

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістра


Освітньо-кваліфікаційний рівень

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство. Відновлення та  
технічний сервіс автомобілів»

*Шифр і назва напрямку підготовки (спеціальності)*

на тему: «Підвищення зносостійкості трибосполучень двигуна  
внутрішнього згорання легкового автомобіля»

Шифр: КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ

Виконав: здобувач 2-го курсу, група МТВАм-24-1  Олександр МЕДВЕДЧУК  
Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник к.т.н., доц. каф. ТАМ

  
Підпис

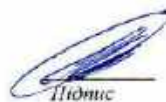
Владислав СВИДЕРСЬКИЙ  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер к.т.н., доц. каф. ТАМ

  
Підпис

Олег БАБАК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю: Зав. кафедри ТАМ,  
д.т.н., проф

  
Підпис

Олександр ДИХА  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

1 12 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ТАМ

*проф., д.т.н. Диха О.В.*

*30.10* 2025 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Медведчуку Олександрю Миколайовичу

Прізвище, ім'я, по батькові

**1. Тема проєкту (роботи):** Підвищення зносостійкості трибосполучень двигуна внутрішнього згоряння легкового автомобіля

керівник проєкту (роботи) Свідерський Владислав Петрович к.т.н., доцент  
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 25 08 2025 р. №65 (Д28)

2. Строк подання студентом проєкту на кафедру 1 грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Матеріали практики; робочі креслення елементів системи мащення; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузла тертя; вимоги з охорони праці та безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт

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

1. Аналіз відомих методів та даних по підвищенню зносостійкості трибосполучень двигуна внутрішнього згоряння легкового автомобіля.

2. Розробка оливорозчинної олововмісної мастильної композиції до моторних олив.

3. Виконання експериментальних досліджень основних закономірностей процесів тертя і зношування металевих пар у моторних оливах.

4. Дослідження змін характеристик мікрогеометрії поверхневих шарів трибосполучень, зношених у моторних оливах.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Графічну частину проєкту представити у вигляді презентації на слайдах (10-20) шт.

## 6. Консультанти розділів роботи

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

6. Дата видачі завдання: 15.10.2025 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Літературний огляд	30.09.2025	
2	Дослідницький розділ	25.10.2025	
3	Технологічний розділ	15.11.2025	
4	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	22.11.2025	
5	Оформлення презентації магістерської роботи	1.12.2025	
6	Нормоконтроль магістерської роботи	5.12.2025	
7	Підписання розділів. Затвердження дати захисту	5.12.2025	

Студент

  
Підпис

Олександр МЕЛВЕДЧУК  
Ініціали, прізвище

Керівник проекту (роботи)

  
Підпис

Владислав СВІДЕРСЬКИЙ  
Ініціали, прізвище

## РЕФЕРАТ

На тему: *«Підвищення зносостійкості трибосполучень двигуна внутрішнього згоряння легкового автомобіля».*

### **Актуальність теми дослідження.**

Підвищення терміну служби двигунів внутрішнього згоряння, економія паливно-мастильних матеріалів і захист навколишнього середовища є важливим технічним завданням. Одним з основних чинників при цьому є зносостійкість рухомих сполучень, що залежить не тільки від металофізичних характеристик поверхонь тертя, а й від властивостей мастильного матеріалу. В умовах фізико-хімічної взаємодії мастильного матеріалу з поверхнями тертя рухомих сполучень одним із напрямів підвищення зносостійкості є трибомодифікація їхньої зони тертя шляхом формування металовмісних антифрикційних і протизносних плівок.

**Мета і завдання дослідження.** Підвищення зносостійкості трибосполучень двигуна внутрішнього згоряння легкового автомобіля.

Щоб виконати поставлену мету в роботі визначено розв'язок наступних задач:

- дослідити умови роботи трибосполучень двигуна внутрішнього згоряння легкового автомобіля;
- застосувати оливорозчину олововмісну мастильну композицію до моторних олиव, що забезпечує формування металовмісних плівок на поверхнях тертя;
- розробити методику та виконати експериментальні дослідження основних закономірностей процесів тертя і зношування металевих пар у моторних оливах;
- дослідити зміни характеристик мікрогеометрії поверхневих шарів трибосполучень, зношених у моторних оливах;
- розробити практичні рекомендації щодо підвищення зносостійкості важконавантажених рухомих сполучень двигунів внутрішнього згоряння.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Трибомодифікація поверхонь тертя металевих пар у моторних оливах забезпечує зниження коефіцієнта тертя та підвищення зносостійкості рухомих сполучень. Встановлено, що під час зношування пари алюмінієвий сплав-сталь у моторній оливі з олововмісною мастильною композицією на поверхнях тертя утворюється захисна алюмінійвмісна плівка, а під час роботи пар сталь-сталь, чавун-сталь – олововмісна плівка, наявність яких призводить до підвищення якості поверхневих шарів трибосполучень.

**Структура й обсяг роботи.** Магістерська робота складається із вступу, шести розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 99 сторінок, 23 рисунки, 3 таблиці, 24 літературних джерел.

Перелік ключових слів: МОТОРНІ ОЛИВИ, СИСТЕМА МАЩЕННЯ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, КОЕФІЦІЄНТ ТЕРТЯ, МЕТАЛОВМІСНІ ПЛІВКИ.

## Зміст

Вступ.....	8
1 Система мащення двигуна внутрішнього згорання.....	9
1.1 Будова системи мащення двигуна внутрішнього згорання автомобіля.....	9
1.2 Види систем мащення.....	11
1.2.1 Мащення двохтактних двигунів.....	11
1.2.2 Мащення розбризкуванням.....	12
1.2.3 Системи мащення з примусовим подаванням моторної оливи.....	13
1.2.4 Комбіноване мащення.....	14
1.3 Основні елементи системи мащення.....	15
1.3.1 Оливний насос.....	15
1.3.2 Оливні фільтри .....	16
1.3.3 Оливний радіатор.....	17
1.4 Вентиляція картера двигуна.....	18
1.5 Обґрунтування вибору вузла тертя для підвищення зносостійкості...	18
2 Технологія технічного обслуговування систем мащення двигунів внутрішнього згорання.....	20
2.1 Основні несправності системи мащення двигунів .....	20
2.2 Зміст, періодичність і обсяг робіт по технічному обслуговуванню елементів системи мащення бензинових двигунів.....	22
2.2.1 Щоденне технічне обслуговування системи мащення.....	22
2.2.2 Перше технічне обслуговування системи мащення .....	24
2.2.3 Друге технічне обслуговування системи мащення.....	25
2.2.4 Сезонне технічне обслуговування системи мащення .....	27
2.3 Особливості технічного обслуговування системи мащення дизельних двигунів.....	28

					<b>КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ</b>			
<b>Зм.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Недокум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>	<b>Підвищення зносостійкості трибосполучень двигуна внутрішнього згорання легкового автомобіля</b>	<b>Літера</b>	<b>Аркуш</b>	<b>Аркушів</b>
Виконав		Медведчук О.М.		5.12.25		н	5	99
Перевір.		Свідерський В.П.		5.12.25		ХНУ, група МТВАм-24-1		
Н.контр.		Бабак О.П.		5.12.25				
Затвер.		Диха О.В.		6.12.25				

2.4	Формулювання завдання на відновлення та підвищення зносостійкості вузла тертя.....	33
3	Сучасні напрями підвищення терміну служби рухомих сполучень машин і устаткування на основі досягнень триботехніки.....	34
3.1	Моторні оливи, що застосовують у ДВЗ.....	34
3.1.1	В'язкісні властивості оливи.....	35
3.1.2	Мастильні властивості олив.....	36
3.1.3	Антиокисні властивості олив.....	36
3.1.4	Мийні властивості оливи.....	36
3.1.5	Протикорозійні властивості олив.....	37
3.1.6	Захисні властивості оливи.....	37
3.1.7	Протитипінні властивості олив.....	38
3.2	Класифікація моторних олив.....	38
3.3	Умови роботи і причини виходу з ладу трибосполучень двигунів внутрішнього згоряння.....	41
3.4	Роль поверхневих плівок у процесах тертя і зношування .....	49
3.5	Використання досягнень триботехніки для підвищення зносостійкості рухомих сполучень двигунів внутрішнього згоряння.....	52
4	Методика дослідження процесів тертя та зношування металевих пар у моторних оливах.....	55
4.1	Методика лабораторних випробувань мастильних матеріалів.....	55
4.2	Методика стендових випробувань циліндро-поршневих груп двигунів внутрішнього згоряння .....	60
4.3	Методи вивчення захисних металовмісних плівок на поверхнях тертя..	63
5	Дослідження процесів тертя та зношування трибосполучень у моторних оливах.....	70
5.1	Вплив питомого навантаження на процеси тертя і зношування металевих пар у мастильних матеріалах .....	70
5.2	Зміна триботехнічних характеристик металевих пар від швидкості ковзання.....	73

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

5.3 Вплив в'язкості мастильного матеріалу на триботехнічні характеристики рухомих сполучень.....	76
5.4 Вплив твердості сталевого зразка на процеси тертя і зношування пари алюмінієвий сплав-сталь у моторних оливах.....	78
5.5 Дослідження контактної витривалості тіл кочення в моторних оливах з різними фізико-хімічними властивостями.....	80
6 Взаємодія поверхонь тертя рухомих сполучень у моторних оливах .....	84
6.1 Вплив мастильних матеріалів на зміну мікрогеометрії поверхневого шару пари колодка – ролик.....	84
6.2 Вивчення характеристик мікрогеометрії зони тертя тіл кочення, що працювали в моторних оливах.....	89
Висновки.....	94
Список літератури.....	95
Додатки.....	98

## ВСТУП

Розвиток сучасного автомобілебудування, транспортного машинобудування нерозривно пов'язаний з удосконаленням конструкції та зростанням потужностей двигунів внутрішнього згорання.

Термін служби тракторів, бульдозерів, трубоукладальників, які широко використовуються під час спорудження свердловин і будівництві газонафтопроводів, а також рухомого складу залізничного транспорту, суден морського та річкового флоту, вантажних і легкових автомобілів багато в чому визначається зносостійкістю важко навантажених трибосполучень. У двигунах внутрішнього згорання – це насамперед зношування деталей циліндропоршневої групи, вкладишів, пари кулачків – товкач механізму газорозподілу.

Підвищення терміну служби двигунів внутрішнього згорання, економія паливно-мастильних матеріалів і захист навколишнього середовища є важливим технічним завданням. Одним з основних чинників при цьому є зносостійкість рухомих сполучень, що залежить не тільки від металофізичних характеристик поверхонь тертя, а й від властивостей мастильного матеріалу.

В умовах фізико-хімічної взаємодії мастильного матеріалу з поверхнями тертя рухомих сполучень одним із напрямів підвищення зносостійкості є трибомодифікація їхньої зони тертя шляхом формування металовмісних антифрикційних і протизносних плівок.

Аналітичний огляд технічної літератури свідчить про те, що на основі досягнень триботехніки застосування металовмісних мастильних матеріалів до моторних мастил приводить до збільшення терміну служби тільки одного конкретного трибосполучення двигуна внутрішнього згорання.

Актуальні практичні рекомендації щодо оптимальних експлуатаційних режимів, твердості елементів рухомих сполучень, в'язкості мастильних матеріалів, що забезпечують трибомодифікацію поверхонь тертя, які працюють у моторних оливах та прийняті низкою організацій для використання в практичній роботі.

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

# 1 СИСТЕМА МАЩЕННЯ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Двигун внутрішнього згоряння налічує велику кількість деталей, більшість з яких такі, як деталі кривошипно-шатунного механізму, газорозподільного механізму перебувають у постійному русі один відносно одного, а тому зазнають тертя і зносу [1]. Сили тертя спричиняють марну витрату потужності двигуна, а в деяких випадках роблять роботу двигуна взагалі неможливою. Під час тертя деталі нагріваються та відповідно розширюються, що веде до зменшення зазорів між ними, які заповнюються продуктами зносу такими, як дрібна стружка та металевими часточками мікронних розмірів, які, досить часто, викликають заклинювання.

Система мащення двигуна вирішує цю серйозну проблему. Основне, що виконує система мащення – це заміна сухого тертя на мокре. В результаті цього, тертя між деталями буде на порядок нижчим і двигун буде задовільно працювати.

Система мащення двигуна виконує наступні функції [2]:

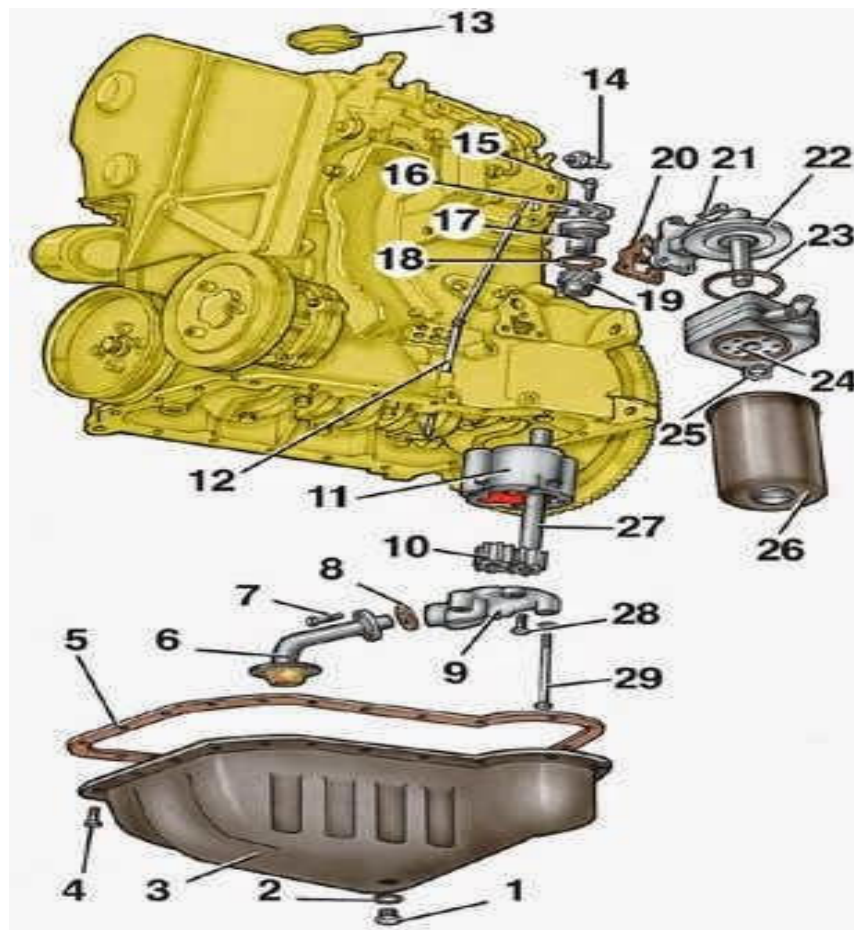
- зниження тертя між деталями;
- охолодження деталей;
- видалення продуктів зносу деталей та частинок нагару;
- захист деталей від корозії.

Функції охолодження та видалення продуктів зносу виконуються завдяки тому, що олива в сучасних двигунах постійно циркулює та знаходиться в русі, очищаючись та охолоджуючись. Антикорозійний ефект забезпечується мастильною плівкою, яка постійно покриває деталі, а також завдяки різноманітним присадкам, що входять до складу моторних олив.

## 1.1 Будова системи мащення двигуна внутрішнього згоряння автомобіля

Система мащення двигуна внутрішнього згоряння з подачею моторної оливи під дією тиску налічує піддон картера двигуна з оливозабірником, оливний фільтр, оливні насос та радіатор, які з'єднані між собою каналами (рисунки 1.1) [3].

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9



1 – маслозливна пробка; 2 – ущільнююче кільце; 3 – масляний картер; 4 – болт кріплення картера; 5 – прокладка картера; 6 - оливоприймач масляного насосу; 7 – болт кріплення оливоприймача; 8 – ущільнююче кільце оливоприймача; 9 – кришка оливного насосу; 10 – ведома шестерня; 11 – корпус оливного насосу; 12 – показник рівня оливи; 13 – кришка оливнозаливної горловини; 14 – датчик тиску оливи; 15 – болт кріплення вакуумного насосу; 16 – удержувач вакуумного насосу; 17 – вакуумний насос; 18 – прокладка вакуумного насосу; 19 - шестерня приводу вакуумного та оливного насосів; 20 – прокладка кронштейну оливного фільтра; 21– болт кріплення кронштейна; 22 – кронштейн оливного фільтра; 23 – ущільнююче кільце охолоджувача; 24 – охолоджувач оливи; 25 – гайка кріплення охолоджувача; 26 – оливний фільтр; 27 – валик насосу; 28 – болт кріплення кришки оливного насосу; 29 – болт кріплення оливного насосу.

Рис. 1.1 – Система мащення двигуна внутрішнього згоряння

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Піддон картера двигуна необхідний для зберігання моторної оливи. Для накачування оливи в систему та утворення тиску служить оливний насос.

Оливний фільтр виконує функцію очищення оливи від продуктів зносу та нагару. З ціллю охолодження моторної оливи частіше всього застосовується в автомобілі оливний радіатор. Існує спеціальний датчик тиску, що контролює тиск оливи у системі. Він розміщений в оливній магістралі і його сигнал індикується на панелі приладів сигнальною лампочкою при аварійному падінні тиску.

## 1.2 Види систем мащення

Деталі та пристрої, котрі надають можливість безперервної подачі мастильної оливи до вузлів тертя та кондиціонування її, становлять систему мащення двигуна внутрішнього згоряння. В залежності від типу двигуна, потужності його та навантаженості використовують різні системи мащення. Головною ознакою класифікації систем мащення служить метод подачі мастила до корінних та шатунних підшипників колінчастого валу.

Виходячи з принципу мащення, схеми мащення двигунів внутрішнього згоряння поділені такі види:

- мащення двохтактних двигунів;
- мащення картерне розбризкуванням;
- мащення з подачею під тиском моторної оливи у зони тертя;
- комбіноване мащення, яке полягає у поєднанні під тиском та розбризкуванням.

### 1.2.1 Мащення двохтактних двигунів

У невеликих двигунах з кривошипним камерним продуванням система мащення звичайно має деякі особливості. Мастильний матеріал частіше всього подається разом з бензином, до якого він додається перед заправкою бензобака. Тобто потік паливної суміші, що поступає у кривошипну камеру, приносить з

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

собою необхідну кількість оливи. При попаданні даної суміші на поверхні гарячого циліндра бензин звичайно випаровується, а краплі оливи, які осталися, створюють на стінці мастильну плівку. Також змащуються краплями паливної суміші, що містить оливу, і підшипники кривошипно-шатунного механізму.

В залежності від методу мащення та необхідної кількості мастильної оливи вона добавляється до бензину в таких співвідношеннях: від 1:25 до 1:50, або менше. Домішування однієї частини мастильної оливи до 50 частин бензину за повних навантажень двигуна, частіше всього, є достатнім для змащення поверні циліндра, але не завжди забезпечується необхідне змащування підшипників валу двигуна. Тому, інколи до корінних підшипників подають суміш більш збагачену мастильною оливою. З цією ціллю застосовують осілу на стінки впускного патрубку плівку мастильної оливи, яка спеціальними трубками сорбується та подається до підшипників.

Шведська компанія «Saab» на одній моделі двотактного двигуна легкового автомобіля спроектувала індивідуальне мащення підшипників через канали, на які мастильна олива подається насосом з окремого мастильного резервуару. Встановлена продуктивність насосу така, що кількість оливи, яка подається, з бензином становить співвідношення 1:50—1:60. В даному випадку олива до пального завчасно не підмішується. Спосіб подачі мастильної оливи насосами при кривошипному камерному продуванні у двохтактних двигунах використовують все частіше. Мастильний матеріал, зазвичай, подають у впускний патрубок та в залежності від навантаження змінюють співвідношення його з бензином у ширших межах: 1:25 – 1:200. Це досить помітно зменшує витрату оливи, а також зменшує викиди та токсичність відпрацьованих газів.

### 1.2.2 Мащення розбризкуванням

Оливний насос в системах мащення розбризкуванням відсутній, а саме розбризкування мастильного матеріалу виконується обертовими деталями двигуна, частіше усього колінчастим валом. В процесі такого розбризкування

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

оливи у об'ємі картера створюється мастильний туман, який проникає в зазори між поверхнями, що труться, і змащує їх. Інтенсивність та якість мащення в основному залежать від положення двигуна і рівня оливи у картері. З ціллю підвищення ефективності мащення на нижніх головках шатунів можуть бути спроектовані зачерпувальні заглибини. Газорозподільний механізм такого двигуна може знаходитися в оливному відсіку, повністю заповненому оливою, або бути відкритим у напрямку колінчастого валу, що забезпечує його інтенсивне змащування бризками оливи, яка потім повертається в картер.

Система мащення розбризкуванням окремо використовується у малонавантажених чотиритактних двигунах, проте найчастіше система розбризкуванням застосовується у поєднанні з примусовою подачею оливи. Такий спосіб мащення ще має назву картерне мащення.

### 1.2.3 Системи мащення з примусовим подаванням моторної оливи

Система мащення двигуна внутрішнього згорання з подачею моторного мастила під тиском має піддон картера двигуна з оливозабірником, оливні насос та фільтр, охолоджуючий радіатор, які з'єднані між собою магістралями та каналами.

Призначення піддона картера полягає в зберіганні моторної оливи. Рівень моторної оливи в піддоні за допомогою щупа контролюється, а також фіксується при допомозі датчиків рівня; температура фіксується за допомогою датчиків температури.

Призначення оливного насоса полягає в закачуванні мастильного матеріалу в систему мащення та створення тиску. Оливний насос може отримувати рух від колінчастого валу двигуна або від розподільчого валу чи додаткового привідного валу. Частіше всього у двигунах отримали застосування оливні насоси шестеренного типу.

Спеціальний оливний фільтр передбачає очищення оливи від продуктів зносу та нагару. Безпосередньо очищення мастильного матеріалу відбувається за

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

допомогою фільтрувального елемента, який потрібно обов'язково замінити при заміні оливи.

З ціллю охолодження моторної оливи в автомобілі використовують оливний радіатор. Здійснюється охолодження оливи у радіаторі охолоджувальною рідиною системи охолодження та потоком повітря.

Контролюється тиск оливи у системі спеціальним датчиком тиску, що розташований у оливній магістралі. У випадку аварійного падіння тиску сигнал від датчика індикується на панелі приладів сигнальною лампочкою. Також на транспортних засобах може встановлюватись покажчик тиску оливи. Окрім того, датчик тиску моторної оливи може бути підключений до блоку керування двигуном, який у випадку небезпечного зниження тиску оливи може заглушити двигун. На двигунах розташовується також датчик рівня оливи в картері та сигнальна лампочка на панелі приладів. Можливе також встановлення на двигунах датчика температури оливи.

Для забезпечення стабільного робочого тиску в системі мащення застосовуються один або кілька редуційних перепускних клапанів. Зазвичай, їх розміщують безпосередньо в компонентах системи, таких як оливний насос або оливний фільтр.

#### 1.2.4 Комбіноване мащення

У сучасних двигунах найбільш поширеною є комбінована система мащення. Суть в тому, що найбільш навантажені деталі та вузли, такі як шатунні вкладиші, підшипники та інші під тиском змащуються, а менш навантажені обробляються оливою розбризкуванням.

У цій системі мащення олива поступає через оливоприймач, пройшовши оливний насос та через фільтр, подається під тиском у головну оливну магістраль. Далі олива каналами надходить до корінних, шатунних підшипників і до розподільчого валу.

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

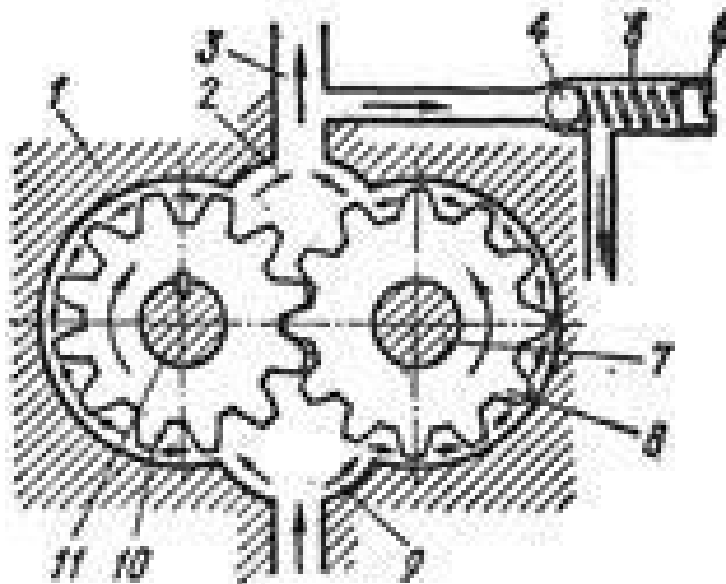
Інші деталі, а саме: циліндри та поршні, поршневі пальці, стержні та направляючі втулки клапанів і т. д., змащуються оливою, що подається розбризуванням чи самопливом.

