

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

### Дослідження впливу мастильної присадки на основі серпентиніту на шорсткість поверхонь тертя

Рівень вищої освіти: другий магістерський

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 132 Матеріалознавство

Освітня програма: Відновлення та технічний сервіс автомобілів

Шифр: КРММТВА 25.24360.000. ПЗ

Виконав: студент 2 курсу,  
група МТВАм -24-1



Леонід ШАРАВАРСЬКИЙ

Керівник, д-р філософії



Володимир ДИТИНЮК

Нормоконтролер, к.т.н., доцент



Олег БАБАК

До захисту допускаю:  
завідувач кафедри ТАМ




Олександр ДИХА

7 12 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: Інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра: трибології, автомобілів та матеріалознавства  
Рівень вищої освіти: другий магістерський  
Галузь знань: 13 Механічна інженерія  
Спеціальність: 132 Матеріалознавство  
Освітня програма: Відновлення та технічний сервіс автомобілів

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

 Завідувач кафедри ТАМ  
Олександр ДИХА

" 15" жовтня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Шараварський Леонід Павлович

1. Тема роботи: Дослідження впливу мастильної присадки на основі серпентиніту на шорсткість поверхонь тертя

Керівник роботи: Дитинюк Володимир Олександрович, д-р філософії

Затверджено наказом університету від 25.08.2025р. № 65

2. Строк подання студентом роботи на кафедру: 15.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи:

- 1) Дані про фізико-хімічні властивості моторних олив
- 2) Технічні умови випробування мастильних матеріалів
- 3) Матеріали переддипломної практики.
- 4) Нормативно – технологічна документація стандартизованим методам випробувань моторних олив
- 5) Результати літературного огляду і патентного пошуку.

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

1. Стан питання впливу мастильних матеріалів на шорсткість поверхонь тертя
2. Патенти, розробки випробування трибологічних складів
3. Методика експериментальних досліджень
4. Експериментальне визначення утворення мастильного шару

## 5. Консультанти розділів роботи

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

6. Дата видачі завдання: 15 жовтня 2025р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Стан питання впливу мастильних матеріалів на шорсткість поверхонь тертя	1.11.2025	
2	Патенти, розробки випробування трибологічних складів	15.11.2025	
3	Методика експериментальних досліджень	20.11.2025	
4	Експериментальне визначення утворення мастильного шару	1.12.2025	
5	Оформлення презентаційних матеріалів та пояснювальної записки	10.12.2025	

Студент



Леонід ШАРАВАРСЬКИЙ

Керівник кваліфікаційної роботи



Володимир ДИТИНЮК

## РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 80 сторінок, кількість рисунків - 22, таблиць - 11, додатків - 1, кількість джерел згідно із переліком посилань - 15.

Студент гр. МТВАм-24-1 Шараварський Л.П.

### **Тема «Дослідження впливу мастильної присадки на основі серпентину на шорсткість поверхонь тертя»**

У роботі запропоновано теоретичні методики та практичні випробування, засновані на впровадженні у сполучний матеріал трибоскладу РВС на основі серпентину. Вплив трибоскладу на шорсткість поверхні тертя та її вивчення. Робота складається із чотирьох розділів. У першому розділі виконано огляд теорій режимів тертя та впливу шорсткості. Другий розділ присвячений опису та пошуку трибоматеріалу. Третій розділ присвячений опису та вибору експериментальних досліджень, необхідних для отримання бажаного результату у сполучення ролик-ролик. У четвертому наведено результати досліджень шорсткості поверхні тертя, із застосуванням трибоскладу в поєднанні ролик-ролик.





**Перелік ключових слів:** моторна олива, серпентин, шорсткість, випробування на знос, двигун внутрішнього згорання

## Зміст

**Вступ**

**6**

1.	СТАН ПИТАННЯ ВПЛИВУ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ.....	8
1.1.	Короткі відомості про процес тертя.....	8
1.2	Вплив шорсткості поверхні на тертя та зношування рухомих сполучень.....	12
1.3	Вплив трибоматеріалів на шорсткість та знос трибосполучень.....	17
1.4	Базові присадки до мастильних матеріалів.....	19
1.5	Трибосклади до моторних масел.....	21
1.5.1	Реметалізанти (металоплакуючі композиції).....	21
1.5.2	Полімеровмісні трибодобавки.....	23
1.5.3	Геомодифікатори.....	24
1.6	Аналіз триботехнічних препаратів.....	29
2.	ПАТЕНТИ, РОЗРОБКИ ВИПРОБУВАННЯ ТРИБОЛОГІЧНИХ СКЛАДІВ.....	31
2.1.	Обґрунтування вибіру трибоскладу.....	31
2.2	Опис трибологічного складу «Серпен – 3».....	34
2.3	Заявлені випробування триболгічного складу.....	37

КРММТВА 25. 24360. 000 ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Шараварський		
Перевір.		Дитинок		
Н.контр.		Бабак		
Затвер		Диха		
Дослідження впливу мастильної присадки на основі серпентиніту на шорсткість поверхонь тертя				
			Літ.	Аркуш
			4	70
ХНУ, гр. МТВАм-24-1				

2.4 Дослідження та випробування трибоскладів на основі серпентину.....39

3.МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....47

3.1.Загальна методика.....47

3.2 Методика дослідження трибоскладу, його вплив на шорсткість.....48

3.2.1 Проведення експерименту за системою навантаження зразків шляхом ковзання рухомого ролика об рухливий.....52

3.2.2 Проведення експерименту за системою навантаження зразків шляхом ковзання рухомого ролика об рухливий.....57

4.ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ УТВОРЕННЯ МАСТИЛЬНОГО ШАРУ.....59

4.1.Випробування при ковзанні рухомого ролика про рухливий.....59

4.2 Випробувань при ковзанні рухомого ролика про не рухливий.....72

4.3 Перевірка результатів експерименту.....77

Висновки 79

Список використаних джерел 80

Додатки 82

## ВСТУП

В даний час найбільш актуальними проблемами, що стоять перед світовою промисловістю, залишаються проблеми пов'язані з підвищенням надійності, зносостійкості вузлів і механізмів, а внаслідок цього і якості продукції, що випускається. Якість і надійність виробів в основному обумовлені безвідмовністю роботи їх рухомих механізмів, а вона в свою чергу визначається точністю розмірів, форми і взаємного розташування поверхонь деталей, що сполучаються, а також станом їх поверхневого шару. Саме проблеми, пов'язані зі станом поверхневого шару, розглядаються в даний час як найбільш перспективний напрямок.

Актуальність проблеми оптимізації мікрогеометрії поверхонь пояснюється можливістю підвищення якості виробів внаслідок збільшення точності розмірів та форми поверхонь у конкретному типі трибосполучення.

Основні експериментальні дослідження у цій галузі присвячені вивченню зміни поверхневого шару під час тертя. Дійсно, експериментально доведено, що одним з основних факторів, що впливають на тертя-ковзання, є мікрогеометрія поверхонь, що труться. Відомо, що у більшості випадків вихід виробу з ладу пов'язаний із зношуванням рухомих вузлів у процесі їхнього тертя.

Тому науковий інтерес представляє як ступінь і характер впливу мікрогеометрії на процес тертя, а й зміна самої мікрогеометрії, встановлення закономірностей цієї зміни.

Об'єктом дослідницьких випробувань обрано трибосполучення ролик – ролик».

Основним об'єктом випробувань обраний ролик, тертя якого відбувається про поверхню статичного ролика, за різних умов, кількості мастила, виду мастила, температур та тиску. Дослідницькі випробування

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проведені на машині тертя ЗІП ІІ 5016, що моделює різні режими тертя, частоту та тиск.

Мета роботи полягає у дослідженні механізмів тертя, зміни шорсткості поверхні та її вплив на залежність вхідних та вихідних параметрів при моделюванні трибосполучення «ролик – ролик» на трибологічному стенді.

Таким чином, під час проведення експериментальних робіт вирішувалися такі завдання:

1. Підготовка стенду та вимірювального обладнання для забезпечення необхідної інформативності вимірювань.

2. Виконання вимірювань коефіцієнта тертя при змінному контактному тиску; змінній швидкості ковзання ролика; змінній температури.

3. Аналіз отриманих залежностей та опис режиму тертя.

4. Обґрунтування параметрів трибосполучення та мастила, що визначають трибологічні показники.

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1. СТАН ПИТАННЯ ВПЛИВУ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ

## 1.1.Короткі відомості про процес тертя

Існує безліч наукових праць, що дають визначення і математичний і фізичний опис різних процесів тертя, в даній роботі автор не мав на меті заглибитися в терміни і формули, для теоретичного огляду буде коротко розглянута дана тема.

Сила опору при відносному переміщенні одного тіла по поверхні іншого під дією зовнішньої сили називається силою тертя.

Матеріал, що вводиться на поверхні тертя для зменшення сили тертя та інтенсивності зношування, називається мастильним матеріалом. Підведення мастильного матеріалу до поверхні тертя називають змащуванням, а дія мастильного матеріалу, в результаті якого між двома поверхнями зменшується сила тертя та (або) інтенсивність зношування, називається мастило.

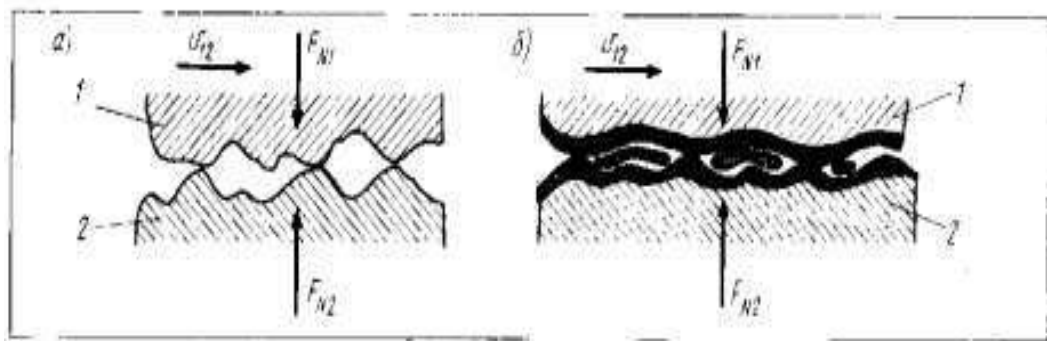


Рисунок 1.1 – Види тертя

Залежно від стану поверхонь тертя розрізняють два види тертя: тертя без мастильного матеріалу (сухе тертя) та тертя зі змащувальним матеріалом.

Тертя без мастильного матеріалу називають тертя твердих тіл, за відсутності на поверхнях тертя введеного мастильного матеріалу будь-якого виду (рисунок 1.1 а).

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тертя із мастильним матеріалом називають тертя твердих тіл за наявності на поверхнях тертя введеного мастильного матеріалу будь-якого виду (рисунок 1.1,б).

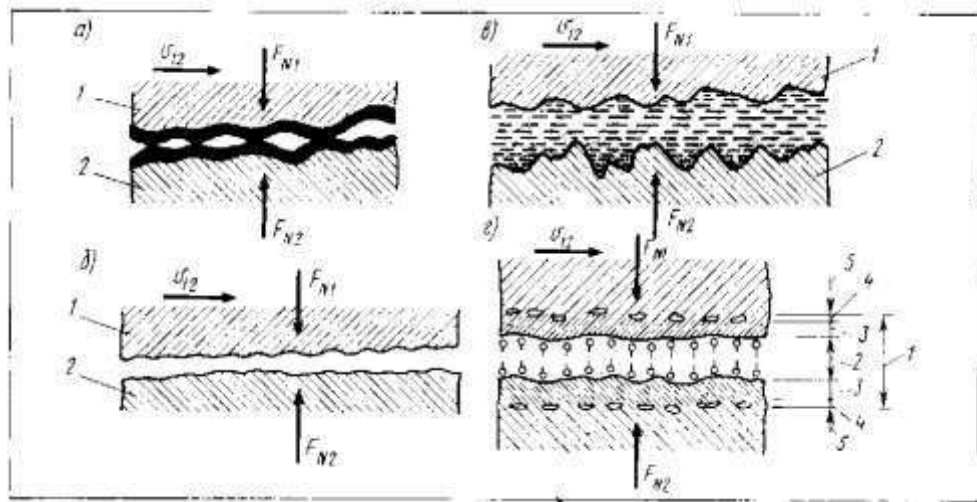


Рисунок 1.2 – Види змащення поверхонь під час тертя деталей

Розрізняють такі види мастила:

- тверда, при якій поділ поверхонь тертя деталей здійснюється твердим мастильним матеріалом (рисунок 1.2, а);
- Рідина, при якій повний поділ поверхонь тертя деталей 1 і 2 здійснюється рідким мастильним матеріалом;
- газова, при якій поділ поверхонь тертя деталей здійснюється газовим мастильним матеріалом (рисунок 1.2, б);
- напіврідинна, при якій частково здійснюється рідинне мастило (рисунок 1.2, в);
- межова, при якій тертя та знос між поверхнями, що знаходяться у відносному русі, визначаються властивостями поверхонь та властивостями мастильного матеріалу, відмінними від об'ємних (рисунок 1.2, г);
- гідростатичну (газостатичну), при якій повний поділ поверхонь тертя

деталей, що знаходяться в відносному русі або спокій здійснюється в результаті надходження рідини (газу) в зазор  $h$  між поверхнями тертя під зовнішнім тиском  $p$  (рис. 1.3 а);

- гідродинамічну (газодинамічну), при якій повний поділ поверхонь тертя здійснюється в результаті тиску, що самовиникає в шарі рідини при відносному русі поверхонь (рис. 1.3, б);

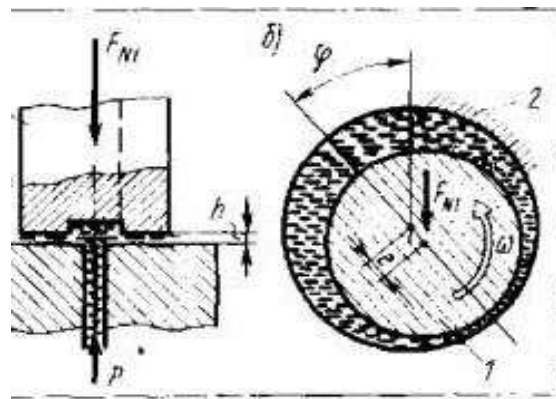


Рисунок 1.3 – Гідростатичний, гідродинамічний вид змащення поверхонь при терті деталей

Еластогідродинамічна, при якій характеристики тертя і товщина плівки рідкого мастильного матеріалу між двома поверхнями визначаються пружними властивостями матеріалів тіл і мимовільним зниженням напруги, повзучістю, пружним післядією і необоротними залишковими деформаціями матеріалів, що беруть участь у терті.

Проміжний шар називають третім тілом між основними матеріалами фрикційної пари. Він складається з адсорбованого шару, плівки оксидів або інших хімічних сполук та дефектного шару основного матеріалу. При товщині шару рідини  $0,1$  мкм її властивості вже відрізняються від об'ємних властивостей.

Тертю руху передують тертя спокою, тобто тертя між тілами при

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відносному попередньому мікрозміщенні двох тіл, і період переходу від спокою до ковзання. Попереднє зсув дорівнює відстані, при якій сила тертя спокою зростає від нуля до деякого максимального значення.

Ці мікрозміщення перед повним ковзанням досить малі: близько  $0,1 \dots 1,0$  мкм і деяких випадках можуть бути незворотними. Сила тертя спокою, будь-яке перевищення якої веде до виникнення руху, називається найбільшою силою тертя спокою.

За кінематичною ознакою розрізняють такі види тертя руху:

- тертя ковзання;
- тертя кочення;
- тертя обертання;
- тертя кочення з прослизанням;

Процеси тертя розглядають на моделях, що дозволяють оцінити молекулярну взаємодію матеріалів контактуючих тіл з урахуванням впливу довкілля (оксиди, плівка, мастило). Спочатку розроблені теорії механічного зчеплення, молекулярного тяжіння, зварювання, зрізу та проорання отримали значний розвиток у молекулярно-механічній теорії тертя, що знайшла найбільш широке поширення.

