- Тиск впорскування низький.
- Повітря потрапляє в систему подачі палива, викликаючи паливний голод перед насосом високого тиску.
- Вихід з ладу ТНВД.
- Дозування палива при запуску занадто низька, паливо стає багатим у холодну пору року.
- Несправна свічка розжарювання.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Компресія двигуна низька.
- Зношені прецизійні деталі паливного насоса високого тиску або регулятора та неправильне регулювання насоса.
- Неправильний кут випередження впорскування.
- Зношений або пошкоджений розпилювач.
- Надмірне падіння тиску впорскування.
- З системи уприскування надходить недостатня кількість палива через засмічення паливного фільтра, недостатню продуктивність підкачувального паливного насоса або проникнення повітря в паливну систему.

Підвищена витрата палива:

- Неправильний кут випередження впорскування.
- Знос нагнітального елемента насоса високого тиску.
- Насос високого тиску налаштований неправильно.
- Зношений або пошкоджений розпилювач.
- Падіння тиску вприскування занадто велике.
- Повітряний фільтр забруднений.
- Витік палива.
- Недостатня компресія.
- відведення чорного диму;
- Погане сумішоутворення в камері згоряння через нагар або незакріплених клапанів.
- Пізніє впорскування палива.
- Недостатнє розпилення палива інжектором.
- Неправильний зазор клапана.
- У прокладці головки блоку є отвір.
- Переохолодження двигуна.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Важка робота двигуна:

- Впорскування палива занадто рано.
- Існують великі відмінності в кількості палива, що впорскується в різні циліндри двигуна.
- Несправність деяких форсунок.
- Недостатня компресія.

Підвищена витрата палива:

- Це не герметична система живлення.
- Забита паливна магістраль або паливний фільтр.
- Висока швидкість холостого ходу або неправильний кут випередження впорскування.
- Несправність двигуна.
- Несправний інжектор.
- Несправний ПНВТ.

Нерівномірна робота двигуна на холостому ходу:

- Неправильне налаштування холостого ходу.
- Послабте паливопровід між паливним насосом високого тиску та паливним фільтром.
- Опорна пластина насоса високого тиску пошкоджена.
- Збій подачі палива.
- Несправний інжектор.
- Неправильне просування ін'єкції.
- Коливання частоти обертання колінчастого вала.
- Зношений регулятор швидкості.
- Надмірний опір руху елементів в системі регулювання.
- Потрапляння повітря в паливну систему.
- Надмірний тиск газу в картері.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Раптова зупинка двигуна:

- Зсув випередження впорскування (розрив зв'язку між насосом і приводом).
- Забитий паливний фільтр, недостатня подача палива в насос.
- Недостатня подача палива через пошкодження паливного насоса високого тиску або підкачувального насоса.
- Пошкодження нагнітального трубопроводу.
- Зношені та деформовані поршні сепаратора, ротори або поршні насосів високого тиску.
- Інжектор відповідного циліндра несправний.

Неможливо заглушити двигун:

- Несправний запірний електромагнітний клапан.
- Засмічене сопло.
- Підвищується рівень моторного масла в картері.
- Витік із ланцюга насоса високого тиску або ущільнення приводу шестерні.

Основними методами усунення несправностей паливної системи є:

- По можливості очищення електричних контактів ТНВД, витратоміра повітря та реле ТНВД - їх обробка спеціальними засобами для електричних з'єднань.
- Постукайте по корпусу насоса, який не працює (це може допомогти зсунути робочий орган насоса, що застряг).
- Заміна вийшов з ладу паливного насоса.
- Заміна пошкоджених або засмічених трубок і шлангів у паливних магістралях (основна подача та злив).
- Заміна негерметичних прокладок і сальників.
- Замініть ослаблені кріплення (хомути та ін.) на з'єднаннях паливної системи надійними достатньої міцності.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Використовуйте насос або компресор, щоб продути паливопровід у напрямку паливного баку, щоб видалити забруднення.
- Видаліть воду з бака, зливши розводнене паливо, або додайте в бак спирт або спеціальні присадки до палива, щоб хімічно зв'язати молекули води та заправити паливо без пошкодження працюючого двигуна.
- Злийте осад палива (якщо автомобіль обладнаний спеціальним відстійником і зливною пробкою для баків, відстійників і т.д.).
- Повністю видаліть домішки в резервуарі зачисткою, очищенням і висушуванням (при виявленні домішок або раз на кілька років для профілактики).
- Очищення сітки паливоприймача в баку (механічне очищення, очищення розчинником, продувка і сушка) - при заміні паливного фільтра, після продування паливопроводу, при чищенні бака.
- Регулярно та делікатно видаляйте забруднення в паливній системі та форсунках, додаючи до палива спеціальні очищувальні присадки, які мають доведену ефективність (згідно з інструкцією виробника присадок).
- Замініть паливний фільтр: якщо у вас є підстави вважати, що паливо низької якості або забруднене, замінійте його частіше, ніж рекомендує виробник (з меншими інтервалами заміни). Також при одноразовому сильному забрудненні може знадобитися позапланова заміна паливного фільтра.
- Заміна несправного регулятора тиску палива.
- Замініть датчик рівня палива в баку, якщо він несправний.
- Замініть індикатор рівня палива на панелі приладів, якщо він несправний.
- Заміна несправного датчика витрати повітря або датчика кисню.
- Замініть зношені паливні форсунки.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Якщо конструкція дозволяє, очистіть забруднені форсунки (циркуляцією миючої рідини або резервним ультразвуком металевих форсунок).

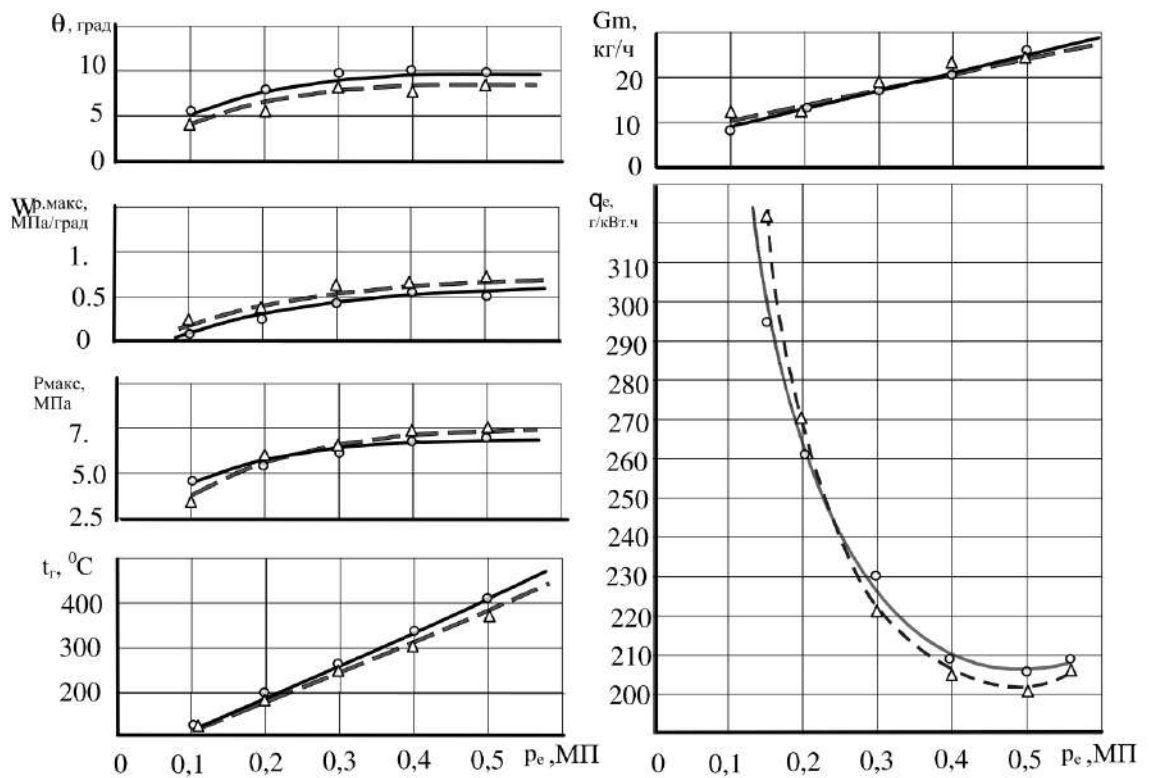
– Сортування паливної апаратури з очищенням і продувкою, заміна жиклерів-дозаторів, голок і т.д.

– Нормативна робота.

## **2.2 Оцінка економічності автомобільних дизельних двигунів на різних видах палива**

64 15/18 При експлуатації дизеля з навантажувальною характеристикою палива ГКОМ з цетановим числом 25 (рисунок 2.6) економічні показники двигуна практично такі ж, як і для дизельного палива, а середній ефективний тиск становить 25 перевищує. Ефективність має тенденцію бути вищою за 0,25 МПа. Внаслідок зниження горючості кут випередження займання зменшується в середньому на 1,0-1,5 градуса. Газоконденсатне паливо зменшує димність вихлопу. Подібні результати були отримані при дослідженні дизеля 14 14,5/20,5.

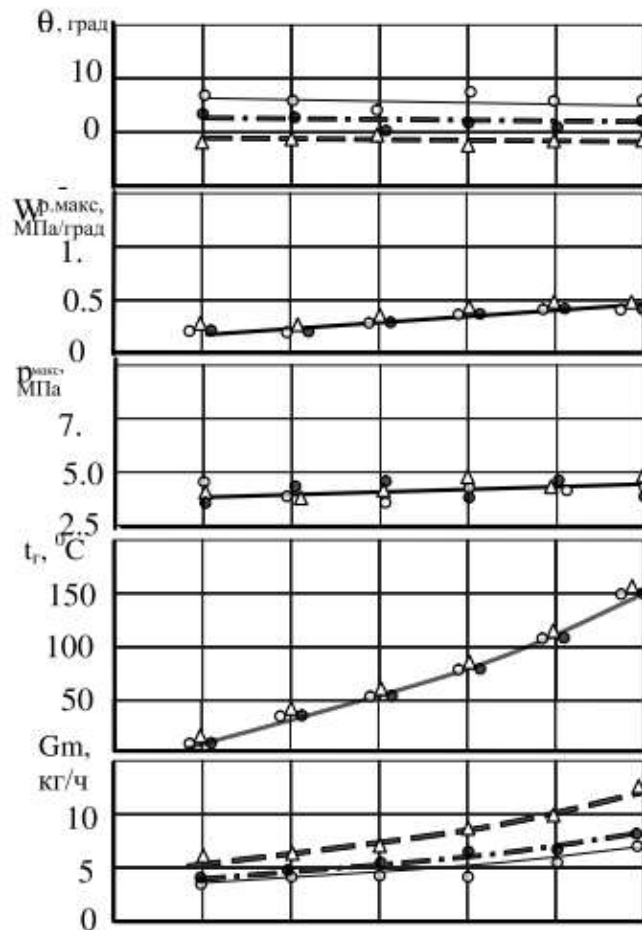
					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40



**Рисунок 2.6-Навантажувальні характеристики дизеля 6Ч 15/18 (при частоті обертання колінчастого вала 1500 об/хв): ○ – дизельне паливо. Δ – ГКОМ палива**

У режимі холостого ходу (рис. 2.7) показники робочого циклу палива ГКОМ і ГСФС-3 (метанове число 34) і дизеля практично однакові. Оскільки найбільш складно точно забезпечити багатопаливну ефективність дизеля в режимі холостого ходу, особливо в режимі високої швидкості, характеристики холостого ходу можуть визначати ефективність використання того чи іншого палива. Це підтверджує осцилограма тиску газу в балоні дизеля (рис. 2.8). Зі збільшенням частоти обертання індикаторна діаграма для всіх видів палива істотно деформується, а для легкого – тим більше.

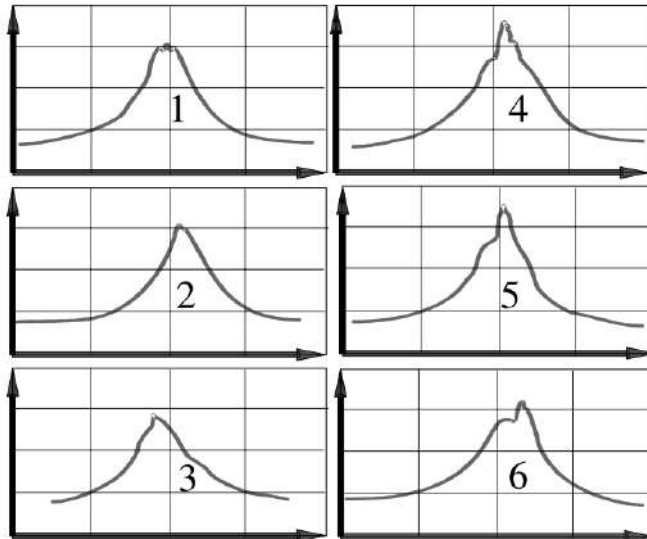
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



**Рисунок 2.7-Характеристики холостого ходу дизеля 6Ч 15/18:**

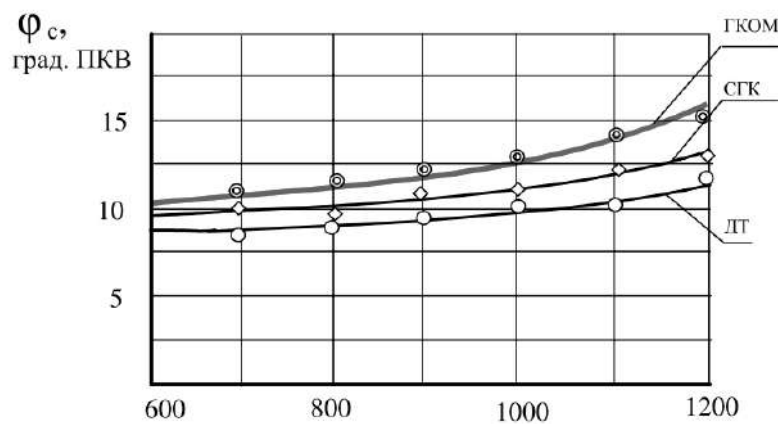
$\circ$  – дизельне паливо.  $\Delta$  – ГКОМ палива.  $\bullet$  – Суміш СГЦ (метанове число 27)

З урахуванням періоду затримки запалювання, що визначає формування робочого циклу, експериментально отримано залежність впливу цетанового числа палива та режиму роботи двигуна на величину періоду затримки запалювання.



