

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Вплив металовмісних добавок на протизносні властивості олів для чотиритактних та двотактних двигунів внутрішнього згорання

Рівень вищої освіти: другий магістерський
Галузь знань: 13 Механічна інженерія
Спеціальність: 132 Матеріалознавство
Освітня програма: Відновлення та технічний сервіс автомобілів

Шифр: КРММТВА 25.24335.000. ПЗ

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



Володимир ПУНГІН

Керівник, д.т.н., професор



Олександр ДИХА

Нормоконтролер, к.т.н., доцент



Олег БАБАК

До захисту допускаю:
завідувач кафедри ТАМ



Олександр ДИХА

7 12 2025 р.

Хмельницький, 2025

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**

Пунгін Володимир Андрійович

1. Тема роботи: Вплив металовмісних добавок на протизносні властивості оливо для чотиритактних та двотактних двигунів внутрішнього згорання

сривник роботи: Диха Олександр Володимирович, д.т.н., проф.

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 оливо
- 2) Технічні умови випробування мастильних матеріалів
- 3) Матеріали переддипломної практики.
- 4) Нормативно – технологічна документація стандартизованим методам випробувань моторних оливо
- 5) Результати літературного огляду і патентного пошуку.

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

1. Стан питання використання присадок до мастильних матеріалів
2. Метод дослідження впливу металовмісних присадок на протизносні властивості автомобільних мастильних матеріалів
3. Експериментальна частина

5. Консультанти розділів роботи


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

6. Дата видачі завдання: 15 жовтня 2025р.

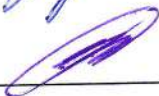
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Стан питання використання присадок до мастильних матеріалів	1.11.2025	
2	Метод дослідження впливу металовмісних присадок на протичисні властивості автомобільних мастильних матеріалів	15.11.2025	
3	Експериментальна частина	1.12.2025	
4	Оформлення презентаційних матеріалів та пояснювальної записки	20.12.2025	

Студент

 Володимир Пунгін

Керівник кваліфікаційної роботи

 Олександр ДИХА

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 70 сторінок, кількість рисунків - 35, таблиць - 2, додатків - 1, кількість джерел згідно із переліком посилань - 15.

Студент гр. МТВАм-24-1 Пунгін В.А.

Тема «Вплив металовмісних добавок на протизносні властивості олив для чотиритактних та двотактних двигунів внутрішнього згорання»

У ході роботи були вивчені види протизносних добавок для автомобільних мастильних матеріалів, перспективність їх використання та наукові роботи, спрямовані на дослідження добавок, що знижують знос у вузлах тертя автомобілів. Для лабораторних досліджень було вибрано металовмісні добавки на основі олеату міді, представлені на ринку автомобільної хімії, а також трибопрепарати на основі олеатів інших металів. Проведено лабораторні випробування різних масел з додаванням металовмісних добавок з різною концентрацією, відповідно до методики, представленої в ДСТУ 9490-75. Виходячи з отриманих результатів, проведено порівняльні оцінки діаметрів плям зносу, завдяки яким виявлено кращу з досліджуваних присадок і найбільш підходящу концентрацію, при якій металовмісна добавка працює найбільш ефективно.

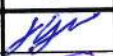



Перелік ключових слів: моторна олива, двигун внутрішнього згорання, метод випробувань на знос, металовмісні присадки

Зміст

Вступ

6

1.	СТАН ПИТАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ПРИСАДОК ДО МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	8
1.1.	Загальна інформація.....	8
1.2	Трибосклади до моторних масел.....	9
1.2.1	Реметалізанти (металоплакуючі композиції).....	15
1.2.2	Полімеровмісні трибодобавки.....	16
1.2.3	Геомодифікатори.....	17
1.3	Опис досліджуваних металовмісних добавок.....	21
2.	МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МЕТАЛОВМІСНИХ ПРИСАДОК НА ПРОТИЗНОСНІ ВЛАСТИВОСТІ АВТОМОБІЛЬНИХ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	23
2.1	Опис пристрою та послідовності роботи на чотирикульковій машині тертя.....	23
2.2	Опис та послідовність роботи з цифровим мікроскопом.....	40
3.	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	42
3.1	Мета та завдання дослідження.....	42
3.2.	Випробування мастильних матеріалів на ЧМТ-1.....	42
3.3	Вибір зразків мастильних матеріалів для дослідження.....	44