### 1.3 Основні елементи системи мащення

#### 1.3.1 Оливний насос

Призначення оливного насосу полягає в подачі оливи під тиском до деталей вузлів тертя та приладів очистки і охолодження оливи.

У двигунах автомобілів використовують шестеренчасті насоси із внутрішнім та зовнішнім зачепленням (рисунок 1.2).



1 – корпус насосу; 2 – напірна порожнина; 3 – канал для подачі оливи; 4 – редуційний клапан; 5 – пружина клапана; 6 – вісь клапан; 7 – ведомий вал насосу; 8 – ведена шестерня; 9 – порожнина всмоктування; 10 – ведуча шестерня ; 11 – ведучий вал насосу.

Рисунок 1.2 – Схема роботи оливного насосу з шестернями зовнішнього зачеплення

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Шестерня ведуча 10 та шестерня ведена 8, засмоктуючи оливу, подають її впадинами зубів у напірну порожнину 2 насосу.

Порожнина всмоктування 9 безпосередньо з'єднана з оливоприймачем.

У випадку, коли тиск буде більший 0,45-0,5 МПа, відкриється редуційний клапан 4 і частина моторної оливи перетече у порожнину всмоктування 9 насосу.

Зберігається моторна олива у піддоні картера двигуна.

При закачуванні моторної оливи в систему оливний насос створює тиск. Процес проходить наступним чином. У картері двигуна через оливоприймач олива надходить до насосу, який далі подає її до оливного фільтру і потім системою. Частіше всього застосовують у двигунах оливні насоси шестерного типу. В залежності від типу приводу газорозподільного механізму, оливний насос отримує рух від колінчастого валу шестернею, ланцюгом чи паском, або може бути розташований безпосередньо на колінчастому валу. Робота оливного насосу полягає в наступному: при обертанні мала шестерня перекочується по великій, при цьому захоплює оливу і по магістральних каналах та під тиском підводить її до контактуючих деталей. Для очищення оливи від продуктів зносу та нагару передбачений оливний фільтр. При запуску двигуна оливний насос починає із піддона всмоктувати моторну оливу, яка подається через отвори фільтруючого елемента, а далі проходить у магістраль системи мащення. У фільтрі затримується сажа, часточки нагару і інші відходи.

### 1.3.2 Оливні фільтри

Очищують оливу від сторонніх домішок та різних осадів оливні фільтри.

Фільтри поділяються на такі типи:

- фільтри грубої очистки;
- фільтри тонкої очистки;
- повнопоточні.

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Досить часто у двигунах застосовують два оливні фільтри. Перший розміщений на оливоприймачі, сітчастий. Другий безпосередньо у корпусі, встановлений в доступному місці на блоці циліндрів двигуна.

Фільтр другого типу містить корпус і фільтрувальний елемент, розміщений у ньому.

### 1.3.3 Оливний радіатор

В процесі руху автомобіля для охолодження оливи при підвищених температурах або перевантаженні двигуна призначений оливний радіатор. Охолодження мастильного матеріалу у радіаторі виконується спеціальною охолоджувальною рідиною або потоком повітря. Для забезпечення стабільного робочого тиску в системі мащення застосовують один або кілька редуційних клапанів. Даний клапан оберігає систему оливоподачі від надмірних тисків, які можуть виникнути у випадку приведення в дію холодного двигуна, коли в'язкість оливи велика.

В процесі роботи автомобіля усі деталі двигуна дуже нагріваються. Моторна олива, яка змащує ці деталі, звичайно теж зазнає нагріву, досягаючи значних температур. При значному перегріванні олива починає різко втрачати свої властивості, а це може привести до серйозних наслідків для двигуна. Підвищення значне температури моторної оливи приводить до падіння її в'язкості.

Щоб підтримати температуру оливи в потрібному діапазоні, встановлюють оливний радіатор, який подібний до радіатора системи охолодження.

При повітряному охолодженні оливний радіатор трубчастої конструкції, вбудований в оливну магістраль, розташовують перед радіатором водяної системи охолодження двигуна. У випадку, якщо оливний радіатор відсутній, то передбачається охолодження моторної оливи в піддоні картера двигуна. Якщо в конструкції передбачено рідинне охолодження оливи, то такий пристрій називають теплообмінником, а не радіатором.

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Радіатор із водяним охолодженням не лише охолоджує оливу під час роботи в важких умовах, але й сприяє її швидкому прогріванню при запуску двигуна.

До приладів контролю системи мащення відносять: датчик падіння тиску, термометр та датчик рівня оливи у системі.

### 1.3 Вентиляція картера двигуна

Останнім часом у нових моделях двигунів використовується примусова вентиляція картера двигуна, що значною мірою знижує виділення картерних газів у атмосферу.

Щоб виключити можливість підтікання моторної оливи через ущільнення та сальники, тиск картерних газів має бути нижчим атмосферного тиску.

Також в сучасних автомобілях вмонтовані системи примусової вентиляції картерних газів. В таку систему входять патрубки та клапани, вони з'єднують порожнину картера з впускним колектором.

Для необхідної стабільної роботи двигуна вентиляція картера є важливим аспектом. Діло в тому, що в будь-якому випадку відпрацьовані гази крізь зазори поршневої групи попадають у картер двигуна. Утворення газів відбувається і під час контакту оливи з нагрітими до значних температур деталями двигуна. Відпрацьовані гази, які попадають у картер, розріджують оливу, а це призводить до зниження ефективності та зменшення терміну експлуатації. В залежності від режиму роботи гази, які попадають у картер, можуть різко збільшити надлишковий тиск, що може спричинити витіснення ущільнювачів манжет та прокладок. Саме з цією метою встановлюють електронно керовані клапани, що забезпечують вентиляцію картера.

### 1.5 Обґрунтування вибору вузла тертя для підвищення зносостійкості

У контексті продовження терміну служби трибосполучень двигунів внутрішнього згоряння актуальним є дослідження, спрямоване на розробку

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мастильної композиції для моторних оливо. Вона повинна забезпечувати формування ефективної захисної плівки за різних поєднань матеріалів і умов тертя, а також проходити експериментальну оцінку триботехнічної ефективності.

Також важливо створити практичні рекомендації щодо оптимальних режимів експлуатації, твердості елементів рухомих сполучень та в'язкості мастильних матеріалів, які сприяють трибомодифікації поверхонь тертя в моторних оливах, з метою їх подальшого застосування на практиці.

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 ТЕХНОЛОГІЯ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ СИСТЕМ МАЩЕННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

### 2.1 Основні несправності системи мащення двигунів

Основні симптоми несправностей та заходи з обслуговування системи мащення [3]:

- підвищена витрата оливи;
- порушена герметичність фільтра;
- протікання моторної оливи через прокладки;
- пошкодження піддону;
- засмічення вентиляції картера;
- несправності газорозподільного чи кривошипно-шатунного механізму.

Щоб усунути несправності необхідно:

- змінити прокладки;
- перевірити правильність встановлення оливного фільтра;
- перевірити тиск у системі мащення;
- перевірити стан фільтра;
- за відсутністю прокачування оливи, відремонтувати насос;
- при непрацездатності редукційного клапану замінити його;
- при низькому рівні оливи перевірити датчик тиску.

При усуненні несправностей замінюють фільтр, виконують ремонт, або замінюють не працюючі деталі.

Несправностями системи мащення вважають такі проблеми [4]:

- відсутність тиску оливи;
- низький або підвищений тиск оливи;
- потрапляння охолоджуючої рідини у систему мащення;
- підтікання оливи.

Можливо по зовнішнім ознакам виявити несправності системи мащення, а саме:

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- по зміні рівня моторної оливи у картері двигуна;
- по зниженню тиску та в'язкості оливи;
- по зміні кольору оливи.

Синій колір відпрацьованих газів свідчить про згоряння оливи в циліндрах через значний знос поршневих кілець, гільз і поршнів.

Основні причини відсутності тиску моторної оливи:

- витікання оливи з піддону картера двигуна у випадку пошкодження піддона;
- розрив магістральних трубопроводів, шлангів;
- пошкодження чи розпаювання оливного радіатора;
- пошкодження електричного ланцюга;
- вихід з ладу датчика тиску оливи;
- несправність приводу оливного насосу.

Головними причинами зниження тиску моторної оливи можуть бути:

- перегрів двигуна;
  - розрідження оливи паливом;
  - недостатній рівень моторної оливи;
  - збільшені зазори між шийками колінчастого валу та вкладишами;
  - кругове переміщення шатунного вкладиша;
  - спрацьовані шестерні оливного насосу;
  - не спрацювання редукційного клапана у відкритому положенні;
- пошкоджений датчик тиску оливи.

Забруднення трубопроводів та оливних магістралей, фільтрів, а також застосування дуже в'язких мастильних матеріалів при низькій температурі, заїдання редукційного клапан – усе це може бути причинами підвищення тиску моторної оливи. Зазвичай в каналі клапана накоплюються продукти зносу та смола, що приводить до утворення в'язкої маси і як результат не спрацювання клапана.

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потрапляння охолоджуючої рідини у систему мащення можливе із-за пошкодження ущільнюючих кілець гільз, зношення прокладки головки блоку, а також утворення тріщин гільзи.

В місцях затягування штуцерів та закручування пробок, через тріщини оливних магістралей можливе підтікання оливи. Щоб усунути підтікання, магістральні трубки з тріщинами замінюють, а штуцера та пробки підтягують і закручують.

## 2.2 Зміст, періодичність і обсяг робіт по технічному обслуговуванню елементів системи мащення бензинових двигунів

Технічне обслуговування системи мащення автомобіля передбачає такі види: щоденне обслуговування (ЩО), перше технічне обслуговування (ТО-1), друге технічне обслуговування (ТО-2) та сезонне обслуговування (СО).

### 2.2.1 Щоденне технічне обслуговування системи мащення

Перед тим, як завести двигун автомобіля, обов'язково необхідно провести технічне обслуговування системи мащення двигуна внутрішнього згорання.

Таке щоденне технічне обслуговування передбачає перевірку наявності моторної оливи у картері двигуна. При цьому потрібно звернути увагу на якість оливи та при необхідності долити до норми.

Безпосередньо рівень оливи в картері перевіряють при холодному двигуні за допомогою спеціального вимірювального щупа. Автомобіль при цьому має бути встановлений на рівній горизонтальній ділянці. На вказівнику передбачені мітки нижнього (min) та верхнього (max) рівня моторної оливи. З цією метою вимірювальний щуп виймають з піддону картера, протирають залишки оливи м'якою тканиною, а потім встановлюють до упору. Вийнятий знову вимірювальний щуп обстежують і згідно міток визначають рівень оливи і потребу доповнення.

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Експлуатація автомобіля при зниженому рівні моторної оливи недопустима, оскільки малий об'єм оливи приводить до перегріву та досить значному розрідженню оливи. Проте не можна допускати перелив моторної оливи вище вказаної мітки верхнього рівня, оскільки перевищення допустимого рівня веде до потрапляння деталями колінчастого валу додаткової кількості оливи на дзеркало циліндрів. Так як оливоз'ємні кільця не встигають знімати надлишкову оливу, тому вона, проникаючи у камеру згоряння, приводить до сильного задимлення, а також до замаслювання свічок запалювання і відповідно зниження терміну їх експлуатації.

Передбачені норми витрат моторної оливи для двигунів встановлені на використанні 100 л палива і становлять наступні значення:

- для двигунів бензинових до 2,4 л на 100 л палива;
- для двигунів дизельних до 3,2 л на 100 л палива.

Слід відмітити, що норми витрат оливи для автомобілів, що перебувають в експлуатації до 3 років регламентовано знижуються до 50 відсотків та можуть бути підвищені до 20 відсотків для транспортних засобів, що працюють більше 8 років.

В умовах експлуатації якість моторної оливи без присадок визначають візуально за його прозорістю та кольором. При замірах рівня, оливу, яка знаходиться на щупі та має світлий колір, а також виразно видно рівневі позначки, вважають придатною до подальшої експлуатації. У випадку, коли моторна олива темного кольору, погано видно позначки рівня на щупі, то її потрібно замінити.

Досить часто, в умовах експлуатації транспортного засобу на ґрунтових дорогах можливий такий негативний ефект: у оліві може підвищитись вміст абразивів, які не приводять до потемніння її, проте прискорюють абразивне спрацювання.

Якщо в моторну оливу додати присадки з мийний компонентом, то ці присадки сприяють достатньому подрібненню продуктів окиснення оливи. Часточки механічних домішок при цьому знаходяться в завислому стані, а олива мало прозора та темна при безпечних концентраціях домішок. Висновок такий:

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потемніння моторної оливи не є основною ознакою зниження якості її для оливо з присадками.

Якість оливо із присадками та без них оцінюють за допомогою краплинної проби на білому фільтрувальному папері. При цьому крапля оливи утворює пляму з темним центром і світлішим обідком по краях. В самому ядрі осідають нерозчинні в оливі часточки, кількість цих частинок визначає забарвлення ядра від світло-сіро-коричневого до чорного. Розчинні продукти окиснення у оливі змінюють забарвлення оливного обідця від жовтого до коричневого. Таким чином, для оливо з присадками за кольором та характером оливної плями можна підтвердити ступінь забруднення і окиснення моторної оливи.

Тому, коли ядро при контролі буде темно-коричневе чи чорне, необхідно змінити або прочистити оливні фільтри. Після цих операцій, якщо колір ядра не змінився, бажано замінити оливу. Коричневий чи темно-коричневий обідок свідчить про потребу заміни оливи.

При заміні моторної оливи бажано перевірити герметичність системи мащення, тобто відсутність підтікання оливи із з'єднань і при потребі усунути несправності.

Під час руху автомобіля потрібно уважно слідкувати за показниками датчика тиску моторної оливи на різних етапах роботи двигуна.

### 2.2.2 Перше технічне обслуговування системи мащення

При першому технічному обслуговуванні (ТО-1) системи мащення двигуна внутрішнього згорання автомобіля доцільно провести огляд ділянок кріплення у місцях можливих підтікань моторної оливи та самих елементів системи мащення, що розміщені з зовнішньої сторони двигуна.

Можливі причини підтікання оливи в системі мащення:

- пошкоджені або слабо затянуті прокладки клапанних кришок, кришки розподільчих шестерень та піддону картера;
- слабкість у місцях з'єднання шлангів, магістральних трубопроводів;

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- пошкодження в елементах оливного радіатора;
- пошкоджені або слабо затянуті елементи оливних фільтрів;
- знос чи пошкодження сальників, корінних підшипників колінчастого валу.

Усі виявлені причини підтікання моторної оливи слід ліквідувати. Після цього перевірити тиск моторної оливи у системі мащення на прогрітому двигуні при різних режимах роботи.

Тиск моторної оливи у системі мащення двигуна контролюється за показниками датчика на передній панелі приладів.

Рекомендований тиск моторної оливи у підігрітому двигуні за середньої частоти обертання колінчастого валу повинен відповідати інструкції по експлуатації автомобіля. До прикладу: для двигунів ЗМЗ та ГАЗ тиск моторної оливи має бути не нижче ніж 0,2 МПа; ЗІЛ повинен відповідати 0,25 МПа, ЯМЗ у межах 0,4-0,7 МПа, ЗІЛ - 4331 та КамАЗ-740 в межах 0,4-0,55 МПа.

На холостому ході автомобіля тиск моторної оливи має бути у межах 0,05 - 0,08 МПа, а для автомобілів з дизельними двигунами не повинен бути нижче 0,1 МПа. У випадку падіння тиску оливи до 0,08 МПа на панелі приладів загоряється сигналізатор аварійного тиску оливи. При загорянні цієї сигнальної лампочки робота двигуна не допускається.

При наявності фільтра відцентрового очищення моторної оливи потрібно перевірити його роботу. Перевіряючи даний оливний фільтр, потрібно на початку підвищити частоту обертання колінчастого валу двигуна, а далі зупинити його. Якщо фільтр у належному стані, то через 2-3 хвилини після зупинки двигуна можна почути характерне гудіння обертового ротора. Це означає, що фільтр погано працює, тому його необхідно розібрати і ретельно почистити.

### 2.2.3 Друге технічне обслуговування системи мащення

При другому технічному обслуговуванні (ТО-2) системи мащення двигуна внутрішнього згоряння автомобіля виконують наступні операції.

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Згідно графіка потрібно виконати заміну моторної оливи у картері двигуна. Одночасно необхідно замінити фільтрувальні елементи відцентрового очищення оливи.

Для повного видалення оливи з ємності піддону двигуна слід виконати наступні дії:

- спочатку обов'язково завести та прогріти двигун, щоб олива стала менш в'язкою та більш текучою;
- далі викрутити пробку зливного отвору, що в нижній частині піддону;
- потім відкрутити пробку заливного отвору двигуна;
- злити відпрацьовану оливу у заготовлену ємність.

Якщо при зливанні оливи явно видно, що система мащення досить забруднена – дуже темна олива з наявністю механічних домішок, то рекомендується промити її. Для цього потрібно у піддон картера залити спеціальну оливу, призначену для промивання, до рівня нижньої мінімальної позначки вимірювального щупа, запустити двигун і на холостому ході колінчастого валу дати йому попрацювати, а потім через 2-3 хвилини, відкривши пробки, злити промивальну оливу.

Наступна операція полягає у заміні фільтруючих елементів або повністю заміні оливних фільтрів. У випадку заміни фільтруючих елементів корпус фільтра промивають тонким пензлем, попередньо знявши кришку та викрутивши пробку зливного отвору. Після промивання корпусу монтують нові фільтрувальні елементи.

Для того, щоб видалити осадження з фільтру відцентрового очищення моторної оливи необхідно:

- викрутити гайку та зняти кожух фільтра;
- спеціальним ключем відкрутити круглу гайку фільтра, притримуючи ковпак від провертання, і досить обережно за гайку зняти ковпак;
- почистити ковпак від різних осаджень та бруду, зняти сітку, промити гасом і під тиском продути повітрям;

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– розмістити обережно ковпак та сітку, щоб не пошкодити гумове ущільнююче кільце ротора та закрутити гайку ковпака, при цьому слідкувати, щоб ковпак без перекосу сів на своє місце;

– включити двигун і дати йому попрацювати кілька хвилин з підвищеною частотою обертання колінчастого валу, перевіряючи при цьому відсутність течії моторної оливи з під корпуса фільтру.

Виконавши обслуговування оливних фільтрів, необхідно закрутити на місце пробки і крізь оливозаливний отвір залити свіжу оливу у потрібному об'ємі. Далі запустити двигун, прогріти до стабільної роботи. Після зупинки двигуна, через 5-7 хвилин, якщо він охолов перевірити рівень оливи щупом.

#### 2.2.4. Сезонне технічне обслуговування системи мащення

При сезонному технічному обслуговуванню (СО) системи мащення двигуна внутрішнього згорання автомобіля підлягає виконанню наступна робота.

По-перше, знявши кришку коромисел, потрібно перевірити подачу оливи до осей коромисел. З ціллю охолодження оливи у системі вмонтований радіатор, який можна включити відкриваючи кран, за температури навколишнього середовища вище 20 °С. При низьких температурах радіатор має бути відключений. Проте, при транспортуванні великих навантажень, при високій частоті обертання колінчастого валу незалежно від температури повітря, необхідно кран оливного радіатора відкривати.

Значну роль в технічному обслуговуванні системи мащення відіграє обладнання поста мащення. Для заправки автомобільних двигунів моторною оливою на автопідприємствах доцільно мати спеціальний централізований пост мащення з малороздавальними колонками. Як виняток, можна доливати оливу у двигун, застосовуючи мірний посуд. Ємність для зливання відпрацьованої оливи з двигунів автомобілів розміщують у оглядовій канаві, запобігаючи його розливанню. При заміні та доливанні моторної оливи існують спеціальні ключі для викручування заливних пробок.

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

При перевірці рівня оливи забороняється поблизу застосовувати відкритий вогонь. Використовують при цьому переносні лампи низької напруги до 42 В. Необхідно постійно слідкувати, щоб інструмент був не замасленим та чистим, так як робота справним, але брудним інструментом може привести до неполадок. Злита олива може бути перероблена для повторного застосування, а це дає велику економію. Зберігають відпрацьовані оливи окремо за марками, не змішуючи.

### 2.3 Особливості технічного обслуговування системи мащення дизельних двигунів

Здебільшого ефективність роботи системи мащення дизельних двигунів залежить від дотримання основних правил технічного обслуговування повнопотокового фільтру, який очищає моторну оливу, яка подається у центральну оливну магістраль, та фільтру відцентрового очищення моторної оливи, розташованого у магістралі радіатора (рисунок 2.1) [4].

При першому технічному обслуговуванні (ТО-1) системи мащення дизельних двигунів потрібно виконати наступні дії:

- прогрівши двигун, злити осадження з повнопотокового фільтру та очистивши від забруднень і пилу корпус фільтру;
- осадження необхідно злити в ємність, відкрутивши різьбову пробку таким чином, щоб не бруднити двигун.

При другому технічному обслуговуванні (ТО-2) системи мащення дизельних двигунів необхідно виконати такі операції:

- виконати заміну моторної оливи у картері двигуна (за графіком);
- одночасно потрібно замінити фільтрувальні елементи повнопотокового фільтру;
- очистити фільтр відцентрового очищення моторної оливи;
- у моделях з мілкоячею металевою сіткою фільтруючі елементи промивають в ванночці.

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

В обслуговування повнопотокового фільтру тонкого очищення моторної оливи входить заміна фільтрувальних елементів (рисунок 2.2).

В реальних умовах досить часто трапляється, що фільтрувальні елементи забиваються відкладеннями раніше встановленої періодичності другого технічного обслуговування. В цьому випадку, перепад тиску моторної оливи у магістралі до та після фільтрувальних елементів значно перевищує допустиму величину. Вмонтований у корпус фільтра перепускний клапан, відкривається.

Тоді неочищена моторна олива потрапляє у головну оливну магістраль, минаючи фільтрувальні елементи. У випадку довготривалої роботи двигуна автомобіля з відкритим перепускним клапаном повнопотокового фільтру моторної оливи дуже суттєво зростає інтенсивність спрацювання деталей його.

Уже через декілька годин роботи на корінних вкладишах утворюються задирки та подряпини, тому відкривання перепускного клапана необхідно постійно контролювати.

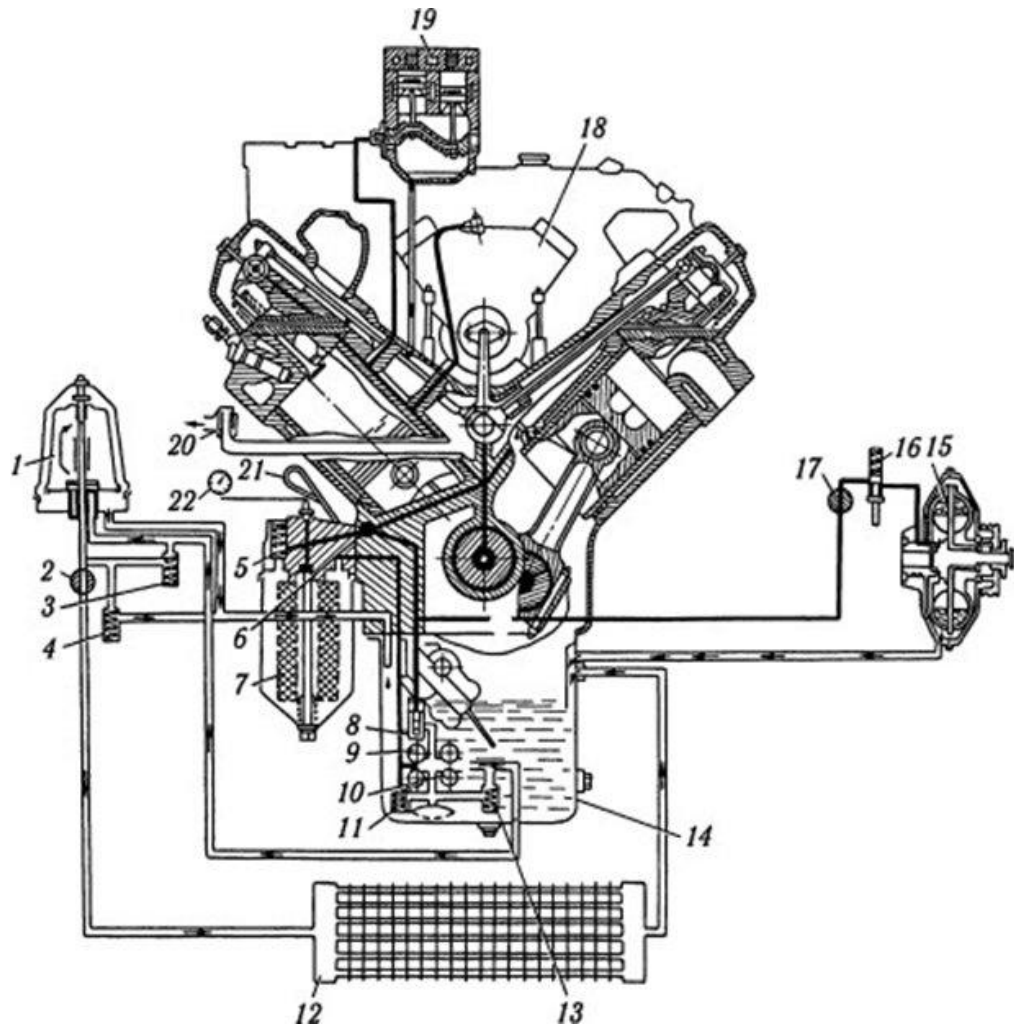
Для контролю у корпусі фільтру розташований сигналізатор, котрий з'єднаний із лампочкою на передній панелі приладів в салоні автомобіля.