**Рисунок 2.8-Осцилограма тиску газу в балоні дизеля 14 14,5/20,5**  
**Режим холостого ходу (криві 1, 2, 3 відповідають частоті обертання**  
**колінчастого вала 500 об/хв, криві 4, 5, 6 відповідають частоті обертання**  
**колінчастого вала 1070 об/хв): 1, 4 - дизельне паливо. 2, 5 - паливо ГШФС - 4**  
**(цетанове число 40). 3, 6 - ГКОМ**

На діаграмі. 2.9 показано вплив цетанового числа і частоти обертання дизеля на тривалість періоду затримки запалювання.



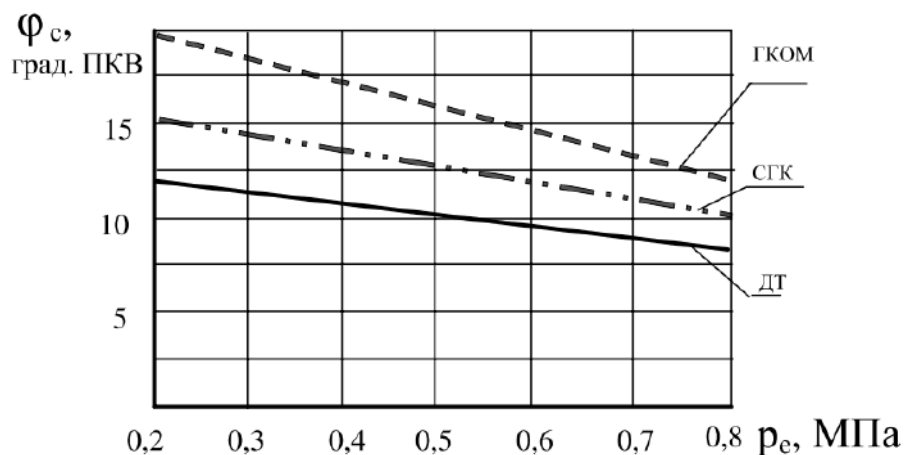
**Рисунок 2.9-Вплив горючості та швидкісного режиму на час затримки**  
**займання різних палив при роботі дизеля 14,5/20,5 в залежності від зовнішніх**  
**швидкісних характеристик.**

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Значення цетанового числа (CtN) визначали при роботі дизеля за зовнішньою швидкісною характеристикою та положенням рампи паливного насоса з досягненням витрат часу 4,76 кг/год при частоті обертання вала 1070 хв. -1 для різних видів палива.

У всіх швидкісних режимах зниження цетанового числа призводить до збільшення періоду затримки займання. Залежність цетанового числа є лінійною для всіх частот обертання колінчастого вала двигуна. При цьому, чим вище частота обертання, тим більше впливає цетанове число на період затримки займання. Залежність цетанового числа від частоти обертання колінчастого вала є нелінійною. Зі збільшенням частоти обертання швидкість росту також збільшується, і СС стає меншим у більшій мірі. Отже, як зменшення частоти обертання двигуна, так і збільшення частоти обертання колінчастого вала призводить до збільшення періоду затримки запалювання. Наявність лінійної залежності СН для різних видів палива дає можливість прогнозувати значення на основі СН і, навпаки, оцінювати СН реальних об'єктів. Вплив КК на період затримки запалювання наведено на рисунку з урахуванням робочого режиму навантаження дизеля при номінальній частоті обертання колінчастого вала.

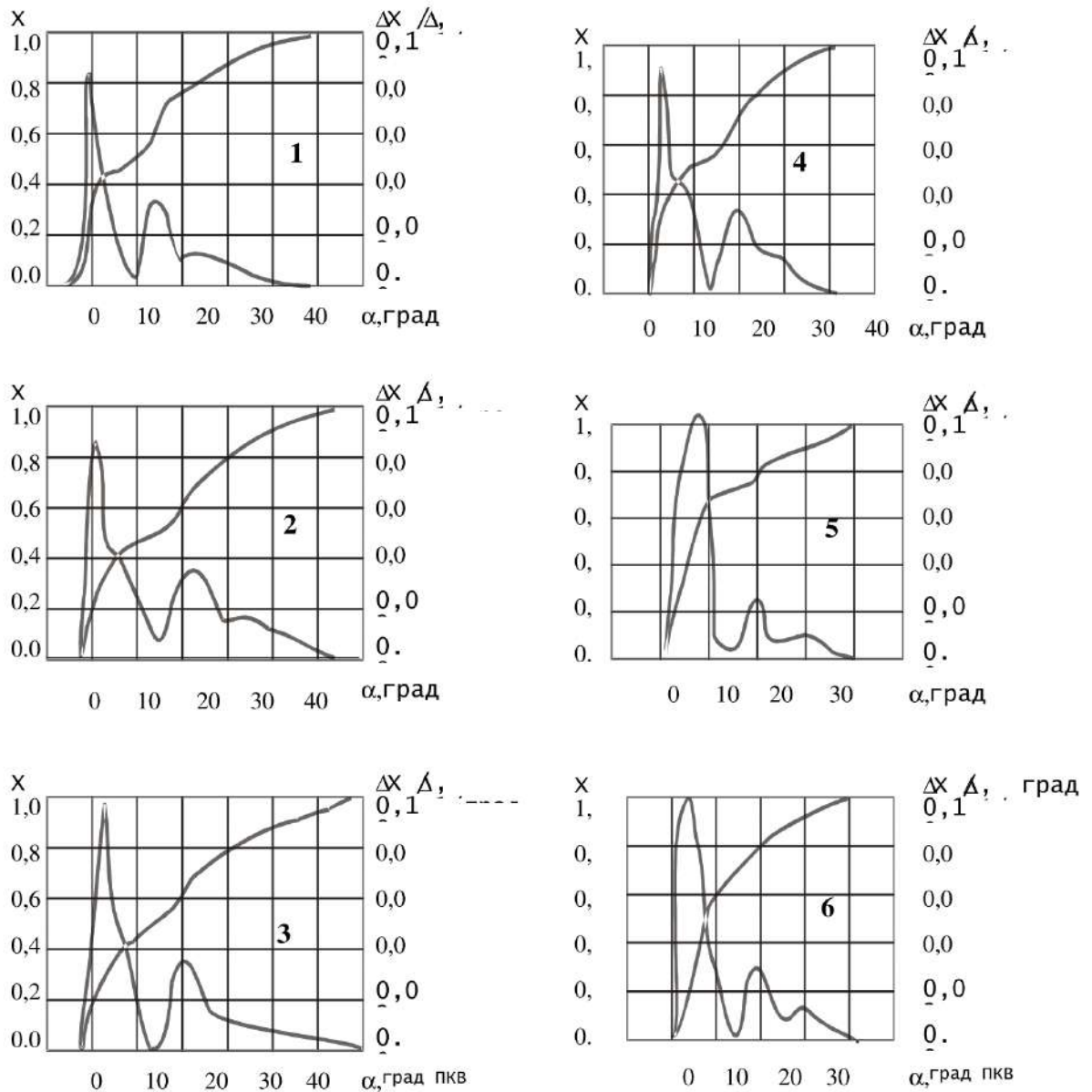
2.10.



**Рисунок 2.10-Вплив горючості та навантажувальних характеристик на період затримки займання різних видів палива при роботі дизеля 14 14,5/20,5 (при частоті обертання колінчастого вала 1070 об/хв)**

Оскільки СН зменшується в усіх режимах навантаження, період затримки запалювання збільшується і стає більшим із зменшенням навантаження. У міру збільшення навантаження вплив центральної нервової системи слабшає.

Характеристики горіння різних видів палива можна отримати, проаналізувавши індексну діаграму (рисунок 2.11).



**Рисунок 2.11-1Ч 14.5/20.5 Характеристика процесу згоряння різних видів палива в дизелі (частота обертання колінчастого вала 1070 об/хв, витрата палива 4,76 кг/год): 1 - Дизельне паливо. 2 - ГСФС-4; 4 - ГСФС-3;**

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

При зменшенні СН спостерігається скорочення часу згоряння палива. Дизельне паливо згорає в межах 54 градусів від PCV. Час згоряння авіаційного гасу ТС-1 практично однакове (ПКВ приблизно 52 градуси). Паливо ГШФС-4 вигорає в межах 44 градусів від ПКВ, газоконденсат третього типу ГК-3, газоконденсатне паливо ГШФС-3, ГКОМ і бензин А-72 вигорає в межах 33-40 градусів від ПКВ. Тривалість згоряння в кінетичному режимі для всіх проаналізованих видів палива практично однакова, в результаті чого PCV становить 13 градусів з точністю до 1 градуса PCV.

### **2.3 Існуючі технології ремонту та зміцнення вузлів паливної системи дизельних двигунів при технічному обслуговуванні та ремонті**

Як правило, ці технології використовуються іноземними автовиробниками, такими як Toyota, Mitsubishi, Honda, Volkswagen, General Motors, Ford, Renault та ін. У більшості випадків цими способами зміцнюють деталі паливної апаратури. Основними поломками таких деталей є знос шару покриття, залипання стиків і в деяких випадках їх поломка.

При ремонті вузлів використовуються запчастини, в рідкісних випадках відновлюються зношені шари. Як правило, ці роботи виконує СТО таких машин. Оскільки не мають належного обладнання, ремонтують такі деталі хромуванням. Цей технологічний процес не може повноцінно конкурувати з ранніми плівковими покриттями.

Тому цікаво розробляти діагностичні пристрої та вдосконалювати технологію хромування з додатковим посиленням наночастинками.

Напрямок підвищення стійкості елементів паливної апаратури шляхом нанесення зносостійких покриттів на основі нітридів, карбідів, карбонітридів, боридів і оксидів тугоплавких металів набуває широкого розвитку, тому що може бути забезпеченим.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Використання традиційних методів зміцнення шляхом складного сплавлення матеріалів компонентів в даний час сильно обмежене дефіцитом багатьох елементів, таких як Мо, Со та W. У зв'язку з цим створення принципово нового матеріалу, так званого плівкового композитного покриття, могло б наблизитися до значної економії витратних матеріалів за рахунок відносно високої міцності і в'язкості основи і при цьому підвищеної зносостійкості висока якість відремонтованих деталей.

Існуючі методи отримання покриттів на робочих поверхнях механічних деталей можна класифікувати на чотири основні групи з урахуванням деталей процесу їх формування [16-20].

- До першої групи належать способи, при яких утворення покриття здійснюється переважно шляхом реакції дифузії між елементами, що насичуються, і структурними компонентами матеріалу компонента.

- Друга група включає способи формування покриттів. Покриття утворюється в результаті реакції між парогазовою сумішшю, що складається з металевої основи та другого компонента, який діє як транспортер газу та відновник. У той же час субструктура поверхні матеріалу деталі та взаємодифузійна реакція між матеріалом і конденсатом значною мірою сприяють процесу утворення покриття.

- До третьої групи відносяться методи формування покриттів шляхом одночасних хімічних реакцій потоку частинок і плазмохімічних реакцій у просторовому об'ємі, що насичує поверхню матеріалу деталі.

- Четверта група включає способи формування покриттів шляхом взаємодії компонентних матеріалів з високоенергетичними потоками механічних частинок і плазми.

Методи нанесення зносостійких покриттів: вакуум, іоноплазма, дифузійна металізація, фторовмісні поверхнево-активні речовини (ПАР),

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

детонація та ін для підвищення надійності та довговічності прецизійних пар паливної апаратури Дуже цікаво.

Згідно з багатьма дослідженнями [21-24], хіміко-термічна обробка стала популярною для підвищення твердості деталей як більш простий і дешевий спосіб підвищення твердості до 60-62 HRC.

Основними недоліками цього методу є знеуглецювання поверхневого шару, анізотропія властивостей по поперечному перерізу деталі, відпускна крихкість і підвищена схильність до розшарування.

В результаті він не забезпечує необхідних зносостійкості та протизадирних властивостей прецизійної пари. Тому на практиці доводиться шукати інші більш дорогі і трудомісткі методи обробки, що підвищують зносостійкість деталі. Електрохімічне хромування є ще одним методом підвищення надійності та зносостійкості поршнів, клапанів і голок паливних форсунок.