					КРММТВА 25. 24335. 000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вплив металовмісних добавок на протизносні властивості олів для чотиритактних та двотактних двигунів внутрішнього згорання			Літ.	Аркуш	Аркушів		
Розроб.	Пунгін									4	70	
Перевір.	Диха							ХНУ, гр. МТВАм-24-1				
Н.контр.	Бабак											
Затвер.	Диха											

3.4	Випробування моторної олії «Sintec 5W40».....	46
3.5	Випробування індустріальної олії I40A.....	52
3.6	Висновки з досліджень товарної олії «Sintec 5W40» та індустріального масла I40A.....	57
3.7	Випробування моторних масел для двотактних ДВЗ.....	58
3.8	Висновки щодо досліджень мастил для двотактних ДВЗ.....	63
	Висновки	65
	Список використаних джерел	67
	Додатки	70

ВСТУП

В даний час у світовій промисловості найбільш актуальними питаннями є проблеми, пов'язані з підвищенням зносостійкості, надійності, довговічності вузлів та агрегатів, а отже, і якості продукції, що виробляється. Якість продукції здебільшого зумовлено безвідмовністю роботи рухомих механізмів у виробі. Яка безпосередньо залежить від точності розмірів, форми і взаємного розташування поверхонь деталей, що труться, крім того, від стану їх поверхонь. Проблеми, пов'язані зі станом поверхонь деталей, що сполучаються вважаються найбільш важливими в наші дні.

На стан поверхонь, що труться, великий вплив робить знос, від якого в свою чергу залежить працездатність вузла і агрегату в цілому. Важливим показником автомобілів є ресурс агрегатів. Чим швидше відбувається зношування деталей, тим швидше зменшується ресурс тих чи інших вузлів.

Одним з основних методів зменшення зносу поверхонь, що труться, є додавання присадок в базові масла, таким чином отримують всім відомі товарні масла для автомобільної техніки. Останнім часом на ринку автохімії з'явилася величезна кількість різних добавок до готових товарних олій з різними принципами дії. Вони відрізняються тим, що при кожній заміні олії їх необхідно застосовувати знову. У даній роботі було проведено дослідження впливу металовмісних

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

добавок на протизносні властивості автомобільних мастильних матеріалів, на основі яких дано порівняльну оцінку дії протизносних добавок представлених на ринку автомобільної хімії та трибопрепаратів синтезованих у хімічній лабораторії кафедри ТАМ ХНУ.

Метою дослідження є вивчення впливу металовмісних добавок на протизносні властивості автомобільних мастильних матеріалів.

Завдання дослідження:

1. Синтезування композицій на основі металовмісних добавок у вигляді олеатів міді, цинку, олова, заліза;
2. Вивчення устаткування і методики проведення випробувань по ДСТУ 9490-75;
3. Проведення випробувань на ЧМТ-1 із синтезованими композиціями;
4. Проведення порівняльного аналізу отриманих результатів результатів та отримання висновків з урахуванням аналізу

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1. СТАН ПИТАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ПРИСАДОК ДО МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Загальна інформація

Зниження втрат енергії та зносу вузлів тертя машин та механізмів є важливим завданням. Значний запас для зменшення тертя прихований у мастильних матеріалах та присадках. Олеати деяких металів входять до складу багатьох мастильних композицій. Ці мастила дозволяють значно знизити коефіцієнт тертя і знос деталей машин. Олеат міді найбільш широко використовується як компонент так званих гальванічних присадок до мастильних матеріалів. Концентрація олеату міді становить від 3 до 60% від металовмісних присадок. Металовмісні присадки є спеціальними добавками до мастильних матеріалів та забезпечують утворення вторинних структур на поверхнях тертя [1]. Ці структури складаються з металізованої плівки та прикордонних шарів різних речовин та плівок для серфінгу. Порошки металів і сплавів (мідь, олово, цинк, алюміній, бронза та ін.), Оксиди та солі металів використовуються як металовмісні присадки і покращують триботехнічні характеристики вузлів тертя. Металовмісні присадки в мастильних матеріалах дозволяють реалізувати ефект беззносу у вузлах тертя. Цей ефект ґрунтується на явищі виборчого перенесення. Явище селективного перенесення широко описано в літературі, і багато робіт присвячені вивченню впливу металовмісних добавок на трибологічні характеристики рідких та пластичних мастил у різних вузлах тертя [2].