У випадку забруднення фільтрувальних елементів та відкриття перепускного клапану контакти сигналізатора замикаються, що приводить до загоряння лампочки. У цьому випадку, не чекаючи чергового технічного обслуговування, потрібно замінити фільтрувальні елементи. Фільтрувальні елементи перед встановленням уважно оглядають, усуваючи залишки задирок, стружки, висічки з отворів по внутрішній поверхні фільтрувального елементу.

Підвищену увагу потрібно приділяти фільтру відцентрового очищення оливи. Ротор фільтру має частоту обертання до  $5000 \text{ хв}^{-1}$ , тому повинен бути достатньо збалансованим. Ротор балансують в складеному з ковпаком вигляді. Після балансування на основі ротора ставлять мітку, яка повинна співпадати з міткою із зовнішнього боку ковпака. Після очищення ковпака ротора від відкладень, його розташовують таким чином, щоб мітки співпадали. Якщо це не виконати, то центрифуга перетворюється на маленький, але достатньо потужний вібратор і

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

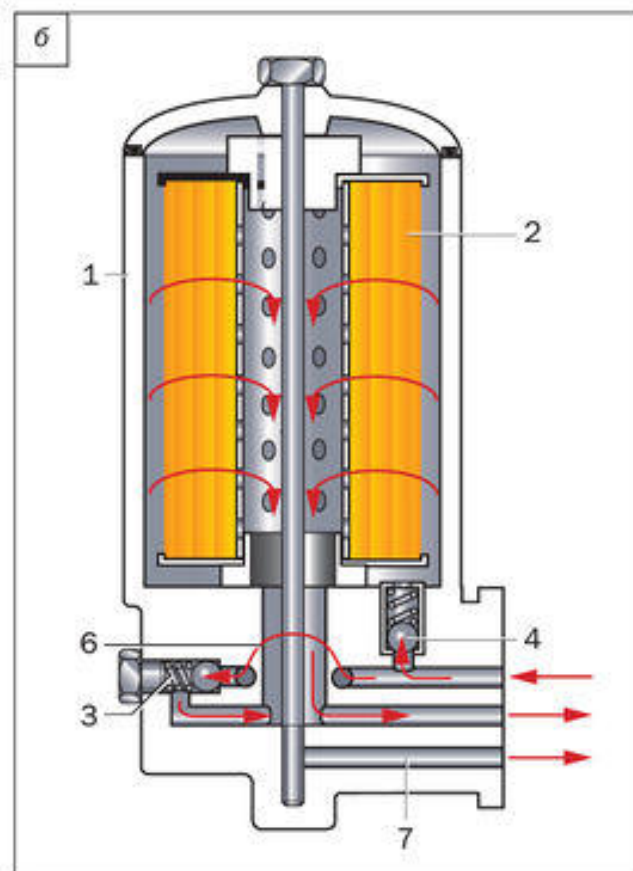
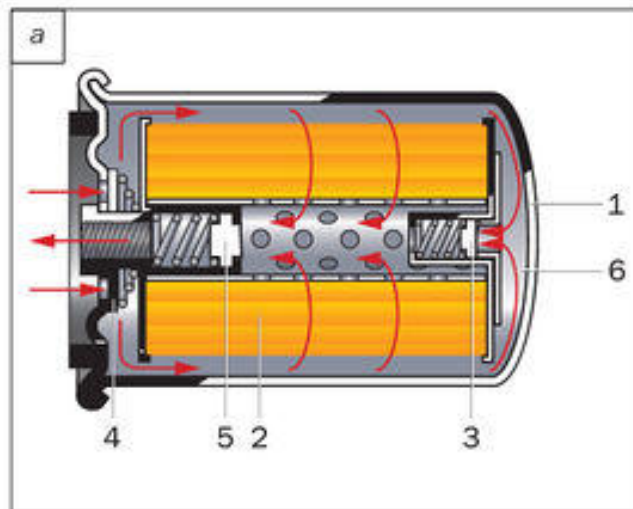
ефективність роботи її значно знизиться. Неспівпадіння міток допускається у межах 5 мм.



1 – фільтр відцентрового очищення оливи (центрифуга); 2 – кран підключення оливного радіатора; 3 – перепускний клапан фільтру центрифуги; 4 – зливний кран центрифуги; 5 – перепускний клапан фільтру тонкого очищення оливи; 6 – головна оливна магістраль; 7 – повнопотоковий фільтр очищення оливи; 8 – диференціальний клапан; 9 – нагнітальна секція оливного насосу; 10 – радіаторна секція оливного насосу; 11 – запобіжний клапан нагнітальної секції; 12 – оливний радіатор; 13 – запобіжний клапан радіаторної секції; 14 – піддон двигуна; 15 – гідромуфта приводу вентилятора; 16 – термосиловий давач; 17 – кран увімкнення гідромуфти; 18 – паливний насос високого тиску; 19 – компресор; 20 – сапун; 21 – датчик рівня оливи; 22 – манометр.

Рисунок 2.1 – Система мащення дизельного двигуна

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30



1 – корпус; 2 – фільтруючий елемент; 3 – перепускний клапан; 4 –  
 противодренажний клапан; 5 – противозливний клапан;  
 6 – шлях оливи при відкритті перепускного клапану; 7 – канал зливу оливи в  
 картер при заміні фільтруючого елементу

Рисунок 2.2 – Конструкція нерозбірного (а) та розбірного (б) повнопоточного  
 об'ємноадсорбуючого оливного фільтра

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ

Арк.

31

Бувають випадки, коли гайка кріплення ротора самовільно відкручується. Із-за цього ротор під тиском мастильної оливи піднімається та впирається у ковпак, це не дає можливості йому обертатися. Відкладення поступово вимиваються оливою, яка циркулює. Внутрішня поверхня ротора стає чистою, має вигляд вимитої, ніби недавно розбирали і чисто вимили. Але це хибне твердження. Тому обов'язково при заміні оливи та очищенні центрифуги потрібно перевірити затягування гайки кріплення ротора центрифуги.

Проводячи технічне обслуговування сітчастого елемента фільтра грубого очищення оливи двигунів ЯМЗ-236, ЯМЗ-238 і їх модифікацій, увагу необхідно звертати на стан металевої сітки. При виявленні розривів на сітці потрібно оловом запаяти чи замінити елемент новим.

При очищенні смолянистих в'язких відкладень, не потрібно використовувати металеві предмети, так як фільтрувальна сітка виготовлена з латуні діаметром 0,1 мм і гострі, тверді металеві предмети приведуть до її пошкодження. В результаті цього, через сітку зможуть проходити абразивні частинки, котрі пошкодять робочі поверхні колінчастого валу та вкладишів, створюючи кільцеві подряпини. Це в свою чергу приведе до зменшення натягу вкладишів у розточках шатунів та блоку двигуна і вкладиші будуть прокручуватись.

Перевірити стан сітки можна візуально. При затемнених вічках необхідно фільтрувальний елемент прокип'ятити у водному розчині кальцинованої соди чи промити у дизельному паливі та зразу ж продути під тиском повітрям, щоб відкладення у вічка фільтрувального елемента не затверділи. Смолисті відкладення неможливо розчинити навіть у киплячій воді. Вони лише розм'якшуються, а видалити їх можна продуванням стиснутим повітрям. Періодично необхідно перевіряти стан перепускного клапана в оливному фільтрі. З цією ціллю потрібно зняти фільтрувальний елемент, далі з обережністю вийняти алюмінієву чашу з фетровою прокладкою з корпусу фільтра та визначити положення плунжера клапана. Якщо перепускний клапан закритий, два його торці знаходяться у тілі корпусу оливного фільтра. А якщо торець клапана видно, то це значить, що він

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відкритий. Такий фільтр є непрацездатним, так як через відкритий отвір до деталей двигуна попадає забруднена олива.

Для усунування даної несправності, потрібно відкрутити пробку перепускного клапану із корпусу оливного фільтра, видалити пружину та клапан з гнізда. Дані деталі очистити та промити дизельним паливом. Наступний етап збирання: перевіривши рух клапана у гнізді корпусу оливного фільтра, деталі встановити на місце.

#### 2.4 Формулювання завдання на відновлення та підвищення зносостійкості вузла тертя

##### ***Мета дослідження.***

Метою даної роботи є підвищення зносостійкості трибосполучень двигуна внутрішнього згоряння легкового автомобіля

##### ***Завдання дослідження.***

1. Дослідити умови роботи трибосполучень двигуна внутрішнього згоряння легкового автомобіля та застосувати оливорозчину олововмісну мастильну композицію до моторних олив, що забезпечує формування металовмісних плівок на поверхнях тертя;

2. Розробити методику та виконати експериментальні дослідження основних закономірностей процесів тертя і зношування металевих пар у моторних оливах;

3. Дослідити зміни характеристик мікрогеометрії поверхневих шарів трибосполучень, зношених у моторних оливах;

4. Розробити практичні рекомендації щодо підвищення зносостійкості важконавантажених рухомих сполучень двигунів внутрішнього згоряння

***Об'єктом дослідження є система мащення двигуна внутрішнього згоряння автомобіля.***

***Предметом дослідження є підвищення зносостійкості трибосполучень двигуна внутрішнього згоряння легкового автомобіля.***

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

### 3 СУЧАСНІ НАПРЯМИ ПІДВИЩЕННЯ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ РУХОМИХ СПОЛУЧЕНЬ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ НА ОСНОВІ ДОСЯГНЕЬ ТРИБОТЕХНІКИ

#### 3.1 Моторні оливи, що застосовують у ДВЗ

Для змащення двигунів внутрішнього згорання автомобілів сьогодні використовують мінеральні (нині вже рідше), напівсинтетичні та синтетичні оливи [5].

До моторної оливи додають спеціальні присадки, щоб підвищити її якість. Ці добавки є хімічними сполуками, які стабілізують в'язкість, суттєво збільшують здатність до змащення, знижують температуру замерзання та інтенсивність окиснення. Крім того, присадки сприяють видаленню смолистих відкладень із проміжків між деталями у зонах тертя.

Залежно від кліматичних умов і сезону для змащення двигуна рекомендується використовувати оливи різної в'язкості. Взимку в'язкість оливи має бути нижчою, оскільки густі оливи при низькій температурі загущуються і важко проникають у зазори між контактними поверхнями. Це ускладнює змазування й запуск холодного двигуна.

Улітку ж в'язкість оливи повинна бути вищою, бо олива з малою в'язкістю при високій температурі ще більше розріджується й не забезпечує достатнього змащення. Нині широко застосовуються всесезонні моторні оливи, що відповідають змінам температури протягом року.

Моторні оливи у двигуні внутрішнього згорання виконують такі функції:

- створення надійної масляної плівки між контактними деталями, зменшення тертя та, відповідно, зношування;
- забезпечення герметизації зазорів у циліндро-поршневій групі;
- відведення тепла та продуктів зношування із зон тертя;
- захист деталей двигуна від корозії.

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Оливи, що застосовуються у двигунах, мають бути в'язкими, мастильними, добре контактувати з поверхнями тертя й утворювати масляну плівку між деталями. Вони повинні мати високу температуру спалаху, не утворювати нагару в циліндрах при згорянні, не викликати корозії, не густіти на холоді, не містити води та механічних домішок, не мати мінеральних кислот і лугів, а також ефективно очищати зазори між тертьовими поверхнями від накопичених нагарних частинок.

Моторні оливи повинні мати такі властивості: в'язкість, змащувальні, антиоксидантні, мийні, антикорозійні, захисні та протипінні [6,7].

### 3.1.1 В'язкісні властивості оливи

В'язкість речовини — це опір, який чинять її шари відносному переміщенню під дією зовнішньої сили. Міжмолекулярні сили притягання перешкоджають руху шарів рідини. Показником в'язкості оливи є її плинність. В'язкість оливи переважно залежить від температури й тиску. В'язкісно-температурні властивості визначаються зміною в'язкості залежно від температури.

При зниженні температури в'язкість оливи зростає і за певних умов вона повністю втрачає плинність. Температуру, за якої олива перестає текти, називають температурою застигання. Надмірна в'язкість ускладнює проходження оливи каналами та її надходження до поверхонь тертя. У момент запуску двигуна деталі можуть працювати без змащення, що збільшує зношування.

Для покращення в'язкісних властивостей до базових моторних оливи додають спеціальні присадки:

а) в'язкісні (полімерні) присадки – для підвищення індексу в'язкості та покращення в'язкісно-температурної характеристики, у кількості 0,5–8 %;

б) депресорні присадки – для зниження температури застигання оливи, у кількості до 1 %.

В'язкісно-температурні характеристики моторних оливи важливі у трибосполученнях двигуна внутрішнього згорання.

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

### 3.1.2 Мазильні властивості оливи

Мазильні властивості моторних оливи – це сукупність характеристик, що впливають на зношування та тертя поверхонь. До мазильних властивостей належать:

- антифрикційні властивості — здатність зменшувати тертя між контактними деталями;
- антизношувальні властивості — зменшення зношування деталей, що працюють при нормальних навантаженнях;
- протизадирні властивості — захист поверхонь при високих температурах і навантаженнях.

Для покращення цих властивостей додають:

- антизношувальні присадки (0,5–2 %), зазвичай із вмістом фосфору та сірки;
- протизадирні присадки (до 2 %), що також містять сірку та фосфор.

### 3.1.3 Антиокисні властивості оливи

Під час роботи двигуна олива швидко циркулює в замкненій системі та постійно контактує з киснем, металевими поверхнями й гарячими газами. Окиснення оливи сприяє утворенню нагару й лаку на деталях, а також накопиченню продуктів окиснення в самій оливі.

Для зменшення окиснення та утворення нагару застосовують антиоксидантні присадки, наприклад: цинк діалкілдітіофосфат (DF-11), цинк діарилдифосфат (VNІІНП-354), деякі феноли.

### 3.1.4 Мийні властивості оливи

Мийна здатність моторної оливи – це її спроможність утримувати деталі двигуна в чистоті. Вона забезпечується спеціальними детергентними присадками.

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Олива не вимиває вже наявні забруднення, але уповільнює їх утворення та прилипання до поверхонь. Смолисті речовини залишаються у завислому стані. З часом вони можуть з'єднуватись у більші частинки й забивати фільтри та масляні канали. Здатність протидіяти цьому – це дисперсійні властивості оливи.

### 3.1.5 Протикорозійні властивості оливи

З часом олива окиснюється з утворенням кислот, які спричиняють корозію, особливо в деталях із кольорових металів. У дизельних двигунах під час згоряння палива утворюються оксиди сірки, які, взаємодіючи з вологою, формують сірчані кислоти – дуже агресивні речовини. Вода створює середовище для електрохімічної корозії та каталізує окиснення оливи.

Показники оцінки корозії:

- кислотне число (кількість мг КОН, потрібна для нейтралізації кислот у 1 г оливи);
- відсутність водорозчинних кислот і лугів у новій оливі.

Для захисту від корозії додають:

- антикорозійні присадки (до 1 %);
- інгібітори іржавіння (1–5 %) для захисту під час коротко- та довготривалого зберігання.

### 3.1.6 Захисні властивості оливи

У моторній оливі може міститися водяна пара, конденсат або вода, що призводить до електрохімічної корозії. Особливо інтенсивно атмосферна корозія розвивається тоді, коли транспортний засіб довго не використовується. Захисні властивості оливи визначають її здатність уберегти металеві поверхні від дії вологи, кисню та активних газів.

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

### 3.1.7 Протипінні властивості оливо

Протипінні властивості – це здатність оливи запобігати піноутворенню. Під час роботи двигуна олива постійно перемішується й розбризкується; до неї потрапляють бульбашки повітря, пари пального та відпрацьовані гази. Повітряні бульбашки, що піднімаються на поверхню, утворюють піну. Піна погіршує змащення та збільшує витрату оливи. Для зменшення піноутворення додають силіконові протипінні присадки.

### 3.2 Класифікація моторних оливо

Оскільки сучасні бензинові двигуни працюють під високим навантаженням, до оливо для них висуваються вимоги, подібні до дизельних. Нині поширені універсальні оливи, придатні як для бензинових, так і для дизельних двигунів.

Моторні оливи поділяють на літні та зимові.

У зимових оливах в'язкість при низьких температурах нижча, температура застигання на 20–30 °С нижча, ніж у літніх оливо.

За складом оливи поділяються на три групи:

- мінеральні (нафтова основа);
- синтетичні (одержані хімічним синтезом);
- напівсинтетичні (мінеральна + синтетична основа) [8].

Також моторні оливи поділяють:

- за в'язкістю при 100 °С — на 7 класів (6, 8, 10, 12, 16, 20);
- на чотири групи згущених оливо;
- за експлуатаційними властивостями — на групи А, В, V, G, D:
  - для бензинових двигунів після літери ставлять «1»,
  - для дизельних — «2».

Групи:

- А — малодобавочні, низька хімічна стійкість, для малопотужних двигунів;
- В — 6 % присадок, для двигунів малого навантаження;

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- V — 8 % присадок, для двигунів середньої потужності;
- G — до 14 % присадок, для високопотужних двигунів.

Приклади сучасного маркування:

- M-10Г2К: М — моторна олива, 10 — в'язкість, Г — для потужних двигунів, 2 — для дизелів, К — для двигунів КамАЗ;
- МТ-16п: МТ — танкова моторна олива, 16 — клас в'язкості, «п» — присадкова.

У згущених оливах додатково вказують клас в'язкості при  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  (позначення 4 або 6).

Міжнародні класифікації:

- SAE J300 — класифікація тільки за в'язкістю [9];
- API — класифікація за експлуатаційними властивостями [10];
- ACEA — європейська класифікація моторних олив [11].

SAE містить:

- 6 зимових класів (з літерою W),
- 5 літніх класів.

Приклад всесезонної оливи: 5W-30.

API:

- S — оливи для бензинових двигунів;
- C — для дизельних двигунів.

Чим далі літера алфавіту, тим сучаснішому двигуну відповідає олива. Подвійне маркування означає сумісність із бензиновими й дизельними двигунами (наприклад, SG/CD).

ACEA (із 1999 року):

- A — бензинові двигуни;
- B — малопотужні дизелі (легкові автомобілі);
- E — потужні дизелі (вантажівки).

Розроблено рекомендації щодо вибору моторних олив для транспортних засобів залежно від їхнього класу в'язкості.

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Новий двигун. Якщо двигун використано менш ніж на 25 % від його розрахункового ресурсу, протягом усього року доцільно застосовувати моторні оливи класу SAE 10W-30 або 5W-30.

Технічно справний двигун. Якщо двигун використано в межах 25–75 % від розрахункового ресурсу, в літній період слід застосовувати SAE 5W-40, 10W-40 або 15W-40; узимку — SAE 5W-30 або 10W-30, або ж цілий рік можна використовувати SAE 5W-40.

Зношений двигун. Якщо двигун використано більш ніж на 75 % від його ресурсу, то влітку рекомендується SAE 15W-40 або 20W-40; узимку — SAE 5W-40 або 10W-40, або протягом усього року можна застосовувати моторні оливи SAE 5W-50.

Щоб правильно вибрати моторну оливу для зимового періоду, необхідно знати метод, що називається «правило 35». Якщо від числа 35 відняти зимовий індекс в'язкості, отримаємо граничну температуру, до якої олива зберігає прокачуваність.

Приклад: олива 10W-40 зберігає плинність до мінус 25 °С. Обчислення: 35 – 10 = 25.

«Правило 35» доцільно використовувати для оцінювання мінеральних олив. Для синтетичних моторних олив цей метод не підходить через їхні відмінні властивості в'язкості та температурні характеристики.

У забезпеченні надійної та довговічної роботи двигуна внутрішнього згоряння головну роль відіграє система змащення. Робочий стан вимагає безперервного надходження моторної оливи до поверхонь тертя; якість і стан оливи зменшують зношування деталей та втрати на тертя. Це забезпечується достатньою кількістю моторної оливи, що циркулює в системі, її оптимальною в'язкістю, а також роботою масляного насоса, масляних фільтрів і радіатора оливи. Проте під впливом різних факторів у системі змащення можуть виникати несправності, що знижують працездатність двигуна.

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Серед моторних оливо, перелічених у цьому розділі, мінеральні оливи, які є первинним продуктом переробки нафти, завдяки високій в'язкості підходять для двигунів, однак потребують частішої заміни.

Синтетичні оливи отримують шляхом хімічної обробки нафтових похідних. Вони мають низьку в'язкість, але є довговічними й добре захищають двигун при високих температурах. Напівсинтетичні оливи є сумішшю двох типів моторних оливо. Зазвичай вони містять 50–70 % мінеральної та 30–50 % синтетичної оливи. Такі оливи дешевші за синтетичні та вважаються ефективнішими порівняно з мінеральними.

Окрім того, моторні оливи класифікуються за діапазоном робочих температур відповідно до показника в'язкості. Ця властивість впливає на температурні умови запуску двигуна.

Для покращення якості моторних оливо у них додають різні присадки. Вони не лише підвищують в'язкість, а й знижують температуру застигання, запобігають корозії металевих поверхонь і утворенню нагару. У автомобільних двигунах зазвичай використовують комплексні присадки, що покращують певні властивості оливи.

Марка оливи, яку слід застосовувати в системі змащення конкретного автомобіля, визначається виробником та обов'язково зазначається в інструкції з експлуатації. Не рекомендується змінювати марку оливи або змішувати різні оливи всупереч вимогам виробника, оскільки це може порушити роботу системи змащення, спричинити несправності двигуна та пошкодження його деталей.

### 3.3 Умови роботи та причини несправностей трибологічних вузлів у двигунах внутрішнього згорання

Найважливішим періодом для нового автомобіля є перші п'ять тисяч кілометрів. У цей час власник має бути уважним, щоб забезпечити довготривалу й безперебійну експлуатацію. У цей період деталі всіх механізмів автомобіля притираються одна до одної, тому не слід перевантажувати транспортний засіб і

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

використовувати максимальні оберти двигуна. Перед рухом двигун повинен бути повністю прогрітий.

У період обкатування необхідно виконувати такі дії: вимірювати тиск у шинах за допомогою манометра, перевіряти стан різьбових з'єднань, контролювати рівень технічних рідин та оливи в двигуні, коробці передач, мостах і резервуарі гідروпідсилювача керма. Також слід перевіряти рівень охолоджувальної рідини в розширювальному бачку радіатора, рівень гальмівної рідини в головному гальмівному циліндрі та резервуарі гідравлічного приводу зчеплення, а також рівень пального. Акумулятор необхідно перевірити навантажувальною вилкою, виміряти рівень та густину електроліту. Акумулятор має бути закріплений на кузові за допомогою спеціальних кріпильних пластин, а клеми повинні бути правильно затягнуті. Також слід перевірити роботу системи омивача лобового скла.

Перед запуском двигуна слід подати пальне до карбюратора за допомогою бензонасоса. Під час роботи двигуна потрібно уважно перевірити, чи немає витоків пального або оливи, а також контролювати рівень охолоджувальної рідини в розширювальному бачку.

Вузол тертя – це система, у якій за наявності змащувального матеріалу відбувається безперервний обмін механічною й тепловою енергією. Цей процес відбувається як усередині системи, так і з навколишнім середовищем. Він характеризується:

- зменшенням мікрошорсткості поверхонь та її рівномірнішим розподілом, змінами мікроструктури у приповерхневому шарі;
- спонтанним перетворенням механічної енергії на теплову.

Розгляньмо основні фактори, що визначають інтенсивність зношування деталей двигуна внутрішнього згорання.

При збільшенні навантаження, навіть якщо оберти залишаються сталими, тиск згорання та швидкість його зростання збільшуються; підвищуються температури днища поршня та верхньої частини циліндра, що прискорює зношування деталей.