Нанесення покриттів здійснюють при температурі електроліту 50 °C і густині струму 50–100 А/дм протягом 1 години. При цьому товщина покриття становила 35-50 мікрон. При нанесенні хрому на поліровану поверхню деталі структурних змін матеріалу не спостерігалося, але у шарі хрому виникали макро- та мікротріщини. Це результат зниження адгезії шару хрому до основи. Усередині покриття утворюються залишкові напруги розтягування.

Крім того, мікротвердість покриття виявилася нестабільною в діапазоні 750–1100 кгс/мм, що також пов'язано із залишковою напругою всередині покриття. Відновлення прецизійних деталей електролітичним хромуванням підвищило зносостійкість прецизійних деталей у 2-3 рази, але через зазначені вище недоліки цей метод не є популярним у масовому виробництві.

Для підвищення зносостійкості плунжерної пари доцільніше проводити електролітичне хромування з модифікацією нанодобавками.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Іншим способом забезпечення високої зносостійкості прецизійних деталей паливної апаратури є дифузійне борування.

Серед методів фізичного осадження (ФОП) покриттів, які в усьому світі називають PVD (Physical Vapor Deposition), виділяють:

- Метод реактивного електронно-плазмового осадження покриттів з пароплазмової фази у вакуумі.

- Спосіб застосування іонного бомбардування поверхні деталі та конденсації покриття з пароплазмової фази у вакуумі.

- Іонне покриття та його варіанти - Активоване реактивне розпилення (метод ARE);

- Магнетронне іонне розпилення (MIR) та його різновиди - Магнетронне іонне реактивне розпилення.

Фізичні методи нанесення покриттів є одним із найпрогресивніших напрямків у сфері виробництва. Вакуумно-плазмовий метод можна використовувати як універсальний спосіб нанесення покриттів на деталі з твердих металів, оскільки температура в зоні нанесення покриття може істотно змінюватися.

Вакуумно-плазмовий метод є універсальним і з його точки зору охоплює широкий спектр одношарових, багатшарових і композиційних покриттів на основі окремих елементів, багатоелементних і багатокомпонентних сполук на основі нітридів, карбідів і карбонитридов . , бориди і оксиди тугоплавких металів IV-VI груп.

Ефективним методом поліпшення роботи прецизійних деталей є використання тонких зносостійких покриттів, отриманих конденсацією речовин у вакуумі іонним бомбардуванням (метод КІБ). Вакуумно-плазмовий метод дозволяє збільшити твердість плівки в кілька разів у порівнянні з термообробкою. Спосіб полягає у випаровуванні вогнетривкого матеріалу за допомогою електричної дуги у вакуумі в присутності реакційноздатного газу та

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подальшої конденсації за допомогою іонного бомбардування газу парами матеріалу або його сполук, утворених потоком плазмохімічної речовини. налаштовані реакції. [24, 25].

Процес КІВ, який використовує іонне бомбардування поверхні деталі для конденсації покриття з пароплазмової фази у вакуумі, складається з двох етапів. Підготовка поверхні до нанесення покриття. Він складається з бомбардування прискореними іонами та нанесення покриття, що супроводжується нагріванням. Ця поверхня потім додатково ущільнюється (покривається) без подальшого нагрівання, забезпечуючи високу якість очищення та міцність зчеплення покриття. Це пояснюється тим, що енергія іонів під час зіткнення значно вища, ніж енергія під час конденсації.

Під час процесу нанесення покриття плунжер поміщали у вакуумну камеру на певній відстані від катода, що містить розпилений матеріал. Для отримання однорідного за складом і товщиною покриття поршень обертався в плазмовому потоці іонів. Для покриття використовувалися тугоплавкі метали (титан і молібден), а в якості реакційного газу – азот. В результаті готовий плунжер покривали нітридом титану або молібденом товщиною до 3-5 мікрон. Після нанесення покриття деталі не обробляються. Проведено випробування на зношування в умовах тертя на безперервній плунжерній парі із сталі ШХ15, термічно обробленій до твердості 60-62НРС, і аналогічної плунжерної пари, покритої нітридом титану твердістю 60-62НРС, методом КІВ на 12 годин за допомогою підставки. Приблизно 4-кратне збільшення вказує на 1,85-кратне зменшення зносу плунжера внаслідок нанесення зміцнюючого покриття. Було виявлено, що покриття поршня нітридом титану зменшує статичні та динамічні втрати щільності під час повномасштабного прискореного тестування з 0,01 г/л кварцового пилу в паливі протягом 12 годин. За результатами проведених випробувань ми змогли рекомендувати технологію зміцнення промислових плунжерів методом КІВ. Найбільш перспективним як з точки зору забезпечення

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зносостійкості, так і з техніко-економічних показників його застосування є метод детонаційно-газового розпилення [33]. Процес детонаційного покриття, як правило, є імпульсним під час формування покриття, так що деталь не нагрівається вище 250 °С, викликаючи таким чином спотворення, структурні та фазові зміни в основному матеріалі, які не обов'язково гарантуються в іншому випадку. , виключаються. Насичення покриття вибухонебезпечним методом має багато переваг. Однак ці методи зміцнення ефективні лише для виготовлення деталей. Товщина його шару не може перевищувати 0,3-0,5 мкм, і відновлення зносу в умовах ремонтного виробництва не гарантується. Цей метод також вимагає використання дорогого обладнання, великих витрат енергоносіїв і спеціальних матеріалів, високої кваліфікації персоналу. Витрати не можуть бути відшкодовані кількістю деталей, які можна врятувати шляхом ремонтного виробництва.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

### 3. Дослідження зносостійкості деталей паливної апаратури дизеля

#### 3.1. Методологія та методи дослідження

Такий методологічний підхід послідовно використовує спеціальні та нові методи та спрямований на підвищення стабільності роботи відновлюваних компонентів паливної системи зарубіжних машин шляхом однорідної кристалізації нанодомішок у паливі та забезпечив створення нових технологічних процесів. Хромове покриття призначене для забезпечення необхідного осадження для розподілу хрому в електроліті.

Послідовність виконання кожного етапу роботи також включала аналіз властивостей армування плівковим покриттям, використання нових сучасних аналітичних методів, дослідження кінетики та механізмів зношування іонного покриття. використовувані плазмові покриття. Розробка виробниками обладнання альтернативних технологій, їх параметрів та оснащення робить їх дешевшими та доступнішими для ремонтних компаній промислового впровадження.

Під час досліджень використовували сучасні аналітичні методи, зокрема металографію, мікрорентгенівську спектроскопію, електронну та емісійну мікроскопію, рентгенівську структуру, вимірювання мікротвердості, випробування на зношування. Комплексний підхід до вивчення передових технологій і процесів зміцнення при зношуванні доступний для контролю за станом робочих елементів, виявлення зон відмов і продовження терміну служби паливних систем дизельних двигунів. Метою була розробка методів і пристроїв.

У цьому дослідженні розроблено новий метод діагностики для моніторингу стану армованих плівкових покриттів, характеру та ступеня зносу деталей інжектора дизельного двигуна.

Проведено аналіз способів діагностики стану вузлів при ремонті акумуляторних паливних систем з електронним керуванням типу «common

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

rail». Відомі методи оцінки їх стану виявилися ненадійними і не можуть бути використані для контролю якості під час реставрації. Запропоновано метод діагностики стану зносу таких деталей інжектора. Методи включають: Комбінація кулі та конічного сидіння (знаходиться вгорі). Сідло - прецизійна пара мультиплікаторних напрямних (розташована в середній частині) і голки - корпус розпилювача (розташована внизу).

Для реалізації цього методу використовується стенд BOSH (EPS200) і пірометр. Цей метод дозволяє перевірити декілька режимів подачі палива та зафіксувати загальну витрату палива, що надходить у «зворотний» бак (рисунки 3.1).



а)



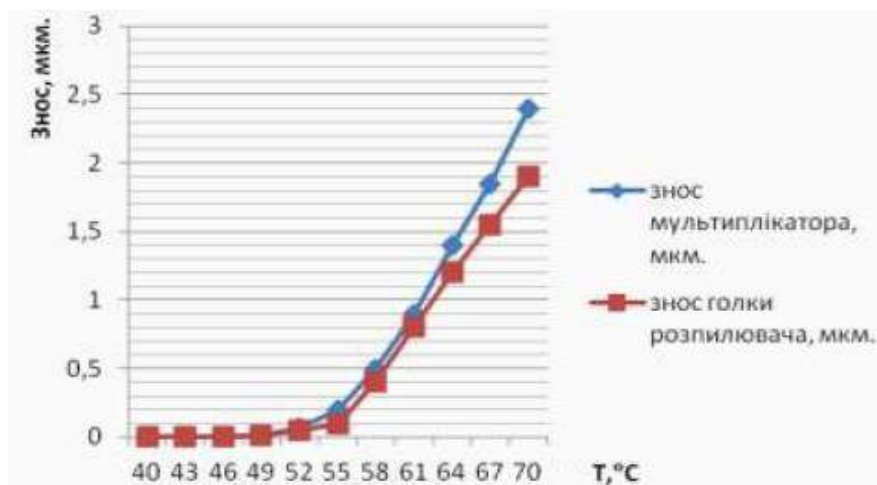
б)

*i*— До одужання. б - Після відновлення хромуванням з нанододішками

**Рисунок 3.1-Вимірювання температури нагріву поверхні інжектора за допомогою пірометра**

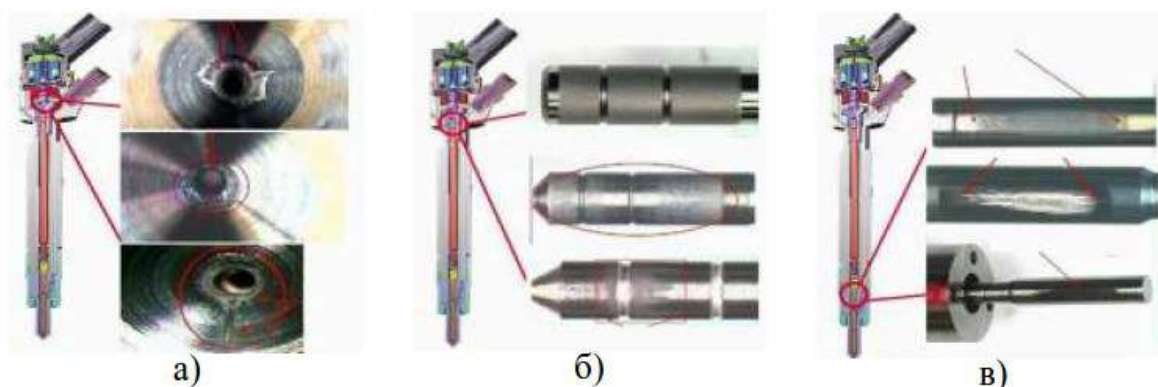
При цьому найбільш зношені частини значно нагріваються, тому для вимірювання досягнутої температури та реєстрації її змін рекомендується використовувати пірометр. Цей метод ефективний для оцінки стану деталей інжектора до і після ремонту. Оптимальна температура нагріву для якісних деталей відповідає діапазону від 40 до 54 °С. Його оцінюють на основі запропонованих залежностей (рис. 3.2).

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53



**Рисунок 3.2-Залежність зміни температури від ступеня зносу деталей інжектора Common Rail при діагностиці**

Як правило, деталі паливної апаратури зарубіжних машин армуються плівковими покриттями, і основними факторами їх морального зносу є зношування та руйнування внаслідок порушення якості армованої поверхні (рис. 3.3).



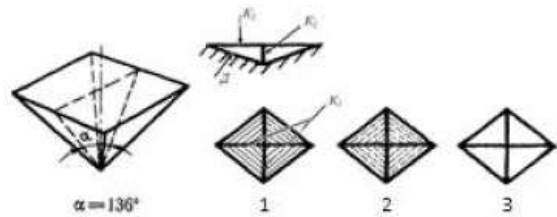
**Рисунок 3.3-Характеристики зносу деталей інжектора Common Rail: а - сідло кульового крана б - напрямна частина мультиплікатора; в - Направляюча голка розпилювача**

Було проаналізовано поведінку покриття під час експлуатації, щоб визначити ступінь зносу покриття в різних зонах деталі та знайти способи його ремонту. Запропоновано метод визначення ступеню зносу деталей з плівковим

покриттям шляхом вдавнення з навантаженням 20-50 г (прилад UJT HVmicro-1). При дискретному навантаженні шар арматури переміщується і утворює смугу під вдавненням (рисунок 3.4).



а)



б)

а - той, на якому проводилося вимірювання. б - утворення смуг при навантаженні індентора; 1 – плівкове покриття неушкоджене. 2 – Плівкове покриття частково пошкоджено. 3 - Якщо під принтом немає смуг, плівкове покриття зношене на 100%.