Згідно з цією теорією, процес тертя відбувається не тільки на межі розділу твердих тіл, але й у певному обсязі поверхневих шарів, фізико-механічні властивості яких відрізняються від властивостей матеріалів в обсязі тіл. Це пов'язано з деформуванням поверхневих шарів, зі зміною температури, утворенням шарів адсорбованих парів вологи або газів, з утворенням плівок оксидів, атомів або молекул навколишнього середовища і т.п.

Для розрахунків механізмів, що працюють при різних режимах і

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

видах тертя, важливе значення має залежність сили тертя від швидкості відносного руху поверхонь, що труться. Як відомо зовнішнім тертям (тертям) називають явище опору відносному переміщенню, що виникає між двома тілами в зонах дотику поверхонь щодо до них, що супроводжується дисипацією енергії. Це має дуже складну природу, вивчення якої має здійснюватися методами фізики, хімії та механіки.

Мірою механічної взаємодії тіл при терті є сила тертя - сила опору при відносному переміщенні одного тіла поверхнею іншого під дією зовнішньої сили, тангенційно спрямована в бік, протилежну напрямку відносного руху. Фізична природа тертя без мастильного матеріалу тлумачиться як процес зачеплення та руйнування шорсткостей поверхонь при відносному русі ланок. При цьому сила тертя буде тим більшою, чим гірше оброблені поверхні контакту.

## **1.2 Вплив шорсткості поверхні на тертя та зношування рухомих сполучень**

Одним із перших І. В. Крагельський досліджував вплив шорсткості поверхні на силу тертя незмащених поверхонь. Він експериментально, а згодом і теоретично показав, що при терті без мастила зі збільшенням ступеня шорсткості поверхні сила тертя зменшується. Потім у значному інтервалі зміни ступеня шорсткості сила тертя залишається постійною, і лише за дуже грубої обробки поверхні спостерігається невелике збільшення сили тертя.

Далі, докладне дослідження тертя без мастила та граничного тертя залежно від шорсткості поверхні було виконано С. А. Суховим . Він експериментально показав, що закономірність, знайдена І.В. Крагельський для тертя спокою, справедливий і для тертя руху. Залежність сили тертя від ступеня шорсткості змінюється при малих

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

значеннях параметра  $N_{ск}$  для тертя руху спостерігається така сама залежність, як і для тертя спокою, а в області великих значень параметра  $N_{ск}$  сила тертя руху зростає, коли при терті спокою вона майже збільшується. При збільшенні ступеня шорсткості поверхні залежність коефіцієнта тертя від параметра шорсткості  $N_{ск}$  проходить через мінімум. Характер зміни коефіцієнта тертя залежно від параметра шорсткості  $N_{ск}$  при граничному мастилі такий же, як і при терті без мастила.

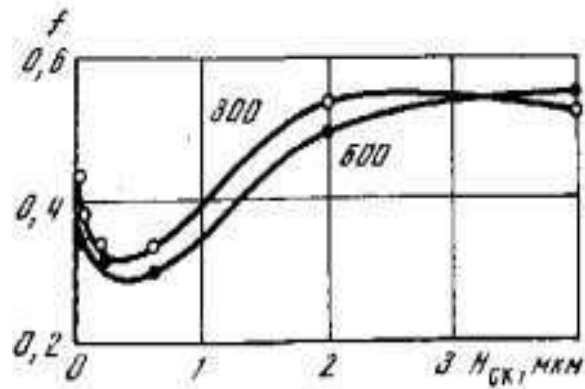


Рисунок 1.4 – Залежність коефіцієнта тертя параметрів шорсткості

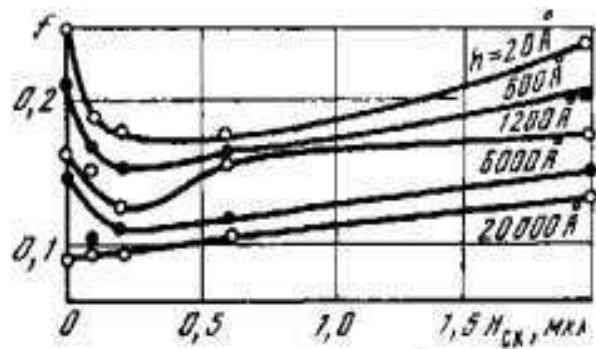


Рисунок 1.5 – Залежність коефіцієнта тертя параметрів шорсткості

На рисунку 1.4 наведено залежність коефіцієнта тертя  $f$  від параметра шорсткості  $N_{ск}$  при навантаженнях  $N = 300$  і  $600$  г для пари сталь - мідь (тертя без мастила) [95, 96]. У міру потовщення шару мастила глибина мінімуму зменшується, а при товщині близько десятих часток мікрона мінімум зникає. Це пояснюється нівелюючим

впливом шару мастила. На Рисунку 1.5 наведено залежність коефіцієнта тертя  $f$  від параметра шорсткості пари сталь - латунь при різній розрахунковій товщині ( $h$ ) мастила (касторова олія). Враховуючи молекулярно-механічну природу тертя приходять до висновку, що «залежність між коефіцієнтом тертя та ступенем шорсткості має зображуватись криво U-подібного типу. При досить чистих поверхнях пари метал — метал утворює вузли схоплювання за рахунок тісного молекулярного контакту. При цьому зміна коефіцієнта тертя в цій галузі зображатиметься спадною ділянкою кривої. Подальше збільшення ступеня шорсткості призводить до того, що процес схоплювання не розвивається, і взаємодія поверхонь у цій галузі відбувається за рахунок механічного зачеплення мікронерівностей; коефіцієнт тертя в цьому інтервалі значень параметра шорсткості буде тим більше, чим більше  $R_{max}$ . Підтвердження цього положення наведено на Рисунку 1.6 де показана залежність коефіцієнта тертя  $f$  від сумарного параметра шорсткості  $R_{max}$  для пар чавун-сталь (1) та бронза - сталь (2).

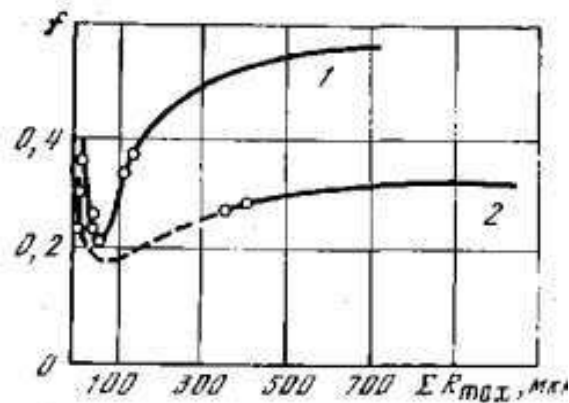


Рисунок 1.6 – Залежність коефіцієнта тертя параметрів шорсткості для пари сталь - бронза

Проведені в подальшому дослідження впливу шорсткості поверхні на тертя і зношування зводилися до встановлення так званої оптимальної шорсткості стосовно конкретних поєднань, що труться.

Покажемо на деяких прикладах. Дослідження впливу чистоти механічної обробки поверхні хромованого дзеркала циліндра на знос поршневих кілець показали, що крива залежності зносу поршневого кільця від класу чистоти обробки циліндра має мінімум.

При цьому встановлено, що найбільша зносостійкість кільця буде в тому випадку, коли чистота обробки поверхні дзеркала циліндра  $\blacksquare$  відповідає 9, що сприяє життєздатності масляної плівки.

Експериментальна U-подібна залежність коефіцієнта тертя від ступеня шорсткості для пари метал – полімер проявляється більшою мірою, ніж для двох металевих поверхонь. Збільшення ступеня шорсткості металевого валу призводить до переходу коефіцієнта тертя через мінімум.

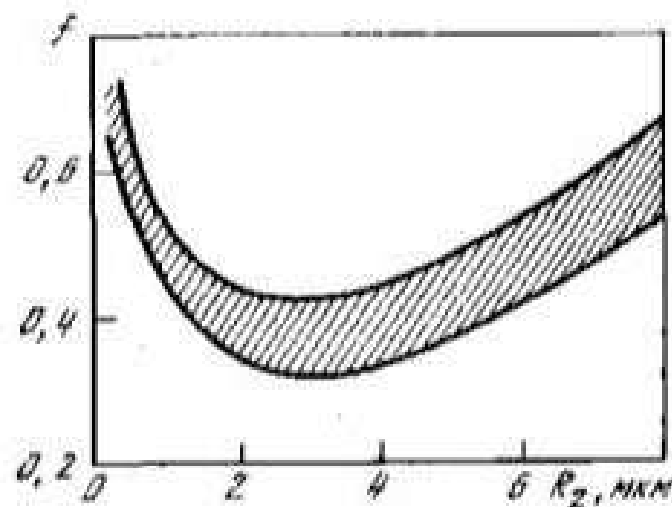


Рисунок 1.7 – Експериментальні значення шорсткості для пари сталь-капрон

На Рисунку 1.7 представлені експериментальні дані для пари сталь - капрон (питомий тиск 1,5 кг/см<sup>2</sup>, швидкість ковзання 1 м/сек, температура 20-30° С, тертя без мастила). Проведено дослідження впливу шорсткості валу із сталі 45 як на знос капронового підшипника, так і на знос самого валу (рисунку 1.8а та 1.8б).

Одночасно реєструвалися коефіцієнт тертя та температура (Рисунку 1.8в та 1.8г). Шорсткість поверхні валу змінювалася від 3 до 10. Питоме навантаження становило 25 кг/см<sup>2</sup>, швидкість ковзання 1 м/сек, мастило - «Індустріальне-20», що відповідало звичайному режиму роботи пластмасового підшипника в експлуатаційних умовах. Знос валу та підшипника змінювався від 0 до 110x10<sup>-5</sup> г/км. При тому самому значенні параметра шорсткості знос підшипника більше, ніж валу. У цих умовах оптимальною чистотою є обробка по 7 (значення Rz в межах від 3,2 до 6,8 мкм), при якій досягається зменшення зносу, зниження коефіцієнта тертя та температури. При цьому спостерігається згладжування вершин мікронерівностей, збільшення радіусів закруглення одиничних мікронерівностей металевого валу. Вихідна шорсткість, близька до оптимальної, зменшує знос, температуру на поверхні тертя та коефіцієнт тертя.

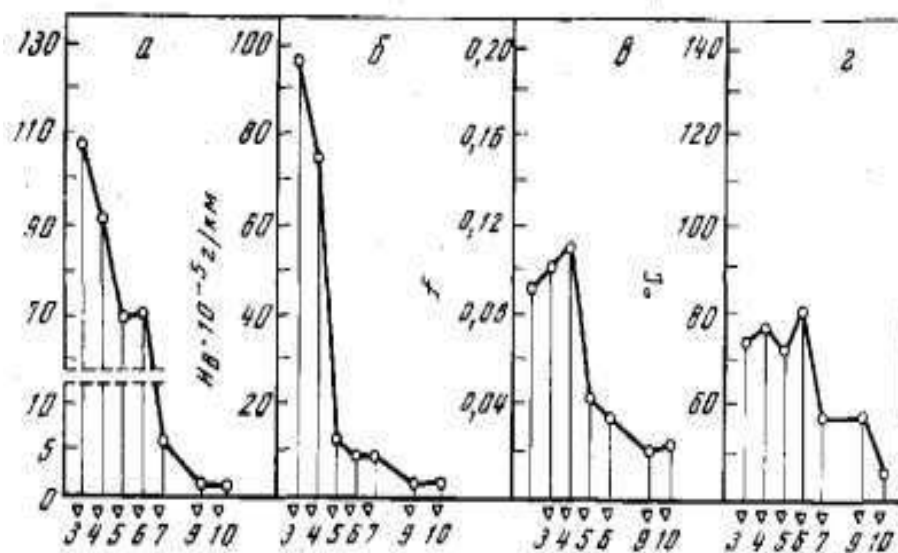


Рисунок 1.8 – Вплив шорсткості валу зі сталі 45 як на знос підшипника та валу

Зазначимо, що оптимальній шорсткості відповідає мінімум коефіцієнта тертя і мінімум величини зносу матеріалів.

Наведено результати випробувань антифрикційних властивостей та зносостійкості зразків з поліаміду (силону), що працюють у парі з роликами 0 40 мм з різних металів з ■■■■ чистотою обробки від 6 до 10 (питомий тиск - 45 кг/см, швидкість ковзання - 0,39 м/сек, 6 температури 50 ° С).

З даних слідує, що з зазначених пар матеріалів мінімальне значення коефіцієнта тертя, і навіть величина вагового зносу однозначно відповідають певному класу чистоти. Аналогічні результати отримані при дослідженні шорсткості впливу металевих поверхонь на тертя та зношування тефлону. Показано, що стан поверхні зразків з тефлону практично не впливає на коефіцієнт тертя, оскільки тефлон швидко додається до сполученого металевого зразка. Залежність коефіцієнта тертя та величини вагового зносу тефлону від шорсткості металевих поверхонь має мінімум, причому для обох залежностей положення мінімуму відповідає оптимальному значенню параметра  $R_{max}$  в межах від 0,2 до 4 мкм (питомий тиск 300 кг/см<sup>2</sup>, швидкість 1 м/сек). Таким чином, для пар метал - полімер так само, як для пар метал - метал, залежність коефіцієнта тертя та інтенсивності зношування від ступеня шорсткості металевого контртіла має мінімум у деякому діапазоні зміни ступеня шорсткості.

### **1.3 Вплив трибоматеріалів на шорсткість та знос трибосполучень**

З аналізу наведених досліджень випливає, що шорсткість поверхні може суттєво впливати на процес утворення задирів у парах тертя та на інтенсивність зношування деталей. Однак деякі марки трибоматеріалів та результати попередніх дослідів показали, що на утворення задирів в парі тертя, шорсткість поверхні деталей у

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

певних межах істотно не впливає, а навіть відновлює контактуючу поверхню трибовузла. Цей висновок потребує більш глибокого експериментального дослідження.

На підставі вищевикладених результатів фундаментальних досліджень можна сформулювати гіпотезу утворення модифікованого шару або захисної антифрикційної плівки у трибопарі. Наночастинки у складі потоку мастильного матеріалу і взаємного переміщення деталей, що сполучаються під навантаженням, швидко заповнюють поглиблення шорсткої поверхні шліфованих деталей. У робочому зазорі трибовузла під дією високої миттєвої температури та питомого тиску в точках контакту за рахунок сил адсорбції, сил молекулярної взаємодії та можливо магнітних сил відбувається модифікування поверхонь тертя. Не можна виключати і можливість утворення захисної плівки. При цьому в десятки та сотні разів збільшується фактична площа контакту в трибовузлі, зменшується коефіцієнт тертя та знижується температура у зоні тертя. У результаті істотно знижується інтенсивність зношування деталей, збільшується ресурс і підвищується безвідмовність ресурсних пар ДВЗ.

Зношування матеріалу деталей та зміна їх розмірів у процесі тертя визначаються властивостями матеріалів, режимами тертя (контактний тиск, швидкість ковзання або кочення) та умовами роботи вузла тертя (температура та властивості доквілля, вид мастильного матеріалу або його відсутність). Залежно від названих факторів знаходяться і закономірності зношування поверхонь, що труться. Параметри, необхідні для отримання повної інформації про процес тертя момент (сила тертя), сила нормального тиску, швидкість тертя (частота обертання зразка або контртіла), температура в заданій зоні, робота тертя, а при необхідності інші

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

величини, вимірюються і реєструються за допомогою машин тертя.

В результаті вищесказаного вивчення залежності процесів тертя від шорсткості за довгі роки було безліч, раз вивчено і підтверджено численними вченими, досліди яких повторювати не має жодного сенсу, а внаслідок цього, автор не бачить жодної необхідності ретельно розбирати цю тему.

Враховуючи, що шорсткість безпосередньо впливає на знос, а отже і на загальний процес тертя, автором було прийнято рішення докладно розглянути вплив різних видів мастила, в тому числі РВС матеріалів на шорсткість і знос і зміна шорсткості поверхонь при різних режимах тертя.

Для подальшого дослідження будуть наведені різні види мастила, а також види та властивості ПАР та РВМ з яких надалі буде обраний трибоматеріал.

#### **1.4 Базові присадки до мастильних матеріалів**

Мастильні олії за їх призначенням класифікують такі основні групи: моторні, індустріальні, трансмісійні, турбінні, компресорні, приладові ітд.