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З підвищенням частоти обертання колінчастого вала збільшується кількість теплоти, що виділяється за одиницю часу, зростає теплове навантаження, погіршується очистка циліндрів від відпрацьованих газів, посилюється догорання суміші під час такту розширення, що збільшує температуру групи «циліндр–поршень» та клапанного механізму.

Практика показує, що у двигунах внутрішнього згорання найчастіше зношуються елементи поршневої групи; тому потреба в ремонті двигуна здебільшого визначається за станом саме цих деталей. Найінтенсивніше зношування відбувається в ділянці, близькій до верхньої мертвої точки.

Гільза циліндра найбільше зношується у верхній частині; також найбільше зношуються верхнє компресійне кільце та канавка кільця. Це зумовлено потраплянням дорожнього пилу разом із повітрям у циліндр, погіршенням умов змащення «кільце–циліндр» у верхній зоні, високими тисками та температурами.

Отже, інтенсивність зношування залежить не від загальної довжини ходу поршня, а від частоти обертання колінчастого вала, тобто кількості циклів. Це пояснює, чому високообертові двигуни мають менший ресурс порівняно з низькообертовими.

Збільшення середньої швидкості поршня може навіть зменшувати зношування деяких деталей поршневої групи, оскільки покращується гідродинамічне змащення.

Особливості роботи дизельних двигунів значно впливають на змащення та зношування.

У дизельних двигунах із не розділеною камерою згорання жорсткість згорання вища, ніж у дизелів із розділеною камерою. Подібне до детонації згорання на другій фазі призводить до видавлювання оливи з зазорів «кільце–циліндр» та підшипників, що знижує втому поверхневих шарів підшипників.

Дослідження показують, що висока жорсткість згорання дизельного пального є небезпечнішою, ніж короткочасний піковий тиск.

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Експлуатаційний досвід різних типів двигунів показує, що найбільше зношуються елементи циліндро-поршневої групи, підшипники колінчастого вала та газорозподільний механізм.

У дизельних двигунах тиск згоряння може досягати 10–12 МПа, тоді як у бензинових він не перевищує 5,5 МПа. Максимальна температура згоряння в бензинових двигунах становить близько 3000 К; у дизелів вона трохи нижча.

Середні робочі температури становлять: для циліндрових гільз — 450 К, для чавунних поршнів — 700 К, для алюмінієвих — 550 К. У дизельних двигунах ці температури на 50–100 °С вищі.

Методи підвищення потужності двигуна зазвичай збільшують температуру та тиск, що діють на поршкову групу. Найнебезпечнішою є деформація поверхонь тертя через збільшення різниці температур.

Постачання оливи до поршневої групи є складним завданням. Як правило, ця група змащується оливою, що розбризкується від корінних та шатунних підшипників. Охолодження днища поршня під тиском оливи використовують переважно у великих суднових дизелях. У двигунах малого діаметра циліндрів це важко реалізувати. Найпоширенішим методом є подавання оливи через верхню головку шатуна.

Можливий режим змащення може бути гідродинамічним. Цей режим застосовується у парах тертя «кільце–гільза циліндра» та у напрямній частині пари «поршень – гільза циліндра двигуна» в середній фазі руху поршня. Коли рух поршня сповільнюється, особливо в області, близькій до мертвої точки, гідродинамічне змащення стає неможливим. Тому здатність мастила утворювати граничні шари на поверхнях тертя є надзвичайно важливою для поршнево-циліндрової групи.

Під час роботи поршень деформується, набуваючи в горизонтальному перерізі еліптичної форми, а його велика вісь стає паралельною осі колінчастого вала. Ця деформація виникає внаслідок впливу нормальних сил та теплових змін, спричинених нерівномірним розподілом металу в зоні виступів гільзи (бобичів). Під дією газового тиску циліндрична частина поршня перетворюється на усічений

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конус, у нижній частині якого діаметр більший. Такі деформації викликають нерівномірні навантаження на поверхнях тертя.

Для зменшення цих деформацій застосовують певні конструктивні зміни: початковий переріз поршня роблять овальним, у ділянках, наближених до отворів у виступах гільзи циліндра двигуна знімають частину металу тощо. У більшості випадків найбільш зношуваною частиною поршня є канавка, в якій розташоване верхнє кільце. Зношування цієї канавки знижує довговічність поршнів у багатьох двигунах внутрішнього згорання.

Найбільше зношування гільзи спостерігається в зоні зупинки верхньої мертвої точки першого компресійного кільця. У старих моделях автомобільних двигунів максимальне зношування гільзи припадало на вертикальну площину, що збігалася з віссю колінчастого вала. Це було наслідком макрогеометричних відхилень та деформацій поршня. У сучасних двигунах напрямок зношування гільзи більш виражений у вертикальній площині, перпендикулярній до осі колінчастого вала.

Зростання зношування у верхній частині гільзи двигунів внутрішнього згорання, окрім електрохімічної корозії, може бути пов'язане і з рядом інших причин.

У карбюраторних двигунах при низьких початкових температурах пари бензину в суміші, що надходить у циліндри, конденсуються, вимиваючи моторну оливу зі стінок гільзи. Це, зокрема у верхній частині гільзи та в зоні верхнього компресійного кільця, сприяє збільшенню зношування.

У всіх двигунах за низьких температур подача оливи на поверхні циліндра, особливо у його верхні ділянки, зменшується. Коли поршень перебуває у верхній мертвій точці, тиск газів у задній порожнині першого та частково другого компресійних кілець зростає. Як зазначалося раніше, у зоні поблизу верхньої мертвої точки гідродинамічне змащення в парі «кільце–гільза» практично неможливе. Крім того, граничні адсорбційні шари також втрачають ефективність, оскільки за високої температури верхньої частини гільзи активні полярні вуглеводні десорбуються. Змащення верхньої частини

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

циліндра забезпечується лише продуктами окиснення оливи та органічними механічними частинками, що містяться у ній.

Швидкість зношування верхньої частини гільзи здебільшого залежить від абразивних частинок, які мають найбільший вплив саме в цій зоні, оскільки через повітряний фільтр можуть пройти лише найдрібніші частинки, що накопичуються у цих ділянках.

Зношування поршневих кілець відбувається як на бічних поверхнях, так і в радіальному напрямку. Зношування, пов'язане з рухом кілець, проявляється у радіальному напрямку й посилюється під час зміни напрямку газових та нормальних сил. Радіальне зношування також виникає через вплив газів у задній порожнині кілець і через високу питому силу притискання маслоснімних кілець до стінки гільзи.

До загального зношування входить і електрохімічна корозія, однак її вплив значно менший порівняно з абразивним зношуванням. Це підтверджується тим, що останніми роками під час виробництва палив вміст сірки істотно зменшують завдяки гідроочищенню. Абразивне зношування деталей поршнево-циліндрової групи є найпоширенішим видом зношування. Саме тому широко використовують спеціальні фільтрувальні папери та сучасні матеріали для повітряних фільтрів.

Підшипники колінчастого валу зазвичай працюють у режимі гідродинамічного змащення. Тому антифрикційні та протизношувальні властивості оливи головним чином залежать від її в'язкості. Гідродинамічний режим може порушуватися під час запуску двигуна, за тимчасових перевантажень, при погіршенні подачі мастила або зменшенні його в'язкості. Навіть у нормальних умовах гідродинаміки може спостерігатися критичне зближення поверхонь підшипників за певних кутів положення колінчастого валу.

Навіть за стабільного гідродинамічного режиму зношування поверхонь тертя повністю не зникає, оскільки тиск, створюваний мастилом, може бути в 2,5–3 рази вищим за середній тиск зовнішніх сил. Це може спричинити пластичну деформацію приповерхневих шарів. Крім того, як зазначалося раніше, масляний

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

шар створює різницю потенціалів між поверхнями колінчастого валу та підшипника, що викликає компонент електростатичного зношування.

У реальних умовах роботи зміни геометрії поверхні колінчастого валу, деформації підшипників і структурні порушення у парі тертя викликають локальні гідродинамічні збої та швидке зростання температури. У результаті швидкість зношування підвищується, на поверхнях з'являються задирки, а антифрикційний шар руйнується.

Надійність підшипників значною мірою залежить від якості моторної оливи. Важливими є правильна в'язкість, стабільність її зміни із температурою, антикорозійні властивості та електропровідність.

Нині широко використовують тверді підшипникові сплави, як-от свинцеву бронзу, які мають вищі механічні властивості й твердість порівняно з бабітами. Проте ці сплави мають недоліки: їм важко пристосовуватися до умов зношування, вони не можуть поглинати тверді абразивні частинки з оливи. Крім того, застосування таких сплавів вимагає більшої точності обробки поверхонь тертя. Іноді для зменшення зношування шийок колінчастого валу застосовують зміцнення та хіміко-термічні обробки. Свинцева бронза досить чутлива до корозії під дією органічних кислот.

У сучасних автомобільних двигунах поширені тришарові підшипники, виготовлені з антифрикційних композиційних сплавів сурма–олово–свинець (SOS-в-6). Під цим шаром розташовують металокерамічний або мідно-нікелевий шар. Уся конструкція наноситься на тонкий сталевий шар, який завдяки невеликій твердості добре прилягає до поверхні підшипника.

Останніми роками також поширилися підшипники на основі алюмінію, що характеризуються високою механічною міцністю та витривалістю. Підшипникові сплави зазвичай легують оловом, міддю та нікелем. Для підвищення пристосованості до роботи та стійкості проти задирів поверхню підшипника найчастіше покривають оловом. У дизельних двигунах тракторів часто використовують біметалеві підшипники з композиційного сплаву алюміній–сурма–магній (ASM). Цей сплав наносять на сталь методом

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прокатування, використовуючи як проміжний шар чистий алюміній або алюмінієву фольгу. У деяких автомобільних двигунах застосовують сталєво-алюмінієві підшипники різних складів.

Оскільки виробництво підшипників є широким, дослідники продовжують розробляти нові антифрикційні матеріали для підвищення їхньої надійності. Композиційний сплав ASTM із телуром розглядається як перспективний матеріал. Такі підшипники мають високу зносостійкість і витривалість, хоча їхня стійкість до подряпин відносно невелика.

Для підвищення надійності роботи вузла «шийка колінчастого валу – підшипник» рекомендується додавати до моторної оливи високоефективні протизадирні присадки та збільшувати здатність антифрикційного шару утримувати оливу. Це дає змогу забезпечити додаткове змащення небезпечної зони за умов локального підвищення температури.

Колінчасті вали здебільшого виготовляють зі сталі марки 45 із подальшою термічною обробкою. Також можуть використовувати леговану сталь. У деяких двигунах внутрішнього згорання застосовують колінчасті вали з високоміцного магнієвмісного чавуну. Крім того, широко використовують вали з високоміцного чавуну з кулястим графітом, утвореним в результаті спеціальної термічної обробки.

Зношування шийок колінчастого валу надзвичайно нерівномірне; основними його причинами є недостатня жорсткість валу, вплив противаг та їхнє розташування.

Справність деталей газорозподільного механізму має велике значення для роботи двигунів внутрішнього згорання. Ці деталі працюють за умов високого контактного навантаження та великих швидкостей ковзання. Для пари «розподільний вал – штовхач» найпоширенішим видом зношування є втомне руйнування поверхні, що залежить від властивостей мастила.

Зношування штовхачів і кулачків призводить до скорочення фаз газорозподілу, що, у свою чергу, знижує потужність і економічні показники двигуна. Вплив мастила на ці поверхні тертя вивчено недостатньо. За підвищення

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

температури та зменшення товщини мастильної плівки інтенсивність зношування зростає. Це пояснюється не лише ослабленням гідродинамічної плівки, а й десорбцією граничних шарів та зростанням термічних напружень у зоні контакту.

Швидкозношувані деталі двигунів внутрішнього згорання працюють в умовах великих швидкостей ковзання, високих навантажень і високих температур.

Згідно з даними досліджень, навантажувально-швидкісні режими, характерні для роботи важконавантажених рухомих з'єднань двигунів внутрішнього згорання, приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Навантажувально-швидкісні режими, характерні для роботи важконавантажених рухомих сполучень двигунів внутрішнього згорання

№ п/п	Вузол тертя	Тиск, МПа	Швидкість ковзання, м/с	Температура плівки оливи, °С
1	Поршневе кільце – гільза циліндра	10	2,5	170
2	Шийка колінчастого валу – вкладиш підшипника	12	10	140
3	Пара кулачок –штовхач	2000	5	150

Таким чином, рухомі вузли групи «циліндр–поршень», такі як підшипники ковзання та пара «кулак–штовхач», працюють безпосередньо при підвищених навантаженнях і швидкостях ковзання та неминуче зазнають різних видів зношування; на характер цих видів зношування суттєво впливає склад мастильного матеріалу.

### 3.4. Роль поверхневих плівок у процесах тертя та зношування

Фізичний і хімічний стан поверхневих шарів вузлів та деталей транспортних

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

механізмів вважається одним із найважливіших факторів, що визначають експлуатаційні властивості трибовузлів. Зовнішнє тертя між двома твердими тілами неможливе без проміжного плівкового шару, який формує позитивний градієнт механічних властивостей у напрямку вглиб матеріалу.

Цей проміжний шар виникає в зоні тертя під дією механічних, фізичних і хімічних процесів, штучно нанесених покриттів або впливу атмосфери. Доведено, що вплив навколишнього середовища на поверхню металу спричиняє утворення на сталі оксидної плівки товщиною приблизно  $(10-20) \cdot 10^{-10}$  м. Дослідження низькотемпературних оксидних плівок на конструкційних сталях із різними легувальними елементами показали, що верхній шар завтовшки  $(10-20) \cdot 10^{-10}$  м містить вуглець, під яким розташований шар оксиду заліза, а перехідний нижній шар містить залізо як у металічному, так і в окисленому станах. Загальна товщина шару, який утворюється на поверхні сталі, становить близько  $400 \cdot 10^{-10}$  м.

Якщо в мастилі присутні полярні групи, на поверхнях тертя можуть формуватися адсорбційні плівки товщиною до  $(0,05-0,1)$  мкм. Полярні активні компоненти мастила не можуть суттєво зменшити шорсткість поверхні, оскільки висота мікронерівностей технічних поверхонь зазвичай значно більша. Адсорбційна плівка повторює мікрорельєф деталей.

Такі адсорбційні шари здатні витримувати високі нормальні тиски, але при підвищенні температури їх орієнтація порушується. Товщина граничного шару залежно від навантаження, швидкості ковзання, складу й властивостей мастила може змінюватися від кількох молекулярних шарів до 400–500 шарів і становити за середнім розміром молекули  $(0,5-0,8)$  мкм.

Для підвищення антифрикційних властивостей і зносостійкості мастильних композицій у них додають присадки, що містять фосфор, азот, сірку, хлор та інші елементи [12]. При контакті з металевими поверхнями ці присадки утворюють шари, що складаються з хімічних сполук і виконують роль оксидних плівок.

Ефективність присадок, які містять трихлорметильну групу, підтверджена експериментально. Залежно від умов роботи на сталевих поверхнях утворюється

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

плівка хлориду заліза завтовшки від  $15 \cdot 10^{-10}$  м до  $190 \cdot 10^{-10}$  м. Присадки, що містять фосфор, формують зносостійкі шари фосфатів заліза товщиною  $70\text{--}280 \cdot 10^{-10}$  м.

Додавання сірковмісних присадок призводить до утворення на поверхнях тертя плівок товщиною 2–4 мкм. Такі плівки хімічно модифікують верхній шар металу і ефективно захищають поверхню доти, доки швидкість їх утворення перевищує швидкість зношування.

Під час роботи трибовузла вторинні структурні плівки видаляються із зони контакту, оголюючи чисті металеві поверхні, на яких знову спостерігаються процеси утворення й руйнування захисних плівок. У таких умовах, а також при формуванні оксидних плівок, відбувається механокорозійне або окисне зношування, що призводить до зменшення геометричних розмірів деталей.

Мастила, що містять органічні сполуки, утворюють на поверхнях тертя полімерні плівки. Під час формування полімерної плівки молекули присадки створюють із атомами металу координаційний зв'язок, утворюючи метал-полімерний комплекс, який міцно закріплюється на поверхні.

У цьому процесі мастильний матеріал виконує передусім транспортну функцію — переносить присадку в зону тертя, а ефективність присадки визначається властивостями утвореної трибopolімерної плівки. Товщина такої плівки зазвичай становить 1–3 мкм.

Дослідження довели, що композиції з вмістом металів покращують триботехнічні властивості сталевих пар тертя [13].

У дослідах, де в гліцерин додали 30 різних металевих сполук, встановлено, що солі Ag, Pd, Al, Cu, Pt, Au стабілізують коефіцієнт тертя на рівні 0,006–0,009 і що метали входять до складу захисної плівки [14].

Щоб забезпечити необхідну зносостійкість та низький коефіцієнт тертя для сталевих пар тертя, ефективними виявилися не лише сполуки міді, а й олова, алюмінію та інших металів.

Відомо також, що поряд із мідними сплавами в підшипниках ковзання широко застосовують алюмінієві вкладиші. Експериментально встановлено, що в моторних оливах із певними ефірними присадками на парах «сталь–алюмінієвий

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сплав» утворюється плівка, яка містить алюміній і забезпечує низьке тертя.

### 3.5. Використання триботехнічних розробок для підвищення зносостійкості рухомих з'єднань двигунів внутрішнього згорання

До недавнього часу вважалося, що тертя в рухомих з'єднаннях є лише руйнівним процесом, який призводить до пошкодження деталей і вузлів. Однак сучасні дослідження дали змогу розробити методи підвищення зносостійкості на основі розуміння механізмів тертя та зношування.

За науковими даними, при терті мідних сплавів зі сталлю в умовах граничного змащування мідь вибірково переноситься на поверхню сталі й знову повертається до складу сплаву. Цей процес відбувається з низьким коефіцієнтом тертя та малим зношуванням, подібно до режиму рідинного мащення.

Сьогодні для підвищення зносостійкості моторних вузлів застосовують:

- мастила, що містять метали;
- фінішну антифрикційну обробку без абразивів;
- методи відновлення технічних характеристик двигуна без його розбирання.

О. Прокопенко і Ю. Сімаков розробили мідьвмісну присадку на основі олеату міді для компресорів холодильників; початковиробництво присадки MCF-18 [14]. Промислові випробування довели, що присадка MCF-18 зменшує втрати на тертя та покращує робочі характеристики дизельних двигунів.

Процес припрацювання деталей (узгодження роботи поверхонь) має вирішальне значення для ресурсу двигуна. Найефективніший спосіб покращити цей процес – сформувати на поверхні плівку з м'якого металу. Експерименти з присадкою «Грітерин» підтвердили ефективність цього методу [15].

Під час випробувань моторних олив із мідною присадкою «Valena» встановлено збільшення зносостійкості пар «кільце–циліндр» [15].

Крім того, металеві хлориди та інші неорганічні солі розглядали як додаткові присадки до мастил. Доведено, що мастила з хлоридами міді та олова значно покращують триботехнічні властивості [17]. Хлориди олова рекомендують як

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

присадку для процесу припрацювання двигунів.

Антифрикційні покриття, що застосовуються як тверді мастила, формують м'яку поверхневу плівку на твердій та міцній основі з високою здатністю витримувати навантаження та низьким опором ковзанню.

На цій основі створено нові триботехнології:

- фінішна антифрикційна безабразивна обробка (ФАБО),
- відновлення деталей двигуна без його розбирання [15].

Процес ФАБО передбачає нанесення тонкого металевого шару на сталеві та чавунні деталі перед монтажем, що прискорює їх припрацювання.

На сьогодні ФАБО для двигунів внутрішнього згоряння розвивається у напрямках:

- методів нанесення антифрикційних покриттів;
- антифрикційних металовмісних композицій;
- обладнання для нанесення покриттів.

Такі покриття зменшують зношування в деталях, зокрема поршневої групи, і знижують витрати пального.

Відновлення поверхонь без розбирання дозволяє повернути деталям номінальні розміри або відновити їх працездатність.

Композиції для двигунів внутрішнього згоряння класифікують як:

- металопластики;
- полімерні композиції;
- металокондиціонери;
- шаруваті модифікатори.

До поширених за кордоном металовмісних композицій належать «Metal-5», «ESKA», «Lubriform metal» [17,18]. Ці засоби містять частинки міді, свинцю, цинку та срібла.

У підсумку для збільшення ресурсу трибосполучень двигунів внутрішнього згоряння використовують різноманітні мастильні композиції. Однак ФАБО не компенсує зношування, а лише покращує стадію припрацювання. Металовмісні композиції також не завжди ефективні для всіх пар матеріалів.

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Таким чином, розробка мастильних композицій із розчинними у мастилі металовмісними присадками, здатними формувати металеву плівку на різних парах матеріалів і за різних умов зовнішнього тертя, має велике триботехнічне значення.

#### 4 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## МЕТАЛЕВИХ ПАР У МОТОРНИХ ОЛИВАХ

### 4.1 Методика лабораторних випробувань мастильних матеріалів

Ефективність технічних рішень, спрямованих на збільшення строку служби вузлів тертя машин, значною мірою визначається результатами лабораторних досліджень із тертя та зношування. Адже натурні (повномасштабні) випробування таких вузлів і дорогі, і складні у виконанні. Натурні випробування не дозволяють у широких межах змінювати робочі параметри та потребують значних витрат часу. Тому сьогодні оцінювання антифрикційних властивостей і зносостійкості матеріалів здійснюється у три етапи:

- a) Лабораторні дослідження – спрямовані на вивчення впливу навантаження, швидкості ковзання та умов навколишнього середовища на антифрикційні властивості та зносостійкість матеріалів.
- b) Стендові дослідження – проводяться з метою конструктивного опрацювання вузла тертя.
- c) Промислові дослідження – застосовуються для оцінювання експлуатаційних характеристик вузла тертя.

На основі результатів третього етапу роблять висновки щодо довговічності вузла тертя, у якому використано новий конструкційний або мастильний матеріал.

Дослідження контактної витривалості тіл кочення в умовах наявності мастильних матеріалів виконували за наведеною нижче методикою.

Основним видом зношування тіл кочення вважають руйнування, пов'язане з утомою, яке визначається складним напруженим станом у приповерхневих об'ємах металу та властивостями поверхневого шару за умов повторно-змінних навантажень. Осередки утомних пошкоджень виникають у зонах дислокаційних дефектів кристалічної ґратки та інших концентраторах напружень.

Властивості мастильного матеріалу визначають перебіг утомних руйнувань; це може як продовжувати строк служби вузла тертя, так і зменшувати працездатність тіл кочення.

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Установка для експериментального дослідження впливу металовмісних мастильних матеріалів на контактну витривалість тіл кочення за умов статичного навантаження була вибрана відповідно до принципу фізичного моделювання, що забезпечує створення високих контактних напружень та відтворення основного виду зношування.

Відтворення умов, характерних для високо навантажених вузлів тертя, є зручним на чотирикулькових машинах тертя. Використання стандартних куль високої точності дозволяє суттєво зменшити розкид даних, характерний для утомних випробувань, що, у свою чергу, знижує необхідну кількість експериментів. Крім того, у вузлі тертя чотирикулькової машини можна отримати високі контактні напруження. Ці переваги зумовили використання чотирикулькової машини тертя Plint для оцінювання впливу мастильних матеріалів на контактну витривалість куль із сталі ШХ-15. Вузол тертя показано на рисунку 4.1.

У літературі описано кілька досить точних методів дослідження властивостей тонких плівок у критичних умовах навантаження контактних поверхонь твердих тіл — як при довготривалих, так і при короткочасних випробуваннях. Основою цих досліджень є застосування радіоактивних індикаторів і електродних потенціалів [19], а також точкових контактів за умов коливання, ковзання, кочення або протягування [20, 21, 22].

Висока чутливість точкового контакту до процесів тертя й зношування у присутності наноплівок на поверхнях [23] дала можливість обрати для експериментальних досліджень схему контакту «куля–куля», що реалізується у чотирикульковому трибометрі (ЧКТ) [19, 23] (рисунок 4.1).

У ЧКТ схему контакту «куля–куля» можна використовувати для спостереження за умовами дуже високих тисків із високою точністю та надійністю, оскільки застосування стандартизованих, каліброваних підшипникових куль дозволяє легко реалізувати ковзання або кочення при високих і надвисоких початкових та проміжних контактних напруженнях при тестуванні наноплівок на поверхнях сталевих куль. ЧКТ також дозволяє використовувати дуже малу

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

кількість рідини. Сам процес ковзання характеризується мінімальними обсягами зношування.

Показником зношування є діаметр плями, що утворюється на трьох нижніх кульках, закріплених під тиском, коли верхня кулька обертається та контактує з ними. Також мірою зношування може бути ширина зносної доріжки на верхній кульці. Критичний стан наноплівки можна викликати, змінюючи будь-який із параметрів — навантаження, температуру, швидкість руху тощо.