### Рисунок 3.4-Зовнішній вигляд ротора паливного насоса після експлуатації та руйнування

При рівномірному зносі в зоні вимірювання фіксуються суцільні смуги, при нерівномірному - переривчасті смуги. Коли покриття повністю зітреться, смуги повністю зникнуть. Сформовані смуги розміщують паралельно поверхні друку. Щоб визначити товщину покриття (нового чи частково зношеного), розрахуйте, виходячи з того, що одна смуга є гіпотенузою, а її проекція на катет (K2) є товщиною покриття, що залишилося. Ми рекомендуємо це зробити.

$$HV = \frac{F}{S} = 0,03784 \cdot \frac{F}{k_2^2},$$

де F – навантаження 50 г на індентор для виявлення перетину смуг. S - площа поверхні під вдавнення, мм<sup>2</sup> - глибина вдавнення, мм;

Розрахунки для окремої зони показали, що її товщина становила 108 мкм. Цей метод дозволяє оцінити ступінь зносу в різних зонах деталі.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Для ідентифікації утворених фаз запропоновано метод математичної обробки зображень аналізованої мікроструктури на поверхнях тертя. За основу такої обробки було використано метод оптико-математичного аналізу, який оцінює зображення за мікрофотографіями та статистичними характеристиками (пікселі та щільність їх розподілу). З їх допомогою були отримані гістограми, що описуються кольором точок, індексом нейтральності, оцінкою кореляції рівнянь і залежністю, що характеризує адекватність моделі (через розкид значень кольорів).

Опис структур, що утворюються під час тертя, базується на аналізі 15 залежностей, які характеризують дифузію хімічних елементів усередині покриття.

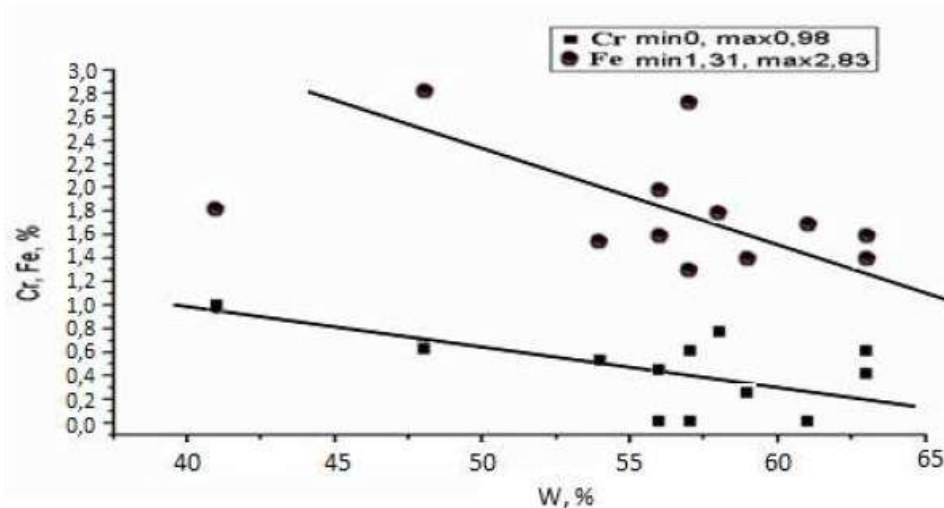
Комп'ютерна обробка зображення у форматі `pgm` містить 256 відтінків сірого. Розрахунок умовного кольору виконується на основі розв'язку системи диференціальних рівнянь Новіє-Стокса і представляється змінними функціями струмів і завихрень у кінцево-різницевій формі. Сформоване зображення не залежить від ступеня протравлення мікропредмету, оскільки фаза оцінюється за його відмінністю, а не за кольором.

### **3.2 Механізм зношування та поведінка деталей паливної апаратури дизеля, армованих плівковим покриттям**

Для того, щоб запропонувати технологію та розробити параметри процесу ремонту деталей паливної апаратури, японська та канадська компанії вивчили особливості їх хімічного складу та властивостей, структурні зміни в різних зонах, армованих плівковими покриттями. Сила зносу. Рентгено-мікроспектральний аналіз і рентгеноструктурний аналіз довели, що чорне покриття складається з композиції  $W-Co-C$  з часткою 59–63%. 3,4–3,7% і 27–29% відповідно і мають у вихідному стані аморфну структуру, а в процесі експлуатації на поверхні такого покриття утворюється алмазна плівка. У зоні

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

максимального зносу відсоток вольфраму зменшується в 1,5 рази, а відсоток кобальту знижується до 2,7% при збереженні покриття. Вміст вуглецю знижується на 18-20%. При цьому додатково виявляють хром (0,28-0,97%), залізо (1,3-1,86%), в окремих випадках сірку і ванадій (рисунок 3.5).

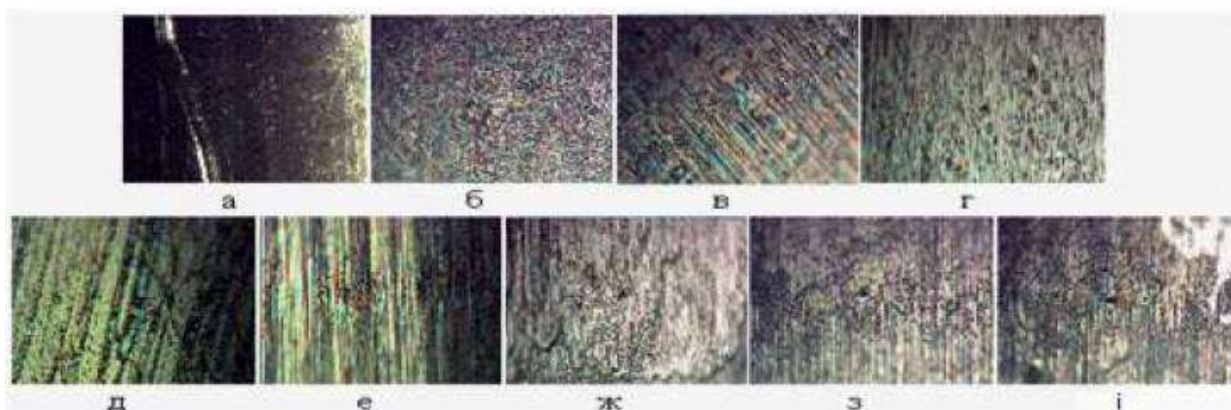


**Рисунок 3.5-Зміна концентрації хрому і заліза залежить від долі вольфраму**

Це пояснюється тим, що мікрозонд  $\varnothing 3$  мкм, який використовувався під час зношування покриття, частково захоплював і аналізував основний метал. Крім того, спостерігається окислення покриття (містить 2,4–5,8% кисню) незалежно від ступеня зношення. У присутності кисню графіт діє як мастило, а за відсутності кисню — як абразив. При сильному пошкодженні плівкового покриття частка кисню в цій зоні зростає до 19,0%, відзначається наявність азоту, натрію, алюмінію, калію і кальцію, появу яких можна віднести до дизельного палива. Компоненти, що потрапили в зону дефекту.

Методом електронно-мікроскопічних досліджень досліджено динаміку структурних змін поверхонь тертя різного ступеня зношування. Помічено, що на кожному етапі зношування утворюється характерний рельєф у вигляді смуги ковзання різної товщини від 1-2 мікрон до 3-6 мікрон. Зі збільшенням інтенсивності зношування таких смуг стає менше, вони потовщуються до 6-8 мкм і розпадаються на окремі частинки (рис. 3.6).

При зношуванні фрикційна смуга інтенсивно руйнується, утворюючи стійку сітчасту структуру з появою окремих фрагментів. Межі сітчастої структури прикрашені наноалмазними включеннями, які утворюються в процесі тертя при руйнуванні алмазної плівки. Рентгено-мікроспектральний аналіз підтвердив, що зона деформації збільшує концентрацію вуглецю в 1,5 рази.



а - зона покриття до експлуатації,  $\times 10$ ; б - аморфна структура; в - початок спрацювання, утворюються смуги деформації - сліди тертя, сліди індентора утворюють смуги зсуву; д, д, е - розвиток процесів тертя.

з, з, і - зменшення смуги деформації і руйнування структури покриття, поява рельєфної сітчастої структури, деформація ділянки вдавнення індентора.

б - і -  $\times 500$

**Рисунок 3.6-Зображення уламків на поверхні досліджуваної деталі в бік збільшення інтенсивності зношування**

Рівномірність зносу покриття аналізували за зміною концентрацій заліза, хрому та вольфраму в одній і тій же точці мікрозонда (3 мкм) досліджуваної зони. На цій основі встановлено, що в перший період експлуатації, коли частка вольфраму максимальна (55-63%), концентрації заліза і хрому відсутні або мінімальні. У цей період фіксується нерівномірність товщини шару аморфного покриття. Протягом наступного періоду експлуатації знос максимальний,

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частка вольфраму зменшується, а частка хрому і заліза зростає. Одночасно збільшується вміст вуглецю (матриці).

Розробленим методом оптико-математичного аналізу визначено структурне розташування наноалмазів та їх розподіл під час експлуатації в аморфному покритті. У цьому методі оцінюються зображення, які відрізняються статистичними властивостями, тобто мікроструктурними фотоелементами та щільністю наноалмазу на фрагментах  $10 \times 10$  пікселів. їх розподіл. Для зручності всі виявлені умовні кольори ми розділили на 16 груп. Для аналізованих фрагментів побудовано гістограму інтегрального розподілу умовних кольорів (табл. 3.1). Традиційні кольори знаходяться в колонках 1, 2, 5, 6, 7, 10, 11, 12 і 14, 15, 16 і відповідають наступним фазам: 1 – Чистий W. 2 – Чиста компанія 5 - підключення до спільного туалету (мінімум C); 7 - з'єднання Co-WC (максимум C); 10, 11, 12 - з'єднання Co-W з різними співвідношеннями цих компонентів. 14, 15, 16 - з'єднання в місцях сильного зносу Fe-Cr-C (представляє основний метал) з різними співвідношеннями цих компонентів. Середня умовна зміна кольору наведена на (рис. 3.7).



**Рисунок 3.7-Середня умовна зміна кольору фотографії, що характеризує інтенсивність зношування поверхні в процесі тертя**

Таблиця 3.1

Гістограма інтегрального розподілу умовних груп кольорів, %

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

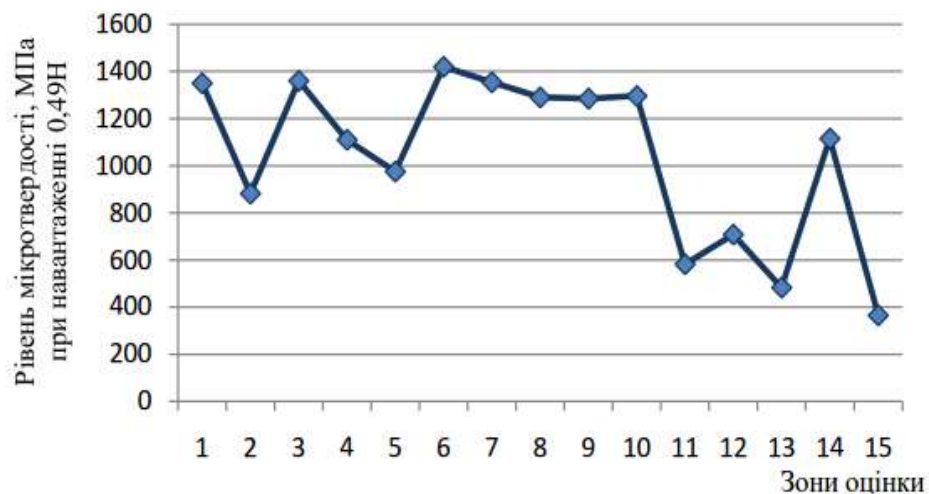
Вміст умовної кольорової групи, %																немає фотографія (Рисунок б)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
7,88	0,96	0,0	0,0	39,09	30,48	0,404	0,0	0,0	4,86	8,58	2,38	0,0	0,01	1,93	6,09	і
5,16	0,519	0,0	0,0	4,98	23,59	0,294	0,0	0,1	23,98	26,85	2,50	0,0	0,46	6,41	6,73	б
2,76	0,50	0,0	0,0	8,87	31,88	1,887	0,0	0,2	15,53	26,90	3,45	0,0	0,49	3,19	4,92	в
7,36	0,02	0,0	0,0	2,92	22,71	0,374	0,0	0,0	12,06	38,56	3,13	0,0	0,01	2,67	11,89	пан
6,40	4,30	0,0	0,0	14,26	31 квітня 7450		0,1	0,0	34,03	20,10	10,67	0,0	0,03	0,39	3,22	д
5,92	2,21	0,0	0,0	12,18	28,78	4,364	0,1	0,1	07,10	22,84	10,55	0,0	0,12	2,97	4,56	є
16 липня	0,07	0,0	0,0	2,13	13,98	0,061	0,0	0,0	11,20	32,32	1,84	0,0	0,49	6,53	17,15	те саме
9,99	0,03	0,0	0,0	1,66	14,48	0,145	0,0	0,0	22,36	33,03	2,80	0,0	0,27	3,86	13,86	і
8,22	0,10	0,0	0,0	2,51	20,25	0,194	0,0	0,0	17,69	30,38	2,72	0,0	0,12	5,34	18,01	і

З аналізу таблиці. 3.1 Було підтверджено, що структурна неоднорідність періодично змінюється через різницю в термінах носіння. Це пояснюється утворенням і руйнуванням (відшаруванням) тонкої плівки наноалмазів і зміною частки компонентів W. -Co-C покриття.