Сучасні моторні масла є збалансованим колоїдним розчином багатьох функціональних присадок, поділяються на:

1. Мінеральні олії, одержувані у процесі переробки (перегонки) нафти і які з молекул різної довжини (довжина вуглеводневих ланцюжків – 20...35 атомів) і різного будови.

2. Синтетичні олії, одержувані шляхом хімічних реакцій, спрямованих на утворення однотипних молекул органічних

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

речовин із заданими властивостями, як яких виступають поліальфаолефіни (ПАТ), алкілбензоли або ефіри (естери).

Синтетичні моторні масла мають більш високу в'язкісно-температурну характеристику (ВТХ) порівняно з маслами на мінеральній основі. Температура втрати рухливості синтетичних моторних масел може бути значно нижчою (до – 650 С), ніж у мінеральних, а в'язкість при температурах 250 ... 3000 С в 2-3 рази вище, ніж у рівнов'язких мінеральних олій при 1000 С. Вони перевершують мінеральні масла за антиокислювальними властивостями, диспергуючої та механічної стабільності, мають рівні або кращі протизадирні та протизносні властивості.

3. Частково синтетичні (напівсинтетичні) олії, що складаються з сумішей мінеральних та синтетичних базових олій. Треба сказати, що реальний вміст ПАТ у звичайній напівсинтезиці трохи більше 30...35 % (частіше 15...25 %), інше – мінеральна основа та спеціальні присадки. Гідрорекінгові олії складаються з НС – компонента приблизно на 80 %, решта 20 % припадає на пакет присадок.

У загальному випадку мастила повинні володіти такими характеристиками:

1) оптимальними в'язкісно - температурними властивостями, що забезпечують рухливість при низьких температурах, та створення міцної мастильної плівки на робочих поверхнях у широкому діапазоні температур;

2) змащувальними властивостями, що забезпечують мінімізацію тертя та різних видів зношування;

3) високою стійкістю до окислення, що запобігає значним зміни хімічного складу мастил у процесі їх роботи;

4) миючими властивостями, що впливають на зниження схильності масел до утворенню різного складу смолистих

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відкладень на робочих поверхнях та в мастильній системі;

5) низькою корозійною активністю;

б) задовільними захисними властивостями, що дозволяють  
маслу

оберігати метал від атмосферної корозії.

Існує безліч органічних та металоорганічних присадок, призначених для підвищення стійкості масел до окислення, абсолютного значення їх в'язкості, а також змащувальної здатності. Одночасно вони знижують залежність в'язкості олії від температури, температури застигання, уповільнюють корозію металевих поверхонь, і т. д. (таблиця 1.3).

## **1.5 Трибосклади до моторних масел**

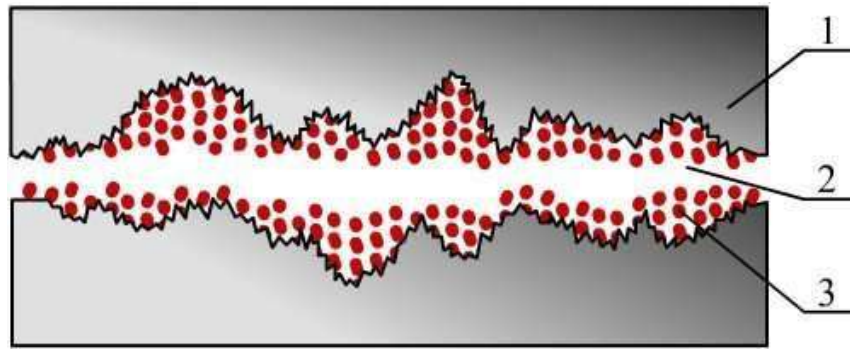
### **1.5.1 Реметалізанти (металоплакуючі композиції)**

Реметалізанти (металізанти) – порошкова або іонна добавка на основі пластичних металів до паливно – мастильних матеріалів, технологічних та інших середовищ, що реалізує ефект вибіркового перенесення при терті (ефект беззнос). Механізм їх дії полягає в металоплакуванні поверхонь, що труться, внаслідок осадження металевих компонентів, що входять до складу реметалізованих у зваженому або іонному вигляді. При цьому частково усуваються мікрodefекти, знижується коефіцієнт тертя, значно підвищується зносостійкість плакованих поверхонь, у деяких випадках у сотні разів.

В даний час металоплакуючі композиції (реметалізанти) ділять на порошкові та іонні. Порошкові металоплакуючі препарати як основний компонент містять ультрадисперсні порошки, а іонні - повністю маслорозчинні солі пластичних металів, органічні кислоти, мила жирних та нафтових кислот, жирні аміди, ефіри

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

жирних кислот та спиртів, а також гліцерин. Як плакуючі метали використовуються мідь, олово, цинк, залізо, алюміній, свинець, срібло, хром, нікель, молібден.



Рисунок

1.9 – Структура поверхні, відновленої реметалізованим: 1 – металева поверхня деталі; 2 – мастильний матеріал; 3 –

«Сервовітна» плівка

Усі жирні кислоти (граничні та ненасичені) є поверхнево – активними речовинами (ПАР). Під дією жирних кислот та інших органічних компонентів поверхні тертя пластифікуються, що сприяє швидкому створенню оптимальних шорсткостей поверхонь, що труться. Сервовітна плівка - особлива структура на поверхнях тертя, характерна для «ефекту беззносності», в якій реалізується особливий механізм деформації, що протікає без накопичення дефектів, властивих втомним процесам. (Термін запроваджено Д. Н. Гаркуновим та І. В. Крагельським).

При застосуванні препаратів цієї групи необхідно враховувати такі особливості:

1. При застосуванні препаратів на основі ультрадисперсних порошкових матеріалів необхідно враховувати, що ряд частинок, введених у СМ у вигляді добавок (суспензій), можуть бути центрифуговані як фільтрами тонкого очищення (центрифугами дизелів), так і колінчастим валом, що може призвести до

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забивання основної масляної магістралі двигуна (каналів колінчастого валу).

2. Існує критична концентрація сполук, які мають відновлювальною здатністю, вище якої через швидке відновлення оксидних плівок у зоні тертя ймовірність намазування зростає. У цьому випадку відзначається підвищена інтенсивність зношування. Завищені концентрації можуть призводити до відновлення іонів металів та їх випадання в осад, підвищення корозійних властивостей композицій базового мастильного матеріалу та відновника.

3. Треба мати на увазі, що утворення стійких захисних металевих плівок – процес досить тривалий (поступовий), тому при випробуваннях, а також штатній роботі техніки різке (раптове) покращення експлуатаційних показників може не спостерігатися, але обов'язково відзначатиметься їх позитивна динаміка, що істотно впливає на підвищення надійності та ресурсу вузлів та агрегатів техніки.

### **1.5.2 Полімеровмісні трибодобавки**

На підставі спеціальних високоточних експериментів було встановлено, що відкладення в зоні контакту утворюються внаслідок хімічних перетворень парів органічних речовин, які виділяються деякими ізоляційними матеріалами. У всіх випадках відкладення, що утворилися, знижували коефіцієнт тертя в контактній парі. Тому ці сполуки було запропоновано називати полімерами тертя.

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

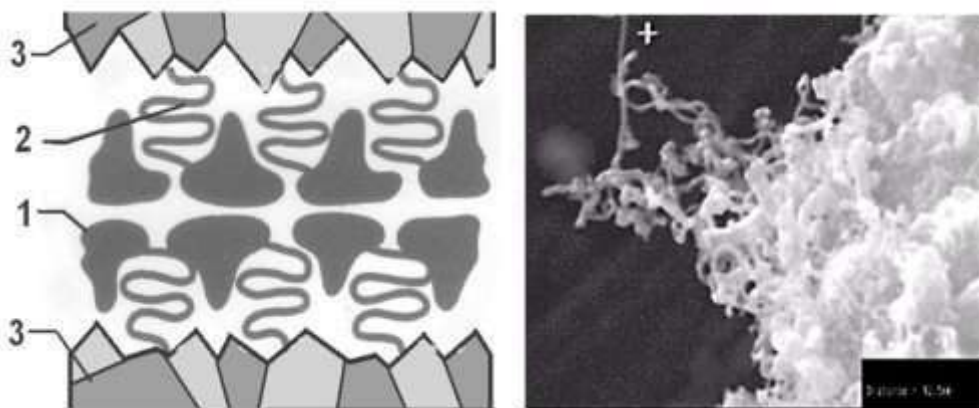


Рисунок 1.10 – Фрагменти структури Ленгмюра на поверхнях тертя (ліворуч) і нановолокна політетрафторетилену (праворуч): 1 – мастильний матеріал; 2 – спіралеподібні молекули епіламу; 3 – поверхні, що труться. Полімеровмісні препарати в основному застосовуються для підвищення надійності та економічності двигунів.

В даний час є можливість виробництва волокон політетрафторетилену діаметром всього 40 ... 60 нм при довжині кілька мікрометрів. На Рисунку 1.10 (праворуч) представлені фотографії нановолокон ПТФЕ, одержані на електронному мікроскопі.

### 1.5.3 Геомодифікатори

Нині у низці науково – технічних центрів розробляється новий напрям у автохімії та трибології загалом. Цей напрямок отримало найменування «геотрибологія» (від грецького геос – земля) – тобто тертя, знос і змащування в умовах застосування різноманітних мінералів та інших сполук геологічного походження.

Геомодифікатор (РВС – технологія) – трибодобавка в мастильні матеріали та технологічні середовища на базі мінералів геологічного (рідше штучного) походження, які можуть вступати у взаємодію з контактованими (що труться) ділянками деталей і формувати на них металокерамічний шар, що частково усуває дефекти

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поверхонь тертя. Метою робіт у цьому напрямку є створення спеціальних добавок у паливно-мастильні матеріали, що сприяють формуванню металокерамічного шару на контактуючих ділянках поверхонь тертя, що призведе до часткового усунення дефектів та забезпечення високих антифрикційних та протизносних властивостей. Такі матеріали, головним чином на основі подрібненого та модифікованого серпентину, а також інших мінералів природного та штучного походження, одержали найменування «геомодифікатори» або РВС – технології.

Під час проходження бура через певні породи інструмент не тільки не зношувався, але ріжучі поверхні зміцнювалися та відновлювалися. На основі цих спостережень групою вчених були розроблені нові види триботехнічних складів різного класу на мінеральній основі, в основному серпентинів, що включають хлорити, гарнієри, тальк та ряд інших мінералів. Серпентиніт (від лат. *serpens* - змія) - гірська порода, що включає серпентин  $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$  як базовий елемент, що становить не менше 50% від загального обсягу породи, а також тальк, мінерали із загальною хімічною формулою  $FexOy$ , як правило, це магнетит  $Fe_3O_4$ , рідше - гематит  $Fe_2O_3$ . Число різних мінералів, що входять до складу серпентиніту, може доходити до 100 без урахування «слідів» хімічних елементів. Крім цього в різних серпентинітах серпентин міститься в різних фазах - антигорита, хризотилу, лізордиту та ін. Всі серпентини - зелені мінерали, що утворюють жирні на дотик масивні агрегати і мають шарувату структуру, що віддалено нагадує графіт.

З серпентинових порід видобувають природний азбест (хризотил – азбест). Хризотил - азбест є мінералом групи серпентиніту, залягає жилами, у вигляді блискучих зелених поперечно-або подовжньоволонистих агрегатів. Елементарні

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

волона хризотилу є згорнуті в найтонші трубочки серпентинові листочки, помітні лише під електронним мікроскопом.

Також існують геомодифікатори з мінеральними компонентами – бемітом і цеолітом.

Беміт – мінерал із групи оксидів та гідроокислів металів (на ім'я німецького мінералога ХХ століття І. Бьома (J. Böhm)), що застосовується для виготовлення ряду ремонтно – відновлювальних препаратів автохімії, при температурі близько 500 °С діаспор і бемит втрачають кристалізаційну воду, перетворюючись на безводний глинозем. Промисловістю налагоджено виробництво дуже дешевого штучного нанодисперсного беміту.

Дослідження, проведені щодо застосування синтезованого нанокристалічного беміту як добавки до мастильних матеріалів, показують можливість підвищення ресурсу деталей та зменшення тертя в процесі експлуатації на 30...33 %.

Цеоліти – мінерали з групи водних алюмосилікатів лужних та лужноземельних елементів. У 1756 Ф. Кронштейдт виявив збільшення обсягу зразка, що супроводжується виділенням води з мінералу стильбіту (гідратовані силікати алюмінію) при нагріванні. Виявилось, що подібну властивість мають і інші мінерали цього сімейства: клиноптилоліт, морденіт, фожазит, шабазит. На відміну від кристалогідратів (серпентинів і беміту), що також виділяють значну кількість води при нагріванні, цеоліти поглинають і виділяють не тільки воду, але й інші молекули без зміни кристалічної структури.

Відновлення та зміцнення рухливих з'єднань металокерамічними матеріалами здійснюється за рахунок формування на поверхнях тертя структур підвищеної міцності, придушення процесів водневого зношування та крихтування металу, підвищення термодинамічної стійкості системи поверхня тертя –

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мастильний матеріал. Поверхнево – активні речовини (ПАР) металокерамічного відновника після введення в системи двигуна готують поверхні тертя хімічно (каталіз) та фізично (суперфініш), очищаючи їх від нагару, оксидів, відкладень тощо.

Для отримання необхідного ефекту від застосування геомодифікатора має відбутися його руйнація, до цього він (наприклад, серпентин) працює як простий абразив.

Після розкладання геомодифікатора в очищену зону тертя разом із каталізатором відбувається впровадження його керамічних та металокерамічних частинок (фібрил). Зона контакту збіднюється вільним воднем, а поверхневі шари внаслідок дифузії змінюють свою структуру та збільшують міцність у кілька разів. У процесі подальшої роботи на поверхнях тертя формується органо-металокерамічне покриття, що частково відновлює дефекти поверхні тертя і має високі антифрикційні та протизносні властивості.

При застосуванні геомодифікаторів у ДВЗ спостерігається певна оптимальна точка (момент часу) у процесі обробки, коли ефект, що реєструється, досягає свого оптимального значення. Продовження процесу обробки, як вказують низка дослідників, може призвести до низки негативних наслідків.

Застосування серпентиніту запобігає зношенню основних первинних руйнівних факторів, таких як електрохімічна корозія, стирання, механічні ушкодження. Понад те, може служити і відновлюючим засобом вже зношених поверхонь.

Тривалі всебічні випробування натуральних мастильних матеріалів показали, що застосування присадок на основі серпентиніту знижує інтенсивність зношування при площинному терті в 15 разів. Зазначається підвищення середньої питомої

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

експлуатаційної економічності, зниження втрат на тертя на 20% і більше, збільшення ресурсу мастил та олій у 2-3 рази, зменшення шумових навантажень.

Поряд із високою ефективністю геомодифікаторів та РВС – технології, залишається безліч невирішених питань, пов'язаних із їх застосуванням:

1. Встановлено, що частки геомодифікатора збільшують знос внаслідок вдавлювання (вкраплення) в більш м'який матеріал частинок геомодифікатора, що не розклалися, та їх функціонування як мікрорізців, закріплених у пластичній матриці.
2. При обробці металокерамічних матеріалів спостерігається виділення вільної води в мастильних матеріалах, підвищення її вмісту в моторному маслі всього на 5% призводить до зростання інтенсивності зношування до 10 разів.
3. Зазначається порушення температурної стабільності обробленого двигуна внаслідок додаткового теплового опору металокерамічного шару відведення тепла від поршня через поршневі кільця. Все це може призвести до перегріву двигуна та його відмови, особливо на режимах перевантаження.
4. Поряд із зниженням концентрацій у відпрацьованих газах окису вуглецю CO та вуглеводнів CH, спостерігається майже дворазове зростання виходу оксидів азоту NO.
5. Більшість геомодифікаторів є не що інше, як завис порошкових матеріалів у відповідному носії, яка, як і порошкові реметалізанти, може затримуватися фільтрами, центрифугуватися і випадати в осад.

На закінчення даного розділу слід зазначити, що головною проблемою, яка суттєво стримує застосування препаратів на основі Геомодифікатори, є нестабільність їх властивостей, а як наслідок,

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

результатів обробки. Все це, перш за все, обумовлено мінеральною основою добавок з наявністю безлічі неконтрольованих домішок та забруднень.