Для реєстрації сил тертя застосовують тензOMETричні, ємнісні, магнітоелектричні, індукційні та п'єзоелектричні перетворювачі [20].

Для дослідження властивостей наноплівок у динамічному контакті за умов високого тиску використовували трибومتر ХТІ-72М, у якому чотири підшипникові кульки мають діаметр  $d = 12,70 \pm 0,02$  мм і виготовлені зі сталі ШХ-15 (HRC 60–65).

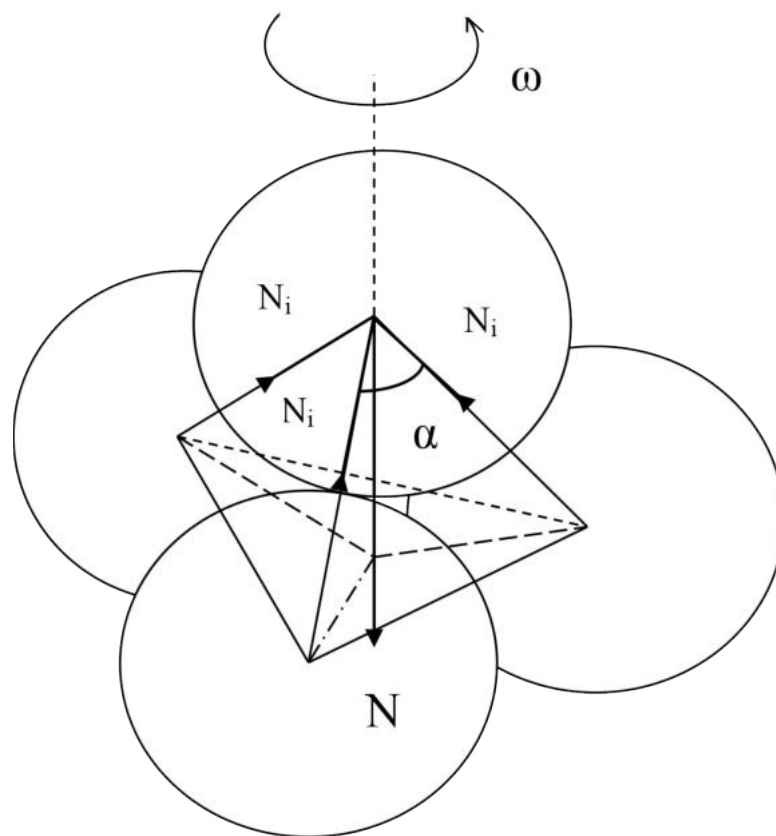


Рисунок 4.1– Схема чотирикульового контакту «куля-куля»

Чотири кульки розташовані у вигляді піраміди (рисунок 4.1). Три нижні

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

кульки були вставлені у підп'ятник та скріплені притискним кільцем. Верхня кулька жорстко зафіксована в спеціальному патроні у кінці прямовисного валу [21–23].

Геометрія тетраедра (рисунок 4.1) задає лінійну швидкість у зоні контакту  $v$  та визначає величину нормальної складової  $N_i$  осьової сили  $N$ , прикладеної до трьох кульок у теоретичній точці контакту:

$$v = \frac{d \cdot \omega}{2} \cdot \sin \alpha \text{ [м/с]}, \quad (4.1)$$

$$N_i = \frac{N}{\cos \alpha} \gg 0,4086N \text{ [Н]}, \quad (4.2)$$

де  $d = 12,7 \cdot 10^{-3} \text{ [м]}$  – діаметр кульок;

$\omega = 2\pi n$  – кутова швидкість верхньої кульки,  $\text{с}^{-1}$  ( $n$  – число обертів даної кульки за секунду; частота обертання,  $f$ );  $\alpha = 35^\circ 20'$  – кут між висотою та ребром правильного тетраедра (кут з чотирьох кульок в основі піраміди).

У експериментальних дослідженнях мастильних матеріалів у режимі тертя кочення вузол представляє собою піраміду з чотирьох кульок; три з них утворюють основу і можуть вільно обертатися у спеціальній оправці. Ці три нижні кульки притискаються до верхньої кульки із заданим навантаженням. Верхня кулька, наполовину зафіксована в обертовому патроні, приводить у рух нижні кульки. Аналізуючи схеми випробувальної машини, можна зазначити, що кулька, зафіксована в обертовому патроні, відтворює роль кільця підшипника в умовах тертя кочення. Під час експерименту на верхній кульці в зоні контакту з нижніми утворюється кільцева доріжка, а також відбуваються втомні руйнування, початок яких фіксується спеціальним датчиком.

Дослідження впливу мастильних матеріалів на контактну витривалість куль на чотирикульковій машині тертя виконувалися відповідно до інструкції у наступній послідовності:

а) До системи мастила подавалося повітря, а швидкість потоку рідини спостерігалася через оглядове вікно.

б) Перед увімкненням тертєвої машини змащувальний агрегат працював

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

менше 15 хвилин;

с) Увімкнули датчик вібрацій, після чого запустили двигун тертєвої машини, і з метою прогрівання при 10000 об/хв шпинделя двигун працював на холостому ході 15 хвилин;

д) Оправку очистили, а кульки висушили;

е) Кульку розмістили в цанговий патрон, після чого цангу з кулькою вставили в конус шпинделя;

ф) Три нижні чисті кульки встановили в оправку та залили випробовуваним мастильним матеріалом об'ємом 10 мл; кульки розміщували між верхньою кулькою та підшипником;

г) Увімкнули двигун, встановили частоту обертання 10000 об/хв, через 30 секунд почали навантаження вузла тертя та увімкнули хронометр;

h) Під час експерименту коригували кількість обертів шпинделя; у разі появи піттингу датчик вібрацій зупиняв двигун і хронометр;

i) Час до появи піттингу фіксували у журналі; після цього вилучали оправку з кульками та верхню кульку, які піддавали промиванню, сушінню та дослідженню;

к) Якщо піттинг на верхній кульці відсутній, експеримент повторювали.

Коли на поверхні кульки починаються втомні руйнування, датчик вібрацій зупиняє роботу випробувальної установки, а на світловому табло відображається час функціонування вузла тертя кочення.

Конструкція машини «Plint» передбачає осьове навантаження, що дозволяє визначити мінімальну зносостійкість кульок при коченні незалежно від якості мастильних матеріалів.

Тривалість безперервної роботи машини тертя під навантаженням становить 10 хвилин; після цього, якщо на кульках не виникли втомні руйнування, необхідно збільшити навантаження.

Проведені експерименти підтвердили, що досліджувані нами мастильні матеріали, випробувані при частоті обертання шпинделя 10000 об/хв та осьовому навантаженні 600 Н, задовольняють вимоги щодо тривалості експерименту. Контактну витривалість кульок під впливом різних мастильних матеріалів

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

визначали за числом циклів навантаження до появи втомних руйнувань.

Обробку результатів досліджень виконували відповідно до методики фірми «Plint». З мастильним матеріалом було проведено 24 експерименти. Кількість циклів навантаження до появи втомного руйнування на доріжці верхньої кульки фіксували на логарифмічному папері. Потім будували криву, середні значення якої відповідали кількості циклів до появи втомного руйнування на доріжці верхньої кульки з ймовірністю достовірності 50 %.

#### 4.2 Методика стендових випробувань циліндро-поршневих груп двигунів внутрішнього згоряння

У цьому експерименті були проведені стендові дослідження впливу мастильних матеріалів на триботехнічні властивості пари «поршневе кільце–гільза» двигунів внутрішнього згоряння.

На рисунку 4.2 показана кінематична схема тертевої машини.

У досліджуваних парах зразок з меншою поверхнею тертя, що імітує поршневе кільце (рисунок 4.3), утримується нерухомо, і до нього прикладається навантаження. Цей зразок вирізаний із реального поршневого кільця діаметром 110 мм.

Рухомий зразок (рисунок 4.4) має більшу поверхню тертя, вирізаний із чавунної гільзи циліндра діаметром 120 мм та імітує гільзу. Рухомий зразок здійснює зворотно-поступальний рух відносно нерухомого зразка з середньою швидкістю ковзання 0,19 м/с. Завдяки різниці діаметрів кілець і гільз контакт відбувається у середині робочої поверхні.

Компресійні кільця виготовлені зі сталі 50 ХФА з хромовим покриттям, а матеріал гільзи циліндра – чавун СЧ24.

Усі робочі позиції машини оснащені пристроями для контролю сили тертя.

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

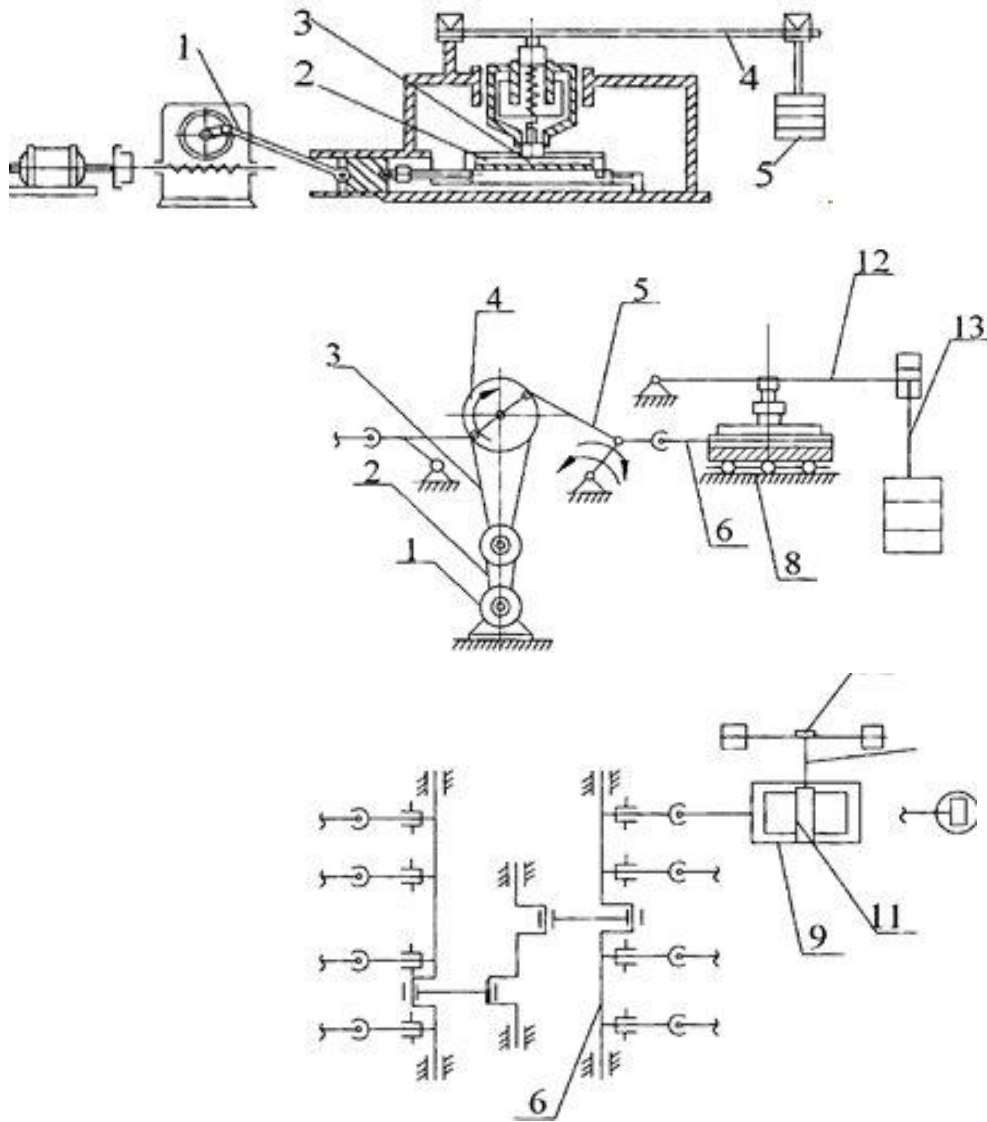


Рисунок 4.2 – Схема восьмипозиційної машини тертя зворотно-  
 поступального руху

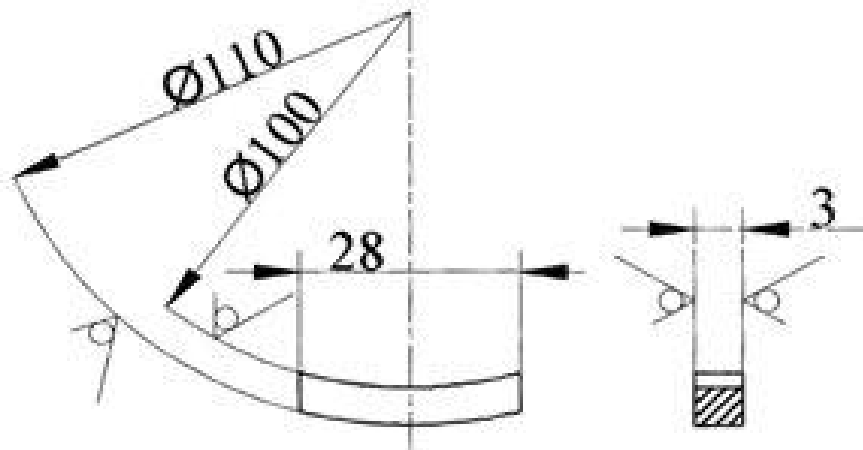


Рисунок 4.3– Зразок-кільце

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ

Арк.

61

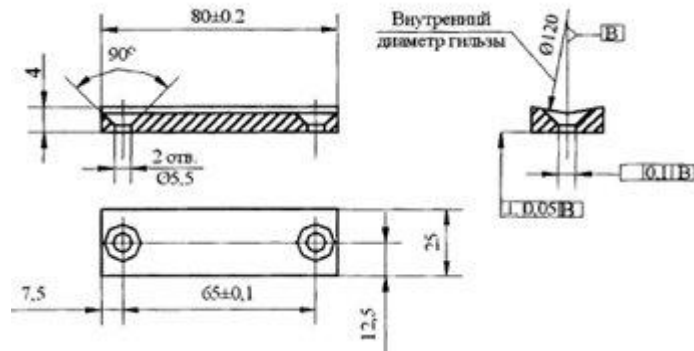


Рисунок 4.4 – Зразок-гільза

Вимірювання сили тертя здійснювали тензометричною системою, у якій вона передається на пружний елемент (балочку) з наклеєними тензодатчиками. Пружну деформацію балочки тензодатчики перетворюють у електричний сигнал прямо пропорційно прикладеній силі. Цей електричний сигнал посилюється підсилювачем "Топаз" і фіксується на шкалі цифрового вольтметра Щ1314 чи записується самописцем. Для обчислення коефіцієнта тертя використовували співвідношення між силою тертя та силою нормального тиску.

Перед експериментами пари тертя припрацьовували на протязі семи годин навантаженням 2–5 МПа. Дослідження виконували у ванночках з випробовуваними оливами при повному зануренні робочих поверхонь в мастильні матеріали. Після завершення припрацювання і роботи при кожному тиску зразки вилучали, очищали бензином та просушували. Використовуючи світловий мікроскоп на зразках – кільцях вимірювали довжину та ширину площі контакту, яка утворилася в результаті тертя.

Для отримання порівняльних триботехнічних характеристик мастильних матеріалів пари тертя досліджували при поступово підвищених тисках: з 10 до 60 МПа через 5 МПа, а з 60 до 140 МПа через 10 МПа. Це виконувалось протягом 3,5 годин на кожному з них. Визначення гранично допустимих тисків для кожного випробовуваного мастила здійснювали за ознаками підвищення коефіцієнта тертя, інтенсивності зносу чи виникнення вібрацій та скрипів. Досліджувані зразки вирізали з матеріалу реальних деталей. У якості критерія зносостійкості було прийнято інтенсивність зношування:

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

$$(4.3) \quad I = \frac{h}{L}$$

де:  $h$  – величина зношування шару за шлях тертя  $L$ .

#### 4.3 Методи вивчення захисних металовмісних плівок на поверхнях тертя

Одним із головних чинників, що впливають на експлуатаційні характеристики трибосполучень машин і обладнання, є фізико-хімічний стан зони тертя рухомих з'єднань. Під час тертя поверхонь, що складаються з виступів та западин, на виступах цих мікронерівностей виникають напруження. Взаємодія мікровиступів призводить до їх інтенсивного руйнування, а також викликає пластичну деформацію тонкого поверхневого шару.

У процесі тертя на контактуючих поверхнях спостерігається формування нових поверхневих мікронерівностей, які відрізняються від попередніх. Поверхнево-активні компоненти мастильного матеріалу взаємодіють з металом, утворюючи захисні плівки. Додавання до мастила антифрикційних металів сприяє формуванню на поверхнях тертя металовмісних шарів; ці шари заповнюють мікронерівності поверхні та покращують її мікрогеометричні характеристики.

У цій роботі досліджено вплив мастильних матеріалів на характеристики мікрогеометрії зони тертя зразків за допомогою профілографа-профілометра заводу «Калібр» та приладу «Тейлоронд».

Після обробки різанням, точінням або шліфуванням на поверхні деталей залишаються нерівності у вигляді слідів ріжучих кромek інструмента. Ці нерівності видно при детальному аналізі поверхні за допомогою профілографа-профілометра 201 при вертикальному збільшенні до 2000.

Прилад «Тейлоронд» – високоточний вимірювальний пристрій для визначення форми та хвилястості. Його використовують у метрології для контролю якості підшипникових куль.

Визначення шорсткості встановлює ДСТУ 2413-94, параметри та

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

характеристики – ГОСТ 2189-82.

Висота шорсткості є показником чистоти поверхні: чим менша величина, тим вища якість обробки. Залишкова шорсткість перешкоджає щільному приляганням деталей у з'єднаннях. Фактичний контакт відбувається по вершинах мікровиступів, а кількість таких точок визначає величину контактної поверхні, яка завжди менша за номінальну. Після тонкого шліфування дійсна площа контакту виявляється у 2–3 рази меншою за номінальну; при стандартній обробці різцем – менше 20 % номінальної.

Величина шорсткості впливає на зношування деталей машин, енерговитрати для подолання сил тертя, міцність натягнутих з'єднань, корозійну стійкість та загальну міцність деталей.

Геометричні параметри якості поверхні за зменшенням абсолютних значень поділяються на:

- відхилення форми (макрогеометрія);
- хвилястість;
- шорсткість (мікрогеометрія);
- субмікрошорсткість.

Іноді хвилястість може перевищувати похибку форми, а шорсткість – хвилястість. На практиці хвилястість займає проміжне положення між шорсткістю та геометричними відхиленнями форми поверхні. Критерієм їх розмежування вважають співвідношення кроку  $S$  до висоти нерівностей  $R$ : шорсткість (мікронерівності) –  $S/R < 50$ , відхилення форми (макронерівності) –  $S/R > 1000$ , хвилястість –  $S/R = 50–1000$ .

Одним із основних напрямів досліджень у машинобудуванні та приладобудуванні є вивчення залежності експлуатаційних властивостей деталей від параметрів їх поверхні.

Макронерівності, хвилястість, мікронерівності та орієнтація слідів обробки істотно впливають на тертя та зношування деталей двигунів внутрішнього згоряння. Під час початкового переміщення контактуючих плоских або циліндричних поверхонь із мікронерівностями відбувається зрізання, ламання та

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

пластичне зміщення вершин нерівностей, оскільки контакт здійснюється лише по цих вершинах.

Зношування тертьових поверхонь за часом експлуатації розділяють на такі етапи:

- початкове зношування – припрацювання;
- врівноваження шорсткості;
- критичне зношування.

Доречно зауважити, що при правильному режимі змащування зношування відбувається повільно. Цей період часу визначає термін служби деталі.

Під шорсткістю поверхні розуміють комплекс нерівностей із порівняно малими кроками, оцінюваних на певній базовій довжині. Базова довжина — це довжина базової лінії, призначеної для визначення нерівностей, що описують шорсткість поверхні (рисунок 4.5) [24].

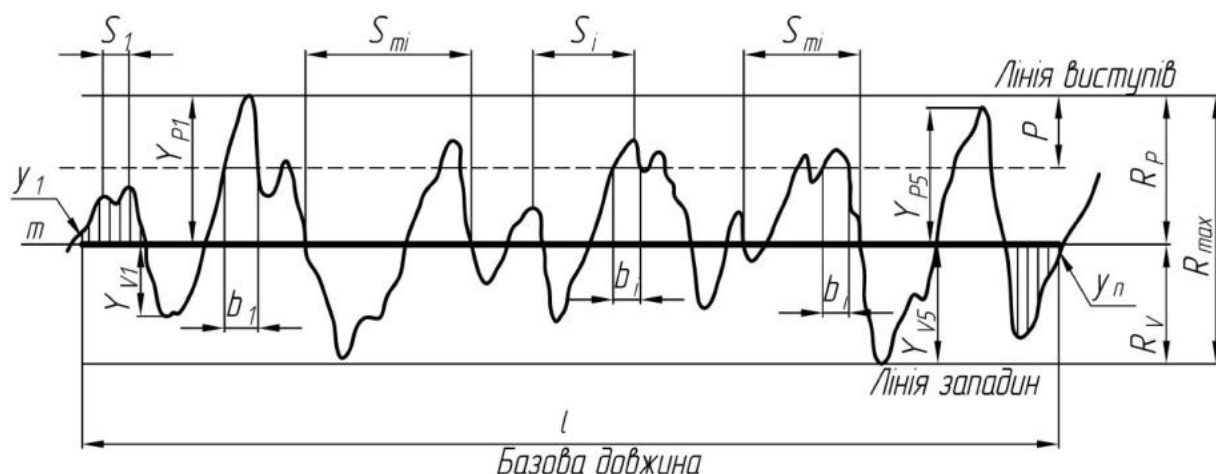


Рисунок 4.5 – Нормальний профіль та параметри шорсткості поверхні

Крок нерівностей визначається як відрізок середньої лінії профілю, що обмежує нерівність, тобто включає виступ профілю та прилеглу западину. Кількісна оцінка шорсткості поверхні проводиться відносно середньої лінії профілю (СЛП) — базової лінії, що має форму номінального профілю і прокладена так, щоб середнє квадратичне відхилення профілю від цієї лінії на базовій довжині було мінімальним.

Параметри шорсткості поділяють на три групи:

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

- висотні ( $R_z, R_a, R_{max}$ ), які вказують на висотні нерівності;
- крокові ( $S_m, S$ ), що пов'язані з нерівностями по довжині профілю;
- опорні ( $t_p$ ), які вказують на нерівності профілю форми.

Параметри, що характеризують висотні характеристики нерівностей.

Висота нерівностей ( $R_z$ ) за десяти точками визначається як сума середніх абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів і глибин п'яти найбільших западин профілю у межах базової довжини:

$$(4.4) \quad R_z = \frac{\overset{\circ}{a} \sum_{i=0}^5 |y_{pi}| + \overset{\circ}{a} \sum_{i=1}^5 |y_{vi}|}{5},$$

де  $y_{pi}$  ( $y_{vi}$ ) – висота ( або глибина) і-го найбільшого виступу ( чи западини) профілю, зумовлена відстанню від середньої лінії профілю до вищої ( або нижчої) точки виступу ( чи западини).

Параметр  $R_a$  показує середнє значення всіх відхилень профілю від середньої лінії в межах базової довжини. Найбільшою висотою нерівностей профілю  $R_{max}$  вважають відстань між лінією виступів та лінією западин профілю у межах базової довжини. Вона дорівнює сумі найбільшої глибини западини  $R_v$  (мається на увазі відстань від нижчої точки профілю до середньої лінії) та найбільшого виступу  $R_p$  (це відстань від верхньої точки профілю до середньої лінії):

$$R_{max} = R_p + R_v \quad (4.5)$$

Параметри, що характеризують властивості нерівностей в напрямку довжини профілю.

Із цих параметрів можна виділити середній крок нерівностей профілю  $S_m$  і це буде середнє значення кроку нерівностей профілю у межах базової довжини:

$$(4.6) \quad S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi},$$

де  $S_{mi}$  – і-ий крок нерівностей – відрізок середньої

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

лінії профілю, що містить нерівність профілю;  $n$  – число кроків нерівностей профілю.

Також характеризує нерівності в напрямку довжини профілю середній крок місцевих виступів профілю  $S$ . Середній крок – це середнє значення кроків місцевих виступів профілю, що перебувають у межах базової довжини:

$$(4.7) \quad S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i,$$

де  $S_i$  –  $i$ -ий крок місцевих виступів профілю, тобто відрізок середньої лінії між проекціями найвищих сусідніх точок місцевих виступів профілю.

Параметр, що характеризує форму нерівностей профілю.