На початковому етапі тертя утворюється значна кількість наноалмазних структур із концентрацією С 32%, а в процесі збільшення зношування спостерігається періодична зміна його частки (зменшення до 2,3 раза). , в середньому до 14%. Відокремлені наноалмази в центрі тертя руйнуються та перетворюються на графіт, тим самим зменшуючи коефіцієнт тертя через присутність кисню.

Вимірювання підтвердили, що середня мікротвердість вихідного аморфного покриття становила Н-50-365 (порівняна з мікротвердістю металу). На першому етапі максимального тертя вже утворюються вуглецеві кластери наноалмазу, і тертя досягає Н-50-1360, а потім знижується до Н-50-560. Це повністю узгоджується з динамікою процесу структурної трансформації, і ми вивели механізм зношування плівкового покриття W-Co-C за рахунок повторного утворення та руйнування плівки наноалмазу (рис. 3.8).

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ											Арк.
																60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата												



**Рисунок 3.8-Рівень мікротвердості змінюється в залежності від ступеня зносу плівкового покриття в зоні вимірювання.**

### **3.3 Дослідження процесу модифікації нанодомішок**

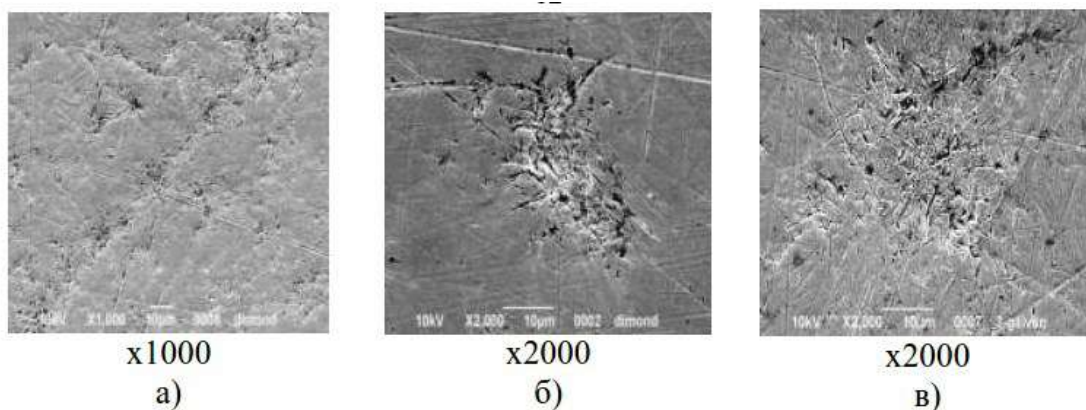
На основі аналізу покриттів, які використовувалися при виготовленні деталей, для відновлення запропоновано техніку хромування з використанням нанодомішок. Ця технологія характеризується широким функціоналом, недорогим обладнанням і характеристиками, необхідними для конкретних технічних прийомів. Ця технологія може ефективно замінити іонно-плазмове покриття W-Co-C, оскільки концентрація вуглецю в процесі експлуатації поступово знижується (з 34% до 14%), а властивості стають нестабільними через зниження концентрації вуглецю. Приблизно подвоїти рівень мікротвердості. Технологія відновлення хрому з використанням наномішечей забезпечує однакову зносостійкість протягом усього терміну експлуатації.

В якості електроліту рекомендовано водний розчин безводного хрому CrO<sub>3</sub> з масовою концентрацією 150-400 г/л з добавкою хімічно чистої кислоти H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1,5-4,0 г/л. При цьому модифікування наносумішами проводили в оптимальній кількості 10–15 г/л.

Рекомендовані параметри процесу: температура електроліту 55°C, катодна густина струму 30-50А/дм<sup>2</sup>, обробка номінальним струмом. Крім того, на початкових етапах хромування, імпульсна обробка при струмі, що в 1,5-2,0 рази перевищує номінальний протягом 2-3 хвилин.

Виконане порівняльне дослідження включає методику підготовки деталей до відновлення, вибір технічних параметрів процесу хромування та введення модифікуючих домішок. При цьому визначено найбільш ефективні типи домішок, особливості структуроутворення таких покриттів та їх властивості.

Досліджено вплив модифікації наносуміші УДА та Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> під час нанесення електролітичного покриття. Недоліком цього методу є те, що кристалізація агрегованих частинок відбувається нерівномірно (рис. 3.9).



**Рисунок 3.9-Мікроструктура покриттів з добавками  
Нанодомішки в хромовому електроліті:  
а, б - УДА - алюмінієва пудра - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

Під час кристалізації покриття утворюються кластери нанодомішок у вигляді шорстких розрядів по межах зерен. Також спостерігається нерівномірний розподіл кластерів. Це пов'язано з осіданням частинок на дні рідинної ванни під час процесу електролізу та під час кристалізації частинок усередині покриття.

Оцінка мікротвердості підтвердила, що введення наносуміші Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> підвищило рівень в зоні агломерації в 5,5 рази і УДА в 1,3 рази. Через високу твердість модифікації Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> цю суміш не можна використовувати для ремонту таких покриттів. Це пояснюється тим, що він руйнується і збільшує знос сполучених частин. Введення UDA забезпечує порівнянну з W-Co-C покриттями мікротвердість і аналогічну динаміку процесу зношування в процесі експлуатації.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

### 3.4 Дослідження використання високов'язких палив і роботи модернізованих паливних систем дизеля

Розглянемо моторні палива ДТ і ДМ за ГОСТ 1667-68. Паливо ДТ має переваги порівняно з ДМ (табл. 3.2). Але внаслідок занепаду нафтопереробних заводів і скорочення військово-морського флоту таких палив марок ДТ і ДМ в Україні майже немає.

Таблиця 3.2

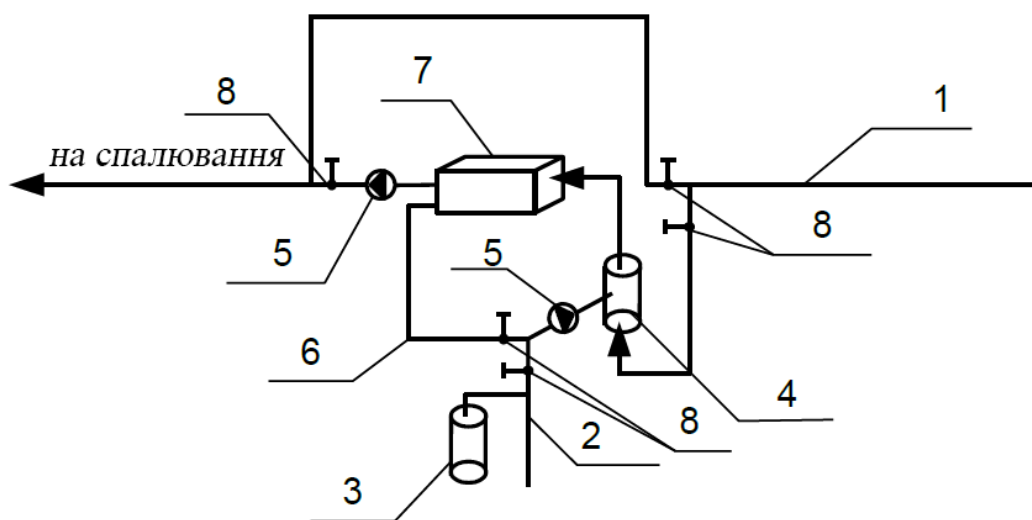
Показники моторного палива для середньооборотних двигунів

індекс	ДТ	ДМ
щільність $\rho_4^{20}$ , не більше	0,930	0,970
Кінематична в'язкість при 50 °С, сСт	20	130
Коксувальна здатність, %, більше	3.0	9.0
Вміст сірки, %, вище	0,5	2.0
Зольність, %, вище	0,02	0,06
Вологість, %	2.0	2.0
Вміст механічних домішок, %, більше	0,05	0,1
Температура спалаху, °С, не нижче	70	85
Температура застигання, °С	- 5	+10

Відпрацьоване мінеральне масло виробляється на підприємствах і в майстернях з ремонту автомобілів і тракторів, а також в організаціях різних галузей. Хоча частина відпрацьованого масла є відновлюваною, значна кількість масла, забрудненого твердими домішками, кислотами та лугами, збирається та транспортується на спеціальні підприємства для знищення. Непереробні рідкі відходи містять % (по масі) відпрацьованого масла - 80...93, масою 2-5. % твердих домішок - 2...5 % і 5...15 % вологи. Промислові компанії та транспортні організації щорічно витрачають значні суми грошей на вивезення та транспортування. Проте досвід показав, що ці рідкі відходи можна

успішно використовувати як горючий вторинний енергетичний ресурс при спалюванні в двигунах внутрішнього згоряння [4].

Коли відпрацьоване масло і дизельне паливо змішуються в певному співвідношенні в емульсійній установці, виходить відносно однорідна паливна суміш, що забезпечує стабільне і якісне згоряння для двигунів внутрішнього згоряння. Для утилізації відпрацьованого масла як палива запропоновано схему його змішування з дизельним паливом марки Л (рисунок 3.10).



1 - Поведінка конвеєра. 2 - Трубопровід від стаціонарного місця зберігання відпрацьованого масла. 3 - Ємність відпрацьованого масла перевозиться автомобілем. 4 - відцентровий емульгатор; 5 - паливний насос; 6 - Рециркуляційний трубопровід. 7 - Ємність проміжного накопичувача суміші "ВЯП" з підігрівом. 8 - Запірна арматура

**Рисунок 3.10-Принципова схема установки змішаного спалювання «Відпрацьоване масло/паливо»**

Технічне планування емульсійної установки вимагає, щоб відцентровий емульгатор або вихровий емульгатор працював весь час під час спалювання рідких відходів, а якщо емульсійна установка розташована на значній відстані

від печі, необхідно встановити додатковий емульгуюча машина. Використання насадок або спеціальних насадок. Принципова схема обладнання для спалювання «відпрацьованого мазуту».

Розігрітий мазут або паливо направляється на спалювання по трубопроводу 1 (рисунок 3.10). Якщо в якості палива використовується суміш «відпрацьоване масло - мазут (паливо)», то мазут направляють у відцентровий емульгатор 4, де відокремлюють відпрацьоване масло. Їм також давали їжу.[5] Особливістю є те, що в нього надходить відпрацьоване масло як зі стаціонарних збірних ємностей по трубопроводу 2, так і з ємностей 3, що транспортуються автотранспортом.

Відпрацьоване масло і мазут (паливо) змішуються в емульгаторі і по трубопроводу направляються в обігривається проміжну ємність 7, а коли ємність заповнена, направляються на спалювання паливним насосом 5. Подача палива регулюється роботою запірного клапана 8. Період заповнення проміжної ємності 4 має різні часові інтервали, а для оптимізації якості суміші «відпрацьоване масло-паливо» установка обладнана рециркуляційним пристроєм. Лінію 6 подають і рециркулюють суміш за допомогою паливного насоса, встановленого в трубопроводі, і відпрацьоване масло подають через емульгатор протягом 48 годин [6]. Головною перевагою цього обладнання є те, що нерівномірне утворення відпрацьованого масла не впливає на якість суміші «відпрацьоване масло і паливо» і кількість палива, необхідного для роботи печі.

В даний час розробляється ряд модернізацій паливних систем дизелів для роботи на суміші рослинного і мінерального палива. Більшість із них мають два змішувача палива. Аналіз конструкції змішувача показує, що концентрація рослинного палива в мінеральному паливі визначається тільки кутом відкриття заслінки або відкриттям клапана. При цьому температура навколишнього середовища не враховується. Як показано вище, це сильно впливає на в'язкість

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

отриманої суміші. Розроблено та розраховано віскозиметр швидкості потоку для контролю в'язкості палива рослинно-мінеральної суміші.

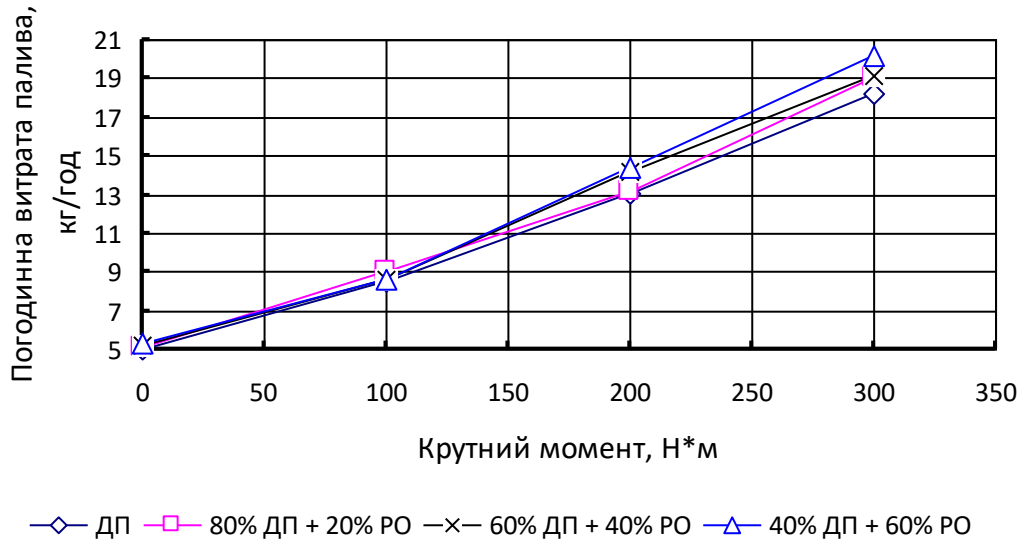
Порівняльна оцінка роботи дизелів з роздільним КЗ і підлоговим КЗ показала, що в останньому випадку краще використовувати суміш RO і DP. Параметри суміші біопалива близькі до DP, що призводить до меншої кількості коротких замикань і відкладень коксу на стінках форсунок під час горіння. Також відзначено можливість покращення екологічних властивостей дизеля з напівізольованим КЗ при роботі на змішаному біопаливі. Це підтверджують результати експериментальних досліджень дизеля Д-245.12С (4ЧН 11/12.5) Мінського автомобільного заводу. Цей дизель має КЗ типу ЦНІДІ і утворення об'ємної плівки суміші.