### 1.6 Аналіз триботехнічних препаратів

Для збільшення періоду експлуатації двигуна з метою відновлення зазорів в ресурсних сполученнях без розбирання є можливість отримання в лабораторних умовах зміни діаметра і маси зразків шляхом нарощування антифрикційного шару на поверхнях тертя зразків.

У період експлуатації ДВЗ доцільно застосовувати трибоматеріали, що належать до ревіталізаторів. Основним критерієм в оцінці необхідності застосування ревіталізаторів є наявність діагностичних ознак або параметрів, що вказують на те, що ресурсні сполучення двигуна досягли 40 ... 60% зносу або витрачання ресурсу. Пізніше поза зазначеної межі величини зносу, застосовувати трибоматеріал не рекомендується, т.к. реанімувати зноси близькі до граничних значень неможливо.

Практика застосування РВС-технологій багатьма організаціями показала, що в результаті тривалої роботи механізму товщина шару на поверхнях у вузлах тертя деталей може досягати більше 0,05 мм. Однак, як показали наші дослідження в лабораторних умовах на машині тертя СМЦ-2, отримати нарощений шар завтовшки хоча б 0,01 мм практично неможливо. У зв'язку з цим завдяки тривалій безперервній роботі на машині тертя СМЦ-2, більше 15 год, була отримана тільки антифрикційна плівка, товщину якої виявити оптиметром (ціна поділу 0,001 мм) не вдалося.

Критерієм тривалості безперервної роботи машини тертя

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(15...20 год) послужила стабільність (незмінність) маси зразка в процесі випробування, яка через зношування зменшувалася до моменту формування антифрикційної відновної плівки в трибосполученні. При тривалості обкатки, що перевищує 15...20 годин, відзначалося збільшення маси зразка до 0,001.

З різних джерел відомо, що за своєю природою антифрикційна плівка є діелектриком, тому доказом факту утворення антифрикційної плівки стала методика вимірювання електроопору цієї плівки на поверхні тертя зразка.

На підставі наведеного вище аналізу можна сформулювати мету дослідження, а саме виявити наявність утворення сервовидної, антифрикційної, захисної або відновлювальної плівки на контактній поверхні трибопар. Дослідити зміну шорсткості поверхні трибопар, при різних режимах тертя, з додаванням трибоскладу до складу мастильного матеріалу. Випробування повинні проводитися при різних режимах тертя та навантаження. Зробити висновок щодо зміни даних шорсткості поверхонь трибопар та зносостійкості.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання дослідження.

1. Обґрунтувати вибір трибоскладу на основі моторного масла, що виключає відмови через утворення задирів і істотно збільшує міжремонтний ресурс.

2. Провести випробування трибоматеріалом у складі моторної олії на трибостенд.

3. Підбити висновки та дати економічну оцінку результатів дослідження.

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.ПАТЕНТИ, РОЗРОБКИ ВИПРОБУВАННЯ ТРИБОЛОГІЧНИХ СКЛАДІВ

### 2.1.Обґрунтування вибіру трибоскладу

У процесі роботи були проведені дослідження трибоматеріалів, внаслідок чого автор вважає найбільш актуальним і значущим дослідити трибоматеріали РВС на основі серпентиніту. За теоретично заявленими властивостями матеріалу, на підставі численних робіт та досліджень інших авторів, даний трибоматеріал володіє необхідними властивостями, які повністю відповідають поставленим цілям та завданням дослідження, а саме утворення антифрикційної плівки на поверхні трибопар, збільшення зносостійкості поверхні.

Для подальшого дослідження необхідно докладніше розглянути, що таке серпентин. Формула серпентину –  $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$ , або  $3MgO_2SiO_2 \cdot 2H_2O$  або  $(MgOH)_6Si_4O_{11}H_2O$ . Серпентин включає кілька мінеральних видів: антигорит ( $Mg, Fe)_2 + 3[Si_2O_5](OH)_4$ ; хризотил (клинохризотил, ортохризотил, парахризотил)  $Mg_3[Si_2O_5](OH)_4$ ; лізард  $Mg_5[(OH)_8Si_4O_{10}]$ .



А Б

Рисунок.2.1 – Зразок серпентиніту. А – у природному вигляді, мінерал, Б – очищений у вигляді трибоскладу

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Щоб зрозуміти роботу серпентиніту, потрібно знати його склад, з яких домішок складається і як він може впливати на якість робіт.

Як видно з Таблиці 2.1, серпентиніт містить 20-40% домішок, які можуть негативно впливати на якість складу: магнетит, слюди, гідроталькїти, карбонати та інші домішки.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад серпентинітів

Назва	Хімічна формула	Вміст, мас. %
Серпентин	$Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$	60-80
Магнетит	$Fe_3O_4$	5-20
Хлорити	$(Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+})_x[AlSi_2O_{16}](OH)_8$	до 10
	$AB_{2-3}[T_4O_{10}](OH, F)_2$	
Слюди	де A = K, Na, Ca і ін.	до 10
	B = Al, Mg, Fe, T = Si, Al	
Форстерит	$Mg_2[SiO_4]$	до 5
Діюксид	$CaMg[Si_2O_6]$	до 5
Авгит	$Ca(Mg, Fe, Al)[(Si, Al)_2O_6]$	до 5
Амфіболи	$A_{2-3}B_5[(Si, Al)_4O_{11}]_2(OH)_2$	до 5
	де A = Mg, $Fe^{2+}$ , Ca або Na	
	B = Mg, $Fe^{2+}$ , $Fe^{3+}$ або Al	
Гідроталькїт	$Mg_6Al_2(OH)_{16}[CO_3] \cdot 4H_2O$	до 12
Карбонати	$CaCO_3, CaMg(CO_3)_2$ гідр.	до 12
Польові шпати,	$K[AlSi_3O_{10}]$	до 9
наприклад, ортоклаз		
Сульфїди,	$CuFeS_2$	до 2
наприклад, халькопірит		
Олівін	$(Mg, Fe)_2[SiO_4]$	до 3
Інші домішки	Азбест, платина, золото,	до 5
	рідкісноземельні елементи	

У ході багаторічної практики та спостережень з'ясувалося, що такі домішки знижують надійність та довговічність, особливо при високих навантаженнях та температурах. У той же час застосування серпентинів високого ступеня очищення дозволяє зберігати позитивний ефект до 3-х років та більше. Домішки мінералів і елементів, що

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

входять до складу серпентиніту, створюють характерне забарвлення, тому тільки виробних і облицювальних серпентинітів відомі тисячі видів. Переважна більшість із природних серпентинітів непридатна для виробництва добавок до мастильних матеріалів через підвищену наявність абразивів, таких як  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  або інших елементів, а також через невідповідний елементний склад або структуру. Таким чином, використовуючи «природний серпентиніт» невідомого складу, можна отримати негативний результат. Серпентиніт має високі експлуатаційні характеристики, близькі до характеристик граніту. Цей природний камінь має екологічність, стійкий до стирання та морозостійок. За радіаційними показниками серпентиніт придатний до використання у житловому та цивільному будівництві.

У ході проведених експериментів було з'ясовано, що якщо серпентиніт подрібнити в порошок до мікронного рівня і помістити в залізовмісну пару тертя, то під впливом тиску і високих температур, що виникають, відбуваються перетворення в поверхневому шарі металу. В результаті його зносостійкість підвищується у декілька разів.

Залежно від типу пари тертя, геометрії взаємодіючих поверхонь, навантаження на них та матеріалу, з якого ці пари виготовлені, можна отримувати різні триботехнічні ефекти, що впливають на їхню роботу.

Серпентиніт має гладку на дотик поверхню. Текстура масивна, сланцюватість практично відсутня. За особливостями мінерального складу розрізняють антигоритові, хризолітові, бронзитові, гранатові та інші серпентиніти.

Існують такі способи підготовки природного серпентиніту: 1. Спосіб підготовки природного серпентиніту, що включає диспергування природного мінералу, який перед використанням попередньо

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

механоактивують у суміші з солідолом з пульсацією тиску 0,01-1 МПа при температурі 40-100°C, при цьому вміст домішок в абразивоподібному порошку знаходиться в межах 3-10 мас.%. Такий вміст домішок забезпечує пасивуючі властивості сервовітної плівки, яку отримують в результаті використання природного серпентину як твердої добавки до солідолу.

2. Спосіб підготовки складу на основі суміші природних гідратів, таких як серпентин, тальк, пірротин, естатит, фаяліт, що включає диспергування, обробку в центрифугі та барокамері, в якій створювали режим насиченої пари з температурою 110°C і обробляли протягом 20 хв. Обробка порошку насиченою сухою парою при одночасному його розпиленні ефективно зневоднює його без спікання і робить його повітряним, додатково стабілізуючи його дисперсність.

2. Спосіб виготовлення складу для обробки пар тертя, що включає диспергування природного гідросилікату магнію, зневоднення та магнітне сепарування.

## 2.2 Опис трибологічного складу «Серпен – 3»

У ході дослідження з'ясувалося, що трибосклади на основі мінерального серпентиніту у виробництві не дали стабільних результатів щодо підвищення зносостійкості, коефіцієнта тертя через свою нестабільність.

Трибосклад сумішшю мінеральних солей природного походження. Основа суміші – силікат магнію, званого серпентин. Інші компоненти суміші - природні мінеральні солі кальцію, натрію, алюмінію, магнію, тугоплавких металів. Крупність частинок Трибоскладу один мікрон. Трибосклад хімічно інертна, нерозчинна у воді, несприйнятлива до сонячної радіації, озону та кисню. Шкідливі

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виділення газів, парів, випромінювань відсутні. Трибосклад призначений для зниження сил тертя в робочих парах різних машин та механізмів шляхом утворення на металевих поверхнях деталей високоміцного полікристалічного склоподібного покриття. Механізм утворення полікристалічної захисної плівки на металевій поверхні контактних пар при використанні трибологічного складу

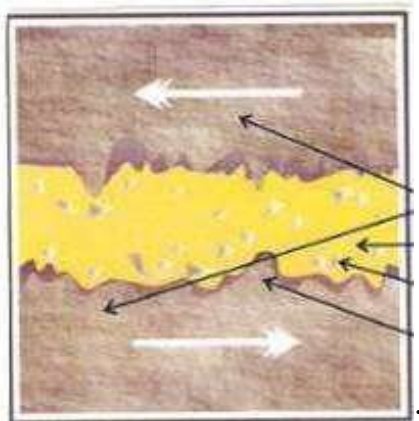


Рисунок 2.2 – Формування полікристалічної захисної плівки

1. Механізм утворення нової поверхні складається з кількох етапів: виникнення в мікросферах високого тиску і температури, виділення кристалогідратної води та як наслідок руйнування частини молекул компонентів, що входять до складу трибосотава, створення умов формування нової поверхні (рисунок 2.3).

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

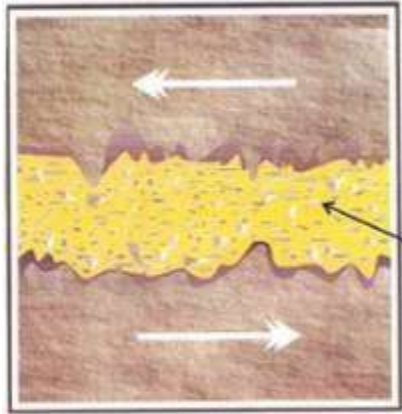


Рисунок 2.3 – Механізм утворення нової поверхні

3. Виступи мікрорельєфу додатково розмелюють частки композицій, що руйнуються при виділенні кристалогідратної води та утворюють на основі силікатів складні оксидні сполуки, необхідні для протікання реакції утворення полікристалічної захисної плівки. Насамперед відбувається заповнення поглиблень мікрорельєфу, потім починається вирівнювання та утворення власне захисної плівки.

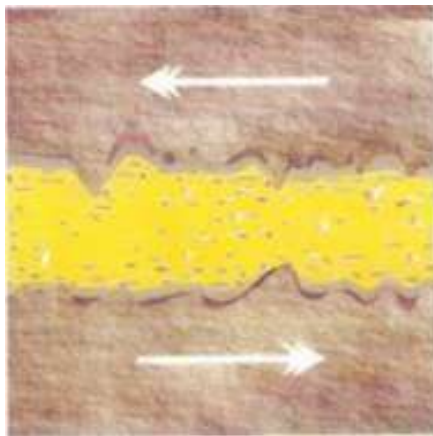


Рисунок 2.4 – Заповнення поглиблень мікрорельєфу

4. Процес формування нової поверхні призводить до вирівнювання геометрії деталей до оптимізації зазорів. При цьому відбувається вирівнювання зовнішніх шарів псевдо кераміки, що контактують один з одним, які відновлюють рельєф зношених

поверхонь і збільшують її міцність і твердість (рисунок 2.5).

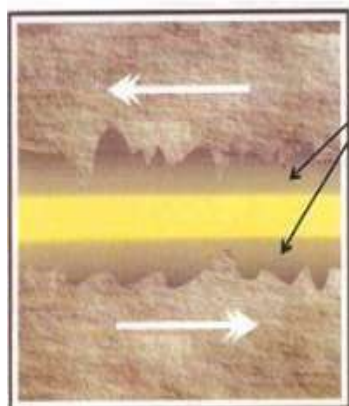


Рисунок 2.4 – Відновлення поверхні, утворення полікристалічної захисної плівки

### 2.3 Заявлені випробування триболгічного складу

У систему змащення двигуна 1 грам наномодифікатора і дали попрацювати 15 хвилин на «холостому ході». У систему мастила МКПП додали 0,5 г наномодифікатора і піддавшись тиску з боку власника автомобіля під його відповідальність, дозволили йому ввести в систему гідروпідсилювача керма 0.3 г наномодифікатора .

Автомобіль було оглянуто. Спідометр: 528934.

Сторонні шуми у двигуні затихли, відзначено покращення розгінної динаміки. МКПП працює у штатному режимі, перемикання плавні. Шум із боку ГУР зник, зусилля знизилася. Водій стверджує, що знизилася витрата палива на 15%.

При тестуванні наномодифікатора "СЕРПЕН-3" вимірювальний інструмент не застосовувався, всі перевірки проведені органоетричним методом.

Ресурсні випробування наномодифікатора не проводились. Виявлено

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

покращення у роботі ДВС, МКПП, ГУР.

До початку випробувань було виконано наступне: окрему ємність налили близько 50 мл. моторної олії. Потім у кришку від флакона, що містить композицію , насипали до верху кришки композицію і висипали їх у ємність із олією. Після цього суміш залили через горловину у двигун.

Потім запустили двигун і на неодружених оборотах двигун працював 30 хвилин. Через 30 хвилин після початку роботи двигуна на неодруженому ходу двигун відключили і повністю злили моторне масло з двигуна. Після зливу олії відключили вентилятор охолодження двигуна.

Потім підняли кількість обертів до 1500 об/хв. Двигун цих оборотах пропрацював 30 хвилин. Потім підняли кількість обертів до 2000 об/хв і двигун пропрацював 15 хвилин. Потім підняли число обертів до 2500 об/хв і двигун знову працював 15 хвилин. Потім підняли кількість обертів до 3000 об/хв і двигун працював ще 15 хвилин. Потім підняли число оборотів до 5000 об/хв, після чого через 3 хвилини двигун заклинило.

Висновок: Двигун легкового автомобіля, попередньо оброблений протягом 30 минут трибоскладом у співвідношенні 5 грам композиції на 4,5 літра моторного масла, зберігає повну працездатність у разі повної втрати олії протягом мінімум 1 години і в діапазоні від 1,0. км/год здатний забезпечити самостійний виїзд автомобіля до місця ремонту на відстань до 50 км. мінімум при працюючому вентиляторі повітряного охолодження двигуна.

=

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.4 Дослідження та випробування трибоскладів на основі серпентину

Вплив композицій на основі серпентиніту на зношені поверхні недостатньо вивчені. Проведені одиничні експериментальні дослідження, як у стендах, імітують ті чи інші пари тертя, і натурні випробування на реальних об'єктах і машинах, неможливо зробити однозначні висновки про характер впливу вузли тертя з погляду його залишкового ресурсу.

Крім того, виявлено нестабільність позитивного ефекту при застосуванні антифрикційних складів на основі серпентиніту і головна причина полягає в наявності великої кількості домішок, найчастіше склад яких та їх спектр негативного впливу на контактну пару користувачам просто не відомий.

Дослідження показали таке:

1. Основою більшості препаратів – геомодифікаторів тертя (ГМТ) є лізардит, кальцит, доломіт, клинохлор, мусковіт, тальк, кварц, шпинель тощо.