Таким параметром вважають відносну опорну довжину профілю  $t_p$  і це відношення опорної довжини профілю до базової:

$$(4.8) \quad t_p = \frac{h_p}{l},$$

де  $h_p$  – опорна довжина профілю, що являє собою суму довжин відрізків  $b_i$ , які відрізаються на заданному рівні у матеріалі профілю:

$$(4.9) \quad h_p = \sum_{i=1}^n b_i$$

Шорсткість поверхні визначають і нормують за одним або кількома із наведених параметрів, а також за співвідношенням їхніх значень  $R_z$ ,  $R_a$ ,  $R_{max}$  та базової довжини  $l$ , які вибирають з таблиці.

Вимірювання усіх параметрів шорсткості регламентує ДСТУ 2409-94.

Взагалі шорсткість поверхні відіграє надзвичайно велику роль в рухливих з'єднаннях, а також має великий вплив на тертя та знос тертьових поверхонь двигуна внутрішнього згорання. За недостатньої гладкості тертьових поверхонь контакт між ними відбувається лише в окремих точках при високому тиску. При цьому, мастило витискається, що особливо критично для трибосполучень ДВЗ, де недопустимі значні зазори. Шорсткість поверхні визначається якістю її обробки та

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

впливає на міцність і довговічність деталей, особливо за умов змінних навантажень. Чим вища чистота обробки, тим менша ймовірність утворення втомних тріщин. Перехід від параметра  $R_z$  до параметра  $R_a$  відбувається за співвідношеннями:

$$R_a \gg 0.25R_z, \quad (4.10)$$

якщо  $R_z \geq 8$  мкм;

$$R_a \gg 0.20R_z, \quad (4.11)$$

якщо  $R_z < 8$  мкм.

Одержану величину параметра  $R_a$  закругляють до найближчого числа з порядку стандартних значень.

Круглограма наочно демонструє відхилення форми та мікрогеометрії кулі, що є критичним для забезпечення точності та надійності трибосполучень і точних механізмів.

Прилад «Taylorond» використовується для вимірювання параметрів мікрогеометрії поверхні, зокрема відхилення від круглої форми, хвилястості та шорсткості. Цей прилад забезпечує отримання числових характеристик, які дозволяють оцінити якість обробки сталеві кулі (наприклад, зі сталі ШХ15).

«Taylorond» (Taylor Hobson Talyond) – це високоточний профілограф-контурограф, який застосовується для вимірювання форми та мікрогеометрії поверхні. Параметри, що визначаються цим приладом:

– відхилення від круглої форми або гранитовість, тобто визначення максимального відхилення поверхні від ідеальної окружності (типове значення для високоточних підшипникових куль  $\leq 0,05$  мкм);

– хвилястість, що відображає періодичні макронерівності на поверхні деталі (залежно від технології обробки для високоточних деталей  $\leq 0,1$  мкм);

– шорсткість –  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$ ;

– додатково можуть визначатися параметри: середній крок нерівностей та опорна довжина профілю;

– параметри опорної площі;

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– розподіл висот нерівностей поверхні, ступінь зношування та розподіл висот нерівностей.

Отже, прилад «Taylorond» забезпечує повний аналіз шорсткості, хвилястості та відхилень від круглої форми. Для високоточних сталевих куль (ШХ15) характерні значення:  $Ra \leq 0,02$  мкм,  $RONt \leq 0,05$  мкм,  $Wt \leq 0,1$  мкм. Ці параметри визначають якість куль і їх придатність для високоточних підшипникових вузлів.

Обробка результатів експериментів виконувалася методами математичної статистики, теорії ймовірностей та планування експериментів.

## 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ ТРИБОСПОЛУЧЕНЬ У МОТОРНИХ ОЛИВАХ

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5.1 Вплив питомого навантаження на процеси тертя і зношування металевих пар у мастильних матеріалах

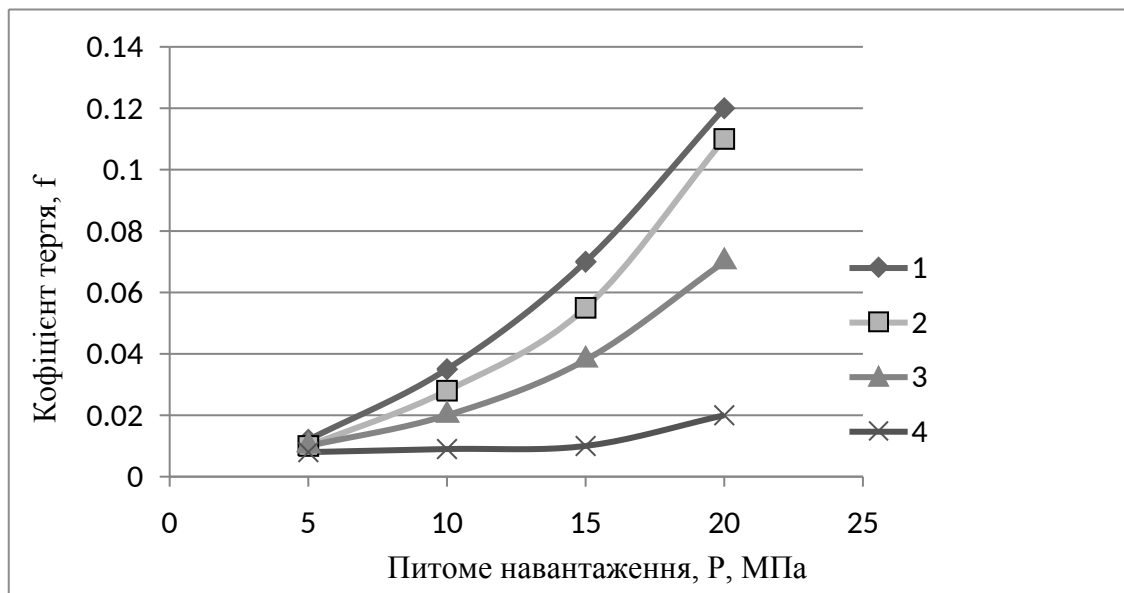
При роботі трибологічних сполучень швидкісний навантажувальний режим чинить досить великий вплив на інтенсивність та характер протікання механічних і фізико-хімічних процесів у контактуючій зоні. В зв'язку з порушенням неперервності контакту головним параметром умов тертя та зношення рухомих сполучень вважають питомий тиск. Підвищення питомого тиску приводить до росту глибини поверхневого шару матеріалу, який безпосередньо приймає участь в процесі тертя, а це має найважливіший вплив на триботехнічні характеристики трибосполучень.

Взагалі вплив моторних мастил на тертя та зношування пари алюмінієвий сплав-сталь питомого навантаження досліджували на шляху тертя 2000 м, при швидкості ковзання 1 м/с та в діапазоні 5–20 МПа. У якості об'єктів експериментів були взяті наступні мастильні оливи: моторну оливу M14B2; моторну оливу M14B2 з присадкою мідьвмісною "Валена", яку, згідно рекомендацій, вводили в об'ємі 0,1 % від загального; моторну оливу "Shell Helix Super", а також оливу моторну M14B2 з олововмісною мастильною композицією.

Згідно рекомендацій оптимальний вміст олововмісної мастильної композиції у моторній оливі M14B2 становить 2–4 % від об'єму. В наших дослідженнях олововмісну мастильну композицію добавляли до моторної оливи у кількості 2,5 % від загального об'єму.

На рисунку 5.1 наведені дані впливу питомого навантаження на коефіцієнт тертя пари алюмінієвий сплав (АО20-1,  $R_a = 0,30$  мкм) – (сталь 40ХН,  $R_a = 0,60$  мкм, HRC 55) в моторних мастилах. Потрібно підкреслити те, що при питомому навантаженні 5 МПа та швидкості ковзання 1 м/с на відстані тертя 2000 м в усіх досліджених мастильних оливах коефіцієнт тертя має значення близьке 0,01.

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 – олива моторна M14B2; 2 – олива моторна M14B2+0,1% мідьвмісної присадки; 3 – олива Shell Helix Super; 4 – олива моторна M14B2 + 2,5 % мастильної композиції, що містить олово

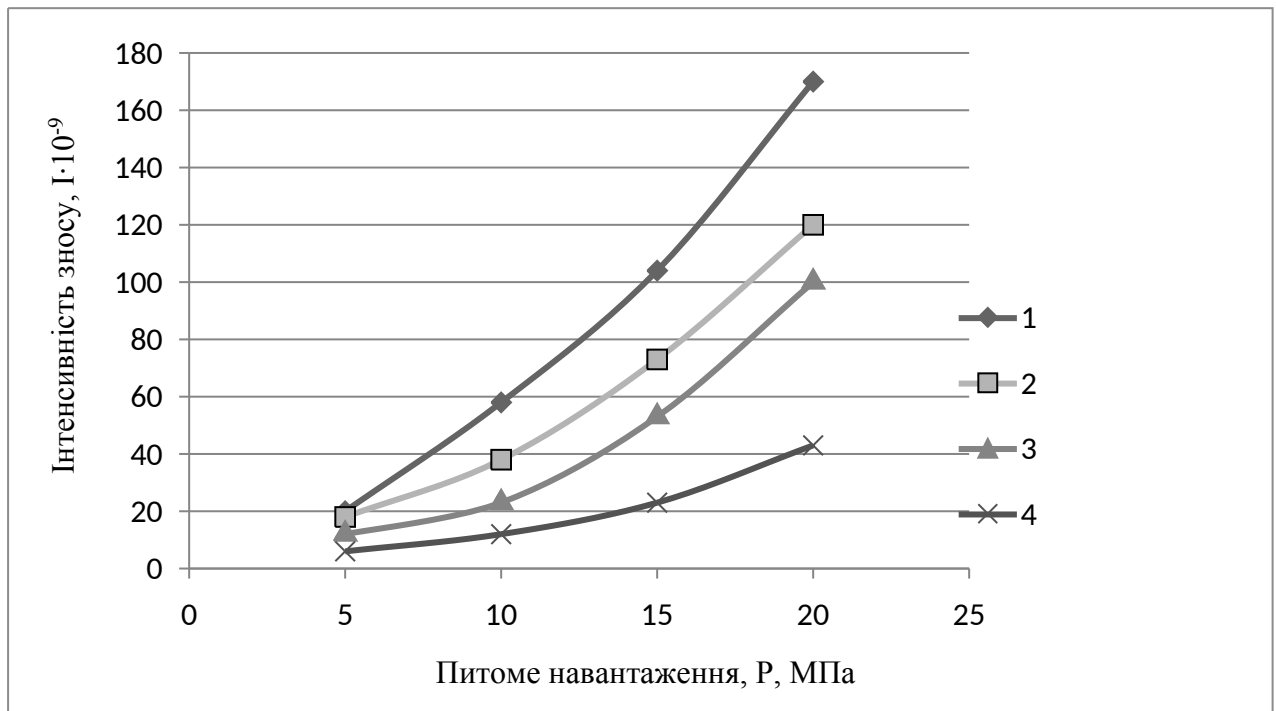
Рисунок 5.1 – Залежність коефіцієнта тертя від питомого навантаження пари алюмінієвий сплав-сталь у моторних оливах

В процесі роботи пари колодка-ролик в оливі моторній M14B2 при підвищенні питомого навантаження від 5 до 20 МПа відбувається збільшення коефіцієнта тертя. За питомого навантаження 10 МПа коефіцієнт тертя пари «алюмінієвий сплав – сталь» становив 0,04, тоді як при збільшенні навантаження до 20 МПа його значення зросло утричі. Наведені дані свідчать, що введення до моторної оливи M14B2 0,1 % мідьвмісної присадки дозволяє зменшити коефіцієнт тертя пари «алюмінієвий сплав – сталь» у 1,3–1,4 раза в діапазоні питомих навантажень 10–20 МПа відносно базової оливи. Коефіцієнт тертя пари «колодка – ролик», що працювала в моторному мастилі Shell Helix Super, в діапазоні навантажень питомих 10–20 МПа виявився нижчим, а ніж значення, зафіксовані під час роботи зразків як у базовій оливі, так і в оливі з мідьвмісною присадкою.

В процесі зношування пари алюмінієвий сплав-сталь в оливі моторній M14B2 з 2,5 % олововмісною мастильною композицією у діапазоні питомих

навантажень 5–15 МПа значення коефіцієнта тертя 0,009. У випадку підвищення питомого навантаження до 20 МПа фіксуємо збільшення коефіцієнта тертя до 0,02.

Практичні результати досліджень інтенсивності зношування пари алюмінієвий сплав-сталь у моторних оливах наведено на рисунку 5.2.



1 – олива моторна M14B2; 2 – олива моторна M14B2+0,1% мідьвмісної присадки; 3 – олива Shell Helix Super; 4 – олива моторна M14B2 + 2,5 % мастильної композиції, що містить олово

Рисунок 5.2 – Залежність інтенсивності зносу від питомого навантаження пари алюмінієвий сплав-сталь у мастильних матеріалах

Аналізуючи одержані дані, можна зробити висновок про те, що підвищення питомого навантаження від 5 до 20 МПа в усіх проведених дослідженнях мастильних оливах, веде до збільшення інтенсивності зносу пари колодка-ролик. Проведені експерименти підтвердили, що найбільша інтенсивність зносу у пари алюмінієвий сплав-сталь, яка працювала у моторній оливі M14B2.

Введення мідьвмісної присадки до моторної оливи забезпечує зменшення інтенсивності спрацьовування пари «колодка – ролик» щонайменше у 1,4 раза в

дослідженому діапазоні питомих навантажень.

Використання оливи Shell Helix Super забезпечує нижчі значення інтенсивності зношування пари «алюмінієвий сплав – сталь», ніж у випадку пари «колодка – ролик» у базовій оливі M14B2 та оливі з мідьвмісною присадкою.

З даних, висвітлених на рисунку 5.2 видно, що введення в моторне мастило олововмісної композиції веде до підвищення зносостійкості пари алюмінієвий сплав-сталь. Також інтенсивність зносу пари колодка-ролик в моторній оливі M14B2 з 2,5 % олововмісної композиції у діапазоні питомих навантажень 5–20 МПа буде нижча, а ніж у інших мастильних матеріалах.

## 5.2 Зміна триботехнічних характеристик металевих пар від швидкості ковзання

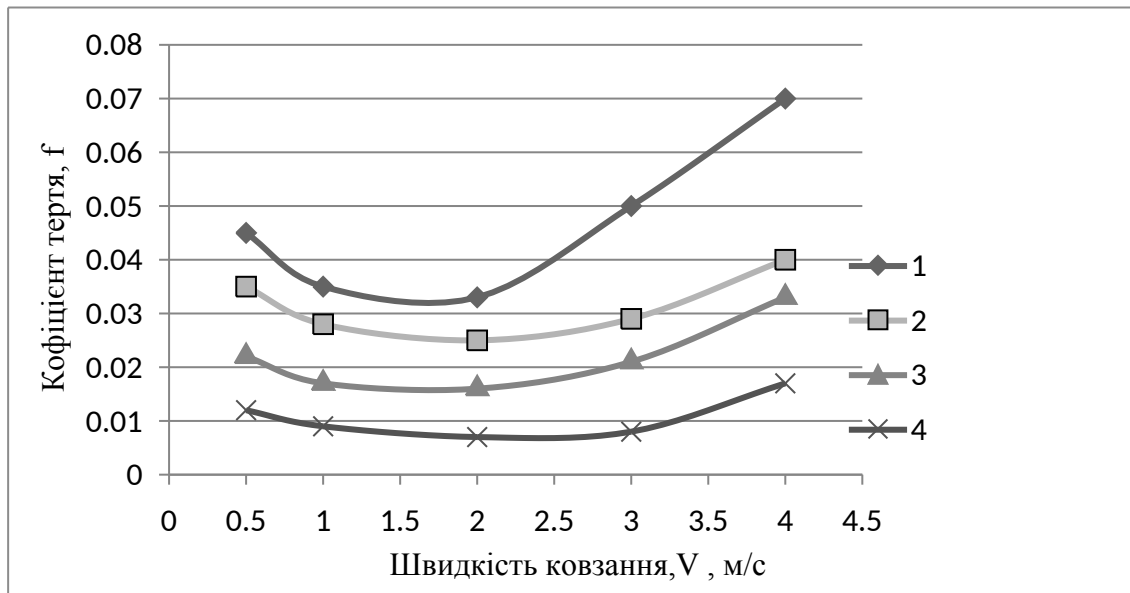
В даній роботі проведено дослідження впливу швидкості ковзання на інтенсивність зносу та коефіцієнт тертя пари алюмінієвий сплав-сталь за питомого навантаження 10 МПа. Ці залежності в усіх досліджених мастильних матеріалах можна охарактеризувати трьома зонами:

- зона зменшення інтенсивності зносу та коефіцієнта тертя;
- зона, у якій характеристики триботехнічні пари майже не змінюються;
- зона підвищення величин коефіцієнта тертя і інтенсивності зносу при підвищенні швидкості ковзання з 2 до 3 м/с.

На рисунку 5.3 приведені дані впливу швидкості ковзання на коефіцієнт тертя пари алюмінієвий сплав АО20-1, ( $R_a = 0,30$  мкм) – сталь 40ХН, ( $R_a = 0,60$  мкм, HRC 55) в моторних мастилах.

У випадку роботи пари колодка–ролик у моторному мастилі M14B2 збільшення швидкості ковзання від 0,5 до 4,0 м/с приводить до суттєвого підвищення коефіцієнта тертя. І коли при швидкості ковзання 0,5 м/с коефіцієнт тертя пари алюмінієвий сплав-сталь має величину 0,045, то при швидкості ковзання 4 м/с величина його зросла в 1,5 разів.

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 – олива моторна M14B2; 2 – олива моторна M14B2+0,1% мідьвмісної присадки; 3 – олива Shell Helix Super; 4 – олива моторна M14B2 + 2,5 % мастильної композиції, що містить олово

Рисунок 5.3 – Залежність коефіцієнта тертя від швидкості ковзання пари тертя алюмінієвий сплав-сталь у моторних мастилах

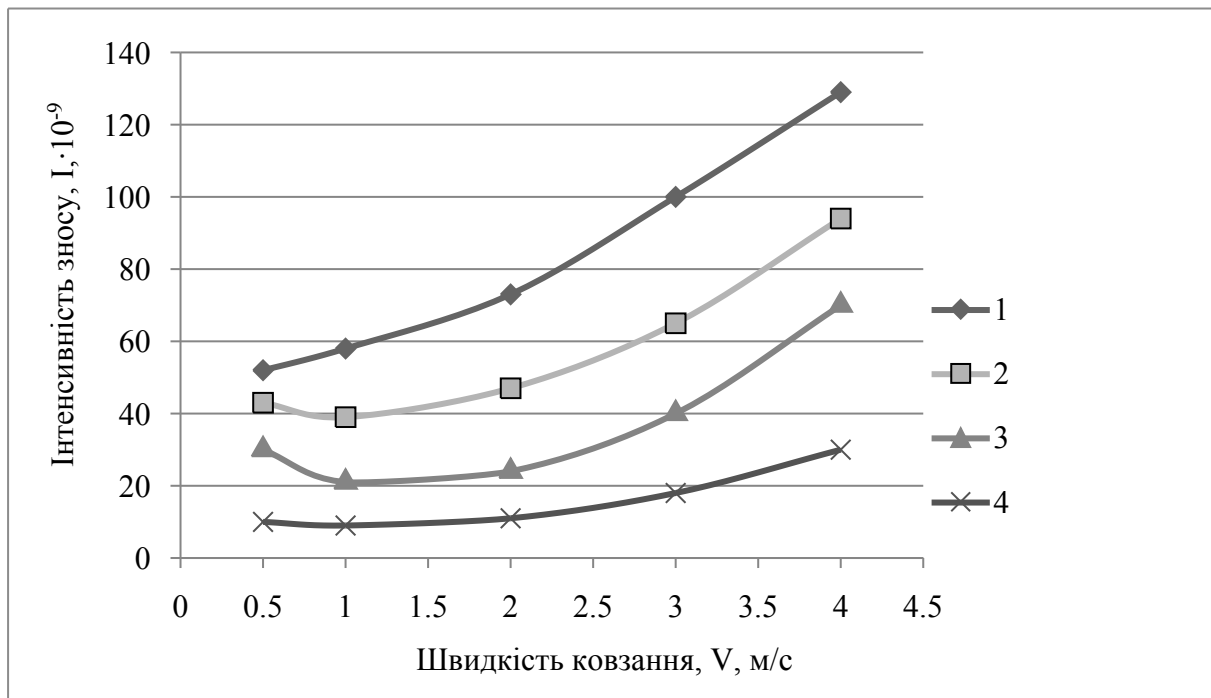
З даних можна зробити висновок, що введення у моторне мастило M14B2 0,1 % мідьвмісної присадки приводить до зниження коефіцієнта тертя пари алюмінієвий сплав-сталь у 1,5 – 1,6 рази при діапазоні швидкостей ковзання 0,5 – 4 м/с, порівнюючи з роботою даного вузла тертя у базовому моторному мастилі. А коефіцієнт тертя пари колодка– ролик, яка працювала у моторному мастилі "Shell Helix Super" при діапазоні швидкостей ковзання 0,5–4 м/с, показує менші значення, порівняно з величинами, одержаними при спрацьовуванні зразків як у базовому моторному мастилі, так і в мастилі з мідьвмісною присадкою.

При зношуванні пари алюмінієвий сплав-сталь у моторному мастилі M14B2 з 2,5 % олововмісної композиції у діапазоні швидкостей ковзання 0,5–3 м/с коефіцієнт тертя відповідає величині 0,009, а далі при 4 м/с підвищується до значення 0,017. Одержані результати експериментальних досліджень інтенсивності зносу пари алюмінієвий сплав-сталь у моторних мастилах зображено на рисунку

#### 5.4.

Аналіз даних свідчить, що збільшення швидкості ковзання від 0,5 до 4 м/с у досліджених мастильних оливах, приводить до підвищення інтенсивності зносу пари колодка-ролик. Проведені експериментальні дослідження показали, що найвища інтенсивністю зношення характерна пари алюмінієвий сплав-сталь, яка працювала у базовій моторній оливі M14B2. Саме наявність у моторній оливі мідьвмісної присадки приводить до зниження інтенсивності зношування пари колодка-ролик в 2 рази у дослідженому діапазоні змін питомих навантажень.

Інтенсивність зносу пари алюмінієвий сплав-сталь у моторному мастилі "Shell Helix Super" показує нижчі значення у порівнянні з даними, одержаними при роботі пари колодка-ролик в базовому моторному мастилі M14B2 та в мастилі з мідьвмісною присадкою.



1 – олива моторна M14B2; 2 – олива моторна M14B2+0,1% мідьвмісної присадки; 3 – олива Shell Helix Super; 4 – олива моторна M14B2 + 2,5 % мастильної композиції, що містить олово

Рисунок 5.4 –Залежність інтенсивності зносу від швидкості ковзання пари алюмінієвий сплав-сталь у моторних оливах

На основі даних, наведених на рисунку 5.4, можна зробити висновок, що додавання в моторне мастило олововмісної композиції підвищує зносостійкість пари алюмінієвий сплав-сталь. Інтенсивність зносу пари колодка-ролик в моторній оливі М14В2 з введеною 2,5 % олововмісною композицією при діапазоні швидкостей ковзання 0,5÷4 м/с значно нижча, а ніж у інших мастильних матеріалах.

### 5.3 Вплив в'язкості мастильного матеріалу на триботехнічні характеристики рухомих сполучень

Дослідження впливу в'язкості мастильних олив на процеси тертя та інтенсивність зносу пари шийка валу-вкладиш виконували на машині тертя СМЦ-2 по схемі колодка-ролик. У якості мастильних матеріалів застосовували вакуумні оливи ВМ-1, ВМ-3, ВМ-4, ВМ-6, які мають кінематичну в'язкість при 50°C відповідно 70, 10, 52, і 40 мм<sup>2</sup>/с.

На рисунку 5.5 приведені дані впливу в'язкості мастильних олив на коефіцієнт тертя пари алюмінієвий сплав (АО20-1, Ra=0,30 мкм)-сталь (40:ХН, Ra = 0,60 мкм, HRC 55) в моторних оливах. Дослідження виконували на шляху тертя 2000м при питомому навантаженні 8 МПа та швидкості ковзання 1м/с.

В'язкість базової мастильної оливи має великий вплив на триботехнічні характеристики пари алюмінієвий сплав-сталь.

В процесі зношування пари колодка-ролик у вакуумному мастильному матеріалі ВМ-3 коефіцієнт тертя становить 0,045, а при зношенні в даній мастильній олії з добавкою 2,5 % олововмісної композиції коефіцієнт тертя має величину 0,013. При цьому кінематична в'язкість мастильного матеріалу ВМ-3 при 50°C становить 10 мм<sup>2</sup>/с. Підвищення в'язкості вакуумного мастильного матеріалу від 10 до 70 мм<sup>2</sup>/с приводить до значного зниження коефіцієнта тертя.