При дослідженні дизельного двигуна Д-245.12С використовувалися чотири типи палива: чисте біопаливо ДП і біопаливо на основі ОО з концентрацією масла 20%, 40% і 60%. Проведені дослідження підтвердили, що використання палива на основі ріпакової олії в дизельному паливі має потенціал для значного зниження кількості шкідливих викидів в атмосферу. По-перше, це стосується викидів незгорілих вуглеводнів і сажі від ГН, які зменшуються в 1,5-2,0 рази при використанні змішаного біопалива.

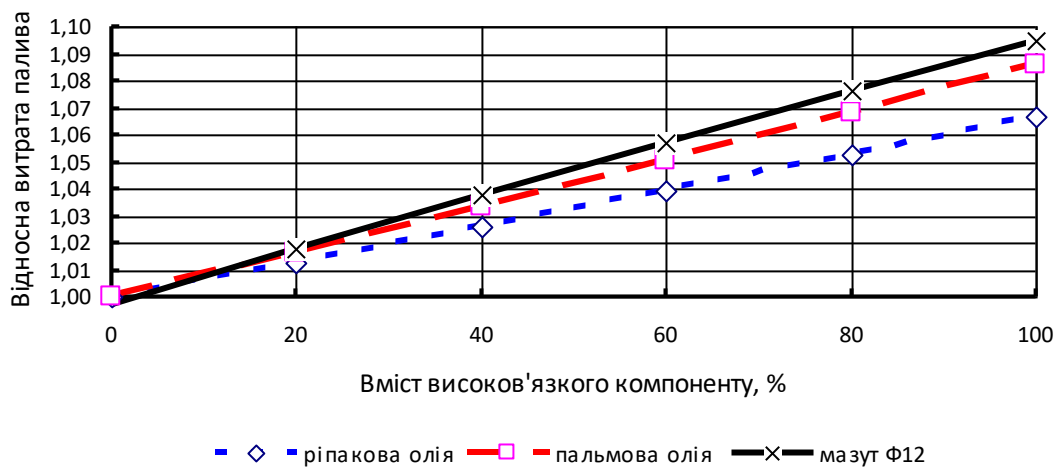
Д-245.12С Метою оптимізації складу суміші біопалива для дизельного двигуна було визначення пропорцій DP і RO в суміші біопалива (рис. 3.11). Це забезпечує сприятливий компроміс між витратою палива і показниками токсичності. Н.В.

Для отримання вихідних даних для такої оптимізації дизельний двигун Д-245.12С був випробуваний на трьох паливних сумішах, що склалися з чистого DP і DP, а RO змішали в об'ємному співвідношенні 4:1 на чотирьох різних видах палива. Результати цих дизельних досліджень для режимів 13-ступінчастого циклу ESE R49 наведені на малюнку. 3.12.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



**Рисунок 3.11-Залежність годинної витрати палива дизеля Д-245.12С від швидкості і режиму навантаження (частоти обертання  $n$  і ефективного моменту  $M_e$ ) при використанні палив різного складу:**  
 1 - дизельне паливо; 2 - суміш 80% DP і 20% RO. 3 - Суміш 60% DP і 40% RO. 4 - Суміш 40% DP і 60% RO



**Рисунок 3.12-Залежність відносної витрати часу сумішевого палива від вмісту високов'язких компонентів**

Годинна відносна об'ємна витрата суміші палива залежить від щільності енергії палива та ефективності двигуна.



рослинного палива в мінеральному паливі визначається тільки кутом відкриття заслінки або відкриттям клапана. При цьому температура навколишнього середовища не враховується. Як показано вище, це сильно впливає на в'язкість отриманої суміші. Розроблено та розраховано проточний віскозиметр для контролю в'язкості змішаних рослинно-мінеральних палив (рисунок 3.13).

Методика вимірювання в'язкості середовища, що протікає по вимірювальному трубопроводу (ВТ), що складається з однієї правої частини і трьох лівих частин, заснована на конструкції, яка локально звужує потік за допомогою діафрагми 2 (рис. 1). 3.13), частина потенціальної енергії перетворюється на кінетичну. Середня швидкість потоку в точці звуження збільшується, і статичний тиск стає меншим, ніж статичний тиск на діафрагму 2. Чим більша різниця тиску (падіння тиску), тим більша витрата середовища, яка записується як: Одночасно датчиком потоку 4 вимірюється об'ємна витрата середовища. Усі датчики передають інформацію на блок керування двигуном або на власний блок керування. У блоці управління кінематична в'язкість розраховується за формулою Хагена-Пуазейля наступним чином:

$$\eta = \frac{\Delta p \cdot \pi \cdot R}{8 \cdot Q \cdot L},$$

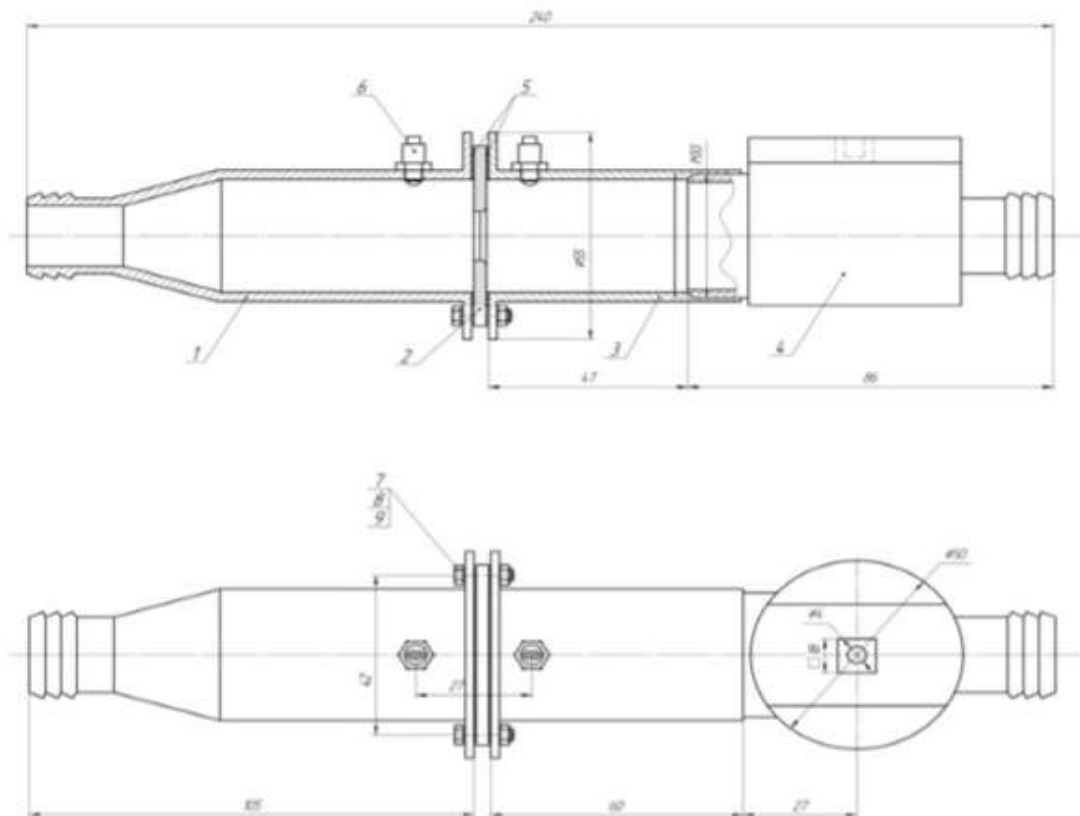
де  $\Delta p$  – різниця тиску Па на пристрої стенозу.

$R$ - внутрішній радіус звуженого пристрою, м;

$Q$ - об'ємна витрата, м<sup>3</sup>/с;

$L$ - довжина отвору стенозу, м.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70



**Рисунок 3.13-Пропонована конструкція віскозиметра:**

**1 - Права частина корпусу. 2 - діафрагма; 3 - корпус (ліва сторона); 4 - Датчик витрати. 5 - Прокладка. 6 - Датчик тиску. 7, 8, 9 - болти, шайби, гайки**

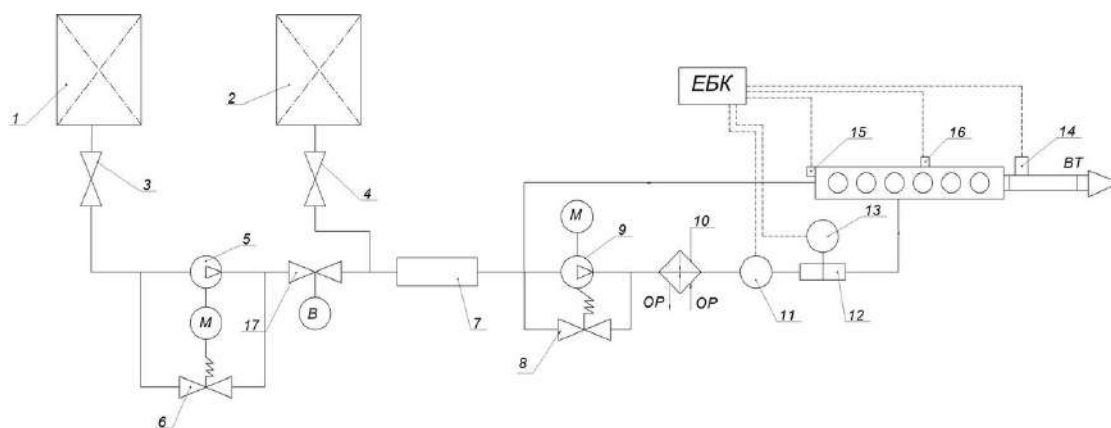
Застосовуються загальні вимоги до встановлення стенозуючих апаратів (ЗП), зазначені в ГОСТ 8.586.1, а також додаткові спеціальні вимоги цього стандарту щодо діафрагм. Отже, цей прилад дозволяє в будь-який час контролювати кінематичну в'язкість змішаного палива (рис. 3.13), контролюючи процес змішування його компонентів і регулюючи його в змішувачі. Це захищає двигун від надто в'язкого або надто рідкого палива і значною мірою запобігає дефектам у роботі двигуна та паливної апаратури.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

#### 4. Модернізація паливної системи дизельних двигунів для роботи на паливі підвищеної в'язкості та розробка систем її технічного обслуговування та ремонту

##### 4.1 Модернізація паливних систем дизельних двигунів для роботи з високов'язким паливом

Виходячи з цих вимог та враховуючи досвід інших досліджень, ми розробили систему приготування високов'язких палив (рис. 4.1). Ця схема встановлюється на трактор МТЗ-80, так як ця модель є однією з найпопулярніших і поширених.



- 1 важкий паливний бак 2 баки дизпалива. 3,4 - паливний насос 6,8 - змішувач  
10 - паливний нагрівач. 11 Витратомір;  
12 - рефрактометр; 15 - датчик швидкості.  
16 - електромагнітний клапан;

**Рисунок 4.1-Принципова схема працездатної паливної системи  
Для високов'язкого палива**

Принцип роботи запропонованої системи (рисунок 4.1) полягає в наступному.

Баки важкого палива 1 і легкого мазуту 2 змішуються і регулюються клапанами 3, 4 і надходять в паливний насос високої в'язкості, який завдяки ЕБК

регулює подачу в змішувач 7 електромагнітним клапаном 17. При подачі важкого палива частота обертання колінчастого вала становить не менше 50% від номінальної частоти обертання, температура холодної рідини - не менше 60%, навантаження двигуна - не менше 20% від номінальної частоти обертання. При виконанні заданих критеріїв відкривається кран 3, запускається насос 5, і суміш важкого палива 1 і дизельного палива 2 подається через насос в змішувач 7. Змішане паливо нагрівається в теплообміннику 10. В'язкість палива вимірюють за допомогою віскозиметрів 12 і 13, що складаються з діафрагм. Алгоритм такий: Коли в'язкість перевищує 11,5 сСт, блок електромагнітного керування дає команду моторизованому клапану зменшити подачу компонентів з високою в'язкістю. Якщо віскозиметр показує в'язкість нижче 11,5 сСт, блок керування збільшує площу поперечного перерізу електромагнітного клапана, щоб збільшити подачу компонента з високою в'язкістю.