2. У деяких препаратах є склад фаз, який без змін без очищення відповідно входить до складу комплексного природного мінералу виробного каменю "Змійовик" Малишевського кар'єру або "Лиственіт" Карельського перешийка, тільки в подрібненому вигляді.

3. Деякі порошки ГМТ містять у своєму складі шпинелі, а також кварц, оксиди алюмінію та кремнію, що є небажаними твердим абразивним матеріалом в антифрикційному препараті.

4. Не виявлено матеріалів, що є «ноу-хау» (як записано в патентах), таких як: кластери вуглецю (наприклад «фулерени», «нанотрубки»), рідкісноземельні метали; «природні фулерени»

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

благородних металів, одержання яких потребує застосування високих технологій та енерговитрат.

5. Головним негативним моментом є те, що навіть в одного й того ж виробника препарату ГМТ, взятого з різних партій, не вдалося знайти двох однакових складів, що говорить про повну відсутність будь-якого контролю на відповідність препарату заявленим ТУ та засобам вихідного контролю.

Основну масу порошку становлять частинки від 5 до 300 мікрон замість 2-15 мікрон, заявлених у ТУ на дані порошки виробниками, причому частинки від 100 мікрон і вище становлять понад 70%. В умовах штатної експлуатації та нормальному поділі поверхонь тертя мастильним матеріалом відзначається деяке погіршення практично всіх параметрів (температури, коефіцієнта тертя, зносу) до 5-10%, ніж зі штатним мастилом. Не були отримані, декларовані фірмами-виробниками аномально низькі коефіцієнти тертя 0,001 і менше.

Також не було виявлено на поверхнях тертя явних структурних змін мікротвердості в поверхневому шарі зразків, що випробовувалися як з препаратом, так і з базовою олією протягом 1,5 і 25 годин, було відзначено утворення рисок (шириною до 0,05 мм і довжиною до 1,5-2,0 мм) на сталевих не термооброблених зразках (сталь 20X13, 40X, 45) по контртелу з сірого чавуну 45 хв. [7].

Геомодифікатори, потрапляючи в зону тертя, вносять структурні зміни в поверхню тертя, які здатні модифікувати її в триботехнічно вигідному напрямку. Принципова відмінність ГМТ від інших присадок, добавок полягає в тому, що в триботехнічну систему вноситься речовина, що ініціює процеси, що самоорганізуються. ГМТ допомагає триботехнічній системі

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

«визначитися» якою має бути структура поверхні, висота модифікованої структури, шорсткість, хвилястість і т.д.

Результатом цих процесів при додаванні ГМТ має стати модифікований шар, який відрізняється від вихідного такими властивостями:

- оптимальною хвилястістю;
- шорсткістю;
- структурою з максимальною кількістю вільних зв'язків, що забезпечує

значно більшу маслоутримуючу здатність.

Основними перевагами геомодифікаторів тертя є:

1. Здатність створювати динамічні захисні плівки, утворені тонкодисперсними продуктами зношування та самого геомодифікатора у вигляді квазізрідженого шару, що дозволяє багаторазово знижувати швидкість зношування вузлів тертя;
2. Зміщення характеристик ближче до гідродинамічного тертя, та, отже, зниження механічних втрат;
3. Хімічна, електрична нейтральність та екологічна чистота природного продукту;
4. При постійному діапазоні режимів роботи вузла тертя модифікований шар зберігається до термоциклічного втомного руйнування.
5. Але найбільш характерною властивістю геомодифікаторів тертя є можливість відновлення вузлів тертя двигунів, механізмів та пристроїв за рахунок ініціювання самоорганізованих трибопроцесів у напрямку відновлення фізичних зв'язків поверхневого шару з тонкодисперсним середовищем основного матеріалу в мастильному середовищі ДВЗ, механізмів та

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пристроїв.

Випробування зразків проводилися у повній відповідності до ДСТУ 9490-75 з шести кратним повторенням, з мастилом Літол-24. Результати представлені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Результати випробувань трибоскладів на основі мастила Літол-24

Змащення задира,	Діаметр плями зносу, мм		Середній діаметр плями зносу, мм	Навантаження, кг
	1	2		
Літол-24+ серпентин 0,3%	1	0,819	0,795	160
	2	0,805		
	3	0,798		
	4	0,77		
	5	0,777		
	6	0,798		
Літол-24+ «Серпен-2» 0,3%	1	0,707	0,712	168
	2	0,721		
	3	0,7		
	4	0,7		
	5	0,742		
	6	0,7		
Літол-24+ «Серпен-3» 0,3%	1	0,707	0,72	168
	2	0,7		
	3	0,714		
	4	0,742		
	5	0,721		
	6	0,725		

Аналіз результатів випробувань зразків:

1. Чистий серпентин виявляє дуже слабкі трибологічні властивості.
2. Введення двох компонентів у чистий серпентин («Серпен-2»)

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зумовило зниження тертя на 15% при тому ж навантаженні задира (160 кг).

3. Введення двох компонентів у композицію «Серпен-2» () дало можливість отримати таке ж зниження тертя, але при більшому навантаженні задира (168 кг).

4. Виявлено тенденцію у створенні композицій на основі серпентину, володіють стабільними і яскраво вираженими трибологічними властивостями, виробництво яких можливе у промислових масштабах.

Таблиця 2.3 - Результати випробування трибосотавів на олії ПС-28

Змащення задира,	Діаметр плями зносу, мм		Середній діаметр плями зносу, мм	Навантаження КГ
	Повторення НЯ	Значення		
Олія ПС-28 чисте	1	0,567	0,5623	126-133
	2	0,553		
	3	0,567		
ПС-28 + 3% «Серпен-5»	1	0,819	0,795	160
	2	0,805		
	3	0,798		
ПС-28 + 10% «Серпен-5»	1	0,707	0,7443	282-300
	2	0,763		
	3	0,763		
ПС-28 + 10% «Серпен-5»	1	0,728	0,742	> 400
	2	0,749		
	3	0,749		

Аналіз результатів випробувань зразків:

1. Композиції та «Серпен-5» у виробничих умовах виявляють свої трибологічні властивості та знижують сили тертя у два-три рази.

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Незрозуміло чому композиція виявляє вищі трибологічні властивості порівняно з композицією «Серпен-5» навіть за меншої концентрації.

3. Потрібна більш продумана методика та технологія промислових випробувань із максимальним супроводом контролю параметрів процесу.

З перерахованого вище можна зробити висновок, що випробування композицій і «Серпен-5» на вантажному та легковому автотранспорті, які проводилися загалом понад 50 машин, жодного негативного випадку виявлено був. У всіх випадках застосування особливо композиції на двигунах внутрішнього згорання, в механічних коробках передач, роздаткових коробках та інших вузлах спостерігається стійке підвищення потужності, зниження витрати палива, зменшення шуму та вібрації, покращення загальної динаміки машини під час руху.

Для проведення подальшого дослідження наведено приклади виробництва та випробування трибоматеріалів на основі серпентину.

Для приготування твердозмащувальної композиції були використані наступні компоненти: серпентин у вигляді суміші з 8 г хризотил-азбесту, 28 г офіту, 20 г антигориту і 24 г лізардиту (в мас. ч. відповідно 1: 3,5: 2,5: 3), 5 г ам 10 г пірофіліту, 5 г ПАР (ОП-7). Компоненти змішують в атриторі, контролюючи ступінь помелу. Твердомастильну композицію в кількості 2 г піддають механоактивації ультразвуком з сполучним на основі масла І-8, взятому в кількості 198г, що відповідає складу, що розміщується між поверхнями, що труться, мас. %: твердозмащувальна композиція 1, що зв'язує 99.

Випробування, проведені на машині тертя СМЦ-2 за схемою

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

"дисколадка" (диск із сталі 45 БрОЦС5-5-5) в індустріальному маслі І-8 (обсяг ванни 200 мл) при питомому навантаженні 8 МПа і швидкості ковзання 0,92 м/с, показали

1. За період опрацювання пари тертя втрата маси ролика склала 0,0002 г, а втрата маси колодки – 0,0160 г;

2. У період встановленого режиму тертя за 30 хв втрата маси ролика склала 0,0001 г, а колодки – 0,0032 г;

3. Після запровадження складу за 30 хв маса ролика збільшилася на 0,0022 г, а втрата маси колодки становила лише 0,0004 г.

4. Розмір моменту сил тертя зменшилася в 14-15 разів проти періодом встановленого режиму тертя

Результати експериментальних робіт з впровадження технології згідно з винаходом свідчать про економію енергоресурсів у різних галузях: наприклад, на нових токарних верстатах, крім зниження шумів і вібрацій, витрата електроенергії скорочена на 35-40%; продуктивність компресора 202 ВП-10/8У4 збільшилася на 20%, збільшився тиск на першому ступені, при цьому споживана потужність електроенергії зростає не більше ніж на 3%, віброакустичні характеристики значно покращилися; відзначено загальне зниження рівня шуму в різних режимах роботи верстатів токарних 16К 20 при зменшенні радіального биття шпинделя з 5 Композицію природних мінералів, що містить карпінскіт, кочубейт, алевроліт, подрібнюють у молотковому млині до фракцій 0,01-0,5 мм з подальшою електромагнітною флотацією для видалення домішок заліза. Отриманий очищений матеріал змішують з технічним маслом марки МС-20 в рідинному кавітаційному дезінтеграторі протягом 30 хвилин, при цьому масове співвідношення олії та мінеральної композиції становить (60-

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

70):(0,5-1,0). У суміш технічної олії та мінеральної композиції може бути додано поверхнево-активну речовину (ПАР) у кількості 2-5% від маси композиції природних мінералів для поліпшення їхньої дисперсії в олії. Потім суміш відстоюють протягом 12 годин, осад видаляють, а суспензію, що утворилася, вводять модифікатор - фулеренову сажу. Подальше змішування здійснюють у механічному змішувачі протягом 15 хвилин. Отриману суміш відстоювали протягом 6 годин, осад видаляли, а суспензію, що залишилася, для випробувань заливали в механізм з поверхнями, що труться, з додаванням чистого моторного масла марки SAE 10W-40 в машину тертя моделі 2070 СМТ- 1 за схемою ковзання рухомого ролика. Ролики виготовлені із сірого чавуну марки СЧ 20 ДСТУ 1412-85. Випробування проводили протягом 10 годин. Частота обертання рухомого ролика 300-1000 оборотів за хвилину.

Встановлено покращення прироблюваності деталей та зменшення кількості дефектів (виривів, мікротріщин тощо). Зникли грубі ризики, залишені внаслідок заводської обробки, або отримані в результаті штатної експлуатації. Крім того, було досліджено покриття, утворені при використанні композиції, що містить менше 40 мас.% і більше 60 мас.% карпінскіту.

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1.Загальна методика

Загальна методика дослідження розроблено в відповідно з поставленими метою і завданнями і включає розділи:

1. Теоретичний;
2. Експериментальний;
3. Стендові випробування;
4. Аналіз результатів дослідження.

Теоретичні дослідження відображені вище, включали вивчення та аналіз літературних відомостей про досліджувані об'єкти, які базуються на основі сучасних уявлень про процеси трибології, сучасних досягнень технологічних процесів при виготовленні деталей, а також на основі сучасного технічного стану машин і агрегатів. Теоретичні дослідження включають розробку теоретичних передумов щодо зниження шорсткості на поверхні трибопар і збільшення зносостійкості, утворення антифрикційної захисної плівки з використанням трибоматеріалу РВС на основі серпентину.

Експериментальна частина роботи складається з досліджень, що проводяться в лабораторних умовах на експериментальних стендах та пристроях з урахуванням імітації трибосполучень при реальній експлуатації вузлів та механізмів ТЗ.

Ця частина передбачає виконання наступних етапів:

- аналіз даних шорсткості поверхні та аналіз причин її зміни у трибосполученнях;
- виконання трибологічних досліджень трибоматеріалу, в парах тертя на трибомашині, при різних режимах тертя, навантаження та температури;

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– розробку та виготовлення конструкції для вибору різних режимів тертя та застосування його з метою утворення антифрикційного, захисного покриття на поверхні трибосполучень.

### **3.2 Методика дослідження трибоскладу, його вплив на шорсткість**

поверхонь тертя, на утворення антифрикційної, захисної плівки

Дослідження щодо впливу на шорсткість поверхні, при різних режимах тертя, навантаження, температури і видів мастила, а також утворення антифрикційного захисного шару на поверхні трибопар проводилися на розробленому пристрої для випробування мастил при терті. Як зразки використовувалися металеві ролики зі сталі ШХ45 твердістю 45HRC. Поверхні роликів були попередньо оброблені шліфуванням і мали різну величину шорсткості від  $R_a = 0,260-0,337\text{мкм}$ , до  $R_{\text{max}} = 1,733-2,052\text{мкм}$ .



Рисунок 3.1 – Профілограф-профілометр

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як контрзразки були застосовані ролики зі сталі ШХ45. Шорсткість поверхонь роликів до і після експериментів замірялася на профілометр моделі, з програмним забезпеченням з обробки філограм АБРІС - ПМ7 (рисунок 3.1), а так само фіксувалася за допомогою електронного мікроскопа (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Електронний мікроскоп

При цьому враховуючи що антифрикційне, захисне покриття, з

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наведених вище дослідженні та робіт, повинно мати діелектричні властивості, були зроблені виміри опору за допомогою мультиметра (рисунок 3.3).

Для виявлення утворення на поверхнях антифрикційного тертя, захисного шару, передбачається проведення експериментальних досліджень, що забезпечують виявлення протизносних та антифрикційних властивостей у трибосполученні зразків, що випробовуються.



Рисунок 3.4 – Машина тертя

Дослідження трибопрепарату в даній роботі проводилися на машині тертя ЗІП - ІІ 5018 (рисунок 3.4).

Область використання машини загальні трибологічні дослідження, що включають моделювання трибосоп'яжений різних типів, дослідження умов і ресурсу їх роботи, отримання

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

експериментальних даних для математичного моделювання трибосполучень і верифікації розрахункових моделей. Дослідження механізмів тертя та трибологічних властивостей мастильних матеріалів.

Можливості. Схеми випробувань: "диск диск", "диск нерухомий - диск", "диск - колодка", "вал - втулка". Параметри, що вимірюються: момент тертя, шлях тертя, температура.

Особливості машини тертя полягають у електромеханічному приводі з плавним регулюванням частоти обертання, процеси випробувань та обробки результатів автоматизовані.

До складу машини П 5018 входить: випробувальна установка з оперативним пультом, приладова стійка з силовим обладнанням, блок мікропроцесорний, програмно-технічний комплекс, включаючи програмне забезпечення.

Загальні характеристики:

- Діапазон вимірювання сили притиску зразка, Н 100 - 5000;
- Діапазон вимірювання моменту тертя, Н · м 2 - 20;
- Діапазони вимірювання частоти обертання, хв150 - 2000.

Подальше дослідження буде виконано за допомогою кількох схем навантаження тертя:

1. Система навантаження зразків, сталевих роликів 45x10мм, ковзання рухомого ролика про рухомий. У даному виді навантаження будуть роблені кілька повторень як для звичайної олії, так і трибоскладу ;

2. Система навантаження зразків, сталевих роликів 45x10мм, шляхом ковзання рухомого ролика не рухомий. Буде проведено тривале випробування із трибоскладом .

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2.1 Проведення експерименту за системою навантаження зразків шляхом ковзання рухомого ролика об рухливий  
Для подальшого дослідження необхідно навести короткий огляд цієї системи.

Режим сухого тертя – зовнішнє тертя без мастильного матеріалу.

Режим граничного тління – зовнішнє тертя за наявності на поверхнях тертя граничного шару мастила квазікристалічної структури завтовшки до 0,1 мкм. Поляризовані молекули мастила орієнтуються вертикально під впливом змінного електричного поля, що генерується поверхневим шаром атомів твердого тіла. Як правило, граничний шар мастила утворює кілька шарів молекул, причому зв'язок молекул з поверхнею зі збільшенням числа шарів слабшає і стає настільки малою, що теплові коливання молекул не дозволяють створити якусь упорядковану структуру. Граничний шар у нормальному до поверхні напрямку витримує величезні напруги, порівнянні з міцністю матеріалу поверхні твердого тіла, і практично не чинять опір дотичних напруг.