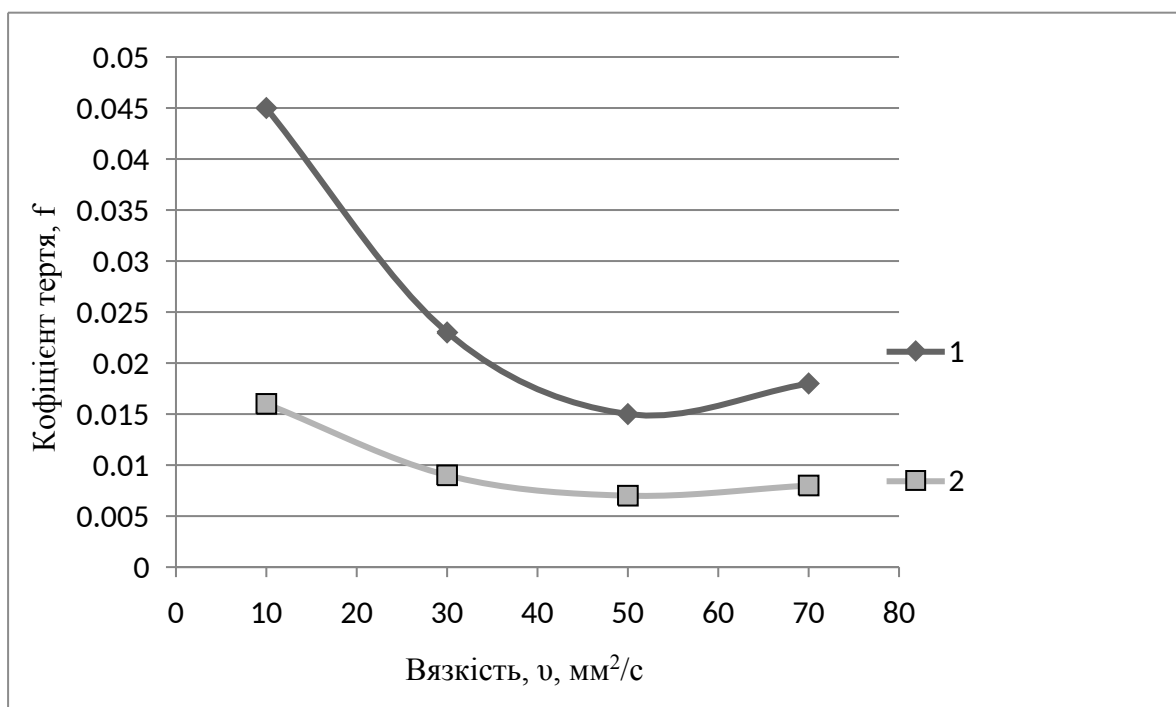
Приведені дані вказують на те, що додавання до вакуумної мастильної оливи 2,5% олововмісної композиції передбачає зниження коефіцієнта тертя пари алюмінієвий сплав-сталь в діапазоні в'язкості від 0,013 до 0,009.

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результати експериментів інтенсивності зношення пари алюмінієвий сплав-сталь у вакуумних мастильних матеріалах різної в'язкості видно на рисунку 5.5.

Аналіз одержаних даних підтверджує те, що підвищення в'язкості мастильної оливи від 10 до 70 мм<sup>2</sup>/с в досліджених усіх вакуумних мастильних матеріалах веде до зменшення інтенсивності зносу пари колодка-ролик. Виконані експериментальні дослідження показали, що найвищу інтенсивність зношування мала пара алюмінієвий сплав-сталь, яка працювала у базовій вакуумній моторній оливі.

З даних рисунку 5.5 видно, що додавання до вакуумної мастильної оливи олововмісної композиції підвищує зносостійкість пари алюмінієвий сплав-сталь.



1 – масло вакуумне; 2 – оля вакуумна+2,5% олововмісної мастильної композиції

Рисунок 5.5 – Залежність коефіцієнта тертя від в'язкості мастильного матеріалу пари тертя алюмінієвий сплав-сталь

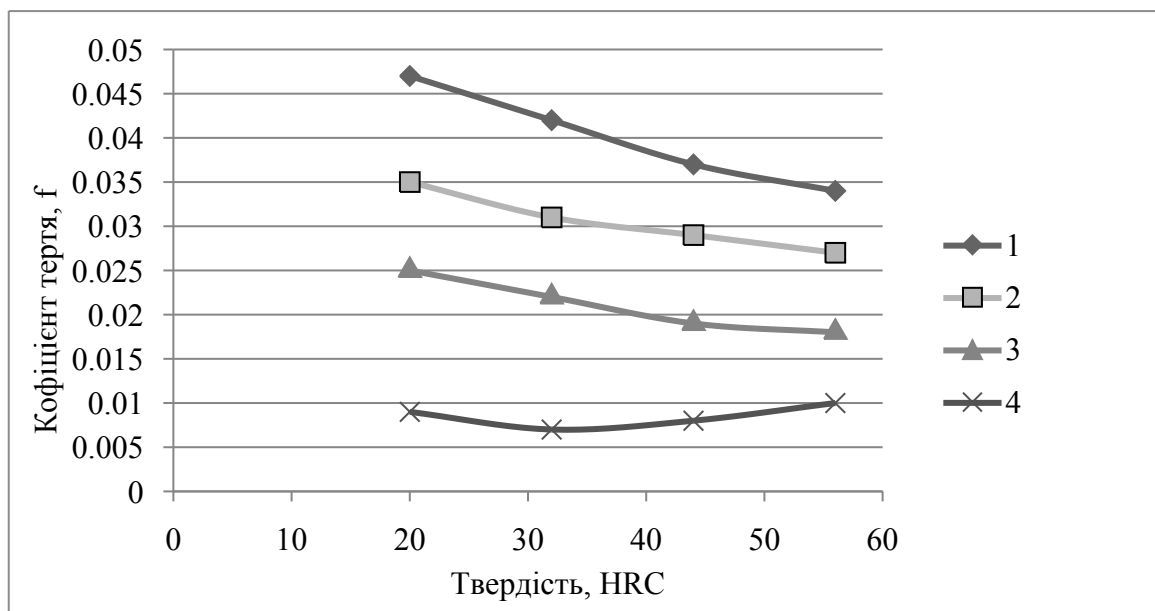
Інтенсивність зносу пари колодка-ролик у вакуумній мастильній оливі з додаванням 2,5 % олововмісної композиції у діапазоні в'язкостей, що досліджувались, у значній мірі нижча, чим в базовій вакуумній оливі.

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

#### 5.4 Вплив твердості сталевго зразка на процеси тертя і зношування пари алюмінієвий сплав-сталь у моторних оливах

Дослідження, які стосуються визначення впливу твердості сталевго зразка на процеси зношування та тертя пари шийка валу-вкладиш, були здійснені на машині тертя СМЦ-2 за схемою колодка-ролик. Діапазони твердості ролика мали значеннями 20, 32, 44, 56 HRC.

На рисунку 5.6 приведені величини впливу твердості сталевго зразка на коефіцієнт тертя пари алюмінієвий сплав АО20-1 ( $R_a = 0,30$  мкм) – сталь 40ХН ( $R_a = 0,60$  мкм) в моторних мастилах. Дослідження виконували на шляху тертя 2000 м при питомому навантаженні 10 МПа та швидкості ковзання 1 м/с.



1 – олива моторна M14B2; 2 – олива моторна M14B2+0,1 % мідьвмісної присадки; 3 – олива Shell Helix Super; 4 – олива моторна M14B2 + 2,5 % мастильної композиції, що містить олово

Рисунок 5.6 – Залежність коефіцієнта тертя від твердості сталевго зразка пари алюмінієвий сплав-сталь у мастильних оливах

При роботі пари колодка – ролик у моторному мастилі M14B2 збільшення твердості сталевго зразка від 20 до 56 HRC приводить до зниження коефіцієнта

тертя. У випадку твердості сталевго зразка 20 HRC коефіцієнт тертя пари алюмінієвий сплав – сталь набуває значення 0,048, а при твердості сталевго зразка 56 HRC величина його знижується до значення 0,034.

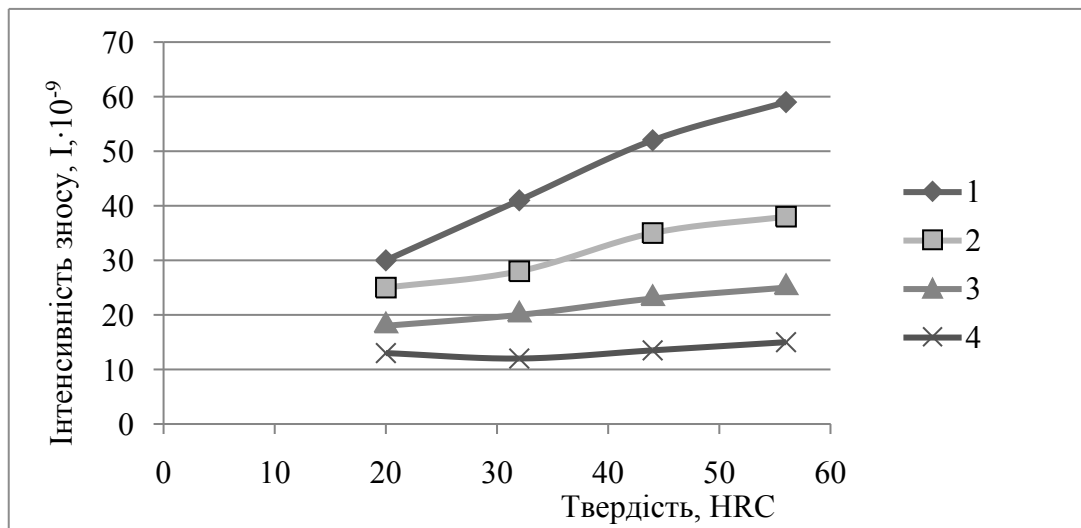
З приведених даних можна зробити висновок, що введення у моторне мастило M14B2 0,1 % мідьвмісної присадки веде до зниження коефіцієнта тертя пари алюмінієвий сплав – сталь від величини 0,035 до 0,028 в діапазоні твердості сталевго зразка 20–56 HRC у порівнянні з роботою даного вузла тертя у базовому моторному мастилі. У моторній оливі "Shell Helix Super" коефіцієнт тертя пари колодка – ролик у діапазоні твердості сталевго зразка 20–55 HRC виявився нижчим, ніж під час випробувань у базовій моторній оливі та оливі з мідьвмісною присадкою. При роботі пари алюмінієвий сплав – сталь у середовищі моторної оливи M14B2 з 2,5 % олововмісної присадки значення коефіцієнта тертя в діапазоні твердості сталі 20–56 HRC становить 0,009.

Результати експериментальних досліджень інтенсивності зносу пари алюмінієвий сплав – сталь у моторних мастилах представлені на рисунку 5.7. Аналізуючи ці результати можна константувати про те, що підвищення твердості сталевго зразка від 20 до 56 HRC при усіх досліджених мастильних моторних оливах приводить до підвищення інтенсивності зношення пари колодка – ролик.

Проведені експерименти показали, що найвища інтенсивністю зношування характерна парі алюмінієвий сплав-сталь, яка працювала у базовому моторному мастилі M14B2. Наявність у моторному мастилі мідьвмісної присадки приводить до зниження інтенсивності зношування пари колодка-ролик до 1,5 у діапазоні твердості сталевго зразка. У моторній оливі "Shell Helix Super" інтенсивність зносу пари алюмінієвий сплав – сталь виявилася меншою порівняно зі значеннями, зафіксованими для пари колодка – ролик у базовому моторному мастилі M14B2 та мастилі з мідьвмісною присадкою.

Аналізуючи дані, представлені на рисунку 5.7 можна підтвердити, що введення у моторне мастило олововмісної композиції сприяє підвищенню зносостійкості пари алюмінієвий сплав-сталь.

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1 – олива моторна M14B2; 2 – олива моторна M14B2+0,1% мідьвмісної присадки; 3 – олива Shell Helix Super; 4 – олива моторна M14B2 + 2,5 % мастильної композиції, що містить олово

Рисунок 5.7 – Залежність інтенсивності зношування пари алюмінієвий сплав – сталь від твердості сталевого зразка в моторних мастилах

Застосування моторної оливи M14B2 з 2,5 % олововмісної композиції забезпечує значне зниження інтенсивності зношування пари колодка – ролик у діапазоні твердості сталі 20–55 HRC порівняно з іншими оливами. Водночас, для пари алюмінієвий сплав – сталь зміна твердості зразка майже не позначається на триботехнічних характеристиках вузла тертя.

### 5.5 Дослідження контактної витривалості тіл кочення в моторних оливах з різними фізико-хімічними властивостями

Зношення штовхачів та кулачків веде до скорочення фази газорозподілу, в результаті цього спостерігаємо зниження потужності і економічних показників двигуна внутрішнього згоряння. Трибосполучення функціонує в умовах високих контактних навантажень, при цьому основним механізмом зношування виступає

втомне руйнування поверхневого шару деталей, що може проявлятися у вигляді піттингу.

Піттингом (від англ. *pitting* – точкове руйнування) вважають вид руйнування металевих поверхонь, для яких характерне утворенням дрібних та глибоких впадин чи виразок. Це дуже негативне явище, так як приводить до серйозного послаблення поверхневого шару матеріалу, навіть у випадку збереження зовнішнього цілісного вигляду.

Під дією циклічного навантаження можлива поява вібраційної кавітації, яка спричиняє локальне руйнування матеріалу. Вібраційні коливання здатні інтенсифікувати розвиток ерозійно-корозійного піттингу, особливо за наявності абразивних частинок у зоні контакту.

Контактний піттинг, відомий також як фретинг-корозія, характерний для поверхонь, що перебувають у мікрорухах через вібраційні навантаження (у вузлах типу болтових з'єднань, підшипників, зубчастих коліс). У подібних випадках проявляється комбінований вплив зношування та корозійних процесів.

Щоб запобігти піттингу потрібно покращити якість мастильного матеріалу чи антикорозійного поверхневого покриття для зниження тертя.

В роботі [23] відображено, що у випадку використання різних сполук і м'яких металів для модифікації поверхні тіл кочення дозволяє отримати довговічний змінений шар на робочій поверхні. Шар, нанесений на поверхню та надійно з'єднаний з основним матеріалом, надає деталям високих антифрикційних і протизносних властивостей. Вивчення впливу мастильних матеріалів на контактну витривалість тіл кочення зазвичай здійснюють на чотирикулькових машинах тертя, що дозволяють проводити випробування в умовах високих контактних напружень.

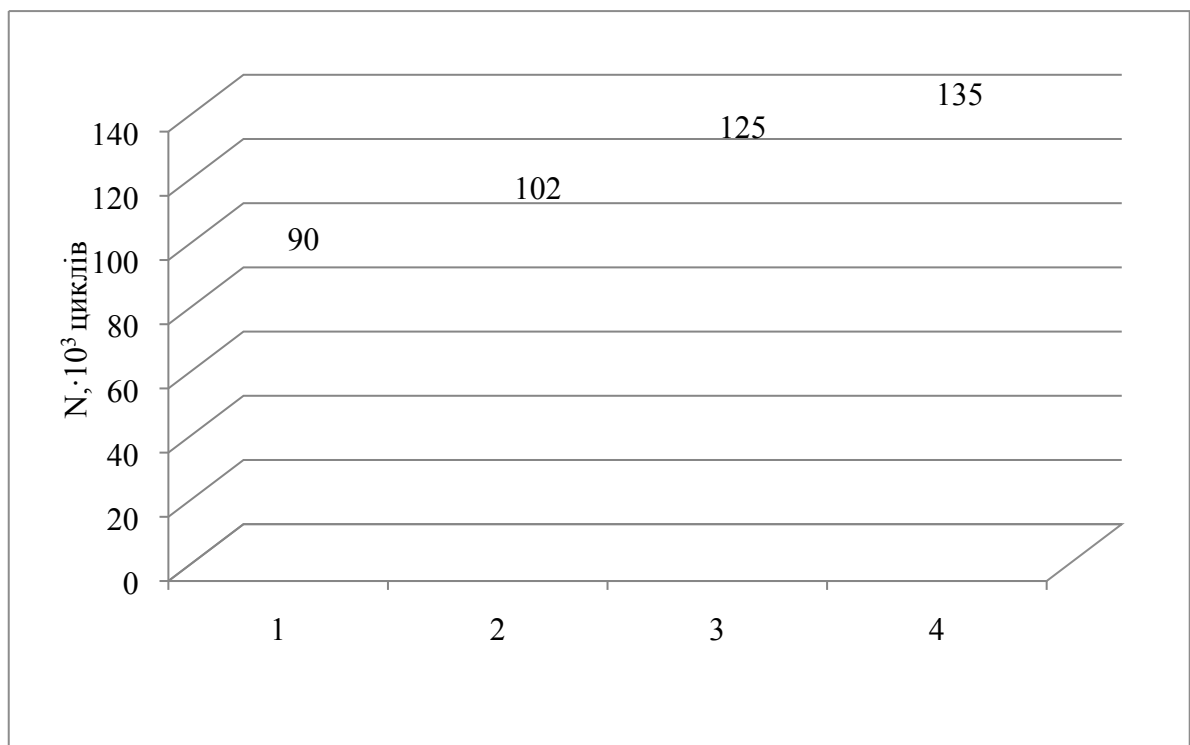
Експериментальні дослідження контактної витривалості тіл кочення у мастильних матеріалах виконували на чотирикульковій машині тертя "Plint". За об'єкт експерименту нами було прийнято оливу моторну M14B2, яку часто застосовують у автомобільних дизельних двигунах, а також моторну оливу "Shell Helix Super", в'язкість якої близька в'язкості мастилу M14B2.

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатково застосовувалася мідьвмісна присадка «Валена» та створена нами олієрозчинна олововмісна змащувальна композиція, основу якої становить сполука олова з додатковими компонентами.

Експериментальні дослідження виконували при навантаженні на шпindelь машини 4000 Н та частоті обертання верхньої кулі  $10 \cdot 10^3$  об/хв. Як критерій оцінки впливу моторних мастил на контактну витривалість куль зі сталі ШХ-15 діаметром 12,7 мм використовували кількість циклів навантаження до появи піттингу на доріжці кочення верхньої кулі. Момент виникнення втомних руйнувань фіксувався світловим табло, після чого машина тертя автоматично вимикалася.

На рисунку 5.8 зображено дані впливу мастильних олів на контактну витривалість тіл кочення.



1 – олива моторна M14B2; 2 – олива моторна M14B2+0,1% мідьвмісної присадки; 3 – олива Shell Helix Super; 4 – олива моторна M14B2 + 2,5 % мастильної композиції, що містить олово

Рисунок 5.8 – Вплив моторних олів на контактну витривалість тіл кочення

Слід відзначити, що серед досліджених у роботі моторних олів найнижчу

контактну витривалість мають тіла кочення, які працювали в моторному мастилі М14В2. Додавання до мастила М14В2 мідьвмісної присадки "Валена" у кількості 0,1 % приводить до підвищення кількості циклів навантажень до появи втомних руйнувань на ділянці доріжки кочення верхньої кулі від  $90 \cdot 10^3$  до  $102 \cdot 10^3$  циклів. Дослідження показали, що моторне мастило "Shell Helix Super" сприяє підвищенню контактної витривалості куль із сталі ШХ-15 у порівнянні з моторним мастилом М14В2 з присадкою "Валена". При цьому кількість циклів навантажень до появи втомних руйнувань мало значення  $125 \cdot 10^3$  циклів.

З показників, відображених на рисунку 3.9 робимо висновок, що додавання у моторне мастило М14В2 2,5 % олововмісної композиції забезпечує ріст контактної витривалості у 1,5 раз в порівнянні з роботою вузла тертя у базовому моторному мастилі М14В2.

Виконані експерименти по впливу швидкості ковзання, в'язкості мастильного матеріалу, питомого навантаження та твердості сталевого зразка на процеси тертя та зношування пари антифрикційний сплав-сталь підтвердили, що додавання до моторного мастила олововмісної композиції веде до суттєвого зниження коефіцієнта тертя та інтенсивності зношування у порівнянні з іншими дослідженими мастильними оливами. Окрім того, присутність у моторному мастилі олововмісної композиції приводить до росту контактної витривалості тіл кочення.

Низькі триботехнічні показники рухомих сполучень у моторному мастилі з олововмісною композицією зумовлені утворенням на поверхнях тертя зносостійкої металовмісної антифрикційної плівки.

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6 ВЗАЄМОДІЯ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ РУХОМИХ СПОЛУЧЕНЬ У МОТОРНИХ ОЛИВАХ

### 6.1 Вплив мастильних матеріалів на зміну мікрогеометрії поверхневого шару пари колодка – ролик

В процесі контактної дії тріади тертя на сумісних поверхнях проходять складні механічні та фізико-хімічні процеси. Взаємодія рухомих деталей визначає фактичну площу дотику, адгезію мастильних олів, жорсткість контакту. Усе це має достатній вплив на процеси тертя та зношування рухомих сполучень. Окрім того, на вид контактної взаємодії значно впливає мікрогеометрія поверхонь тертя.

В процесі ковзання рухомих сполучень спочатку відбувається процес припрацювання, який характерний зміною безпосередньо характеристик мікрогеометрії поверхневих шарів, які перебувають в контакті. В процесі такого припрацювання відбувається зміна фізичних та механічних властивостей поверхневих шарів, так як у зоні тертя переважають пластичні деформації.

Значний вплив на роботу трибосполучень має шорсткість поверхневого шару. При чому, поверхні з високою початковою шорсткістю на протязі незначного періоду припрацювання трішки вигладжуються та отримують так звану експлуатаційну рівноважну шорсткість.

У період роботи поверхні з найменшою початковою шорсткістю поступово збільшують її, але досягають, як правило, нижчих значень експлуатаційної шорсткості, ніж у першому випадку [23].

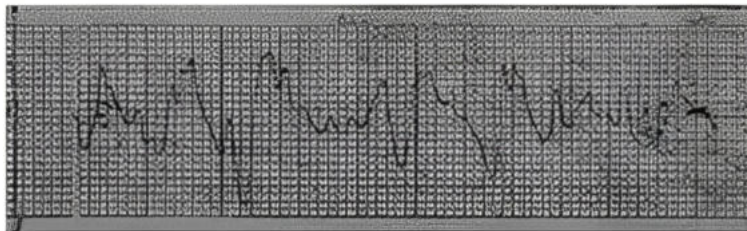
Показники мікрогеометрії поверхонь тертя, фізико-механічні властивості матеріалів, параметри навантаження й переміщення, а також характеристики мастильного матеріалу визначають триботехнічні характеристики рухомих сполучень.

В даній роботі оцінювався вплив моторних мастил на мікрогеометрію поверхневого шару металевих пар. Вивчення саме фізичних та хімічних процесів у досліджуваних мастильних моторних оливах в режимі тертя ковзання проводились

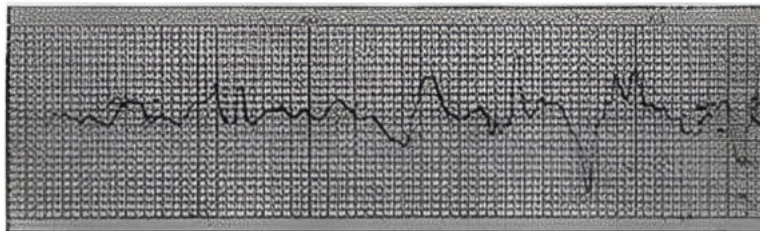
					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

нами на зразках роликів з сталі 40ХН та алюмінієвих колодок сплаву АО20-1. З використанням профілографа-профілометра заводу «Калібр» отримано порівняльні дані щодо зміни мікрогеометрії робочих поверхонь пари «ролик» після проходження шляху тертя 2000 м при швидкості ковзання 1 м/с та питомому навантаженні 10 МПа у різних мастильних оливах.

На рисунку 6.1 зображені профілограми поверхневого шару пари колодка – ролик до початку роботи. Для колодки з алюмінієвого сплаву АО20-1 величина середнього арифметичного відхилення нерівностей профілю поверхневого шару дорівнює  $R_a = 0,30$  мкм, а для ролика зі сталі 40ХН –  $R_a = 0,60$  мкм..