Електронна система управління видає команду зупинити насос і закрити електромагнітний клапан, коли частота обертання колінчастого вала падає, охолоджуюча рідина падає нижче 60°C, а потужність двигуна падає нижче 60°C. Менше 20% від номінальної потужності. Частота обертання колінчастого вала вимірюється за допомогою датчика потужності двигуна, а лямбда-зонд вимірює кількість кисню в паливі.

Алгоритм роботи системи та електронний спосіб керування:

I. Двигун запускають чистим дизельним паливом.

II. Увімкніть блок керування (ЕВК). Алгоритм його роботи такий:

1. Сигнали, які вмикають клапани (3), (4), (18) і насос (5), потребують лише таких вимог:
  - а. Температура охолоджуючої рідини дизельного двигуна (датчик 16) вище 50°C.
  - б. Швидкість обертання колінчастого вала повинна бути 0,5 нн і більше. (Датчик частоти обертання коліна 15).

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



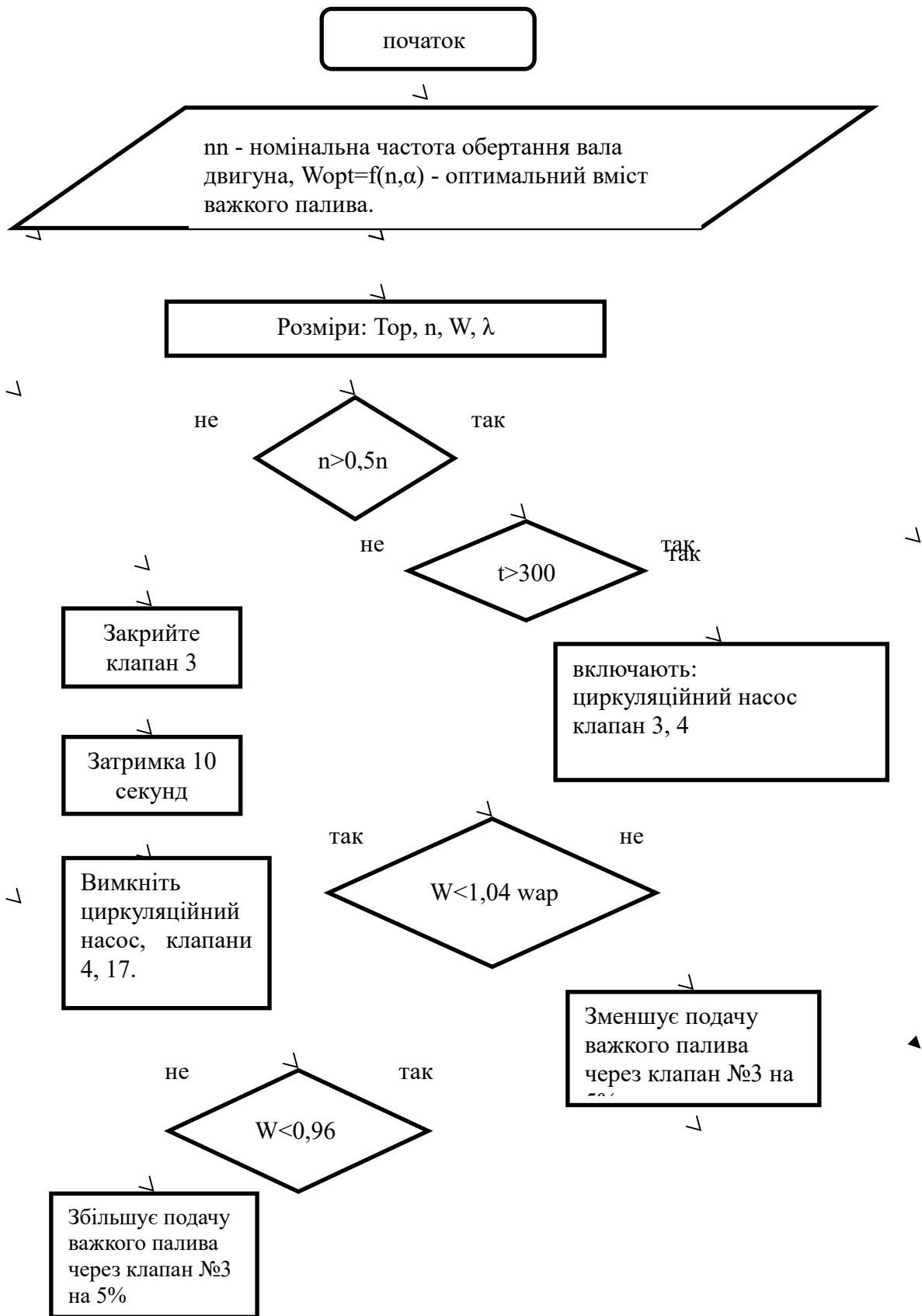


Рисунок 4.3-Алгоритм роботи електронної схеми

## 4.2.Розвиток

Технологія хромування з модифікацією покриттів при ремонті деталей модернізованих паливних систем дизельних двигунів

Дослідницька задача при ремонті компонентів паливної апаратури полягає в розробці подібного процесу зміцнення, головна роль якого – стабільне зміцнення наноструктури, що досягається рівномірним розподілом наночастинок по поперечному перетину шару зміцнення. При цьому його властивості зберігаються протягом усього терміну експлуатації. У цьому випадку конкуруючим покриттям можуть бути наночастинки, посилені хромом.

Перш ніж приступити до впровадження нових технологічних процесів, сформулюємо та узагальнимо основні вимоги до основного технологічного процесу хромування для ефективного використання модифікації.

Процес зносостійкого хромування повинен забезпечувати такі показники в порівнянні із захисно-декоративними покриттями:

- Напруга на клеммах ванни повинна бути високою (приблизно 6 В). Це можна забезпечити використанням низьких концентрацій електролітів.

- Щільність струму, яка використовується при такому хромуванні, повинна бути високою, до 100 А/дм<sup>2</sup>.

- Режим електролізу повинен підтримуватися в межах строго встановлених оптимальних параметрів. Відхилення щільності струму і температури електроліту від заданих значень в процесі електролізу можуть генерувати додаткові напруги на шарі покриття, що може пошкодити шар покриття.

- Необхідна товщина шару покриття. Він повинен бути незрівнянно великим, що робить процес досить трудомістким, іноді до 24 годин.

- Сталеві та чавунні деталі хромувані без прошарку з інших металів.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Перед хромуванням деталь необхідно помістити у ванну на 1-3 хвилини без струму, щоб поверхня деталі досягла температури електроліту.

Спосіб хромування для отримання глянцевого (більш твердого) і опалесцентного (відносно м'якого і еластичного) покриття вибирається в залежності від призначення деталі, умов експлуатації і вимог, що пред'являються до деталі.

Результати досліджень показують, що модифікація нанопорошку підвищує рівень мікротвердості, а в зоні його агломерації введення ультрадисперсного алмазу (УДА) та алюмінієвої пудри підвищує мікротвердість у 1,3 та 5,5 разів відповідно. Введення алюмінієвої пудри створює дуже високу мікротвердість, що викликає значний знос деталей, що сполучаються в процесі експлуатації, і викликає тріщини у включеннях. Тому ми вирішили модифікувати лише UDA при розробці параметрів для нових технологій у майбутньому.

З метою покращення фізико-механічних властивостей хромування розроблено та встановлено обладнання для електролітичного відновлення деталей, яке дозволяє ефективно здійснювати процес із застосуванням гіпердисперсних добавок. Завдяки генерації додаткових центрів кристалізації під час модифікації забезпечується утворення дрібних частинок, зменшення пористості та виділення газів, що встановлено аналізом. Це було досягнуто завдяки тому, що процес здійснювався шляхом інтенсивного змішування електролітів.

Пропоноване обладнання оснащено електромагнітною мішалкою, що дозволяє хромувати деталі. Нанопорошки вводяться до складу електроліту (рис. 4.4) і залишаються у зваженому стані протягом усього технологічного процесу. Це зменшує агломерацію нанодобавок і забезпечує більш рівномірний розподіл нанодобавок у формованому покритті.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За допомогою такої установки можна підвищити якість і стабільність хромованого покриття в процесі експлуатації за рахунок забезпечення його високої твердості і зчеплення з основним металом і зниження коефіцієнта тертя при експлуатації ремонтних деталей, що може конкурувати з W-Co-C плівкові покриття, оскільки відповідають їм за твердістю та зношувальними властивостями за рахунок введеної модифікуючої добавки УДА. При цьому забезпечується стабільна твердість покриття протягом усього терміну експлуатації, що значно знижує витрати на обладнання та витратні матеріали.

Проблему нерівномірного розподілу наночастинок у матеріалі покриття було вирішено за допомогою технології хромування на основі розробленого пристрою та спеціального методу введення УДА в модифіковане покриття (рис. 4.4). Суть цього методу полягає в тому, що в процесі кристалізації армованого покриття нанодомішки рівномірно розподіляються як в електроліті, так і в покритті. Цього вдалося досягти шляхом впровадження в технологічний процес магнітної мішалки.



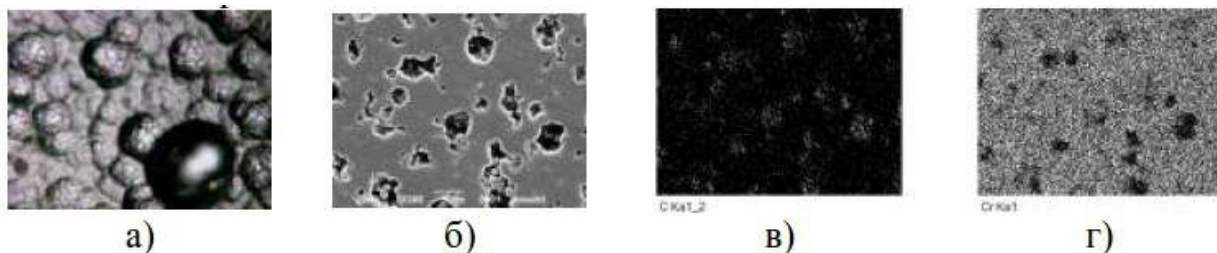
- 1 - Термостійка колба з електролітом. 2 - нагрівач для підігріву електроліту;  
 3 - регулятор частоти обертання електромагніту. 4 - цифровий вольтметр;  
 5 - цифровий термометр; 7 - вбудований нагрівальний елемент;  
 8 - Увімкніть функцію гістерезису термометра. 9 - Світловий індикатор включення  
 установки. 10 - Електрозамок для включення установки.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

11 – Регулятор густини струму електроліту. 12 – Увімкніть магнітну мішалку. 13 -  
Увімкніть електромагніт

**Рисунок 4.4-Обладнання для хромування плівкової модифікації:**

Цей прийом дозволяє зменшити ступінь злипання частинок, розділити їх на менші розміри і забезпечити більш рівномірний розподіл у компактній формі (рис. 4.5), а також однорідність структури і твердість гальванічної структури вдалося збільшити це. покриття.



а – Структура хромового покриття без введення наноалмазів з крупним зерном і порами. б – Електронне зображення розподілу наноалмазу. в – розподіл наноалмазів; г – розподіл хрому. с, d - термоелектронна емісія розподілів С і Сг відповідно; а - x500; б, в, г - x2000

**Рисунок 4.5-Мікроструктура плівки хрому отримана за розробленою технологією**

Механізм структурної модифікації покриття за розробленою методикою характеризується введенням в електроліт зарядженої дисперсної фази УДА, яка випадає на поверхню (попередньо активовану щіткою) разом із хромом під час кристалізації Також збільшується кількість центрів кристалізації, а видалення бульбашок водню зменшує розмір частинок, усуває пористість і підвищує твердість в 1,3 рази до рівня плівкових покриттів W-Co-C.

Структура покриття, отримана за допомогою електронно-мікроскопічних досліджень і термоемісійного розподілу С і Сг в умовах перемішування при електролізі з модифікацією УДА (див. рис. 3.9, а, б і 4.5, в, г). кваліфікації УДА:

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Залежно від руху частинок структура покриття утворюється більш грубо і характеризується більш високим ступенем агломерації. Під час перемішування утворюється дрібнозерниста структура, що пояснюється більш швидкою доставкою іонів до поверхні катода. Агрегати UDA мають більш компактну форму, близьку до сферичної, без гострих країв, а окремі наноалмази розділені по межах субзерен усередині покриття, утворюючи тонку сітку. Рентгено-мікроспектральний аналіз виявив наявність значного вмісту хрому (до 40%) в алмазних агрегатах. Це свідчить про те, що структура отриманого покриття досить однорідна.

Цілком можливо, що дефекти виникають при експлуатації форсунок різних іноземних машин. Стає зрозуміло, до яких невдач вони призводять. Це інтенсивне надходження палива через зливний отвір, некоректна робота двигуна при виході з ладу форсунки, знос рухомих частин муфти (сідло кульового конуса, направляюча сідла мультиплікатора, корпус голки-розпилювача) тощо.

Технологія хромування з посиленою модифікацією діагностує стан інжектора шляхом виявлення зони зносу деталей на основі зміни температури під час випробування за допомогою пірометра на стенді BOSH (EPS200), а також методом вдавнення. Знімає збережене покриття без пошкодження форми деталі (шляхом анодного плавлення та спеціальних методів обробки). Активація поверхні щіткою. Хромування модифіковане наноалмазами в кількості 10-15 г/л при введенні у вигляді водної суспензії. Оцінка якості відновлення. На проведення ремонту цим методом складено та погоджено з ремонтною компанією технічну інструкцію.