Зсувний опір молекулярного зв'язку (при граничному терті) мало і коефіцієнт тертя приблизно на порядок менше коефіцієнта тертя при терті без мастильного матеріалу. Адсорбція молекул мастильного матеріалу на металевій поверхні протікає з великою швидкістю, тому гранична плівка має властивості відновлення. При нестачі мастила на утворення граничного шару тертя переходить у режим сухого тертя, причому коефіцієнт тертя збільшується в 2-10 разів.

Якщо не розглядати процес приробітку, протягом якого змінюється технологічна шорсткість, то при випробуваннях на тертя знос ми матимемо справу з рівноважною шорсткістю, яка при

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

незмінних швидкості та навантаженні має цілком конкретне значення і відтворюється. Коефіцієнт тертя матиме мінімальне значення при заданих значеннях швидкості обертання, навантаження та температури поверхонь тертя.

Залежно від контурного тиску в зоні контакту зразків розрізняють такі чотири види контактної взаємодії.

1. Пружний ненасичений контакт.
2. Пружний насичений контакт.
3. Пластичний ненасичений контакт.
4. Пластичний насичений контакт.

Пружний контакт має місце, коли максимальна напруга і найбільш впроваджена мікронерівність менша за твердість по Бринелю менш жорсткого елемента пари тертя. Реалізується для напрацьованих поверхонь вузлів тертя та матеріалів з низьким значенням модуля пружності, наприклад, гуми.

Пластичний контакт має місце, коли середні нормальні напруги в зонах торкання нерівностей досягають значень твердості Бринелю деформованого матеріалу.

Ненасичений контакт має місце, коли число нерівностей, що контактують, менше числа нерівностей на контурній площі контакту.

Насичений контакт - число нерівностей, що контактують, дорівнює т числу на контурній площі контакту.

Отже, після приробітку визначальними будуть пружні деформації мікровиступів шорсткої поверхні, причому зона цих деформацій лежатиме на межі пружних та пластичних деформацій мікровиступів поверхонь вузла тертя. У роботі буде вивчений коефіцієнт тертя припрацьованих поверхонь зразків, з цієї точки

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зору розглядатиметься лише пружний ненасичений контакт, який реалізується і є основним для металеві пари тертя в період після приробітку аж до початку катастрофічного зношування.

Порядок роботи та обробка результатів випробування

1. Встановити зразки роликів 45мм шириною 10мм перед встановленням

зачистити поверхні тертя шкіркою та знежирити;

2. Включити машину П-5018;

3. Задати навантаження ( $N = 600 \text{ Н}$ ) на зразки та число обертів нижнього валу ( $n=600 \text{ об/хв}$ ). Припрацювати поверхні зразків протягом 5000 (циклів, контроль здійснювати за лічильником оборотів);

4. Записати значення моменту тертя. Це значення порівнюватиметься між повтореннями.

5. Залишивши незмінне навантаження ( $N = 600 \text{ Н}$ ), плавно змінювати число оборотів  $n = 200; 400; 600; 800; 920 \text{ об/хв}$ . Результати виміру моменту тертя зафіксувати;

6. Встановити кількість обертів  $n = 600 \text{ об/хв}$  і, не змінюючи частоти обертання, плавно задати гвинтом навантаження ряд значень навантаження на зразки  $N = 100; 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800; 900; 1000; 1100; 1200; 1300; 1400; 1500; 1600 \text{ Н}$ . Результати вимірів моменту тертя зафіксувати;

7. Встановити кількість обертів  $n = 600 \text{ об/хв}$  та навантаження  $N = 300 \text{ Н}$ . зафіксувати момент тертя. На поверхню, що утворює, нижнього зразка з піпетки нанести одну краплю моторного масла;

8. Не змінюючи режиму ( $n$  та  $N$ ) слідкувати за моментом тертя та дочекатися переходу граничного тертя у сухе, зафіксувати час;

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Не змінюючи частоти обертання ( $n = 600$  об/хв), встановити ряд значень навантаження  $N = 100; 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800; 900; 1000; 1100; 1200; 1300; 1400; 1500; 1600$  Н. При цьому періодично з піпетки поповнювати масло, що вигорає, на зразках. Результати виміру моменту тертя зафіксувати.

Для першої схеми навантаження трибосполучення будуть використані ролики зі сталі 45, діаметром 45 мм та шириною 10 мм. Твердість роликів не менше 45HRC. Вихідна шорсткість поверхонь тертя  $Ra = 0,3$ .



Рисунок 3.5 – Зразки – ролики для машини тертя П-5018

На Рисунку 3.5 представлені зразки – ролики для машини тертя для визначення впливу моторного масла, що містить різні трибоматеріали, на зміну шорсткості поверхні та зносостійкості зразків.

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

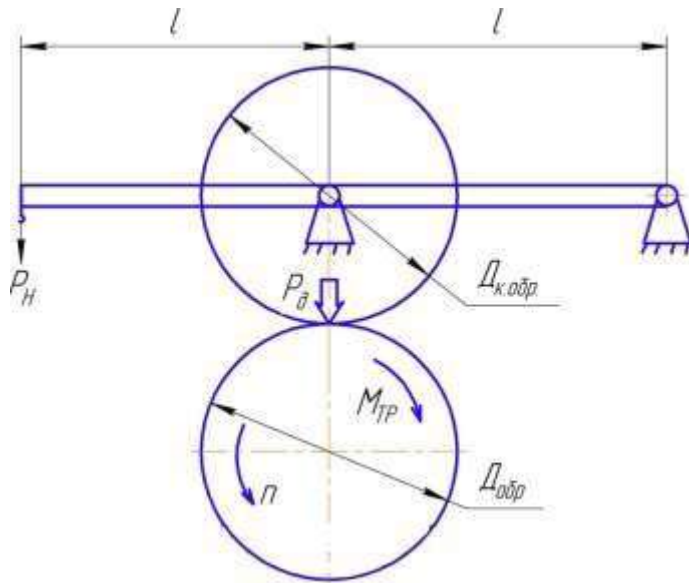


Рисунок 3.6 – Схема навантаження трибосполучення на П-5018 по визначення моменту тертя та шорсткості зразків при різних режимах тертя, навантаження та частоти обертання валу, як з використанням трибоматеріалу, і на чистому маслі:  $P_H$  – сила навантаження, Н;  $P_D$  - зусилля тиску, Н

Перша схема навантаження зразків представлена Рисунок 3.6., у своїй необхідно відзначити що обидва ролика і верхній і нижній перебувають у русі, а швидкість обертання верхнього ролика буде зменшено на 20%, що дасть ефект прослизання.

Виробляється по 6 повторень, при цьому після кожного повторення поверхня тертя ролика зачищається шкіркою та знежирюється. Зміна шорсткості зразків визначається за допомогою філографа та електронного мікроскопа (рисунок 3.1, 3.2) до та після випробувань.

Попередніми експериментами встановлено, що чим менше момент тертя при більшому навантаженні на зразки при терті в

суміші олії трибоскладу, порівняно зі зносом тим же режимом при терті на чистій олії, тим більше правомірним можна зробити висновок про утворення антифрикційного шару, а отже зменшення шорсткості поверхні, а це означатиме, що трибосклад є ефективним.

### 3.2.2 Проведення експерименту за системою навантаження зразків шляхом ковзання рухомого ролика об рухливий

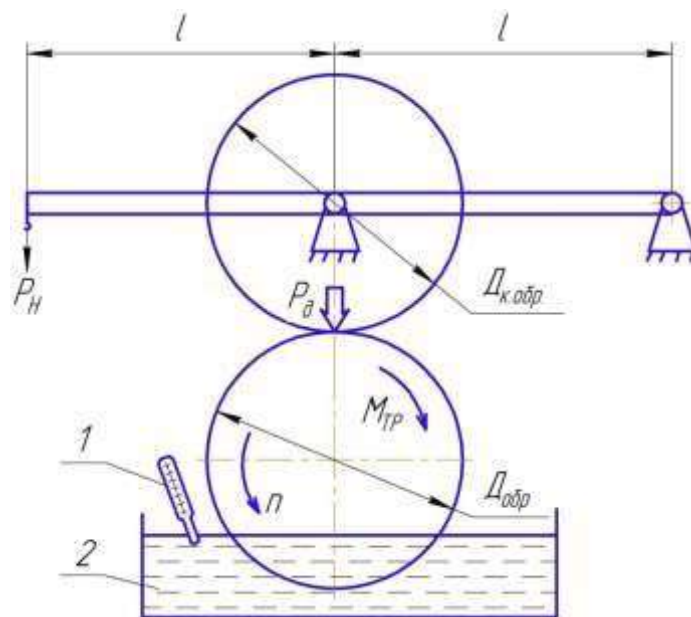


Рисунок 3.7 – Схема навантаження та мастила трибосполучення на П-5018 щодо визначення моменту тертя та шорсткості зразків при використанні трибоматеріалу, що міститься в олії: 1 – термометр із термопарою; 2 – ванна з досліджуваним мастилом, що містить трибоматеріал;  $P_H$  – сила навантаження, Н;  $P_D$  – зусилля тиску, Н;

Для даного типу трибосполучення була виготовлена масляна ванна ємністю 120мл, так само будуть взяті сталеві гартовані ролики

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зі сталі 45, діаметром 45 мм і шириною 10 мм. Твердість роликів щонайменше 45 HRC. Вихідна шорсткість поверхонь тертя  $Ra = 0,3$ . Схема навантаження зразків представлена Рисунок 3.7.

Величина шорсткості поверхні тертя зразків так само визначатиметься допомогою філографа та електронного мікроскопа (рисунок 3.1, 3.2) до і після випробувань.

Порядок роботи та обробка результатів випробування

1. Встановити зразки роликів 45мм. Після встановлення зачистити та знежирити поверхні зразків, при цьому необхідно відзначити, що в даній системі відбувається ковзання нижнього ролика, нерухомого верхнього;

2. Встановити на машину масляну ванну із трибоматеріалом;

3. Налаштувати програмне забезпечення трибомашини;

4. Підключити термопару та налаштувати термометр;

5. Включити машину П-5018;

6. Задати навантаження  $N = 600$  Н на зразки та число обертів нижнього валу

$n=600$  об/хв.;

7. Вийти на робочий режим температури від 70-85°C. Виконати спостереження за моментом тертя.

8. Підтримувати робочий режим температури протягом усього часу експерименту протягом 10 годин. Для підтримки постійного режиму можна змінювати кількість обертів, залежно від того, нижча або вище потрібна температура, діє пряма залежність. Слідкувати за змінами в режимі тертя, а саме момент фіксувати для подальшого виведення;

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ УТВОРЕННЯ ШАРУ

### 4.1. Випробування при ковзанні рухомого ролика по рухомому

В даному вигляді (ковзання з прослизанням) навантаження трибопар, на машині тертя ЗІП ІІ 5018, на нижній і верхній вал машини були встановлені два сталеві ролики діаметром 45мм. Обидва вали не затиснуті, у русі. Для імітації прослизання на верхній вал була встановлена приводна шестерня більшого діаметра, яка забезпечувала б на 20% менше швидкості в порівнянні з нижньою.

Проведено 6 повторень у кожному з наступним порядком роботи: 1. За допомогою електронного мікроскопа були зроблені фотографії

шорсткості контактної поверхні роликів;

2. На профілактограф-профілометрі зроблено виміри шорсткості поверхні роликів;

3. Поверхня обох роликів зачищалася абразивною шкіркою зернистістю 1000мкм, потім знежирювалась;

4. Після підготовчих робіт, на трибомашині встановлювалися ролики і при навантаженні N 600Н, і частоті обертання n 600об/хв протягом 5000 оборотів, відбувалася приробіток поверхонь роликів один до одного,

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлення рівноважної шорсткості. Були зафіксовані показники моменту тертя  $M$  заданий проміжок;

5. Встановивши фіксоване навантаження  $N=600\text{Н}$ , плавно змінювалося число оборотів  $n=200; 400; 600; 800; 920\text{об/хв}$ , були зняті показники моменту тертя  $M$  для кожної частоти;

6. Встановивши фіксовану частоту обертання  $n=600\text{об/хв}$ , плавно змінилося навантаження на зразки  $N = 100; 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800;$

$900; 1000; 1100; 1200; 1300; 1400; 1500; 1600\text{Н}$ , від меншого до більшого, було зафіксовано зміни показників моменту тертя  $M$ ;

7. Встановивши фіксовану частоту обертання  $n=600\text{об/хв}$  фіксоване навантаження  $N = 300\text{Н}$ , дочекавшись встановлення моменту тертя, на контактуючу поверхню нижнього зразка з піпетки була нанесена одна крапля мастила, спочатку чистого моторного масла (моторне дизельне масло ZIC 5000, 10W-40), згодом масло з трибоскладом. Були зафіксовані значення моменту тертя та час вигорання краплі мастила;

8. Для імітації режиму граничного тертя, на трибомашині були задані умови: встановлена фіксована частота обертання  $n = 600\text{об/хв}$ , плавно змінилося навантаження на зразки  $N = 100; 200; 300; 400; 500; 600; 700; 800;$

$900; 1000; 1100; 1200; 1300; 1400; 1500; 1600\text{Н}$ , від меншого до більшого.

При цьому періодично з піпетки на контактуючу поверхню трибопар поповнювалося мастило, що вигоряє, до встановлення моменту тертя.

Зафіксовано показники моменту тертя  $M$ .

Дані випробування були проведені як для чистої олії ZIC 5000, 10W-40, так і олії ZIC 5000, 10W-40 з додаванням трибоскладу . Для зручності всі отримані дані були оброблені та зведені до таблиць.

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як видно з таблиці 4.1 при постійному навантаженні на зразки  $N = 600\text{Н}$  і поступове збільшення частоти обертання, зменшувався момент тертя, спостерігалася зворотна залежність. Не дивлячись на кількість повторень показники немає якихось значних коливань, практично однакові.

При частоті 200 об/хв  $M=7,5-7,65$ , при 400 об/хв  $M=7,25-7,3$ , при  $n=600$  об/ хв  $M=6,7-7$ , при  $n=800$  об/хв  $M=6,4-6,8$ , при  $n=920$   $M=6,2-6,8\text{Нм}$ .

Таблиця 4.1 - Значення моменту тертя  $M$ ,  $\text{Нм}$ , при сухому терті, без олії, з частотою обертання  $n = 200 - 920$  об / хв з кроком 200 об / хв, при навантаженні  $N = 600$ .

Навантаження $N, \text{н}$ .	Момент тертя $M, \text{Нм}$ , 1-ом	Момент тертя $M, \text{Нм}$ , у 2-му	Момент тертя $M, \text{Нм}$ , 3-м	Момент тертя $M, \text{Нм}$ , 4-м	Момент тертя $M, \text{Нм}$ , 5-м	Момент тертя $M, \text{Нм}$ , 6-м	Середній момент тертя, $\text{Нм}$	Коефіцієнт тертя $f_e$
100	1,5	1,5	1,6	1,4	1,55	1,2	1,458	0,6488
200	2,7	2,7	2,73	2,5	2,7	2,3	2,605	0,578
300	3,95	3,8	4	3,75	3,88	3,75	3,855	0,571
400	5,25	4,9	5	4,6	5	4,5	4,875	0,541
500	6,43	5,86	6,1	5,7	6,15	5,35	5,931	0,527

Таблиця 2. Значення моменту тертя  $M$ , Нм, при сухому терті, без олії, з фіксованою частотою обертання  $n=600$  об/хв, навантаженні  $N=100 - 1600$  Н, з кроком 100 Н.

Найменування	Частота обертання $n$ , про/хв, $N=600H$				
	2200	400	600	800	920
Момент тертя $M$ , Нм, 3-му	7,7	7,4	7	6,6	6
Момент тертя $M$ , Нм, 4-му	7,65	7,3	7	6,5	6,4
Момент тертя $M$ , Нм, у 5-му	7,6	7,3	7	6,8	6,8
Момент тертя $M$ , Нм, у 6-му	7,2	7	6,7	6,5	6,4
Середній момент тертя, Нм	7,55	7,258	6,925	6,6	6,411
Коефіцієнт тертя $f_e =$	0,55925	0,53765	51296 0,	48888 0,	47493

З таблиці 4.2 видно, що при сухому терті, при постійній частоті обертання  $n=600$  об/хв, і плавному збільшенні навантаження на зразки, підвищувалися значення моменту тертя, спостерігалася пряма залежність. Отримані дані значення не суперечать теоретичним даним.