а



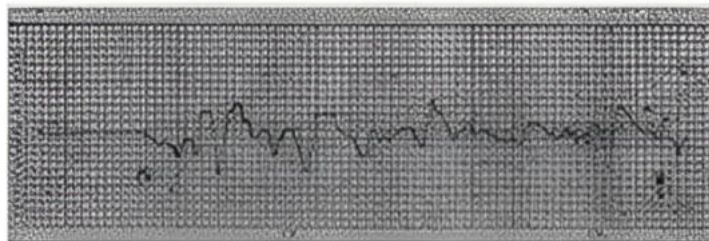
б

а – колодка з алюмінієвого сплаву А020-1; б – ролик зі сталі 40ХН

Рисунок 6.1 – Профілограми з поверхневого шару зразків до роботи (В3х10000,Г3х200)

У результаті зношування пари алюмінієвий сплав – сталь у моторному мастилі М14В2 величина параметра мікрогеометрії зменшилася: для колодки – до  $R_a = 0,26$  мкм, для ролика – до  $R_a = 0,54$  мкм (рисунок 6.2).

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85



а



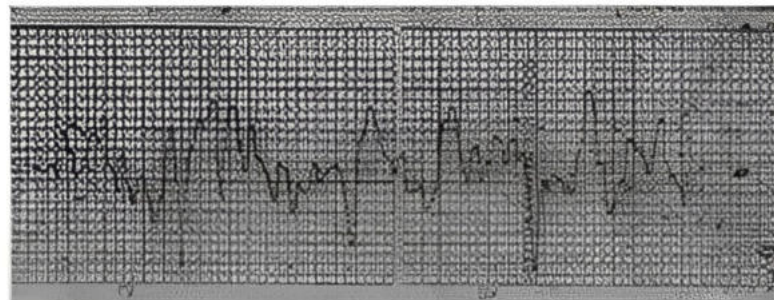
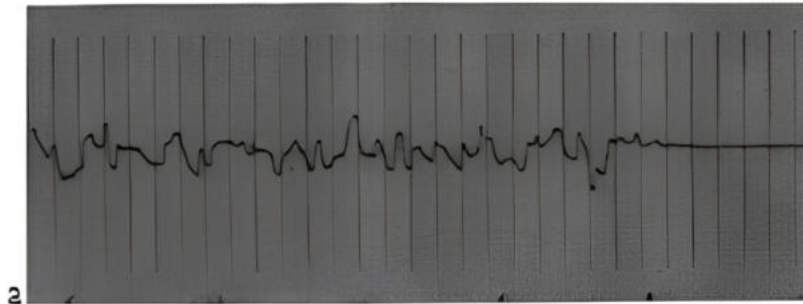
б

а – колодка з алюмінієвого сплаву А020-1 ; б – ролик зі сталі 40ХН

Рисунок 6.2 – Профілограми з зони тертя зразків, зношених у моторному мастилі М14В2 (В3х10000, Г3х200)

Добавлення у моторне мастило М14В2 присадки мідьвмісної «Валена» веде до зниження величини середнього арифметичного відхилення нерівностей профілю у порівнянні з величинами, одержаними для зразків колодки та ролика до роботи і для спрацьованих у базовому моторному мастилі М14В2. Профілограми, одержані із зони тертя зразків колодки та ролика, спрацьованих у моторному мастилі М14В2 з мідьвмісною присадкою на шляху тертя 2000 м та питомому навантаженню 10 МПа при швидкості ковзання 1 м/с, зображені на рисунку 6.3. Досліджено, що після зносу пари алюмінієвий сплав – сталь у базовому моторному мастилі М14В2 верхній шар зразка колодки досягає середнього арифметичного відхилення профілю  $R_a = 0,26$  мкм. При цьому зона тертя зразка ролика відповідала середньому арифметичному відхилення профілю  $R_a = 0,54$  мкм, а після зношення пари алюмінієвий сплав-сталь в мастильній оливі з мідьвмісною присадкою цей же верхній шар колодки та ролика має величини  $R_a = 0,22$  мкм та  $R_a = 0,47$  мкм відповідно.

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86



б

Рисунок 6.3 – Профілограми з зони тертя колодки та ролика, що працювали у моторному мастилі з мідьвмісною присадкою "Валена (В3х10000, Г3х200)

На рисунку 6.4 показані профілограми, одержані з зон тертя зразків колодки і ролика після роботи на машині тертя СМЦ-2 у моторному мастилі М14В2 із олововмісною композицією.

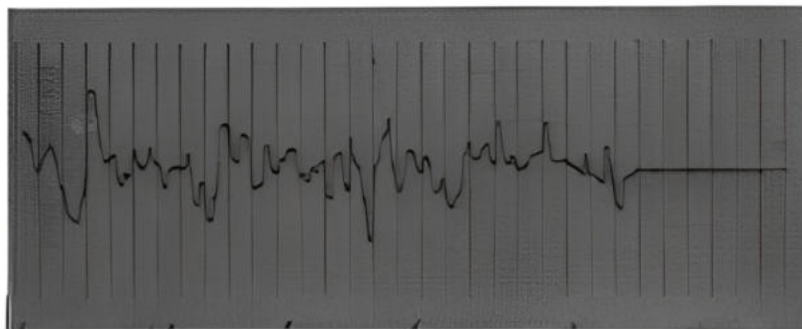
Після припрацювання пари алюмінієвий сплав – сталь в мастильній оливі з металовмісною композицією верхній шар колодки з алюмінієвого сплаву АО20-1 має значення  $R_a = 0,20$  мкм, при цьому ділянка тертя зразка ролика відповідає значенню  $R_a = 0,40$  мкм.

В таблиці 6.1 приведені дані впливу мастильних олив на зміну мікрогеометрії зони тертя пари алюмінієвий сплав – сталь.

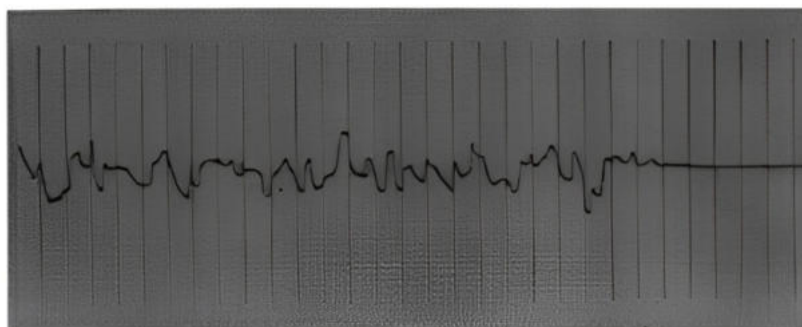
Дані таблиці підтверджують, що найнижчі величини середнього арифметичного відхилення нерівностей профілю відносно середньої лінії відповідають поверхням тертя зразків, що працювали у моторній оливі М14В2 з олововмісною композицією. Найнижчі значення величин  $R_a$  пов'язані із створенням на ділянках тертя пари алюмінієвий сплав-сталь захисної

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

алюмінійвмісної плівки.



а



б

а – колодка з алюмінієвого сплаву АО20-1; б – ролик зі сталі 40XH

Рисунок 6.4 – Профілограми з поверхневого шару зразків, зношених у моторній оливі М14В2 з олововмісною мастильною композицією (ВЗхІ0000, ГЗх200)

Таблиця 6.1 – Вплив мастильних матеріалів на зміну мікрогеометрії зони тертя пари колодка – ролик

№ п/п	Мастильний матеріал	Середнє арифметичне відхилення профілю ролика, Ra, мкм	Середнє арифметичне відхилення профілю колодки, Ra, мкм
	До роботи	0,60	0,30
	Моторна олива М14В2	0,54	0,26
	Моторна олива М14В2+ мідьвмісна присадка «Валена»	0,47	0,22
	Моторна олива М14В2+ олововмісна мастильна композиція	0,40	0,20

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

## 6.2 Вивчення характеристик макрогеометрії зони тертя тіл кочення, що працювали в моторних оливах

Властивості мастильних олив та хімічні, фізико-механічні властивості поверхневих шарів рухомих сполучень впливають на їх зносостійкість. В процесі кочення в результаті пластичних деформацій зони поверхонь тіл кочення в робочій ділянці отримують форми, що різняться від початкових. Достеменно відомо, що для робочих характеристик деталей круглої форми, окрім шорсткості та хвилястості, значне значення належить відхиленню реальної поверхні від кругової правильної. Серед таких відхилень визначають гранність та овальність.

При терті кочення пластичні деформації приводять до зміни форми поверхневого шару контактуючих деталей. Величина цих змін буде залежати від умов роботи цієї пари і, в першу чергу, від твердості матеріалу та контактних напружень. Міцність контактна деталей вузлів значно залежить від властивостей та стану матеріалу біля поверхні, що отримує контактні навантаження. Ось чому, виконуючи аналіз руйнації робочих поверхонь, потрібно розглядати мікро- та макрогеометрію поверхні, а також властивості і структуру поверхневих шарів матеріалу.

Вплив мастильних олив оцінювали з різними фізичними та хімічними властивостями на формування макрогеометрії поверхневого шару тіл кочення. Експерименти по вивченню особливостей фізико-хімічних процесів досліджуваних моторних олив виконували на кулях ШХ-15.

Як до початку роботи, так і пропрацьованих у моторних оливах при частоті обертів верхньої кулі 10000 об/хв та питомому навантаженні шпінделя машини "Plint" 4000 Н, макрогеометрію поверхневого шару куль зі сталі ШХ-15 оцінювали приладом "Тейлеронд".

На рисунку 6.5 зображена круглограма, одержана з поверхневого шару кулі зі сталі ШХ-15 до роботи. Поверхневому шару кулі відповідає хвилястість  $W = 0,1$  мм, гранитовитість  $P+V = 0,1$  мкм, а шорсткість має величину  $Ra = 0,13$  мкм.

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

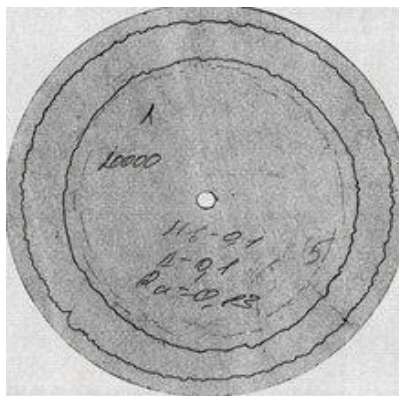


Рисунок 6.5 – Круглограма з поверхневого шару кулі зі сталі ШХ15 до роботи (x20000)

При зношуванні куль в мастильних оливах з різними фізичними та хімічними властивостями спостерігаємо значні зміни характеристик мікрогеометрії поверхневого шару тіл кочення. Після спрацьовування куль у базовому моторному мастилі М-14В2 хвилястість поверхневого шару має значення 3 мкм, а некруглість та шорсткість мають відповідно 3 мкм та 0,37–0,5 мкм (рисунок 6.6).

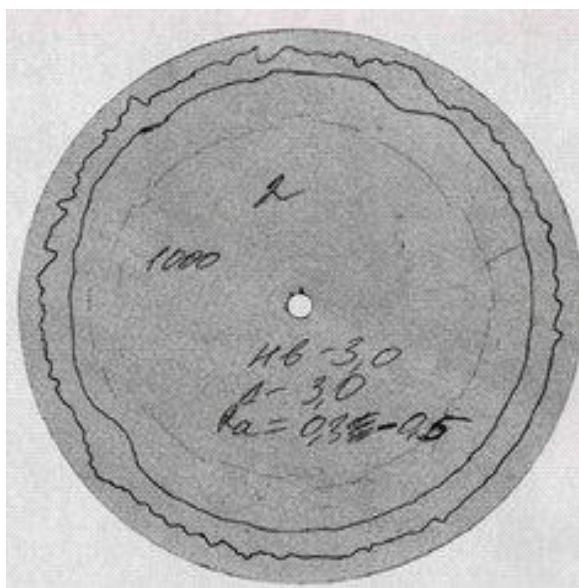
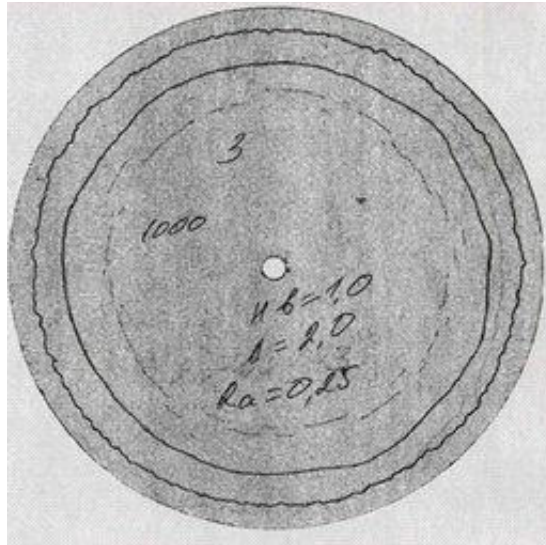


Рисунок 6.6 – Круглограма із зони тертя кулі, зношеної у базовому моторному мастилі М14В2 (x10000)

При зношуванні куль у моторному мастилі М-14В2 з 0,1% мідьвмісної присадки "Валена" хвилястість поверхневого шару має значення 4 мкм, а некруглість та шорсткість – відповідно 4 мкм та 0,23–0,27 мкм.

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

На рисунку 6.7 зображено круглограму з поверхневого шару кулі зі сталі ШХ-15, що працювала у моторному мастилі М-14В2 з олововмісною композицією.



Рисунк 6.7 – Круглограма із зони тертя кулі, зношеної в моторній оливі М14В2 з олововмісною мастильною композицією (x 1000)

За результатами дослідження поверхневого шару кулі встановлено, що величина хвилястості становить 1 мкм, гранитовитість — 2 мкм, а шорсткість дорівнює 0,25 мкм.

Додавання до моторного мастила М14В2 2,5 % олововмісної мастильної композиції, як видно з досліджень, сприяє збільшенню контактної витривалості тіл кочення. Крім того, відбувається зниження величини мікрогеометрії верхнього шару тіл кочення.

В таблицю 6.2 зведені результати проведених експериментів щодо впливу мастильних олив на зміну характеристик мікрогеометрії поверхневого шару тіл кочення.

Аналізуючи дані таблиці 6.2, можна стверджувати, що введення в моторну оливу М14В2 присадки, яка містить олово, приводить до зниження значення хвилястості та гранитовитості у порівнянні із характеристиками мікрогеометрії верхнього шару тіл кочення, що були в роботі у базовій моторній оливі.

Покращення якості поверхневого шару тіл кочення досягається завдяки утворенню захисної плівки, що містить олово.

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

Таблиця 6.2 – Вплив мастильних матеріалів на зміну характеристик мікрогеометрії поверхневого шару тіл кочення

№ п\п	Мастильний матеріал	Характеристики мікрогеометрії, мкм		
		хвилястість, W	некруглість P+V	шорсткість, Ra
1	до роботи	0,1	0,1	0,13
2	моторна олива M14B2	3,0	3,0	0,3–0,5
3	моторна олива M14B2+0,1 % «Валена»	4,0	4,0	0,2–0,23
4	моторна олива M14B2+2,5% олововмісні присадки	1,0	2,0	0,25

Шорсткість, некруглість або гранитовитість та хвилястість поверхні циліндра двигуна внутрішнього згорання прямо визначають його зносостійкість та ефективність функціонування [24].

1. Шорсткість поверхні. Шорсткість – це мікронерівності поверхневого шару, що вимірюється параметром Ra.

Вплив шорсткості на зносостійкість:

- оптимальна шорсткість утримує оливу, при цьому зменшує тертя та зношення поршневих кілець;
- дуже гладка поверхня не утримує оливу, що приводить до сухого тертя і підвищеного зносу;
- дуже шорстка поверхня веде до прискореного зношення поршневих кілець та стінок циліндра.

2. Некруглість. Некруглість або гранитовитість – це відхилення перерізу циліндра від ідеальної окружності.

Вплив гранитовитості на зносостійкість проявляється у наступному:

- спричиняє нерівномірний розподіл навантаження на поршневі кільця, що

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

веде до місцевого перегріву та прискореного зносу;

- підвищує витік газів крізь поршневі кільця, знижуючи ефективність роботи двигуна;

- надмірна некруглість здатна викликати вібрації та підвищений рівень шуму під час роботи двигуна.

3. Хвилястість поверхні. Хвилястість – це більші нерівності поверхні у порівнянні з мікронерівностями шорсткості.

Вплив на зносостійкість наступна:

- надмірна хвилястість здатна викликати нерівномірний контакт поршневих кілець із поверхнею циліндра, що зумовлює прискорений і нерівномірний знос;

- оптимальна хвилястість забезпечує рівномірний розподіл мастила, сприяючи стабільній та надійній роботі двигуна.

4. Оптимальні параметри обробки. Для забезпечення довговічності та зносостійкості поверхня циліндра повинна бути:

- правильної шорсткості,  $R_a \approx 0,2-0,4$  мкм для збереження мастильного шару;

- з мінімальною хвилястістю, щоб не впливати на рівномірність контакту;

- з ідеальною круглістю, тобто допуски мають бути у межах кількох мікронів.

Отже, контроль перерахованих вище параметрів є досить важливим аспектом при виробництві та ремонті двигунів внутрішнього згорання для забезпечення їх ефективної роботи та довговічності.

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93

## ВИСНОВКИ

1. Реалізовано трибомодифікацію поверхневого шару рухомих сполучень формуванням металовмісних захисних плівок у моторних мастилах за різного поєднання матеріалів і зовнішнього тертя.

2. Встановлено, що введення в мастильний матеріал олововмісної композиції за зношування пари алюмінієвий сплав-сталь на поверхнях тертя утворюється алюмінійвмісна плівка, а за роботи пар сталь-сталь, чавун-сталь – олововмісна захисна плівка.

3. Показано, що наявність на поверхнях тертя трибосполучень металовмісних плівок у моторних мастилах забезпечує зниження коефіцієнта тертя та підвищення зносостійкості рухомих сполучень у широкому діапазоні питомих навантажень, швидкостей ковзання, в'язкості мастильних матеріалів, твердості зразків, а також збільшення контактної витривалості тіл кочення.

4. Стендові випробування зносостійкості пари кільце-гільза показали, що при введенні в моторну оливу олововмісної мастильної композиції на порядок зменшується інтенсивність спрацьовування металевих пар у порівнянні з їхньою роботою у базовому мастильному матеріалі. Окрім того знижується коефіцієнт тертя у два рази.

5. Розроблено практичні рекомендації щодо оптимальних експлуатаційних режимів, в'язкості мастильного матеріалу, твердості рухомих сполучень, які забезпечують формування металовмісних плівок на поверхнях тертя у моторних оливах.

					КвРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кисликов В.Ф. Будова й експлуатація автомобілів. Підручник. / Кисликов В.Ф., Лущик В.В. К.: Видавництво «Либідь», 2009. – С. 85-87.
2. Іващенко М.В. Будова та основи експлуатації вантажних автомобілів. Навчальний посібник. / Іващенко М. В. – К., Знання–Прес. – 2002. – С. 49-51.
3. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Технологія: Підручник./ Лудченко О.А. – К.: Вища шк.– 2008. – С. 252-258.
4. Технічне обслуговування і поточний ремонт системи мащення / Код доступу: <http://teamarkevych.blogspot.com/2014/10/12.html>
5. Глущенко Л. А. Теорія і практика змашувальних матеріалів / Глущенко Л. А. – Київ: Наукова думка. – 2020.– 225 с.
6. Барбін В. М. Моторні масла: сучасні технології та експлуатація / Барбін В. М., Сидоров П. П. – Харків: Основа, 2018. – 220 с.
7. Іваненко О. В. "Дослідження впливу синтетичних олив на ефективність роботи ДВЗ". Науковий вісник автомобільного транспорту. – 2019, №4. – С. 45–52.
8. Johnson D. "Modern Trends in Engine Lubricants". Journal of Automotive Engineering, 2021, Vol. 35(3), pp. 233–249.
9. SAE International. SAE J300: Engine Oil Viscosity Classification. 2021.
10. API. Engine Oil Licensing and Certification System (EOLCS). 2022.
11. ACEA (European Automobile Manufacturers' Association). "Oil Sequences". Доступно на: [acea.be](http://acea.be)
12. Міхін Н.М. Експериментальне дослідження адсорбційно-корозійної втомної природи зношування. В кн.: Вплив середовища на взаємодію твердих тіл при терті / Міхін Н.М. – Дніпропетровськ, 1981. – С. 217-231.
13. Фодор Дж., Колимар Дж. Зниження зносу та тертя у двигунах внутрішнього згоряння з допомогою покращення очищення мастила і повітря та введення нових антифрикційних присадок. В кн. Тертя, знос і мастильні матеріали. Праці Міжн. наук. конф. Тези доповіді. Ташкент, 1985.– С. 344.
14. Balabanov V., Ishshenko S. Restoration of pairs friction of the engine during

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		95

continuous operation. Mechanics, ISSN 1312-3823. Transport issue 2, 2009.

15. Шепеленко І. В. Наукові основи технології нанесення антифрикційних покриттів з використанням пластичного деформування: автореф. дис. док. техн. наук : 05.02.08 / Шепеленко Ігор Віталійович ; Київ нац. техн. ун-т. Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського — Київ, 2021. — 45 с.

16. Косіюк М.М. Технологічне забезпечення нанесення антифрикційного покриття на неповні сферичні поверхні фрикційно-механічним способом / М.М. Косіюк, С.А. Костюк, М.А. Костюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2018.– т. 4. № 268.– С. 39-43.

17. Технологія моторних олив. Режим доступу: <https://cupper.su/tehnologiya-1/p/1>

18. Паніна В.В. Підвищення зносостійкості гільз циліндрів двигунів / Паніна В.В., Дашивець Г.І. // Праці ТДАТУ– Т.1 № 4. – С. 115-119.

19. Буяновський І.А. До використання методу оцінки антизносних властивостей мастильних матеріалів з присадками на чотири кульовій машині тертя / І.А. Буяновський, Р.Н. Заславський // Тертя та знос. – 1991. – Т. 12, №1. – С. 113-117.

20. Боледзюк М.В. Мастильні матеріали на основі гудронів рослинних олив і технічних жирів / М.В. Боледзюк, В.Ф. Гологан // Матеріали доповідей науково-технічної конференції «Трибологія по повторних ресурсів». – Кишинів, 20-22.09.89. – С.132.

21. Вітчизняні мастильні матеріали: нові базові компоненти для якісних мастильних композицій / [В.І. Кириченко, Л.М. Кириченко, Г.О. Сіренко, В.П. Свідерський] // Тези допов. міжнар. наук.-техн. конф. «Зносостійкість і надійність вузлів тертя машин». – Хмельницький. – 17-19.10.2001. – Хмельницький, 2001. – С.49-51.

22. Дмитрієва Т.В. Властивості ріпакової олії як базової основи для створення технологічних композицій / Т.В. Дмитрієва, Л.О. Сироватка, В.І. Бортницький // "Композиційні матеріали". – 2000. – XXII. – №2. – с. 156-159.

23. Сіренко Г.О. Створення антифрикційних композитних матеріалів на

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

основі порошків термотривких полімерів та вуглецевих волокон: Дис. доктора техн. наук: 05.16.06 / Г.О. Сіренко. – К.: Ін-т матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАНУ, 1997. – 431с.

24. Луцький національний технічний університет / Лекція 15: Нормування відхилень форми і розташування поверхонь деталей // Електронний ресурс. – Код доступу <https://studfile.net/preview/7221341/page:20/#58>

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ДОДАТКИ

1. Свідерський В. П. Підвищення зносостійкості пари тертя поршень –циліндр насосів автомобільної техніки / В. Свідерський, О. Олятівський, О. Медведчук // Матеріали V міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем» 14–16 травня 2025 року. – Рівне: Національний університет водного господарства та природокористування, 2025. – С. 32-34.

2. Свідерський В. Підвищення зносостійкості підшипників ковзання рульового керування легкового автомобіля / В. Свідерський, Л. Кириченко, О. Олятівський, О. Медведчук // Матеріали II Міжнародної наукової конференції студентів і молодих вчених «Проблеми та інновації у розвитку інженерії, технологій та транспорту» 24 – 26 квітня 2025 р. – Хмельницький : ХНУ, 2025. – С. 558-566. <https://piitt.khmnu.edu.ua/materialy-konferencziyi/>

					КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування



## СЕРТИФІКАТ

підтверджує, що

**МЕДВЕДЧУК ОЛЕКСАНДР**

взяв участь у роботі

у Міжнародній науково-технічній інтернет-конференції  
«ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗВИТКУ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА  
ЕФЕКТИВНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ»

14-16 травня 2025 року

Обсяг: 9 год. (0,3 кредити ЄКТС)

16 травня 2025



М. М. Марчук



Реєстраційний номер: ТТ-5МЯТК/25.15

# CERTIFICATE



ISSUED TO CERTIFY THAT

**Oleksandr Medvedchuk**

participated in

II International Scientific Conference of Students and Young Scientists

Serhii Matiukh

rector



*(Signature)*  
signature

April 24 – 26, 2025

Khmelnytskyi National University

Khmelnytskyi

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КВРМТВА 024346.01.19.ПЗ

Арк.

99