Оскільки процес управління відремонтованими деталями займає багато часу і погано контролюється (ремонт деталей і післяремонт - інформація про поведінку відсутня), покриття перевіряють на знос в різних середовищах. Випробування проводилися паралельно. Хромування + УДА (без змішування

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при кристалізації покриття); Одночасно аналізували знос покриття в різних середовищах. Нове мастило M14B2 всередині. Дизельне паливо з додаванням кварцового пилю і без нього. Результати випробувань показали, що знос модифікованого покриття був у 1,5-2 рази меншим при перемішуванні електроліту в процесі кристалізації. Це звичайне явище при випробуваннях з маслом і дизельним паливом без домішок кварцового пилю. При цьому часто спостерігається зниження коефіцієнта тертя на 5-20% порівняно з покриттям лише хромом.

#### 4.3 Впровадження виробництва Технологія хромування з модифікацією покриттів при ремонті деталей модернізованих паливних систем дизельних двигунів

У даному дослідженні запропоновано спосіб ремонту деталей паливного насоса високого тиску типу VRZ ZEXEL (рис. 4.6). Дослідженнями доведено, що ротор паливного насоса виготовлений зі сталі 60X (вміст компонентів, %: 0,6-0,65C; 0,47-0,52Si; 1,64-1,71Cr). Плівкове армуюче покриття виготовлено за японською технологією. Покриття чорного кольору і складається з аморфної композиції вольфрам-кобальт-вуглець. Зменшення тертя чітко підтверджено при металографічних дослідженнях поверхонь зношених деталей.



**Рисунок 4.6-Ротор бензонасоса VRZ ZEXEL японського виробництва (пошкоджений через заклинювання прецизійної пари)**

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		81

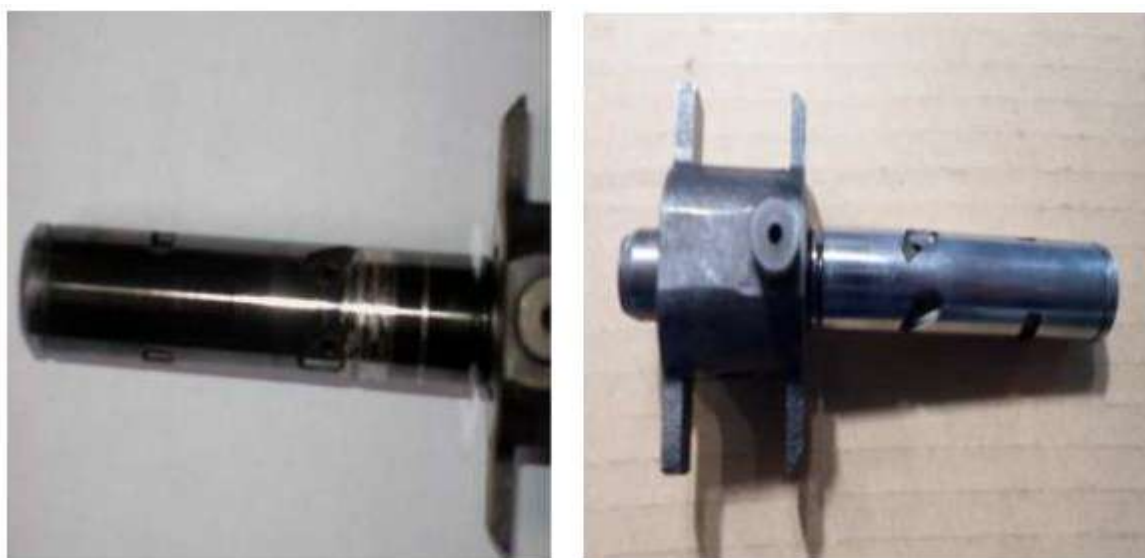
За допомогою рентгеноструктурного аналізу поверхні зони, вільної від зносу, було підтверджено, що глибина покриття становить приблизно 2 мкм. У зоні зносу також спостерігався однорідний склад основи покриття, що зберігає аморфну структуру, незалежно від наявності смуг тертя. Результати вимірювання мікротвердості різних зон, що характеризуються різним ступенем зношеності, узгоджуються із середнім значенням мікротвердості хромалмазного покриття. Вищезазначені деталі були відремонтовані ремонтною компанією.

Розроблена установка створена спеціально для лабораторних досліджень та її подальшого вдосконалення та передачі документації ремонтним підприємствам. Ця установка дозволяє створити посилене, високоякісне хромалмазне покриття. При введенні УДА в електроліт всередині покриття утворюються додаткові центри кристалізації, що забезпечує дроблення частинок, зменшення пористості та газоутворення, підвищення екології технологічних процесів.

Для ремонту ротора паливного насоса типу VRZ ZEXEL (рисунок 4.7) розроблено технологію заміни оригінального покриття W-Co-C на хромоалмазне покриття. Розроблено та погоджено ремонтною компанією технічну інструкцію щодо виконання процесу ремонту деталей інжектора.

Перед реставрацією було знято зношене покриття з основного матеріалу. З цієї причини був розроблений метод анодного розчинення для умов ремонтної майстерні шляхом розміщення продукту у ванні з 20% розчином їдкового натрію.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



**Рисунок 4.7-Представляємо глясову фарбу на заміну W-Co-C**

У цьому випадку деталь виконує роль катода. Температура розчину становить 70 ~ 80 °С, а щільність анодного струму становить 20 ~ 25 А/дм<sup>2</sup>. Час витримки становив 20 хвилин до повного видалення зношеного плівкового покриття. Рекомендується витримувати продукти зі знятим покриттям W-Co-C при температурі 180 °С протягом 1 години перед повторним покриттям для видалення водню.

Ця технологія дозволяє повністю видалити покриття W-Co-C з роторів паливних насосів. При такій обробці виходять чисті, геометрично правильні деталі і не потребують додаткового механічного полірування для вирівнювання тонкої однорідності (знос деталі знаходиться в межах товщини шару покриття (якщо є)). Технологія, параметри та обладнання для нанесення хром-алмазних покриттів є результатом завершених розробок і відображені в складених технічних інструкціях.

Для підтвердження ефективності рекомендованих параметрів були проведені лабораторні стендові випробування на знос, оскільки експлуатаційні випробування машини були трудомісткими і не було можливості оцінити зносостійкість відремонтованих деталей. Під час тестування знос затверділого

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## ВИСНОВОК

1. Проаналізовано літературу, патенти тощо щодо умов експлуатації та факторів відмов елементів паливної апаратури іноземних дизельних двигунів. Чистота і склад (тип) використовуваного палива мають великий вплив на довговічність деталей, які визначають термін служби паливної апаратури. Зокрема, більшість несправностей компонентів систем паливопостачання типу «common rail» є результатом використання палива недостатньої якості. Згідно з даними, це відноситься до палива з поганими змащувальними властивостями. води в складі. Він погано фільтрується і містить абразивні частинки. Забруднення домішками, такими як бензин, розчинники, відпрацьоване масло, спирт, гас тощо.

2. Розробка технології нанесення відновлювальних покриттів на елементи паливної апаратури здійснюється за поетапною методологією дослідження. Використовуються сучасні аналітичні методи, включаючи металографію, електронну мікроскопію, термоелектронну емісію, мікрорентгенівську спектроскопію та рентгеноструктурний аналіз, а також випробування на знос у різних середовищах. Для оцінки структурних змін під час тертя розроблено спеціальну методикау математичного опису розподілу фаз у плівкових покриттях на мікроструктурних фотографіях. Цей метод заснований на оптико-структурно-механічному аналізі.

3. Пропонуємо новий метод діагностики якості плівки та стенд для оцінки стану (ступеню зносу) деталей до та після ремонту. Для діагностики стану поверхні деталей в процесі експлуатації рекомендується застосовувати неруйнівні методи мікротвердості. Рух покриття під індентором утворює смугу, що характеризує його залишкову товщину, яка може бути основою для ремонту.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для діагностики ступеня зношеності та перевірки якості відремонтованої системи живлення акумуляторної батареї за допомогою електронного керування типу «common rail» пропонується використовувати стенд BOSN (EPS200) та пірометр. Конкретні точки зносу визначаються в результаті підвищення температури компонента, спричиненого збільшенням зазору в з'єднанні, через яке проходить більше ніж указана кількість палива. Встановлено, що підвищення температури нагріву до 55-70 ° С свідчить про необхідність ремонту деталі. Передбачається, що зміна температури залежить від ступеня зносу деталей інжектора. Обидва методи контролю якості захищені патентами України.

4. Досліджено динаміку та механізми зношування плівкових деталей машин японського та канадського виробництва. Було підтверджено, що покриття на деталі складається з композиції W-Co-C. Рентгеноструктурний аналіз показує, що такі покриття є аморфними. В процесі експлуатації на аморфному покритті з'являється алмазна плівка, яка періодично руйнується, а потім утворюється знову. Перший етап - подальша кристалізація (до 32% C). Тоді внаслідок значного зносу алмазна плівка зменшується в 2,3 рази. (до 14%). Для встановлення динаміки процесу структурних змін проаналізовано гістограму інтегрального розподілу ізольованих структур на фотографіях фрагментів 10x10 пікселів з умовними кольорами та щільність їх розподілу. Проведеним аналізом встановлено, що зносостійкість таких покриттів визначається утворенням кристалічної наноалмазної плівки. Кристалічна наноалмазна плівка руйнується і потрапляє у фокус тертя, утворюючи графіт, який діє як мастило в присутності кисню. Знижений коефіцієнт тертя.

5. Для заміни мембранної іонно-плазмової технології зміцнення покриття W-Co-C найбільш наближений процес хромування з введенням модифікованих нанодомішок. Проведено порівняльне дослідження з використанням домішки Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та модифікації УДА. Їхнє введення під час хромування підвищує

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікротвердість покриття, але показано, що нанодомішки агрегують під час кристалізації, утворюючи неоднорідні грубі структури. Крім того, добавки Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> різко підвищують твердість покриття в 5,5 разів. Це сприяє руйнуванню включень при терті через велику різницю властивостей матриці і включень, викликаючи інтенсивний знос деталей всередині муфти.

6. Розроблено спеціальне обладнання для реалізації методик корекції та усунення ефектів нерівномірного розподілу агломерованих включень. У процесі обробки можна підтримувати УДА в зваженому стані, забезпечуючи необхідну седиментаційну стійкість і кристалізацію однорідно розподілених включень, просочених хромом, подрібнюючи частинки всередині покриття і усуваючи газоутворення і пористість. Мікротвердість таких покриттів значно підвищується і порівнянна з плівками на основі W-Co-Cr - 50 - 1200 - 1342.

7. Ми провели аналіз несправностей ТНВД і деталей форсунок різних іномарок. Визначено основні типи відмов і розроблено методику ремонту, включаючи діагностику стану деталей, ступінь пошкодження і зносу, підготовку до ремонту, УДА, технологічні параметри і використання хромової технології зі зміною технологічних параметрів. Остаточний контроль якості. Стендові випробування на знос виявили переваги запропонованої технології, де хромування модифікації UDA покращує зносостійкість ремонтних деталей порівняно з традиційними методами.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

## Список використаних джерел

1. Бахтіяров Н. І. Паливна апаратура двигунів тракторів і комбайнів / Н. І. Бахтіяров, А. В. Белявцев та ін. - К.: Колос, 1980. - 160 с.
2. Пиявский Р. С. Електроосадження металів / До питання вибору параметрів несиметричного струму промислової частоти РС. Пиявський // Захист металу. – 1975. – Т. 11. – № 3. – С. 388-391.
3. Кохельгін Формування структур при електрокристалізації СМ металів / С.К. Кохельгін, А.В.Леонт'єв. - К.: Металургія, 1974. – 184 с.
4. Подборнов І. В. Модель орієнтованої нуклеації при електрокристалізації металів / І. В. Подборнов, А. І. Жихарь, І. Г. Жихарь. // Електрохімія. - 1990 рік. – 26 томів. – Випуск 7. – С. 831-838.
5. Про вплив магнітних полів у процесі електроосадження нікелю Н. А. Щур / Н. А. Щур Донченко, Мічіган // Вінницький Національний технічний університет ХПІ. - 2006. - № 44. - С. 60-66.
6. Щур Н.А. Структурні характеристики електролітичних нікелевих покриттів, нанесених нестационарним режимом електролізу / Н.А. 546-551.
7. Бакуль В. Н. синтетичний алмаз / В. Н. Бакуль, В. Д. Андрєєв // Наукова думка, Київ, 1975. - Т.5. - 3 стор.
8. Сабакін Г. І. Вплив умов кристалізації алмазу на оптичні властивості при гарячому стисненні / Г. І. Сабакін, В. А. Сердюк, В. І. Трефілов // ДАН УРСР. - 1983 рік. - Т.270. – № 2. – С. 329-332.
9. Характеристика структури гіпердисперсних алмазів, отриманих високотемпературним синтезом у вибухових умовах / В. І. Трефілов, Г. І. Сабакін, В. В. Скороход, Ю. К. Солонін, А. Ф. Курієнко // ДАН УРСР. - 1978 рік. - Том 239, Випуск 4. - С.838-841.

					МРМТВА 24.23594.00.00 ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		