Як видно з таблиць 4.1 та 4.2 при значному повторенні експерименту, показники моменту тертя не мають значної різниці, що свідчить про стабільність змін в умовах відданих.

Відповідно до таблиці 4.3 були проведені випробування на вигорання однієї краплі олії ZIC 5000, 10W-40, у даних випробуваннях при кожному повторенні були отримані різні показники моменту тертя та час вигорання. Як видно у другому випробуванні були отримані кращі показники за часом вигорання 23хвилини, а в четвертому найгірші 15 хвилин. Момент тертя кожному за повторення був так само індивідуальний. Дані значення могли сформуватися внаслідок того, що мастило на поверхню тертя додавалася в ручну, обсяг її міг бути різний, так само мастило могло подаватися в різні місця поверхні

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тертя.

Таблиця 4.3

Навантаження N, н.	Момент тертя M, Нм, 1-ом	Момент тертя M, Нм, у 2-му	Момент тертя M, Нм, 3-м	Момент тертя M, Нм, 4-м	Момент тертя M, Нм, 5-м	Момент тертя M, Нм, 6-м	Середній момент тертя, Нм	Коефіцієнт тертя fe
600	7,32	6,66	7	6,7	7,25	6,28	6,868	0,508
700	8	7,4	7,77	7,77	7,5	7,2	7,606	0,482
800	9	8,3	8,6	8,7	8,6	8,1	8,55	0,475
900	9,9	9,2	9,5	9,5	9,45	9	9,425	0,4654
1000	10,7	10	10,3	10,35	10,45	9,9	10,283	0,457
1100	11,55	10,8	11,15	11,15	11,35	10,7	11,117	0,4492
1200	12,31	11,6	12	12	12,3	11,6	11,968	0,4433
1300	12,9	12,45	12,8	12,8	13,1	12,45	12,75	0,4359
1400	13,6	13,4	13,65	13,65	14,1	13,3	13,617	0,4323
1500	14,27	14,27	14,5	14,5	15	13,9	14,407	0,4369
1600	15	15,1	15,35	15,4	16	15	15,308	0,4252

Аналізуючи значення, отримані в таблиці 4.4, так само як і в таблиці 4.1. 4.2, можна зробити висновок про відсутність будь-яких значних змін у моменті тертя при граничному режимі тертя, незалежно від кількості повторень, що свідчить про ідентичні процеси, що протікають у даному трибосполученні з однаковими умовами, на які не впливають жодні сторонні фактори. У цих значеннях також проглядається пряма залежність моменту тертя від збільшення навантаження на зразки. Можна відзначити, що при граничному режимі тертя показники моменту тертя в порівнянні зі значеннями в таблиці 4.2 значно менші, що в принципі є закономірним, оскільки випробування проводилися за різних режимах тертя як із мастилом, і без неї.

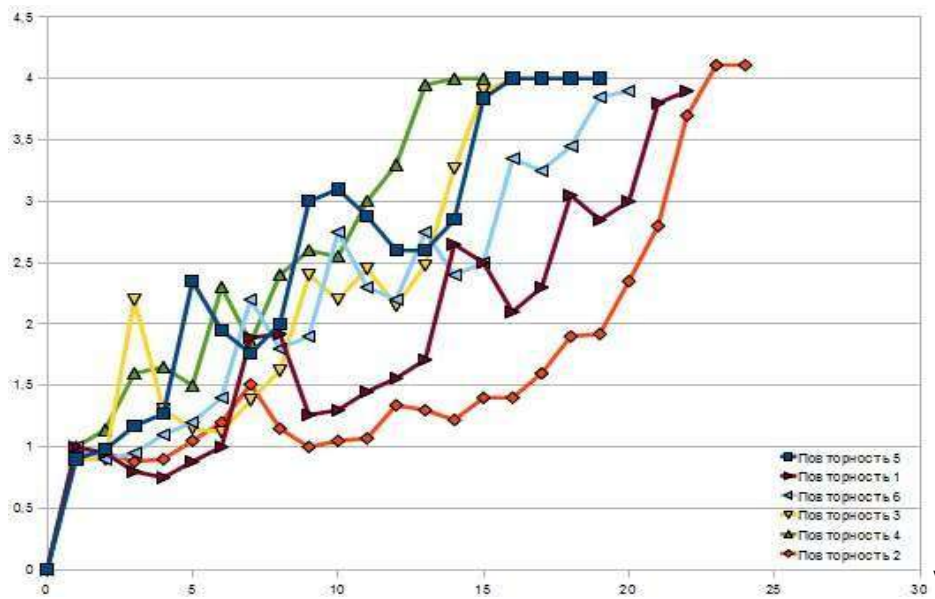


Рисунок 4.1 – Залежність час вигорання від навантаження N у різних повтореннях

Для наочного сприйняття отримані дані були оброблені, і об'єднані в графіки залежності час вигорання, від навантаження N для чистої олії ZIC 5000, 10W-40 (рисунок 4.1), аналізувати який немає жодного сенсу, так аналіз буде повністю ідентичний значенням дослідженим у таблиці 4.4. Для наочності також був побудований графік залежності коефіцієнта тертя M від навантаження N на зразки (рисунок 4.2), при різних режимах тертя, як при сухому, так і при граничному мастилi з додаванням чистої олії ZIC 5000, 10W-40. Отримані результати цілком закономірні обох режимів, простежується зворотна залежність, що вище навантаження N, то нижче коефіцієнт тертя M, що суперечить теоретичним дослідженням.

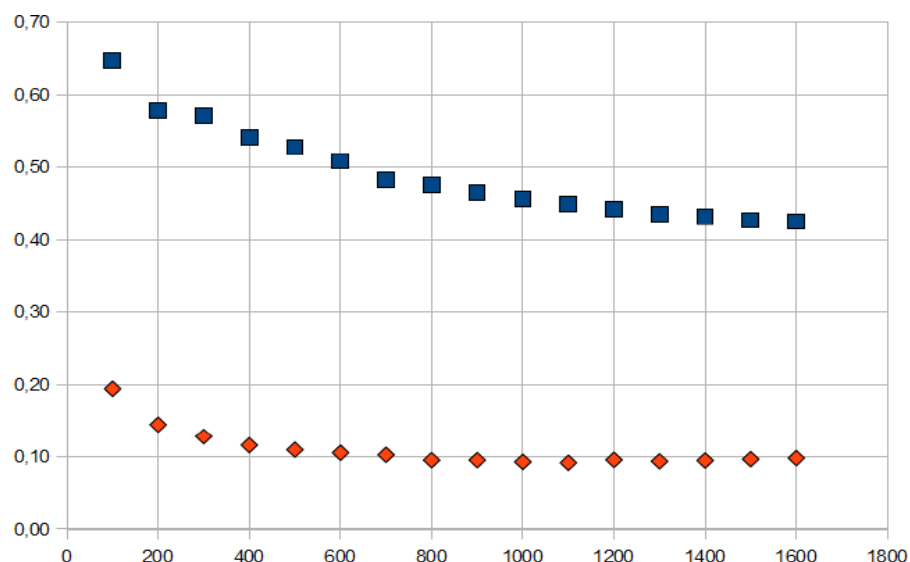


Рисунок 4.2 – Залежність коефіцієнта тертя від навантаження, при різних режимах тертя.

Подальші випробування були проведені аналогічними способом, при цьому в масло ZIC було введено вищеописаний трибологічний склад. Отримані такі значення наведено у таблицях 4.5–4.8.

Таблиця 4.5

Найменування	Частота обертання n, об/хв.				
	200	400	600	800	920
Момент тертя M, Нм, в 1-му	7,7	7,4	6,9	6,4	6,1
Момент тертя M, Нм, у 2-му	7,5	7,5	6,9	6,6	6,4
Момент тертя M, Нм, 3-му	7,2	7	6,8	6,65	6,55
Момент тертя M, Нм, 4-му	7,2	7	6,8	6,8	6,7
Середній момент тертя, Нм	7,4	7,2	6,9	6,6	6,4
Коефіцієнт тертя $f_e =$	0,55	0,54	0,51	0,49	0,48

Таблиця 4.6

Навантаження N, н.	Момент тертя M, Нм, в 1-му	Момент тертя те у 2-му	Момент рт моме M, Нм, у 3-му	Момент Се M, Нм M, Нм, у 4-му	редній , тертя, Нм	Коефіцієнт тертя fe
100	1,5	1,48	1,45	1,4	1,4575	0,6478
200	2,4	2,4	2,4	2,45	2,4125	0,5361
300	3,75	3,6	3,6	3,7	3,6625	0,5426
400	4,85	4,7	4,77	4,83	4,7875	0,5319
500	5,85	5,7	5,8	5,95	5,825	0,5178
600	6,77	6,64	6,5	6,9	6,7025	0,4965
700	7,58	7,52	7,45	7,9	7,6125	0,4833
800	8,4	8,4	8,5	8,9	8,55	0,475
900	9,2	9,26	9,35	9,9	9,4275	0,4656
1000	10,05	10,1	10,25	10,7	10,275	0,4567

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.7 – Час вигорання однієї краплі олії при фіксованій частоті обертання  $n=600$  об/хв та навантаженні  $N=300$  Н.

Час $t$ , хв	Момент тертя $M$ , Нм, у повтореннях			
	1	2	3	4
0	0	0	0	0
1	1	1	1	1
2	1,05	0,9	0,95	1
3	0,98	0,85	1,25	1,45
4	0,88	1,01	1,95	2,6
5	0,8	1,25	3,3	1,9
6	0,85	1,45	2,7	1,3
7	0,9	1,59	2,35	1,27
8	1	1,9	1,95	1,2
9	1,05	2,4	2	1,3
10	1,15	2,3	2,25	1,35
11	1,2	2,3	2,6	1,7
12	1,1	2,9	2,65	2,3
13	1,2	3,4	3,7	2,7
14	1,45	3,6	3,8	2,5
15	1,25	3,6	3,8	2,7
16	1,2	3,7		3
17	1,2	3,88		3,25

Таблиця 4.8 - Вимірювання моменту тертя М, Нм, при граничному терті, з додаванням моторного масла ZIC з трибологічним складом 3%, з фіксованою частотою обертання  $n = 600$  об/хв, навантаження N 100 - 1600 Н, з кроком 100

Навантаження N, н.	Момент тертя те в 1-му	Момент рт тертя М, Нм, у 2-му	Момент Мо тертя мо Нм, у 3-му	мент Се мент М, N Нм, у 4-му	редній Нм, тертя, Нм	Коефіцієнт тертя fe
100	0,47	0,48	0,47	0,4	0,455	0,2022
200	0,7	0,73	0,7	0,69	0,705	0,1567
300	0,9	0,88	0,9	0,9	0,895	0,1326
400	1	1,05	1,05	1,1	1,05	0,1167
500	1,24	1,26	2	1,3	1,45	0,1289
600	1,4	1,44	1,4	1,5	1,435	0,1063

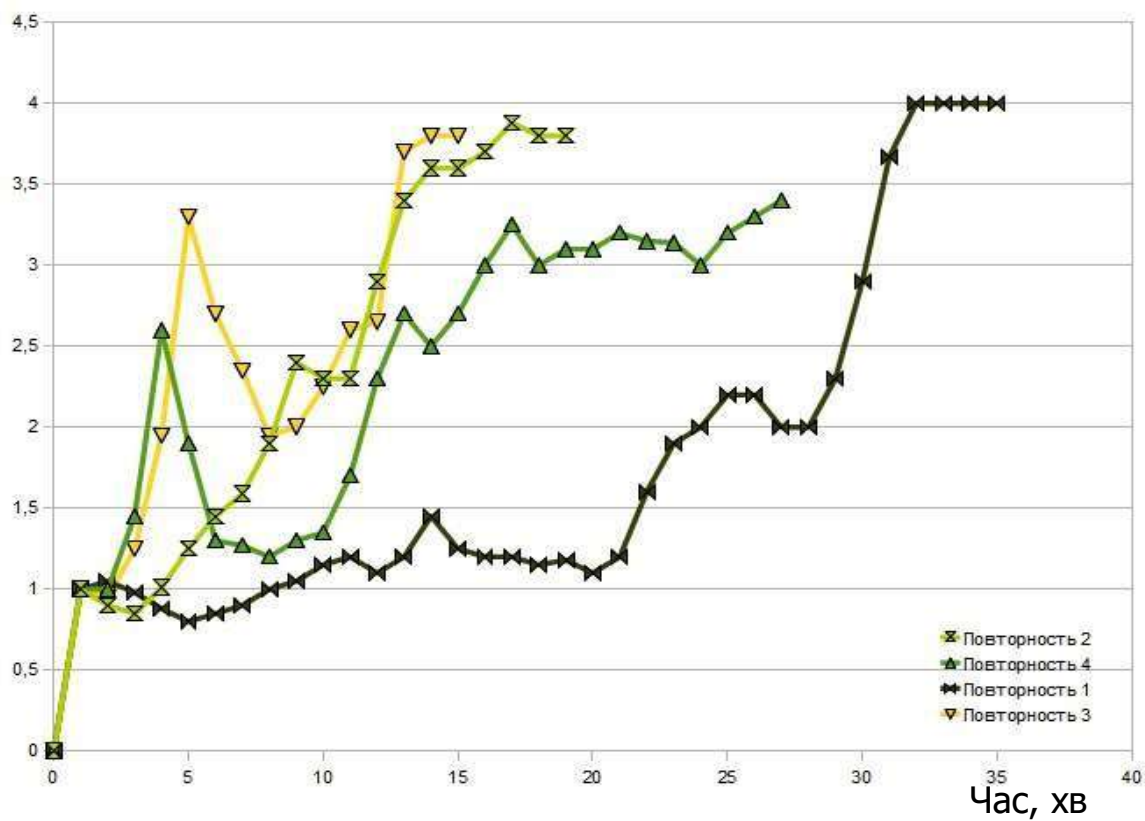


Рисунок 4.4 – Залежність коефіцієнта тертя від навантаження, при різних режимах тертя.

Аналізувати таблиці 4.5 – 4.6, 4.8 немає жодного сенсу, оскільки у яких відбито практично ідентичні показники моменту тертя  $M$ , взагалі без будь-яких змін. Аналогічно і графіки залежності представлені Рисунку 4.3 – 4.4. Окремо хотілося б сказати про таблицю 4.7, так як при першому випробуванні олії ZIC з трибоскладом 3%, були отримані значно високі показники, як і в моменті тертя, так і в часі вигорання 32 хвилини щодо такого ж досвіду з чистим маслом олії ZIC. Дані значення викликали в автора здивування, проте при подальших повтореннях даний результат не був досягнутий навіть близько, при цьому показники моменту тертя  $M$  і час вигорання як при використанні трибоскладу, так і при

використанні чистої олії були ідентичні.

За даних умов випробування не зафіксовано якихось значних відмінностей між звичайним маслом ZIC та масла ZIC з додаванням трибологічного складу , були певні надії у першому повторенні, оскільки в даному повторенні значно збільшився час вигорання масла, а так само за весь час були незначні відхилення у показнику момент тертя, проте зроблені наступні випробування звели нанівець дані надії.

Після проведеного даного виду випробування були зроблені вимірювання шорсткості контактних поверхонь роликів (рисунок 4.5-4.8), за допомогою профілографа (рисунок 3.1), які також не показали будь-яких значних відмінностей. Про відсутність будь-яких змін свідчать показник Ra, які до випробування становив 0,258-0,302 мкм, після випробування склав 0,260-0,312 мкм. Значення показника Rmax до 1,817-1,881мкм, після 1,925-2,243мкм. Значення показника Rz також без значних відхилень до 1,254- 1,447мкм, після 1,925-2,243мкм.

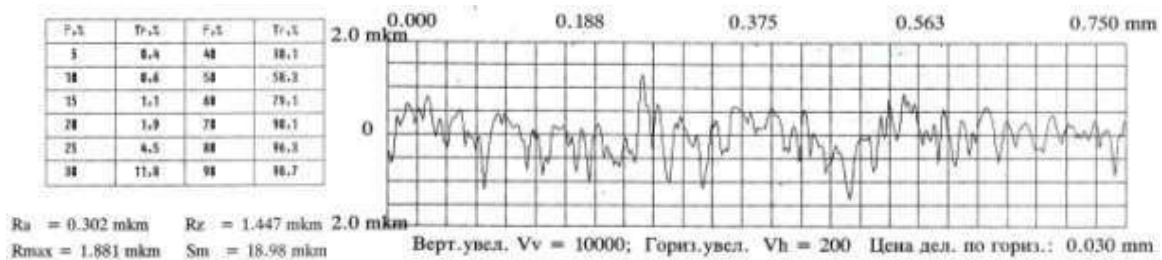


Рисунок 4.5 – Показники шорсткості поверхні зразка, до проведеного дослідження

$r_z$	$Tp_z$	$r_z$	$Tp_z$
3	1,1	40	42,4
10	1,2	50	43,7
15	1,1	40	42,4
20	10,8	70	36,7
25	10,4	10	10,3
30	10,6	10	10,9

$Ra = 0,260 \text{ mkm}$      $Rz = 1,267 \text{ mkm}$   
 $Rmax = 1,925 \text{ mkm}$      $Sm = 23,86 \text{ mkm}$

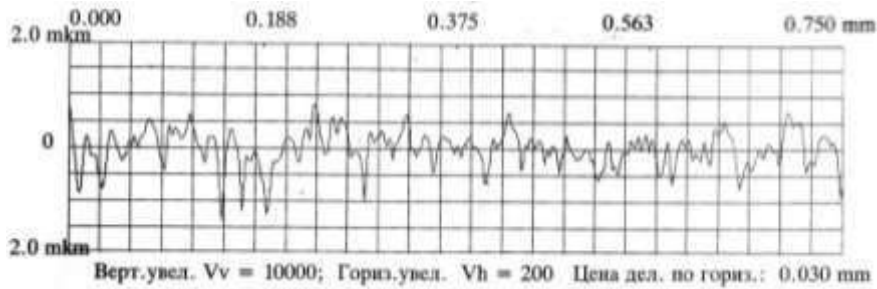


Рисунок 4.8 – Показники шорсткості поверхні зразка, після проведеного дослідження

На представлених зображеннях Рисунку 4.9 А, Б, виконаних з допомогою цифрового мікроскопа (рисунок 3.2), не проглядається будь-яких значних змін. Відображення свідчить про нормальний режим роботи у процесі тертя.



A



Б

Рисунок 4.9 – Фотографії поверхні тертя сталевих роликів, А до випробування, Б після

#### 4.2 Випробувань при ковзанні рухомого ролика по нерухомому

Для проведення експериментальної частини для даного дослідження, так само було використано переобладнану машину тертя (рисунок 3.1).

В даному вигляді (чисте ковзання) навантаження трибопар, на машині тертя на нижній і верхній вал машини були встановлені два сталевих ролика діаметром 45мм, при цьому верхній вал був нерухомий, в результаті відбувалося ковзання рухомого ролика по нерухомому.

Величина шорсткості контактної поверхні зразків так само визначся за електронного мікроскопа до і після випробувань.

Порядок роботи та обробка результатів випробування

1. Встановлено зразки роликів 45мм шириною 10мм., перед встановленням поверхні тертя зачищені шкіркою та знежирені;
2. На трибомашину встановлена масляна ванна об'ємом 180мл з трибоматеріалом у складі олії;

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Налагоджено програмне забезпечення трибомашини;
4. До контактної поверхні зразків підключена термопара та термометр;
5. Увімкнувши машину П-5018, плавно задається навантаження на зразки  $N=600$  Н при числі обертів нижнього валу  $n=600$  об/хв.;
6. У процесі випробування необхідно підтримувати робочий режим температури від  $70-85^{\circ}\text{C}$ , підвищуючи чи знижуючи кількість обертів  $n=600-800$  об/хв, залишаючи навантаження постійного;
7. За цих умов необхідно підтримувати робочий режим температури протягом усього експерименту протягом 10 годин. стежити за змінами в режимі тертя, у моменті тертя фіксувати результати для подальшого виведення;
8. Після випробування зразки були охолоджені, далі робилися вимірювання шорсткості контактуючої поверхні на профілактографі, та спроби виявлення утворення антифрикційної плівки на поверхні тертя за допомогою мікроскопа.

Що можна сказати про проведене дослідження, тільки одне нічого, за весь витрачений дарма час не відбувалося взагалі жодних змін.

Момент тертя був пряму лінію, без пульсу, що зупинилася в позначці  $1,4-1,55$  Нм, і більше ознак життя не подавав. Температурний режим доводилося постійно підтримувати при числі обертів  $n = 600$  температура не доходила до робочого обсягу і зупинялася близько  $65^{\circ}\text{C}$  і не росла, доводилося піднімати кількість обертів до  $n = 800$ , але при цій умові температура зростала значно швидко, досягала більше  $82^{\circ}\text{C}$ , ніж викликала небезпека до перегріву  $600$  об/хв, і так напрузі 10 годин, загалом, як було сказано, нудне заняття без результату.

У процесі закінчення досвіду автор катував велику надію у

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зміні будь-яких факторів, у вимірі шорсткості та виявленні антифрикційної плівки, освіту якої заявляв виробник трибоскладу, але й цьому не судилося збутися.

При зміні шорсткості контактуючої поверхні на профілактографі, представлених на Рисунку 4.10-4.13, так само не було зафіксовано будь-яких значних покращень або погіршень значень показників, як і у випробуваннях при сухому та граничному режимі тертя.

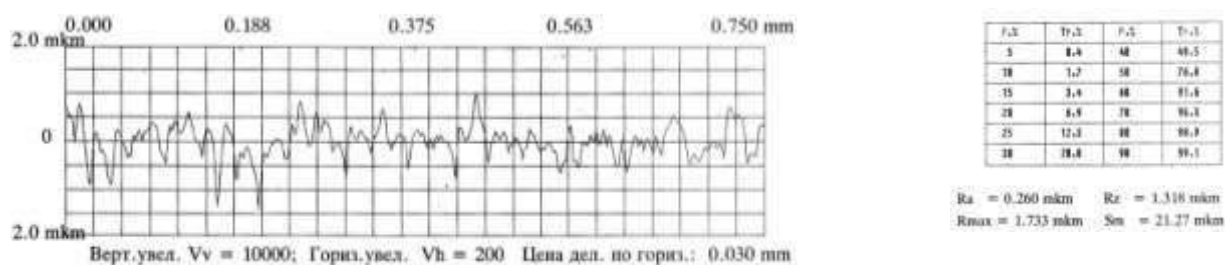


Рисунок 4.10 – Показники шорсткості поверхні зразка, до проведеного дослідження

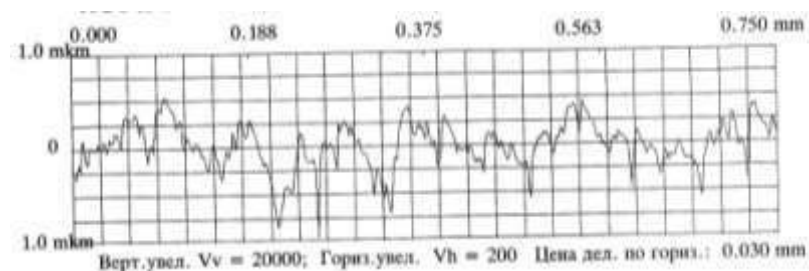


Рисунок 4.12 – Показники шорсткості поверхні зразка, після проведеного дослідження шорсткості поверхні зразка, після проведеного дослідження

Показник  $R_a$  до випробування становив 0,214-0,260мкм, після випробування становив 0,181-0,211мкм. Значення показника  $R_{\text{max}}$  до 1,492-1,733 км, після 1,208-1,453 км. Значення показника  $R_z$  0,895-1,318мкм, після 0,720-0,911мкм. Мабуть, єдиною незначною зміною став показник  $R_z$ , але це може пояснюватися абразивною

структурою трибоматеріалу, яка згладила нерівності.

В результаті дослідження до проведення даного експерименту на поверхні тертя було відмічено дефект у вигляді вириву металу, що утворився при попередньому експерименті. За задумом автора, цей вирив міг стати наочним показником при утворенні антифрикційної плівки на поверхні тертя.

Після експерименту було зроблено фотоматеріали поверхні тертя. (рисунок 4.9-4.10), а також знайдена відмітка і зроблені докладні відображення поверхні тертя. Як не прикро це звучало, але автором даної роботи не було зафіксовано взагалі будь-яких змін на поверхні тертя. Як видно на поверхні відсутні будь-які сліди нашарування, або утворення будь-якого стороннього матеріалу, не кажучи про антифрикційну плівку, при цьому вириви, як до, так і після випробування мають чітку форму без будь-яких змін, що свідчить, що ні чого значущого не відбулося.



Рисунок 4.14 – Зображення поверхні тертя, виконані за допомогою електронного мікроскопа, до експерименту, після

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.15 – Зображення поверхні тертя, виконані за допомогою електронного мікроскопа, зліва до експерименту, з права після

У своїх дослідженнях автор не зупинився і пішов далі скориставшись можливістю вимірювання поверхні тертя за допомогою мультиметра (рисунок 3.3), так як виходячи з теоретичного розділу, антифрикційна плівка має діелектричні властивості, і сприяє опору. Якщо чесно навіть не було жодного здивування, коли прилад показав 0.0, що свідчило про те, що жодного взагалі навіть мізерного розміру плівки не утворилося.



Рисунок 4.12 – Показ мультиметра.

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 4.3 Перевірка результатів експерименту

Перевірка результату проводилася за відтворюваністю, за критерієм Кохрана. Під відтворюваними експериментами розуміються такі, у яких будь-якої миті часу об'єкт дослідження та вимірювальне устаткування можна повернути у вихідний стан і експеримент повторити.

Для перевірки відтворюваності експерименту було проведено серію паралельних дослідів.

Паралельні досліді - досліді, проведені кілька разів при тих самих значеннях факторів, де  $k$  - число паралельних дослідів;  $N$  - число серій паралельних дослідів.

Для кожної серії паралельних дослідів обчислено середня арифметичне значення функції відгуку:

$$\bar{y}_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_{ji}, j = 1 \dots N. \quad (4.1)$$

Потім для кожної серії паралельних дослідів обчислено оцінку дисперсії:

$$S_j^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (y_{ji} - \bar{y}_j)^2. \quad (4.2)$$

Далі для визначення розрахункове значення числа Кохрана  $G_p$  (критерій перевірки відтворюваності експерименту), для цього знайдено максимальну оцінку дисперсії  $\max S_j^2$  і віднесено до суми :

$$G_p = \frac{\max S_j^2}{\sum_{j=1}^N S_j^2}. \quad (4.3)$$

Значення критерію Кохрана  $G$  для цього необхідно знати

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

загальну кількість оцінок дисперсій  $N$  і число ступенів свободи  $f$ , пов'язаної з кожною з них, причому  $f=k-1$ .

Якщо виконується умова 4.4, то досліді вважаються відтворюваними, а низка дисперсій – однорідною:

$$G_p \leq G_T, \quad (4.4)$$

Проаналізувавши отримані значення можна зробити такі висновки:

1. Дані з таблиці 4.8 свідчать, що, показник  $G_p = 0,17$ , а показник  $G_T = 0,2$ , звідси випливає, що виконується умова 4.4 і випробування вважаються відтворюваними;
2. Дані з таблиці 4.8 свідчать, що, показник  $G_p = 0,21$ , а показник  $G_T = 0,224$ , звідси випливає, що виконується умова 4.4 і випробування вважаються відтворюваними;

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

В результаті проведеного вище дослідження виявлено теоретичні аспекти для експериментальних досліджень трибоскладів РВС на основі серпентину, які діючи при терті на поверхню, за рахунок своїх властивостей можуть змінювати шорсткість поверхні та створювати захисний шар.

1. Сформульована мета дослідження, а саме вивчення зміни шорсткості, при застосуванні трибоскладу на основі серпентину, та вивчення утворення захисної антифрикційної плівки, її вплив на режими тертя.

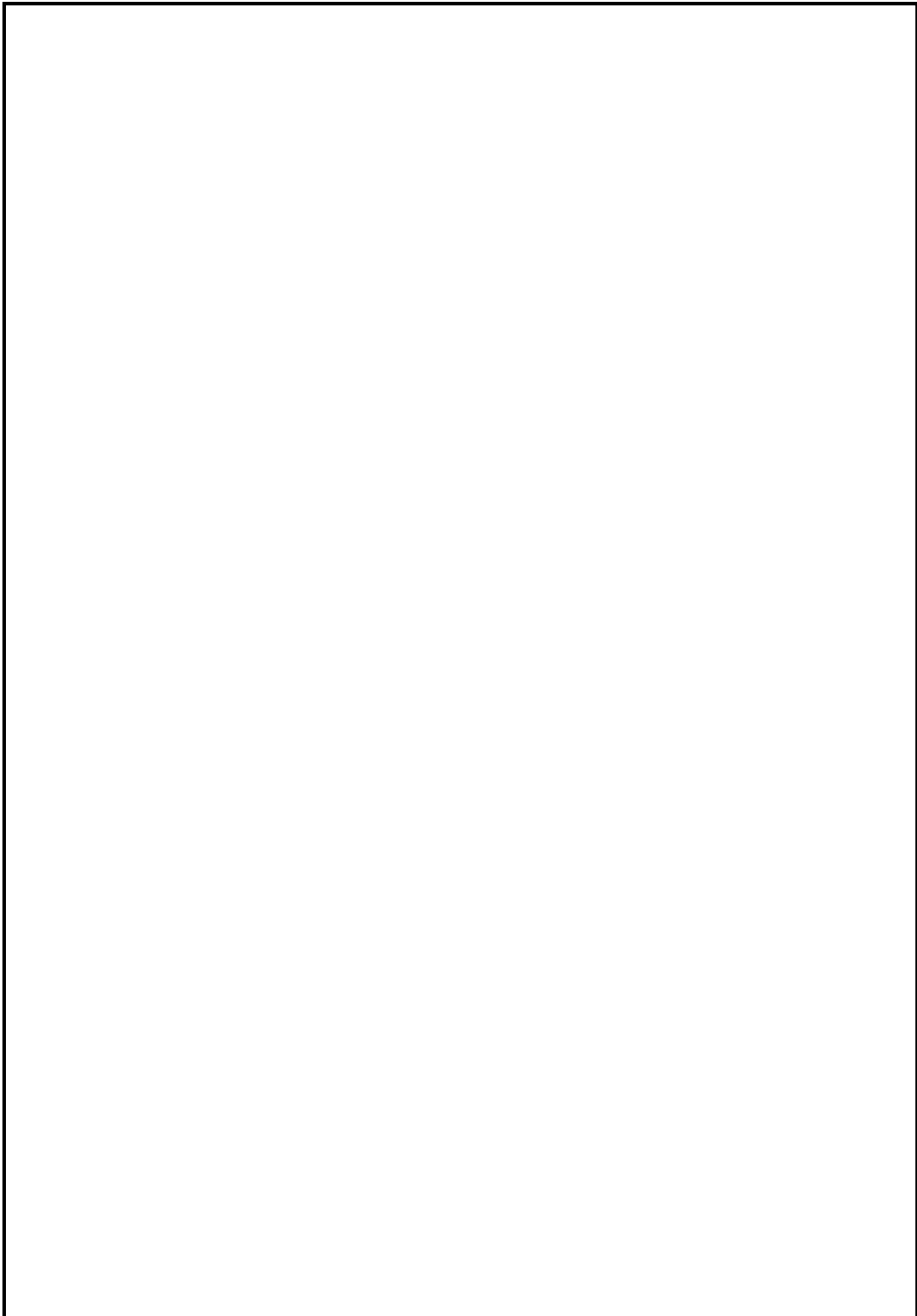
2. В ході експериментів, при сухому та граничному режимах тертя, даний трибосклад не показав будь-яких відмінностей від звичайної чистої олії ZIC 5000;

3. При вимірі шорсткості поверхні тертя не було виявлено будь-яких змін, а саме її зниження чи покращення за всіма показниками;

4. При дослідженні поверхні тертя за допомогою електронного мікроскопа, не було виявлено слідів утворення захисної, антифрикційної плівки;

5. При використанні трибоскладу "Серпен-3" в описаних вище умовах був отриманий негативний результат щодо зміни шорсткості та утворення антифрикційної плівки.

					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					КРММТВА 25.24360.000. ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		