Окремі автори представили мастило, що містить мідний порошок, політетрафторетилен, трибутилфосфат, медьсодержащу добавку і

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

мильне пластичне мастило. Мідьвмісна добавка містила 60% індустриальної олії, 20% олеату міді та 20% олеїнової кислоти. Авторами визначено поріг стійкості до надрізу та лінійного зносу при контакті зразків сферичної сталі із зразками мастила. Вони виявили, що введення трибутилфосфатних і мідьвмісних присадок у пластичне мастило забезпечує збільшення терміну його служби і в той же час значно підвищує протизносні та протизадирні властивості [3,4].

Козаров та Оніщук представили огляд дослідження металовмісних присадок у мастильних матеріалах. Автори представили класифікацію металовмісних мастил в залежності від типу металовмісних добавок. Металеві або леговані порошки, оксиди металів, солі металів, комплексні сполуки металів, металоорганічні сполуки та органічні сполуки використовуються як присадки до гальванічним покриттям для мастильних матеріалів.

Металовмісні добавки забезпечують антифрикційні і протизадирні властивості мастила за рахунок ефекту беззносності в парах тертя (сталь-сталь, сталь-чавун, сталь-бронза і т. д.) в результаті формування захисної (сервовитої) металевої плівки на поверхнях деталей у місцях фактичного контакту з товщиною 1-3 мкм і компенсації зносу пар тертя.

Метою даного дослідження є визначення впливу іона металу на трибологічні характеристики олеатів металів, подібних до олеату міді (II).

1.2 Трибосклади до моторних масел

На сьогоднішній день використовуються такі види трибопрепаратів:

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

1. Приробітні препарати — використовуються для проведення обкатки (припрацювання) агрегатів транспортних засобів, таких як двигуни внутрішнього згорання та елементи трансмісії, обумовлено наявністю дефектів виготовлення та складання деталей та вузлів, що призводять до захоплювання поверхонь тертя та можливої появи на них задирів, а також необхідністю виявлення можливих прихованих дефектів виготовлення.

Незважаючи на високу ефективність і доцільність використання препаратів на вітчизняній автомобільній техніці, автолюбителям все ж краще утриматися від їх застосування до закінчення гарантійного терміну, встановленого заводом-виробником. Інакше будь-який дефект чи відмова двигуна, що навіть трапилася з вини заводу — виробника, буде ним оскаржений за результатами хімічного аналізу моторного масла, який неминуче вкаже на застосування не допущених заводом мастильних матеріалів та присадок [6].

2. Ремонтновідновлювальні препарати — використовуються в результаті Багаторічні дослідження в основному вітчизняних вчених і практиків тертя тепер представляється не тільки як руйнівне явище природи. Стало відомо, що в певних умовах воно може бути реалізоване як творчий процес, що самоорганізується [7].

Теоретичними передумовами появи РВП з'явилися дослідження у сфері теорії самоорганізації, передбаченої І. Р. Пригожиным, і навіть наукові відкриття учених. До них насамперед відносяться: ефект пластифікування поверхонь тертя в присутності поверхнево-активних речовин (ПАР), відкритий П. А. Ребіндером; явище виборчого перенесення при терті (ефекту безносності), відкрите та досліджене Д. Н. Гаркуновим; ефект аномально низького тертя, виявлений Є. А.

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Духовським та їх колегами [2,5].

Відповідно до проведеної роботи Гітельмана Д.А., необхідно зазначити, що для різного періоду експлуатації, довговічність та працездатність деталей та агрегатів техніки багато в чому визначається якістю та складом мастильного середовища.

Необхідні експлуатаційні властивості олій визначаються набором спеціальних присадок, що вводяться до базової мінеральної або синтетичної основи [8].

Використання трибодобавок дозволяє, не погіршуючи експлуатаційних параметрів масел, забезпечувати формування на поверхнях тертя деталей машин необхідну структуру шару з високими характеристиками триботехнічними. Таким чином, за наявності високих протизносних та відновлювальних характеристик сучасних мастильних матеріалів, можна суттєво скоротити період обкатки, збільшити безвідмовність та довговічність ресурсних пар ДВС. Створення самих антифрикційних, захисних та відновлювальних покриттів на поверхнях тертя деталей можна здійснювати безрозбірним способом, за допомогою добавки відповідних трибоматеріалів у зони тертя шляхом введення їх до складу мастил, що використовуються.

Всі відомі триботехнічні склади за компонентним складом і фізико-хімічними процесами взаємодії їх з поверхнями, що труться, за властивостями захисно-відновлювальних покриттів, а також за механізмом функціонування в експлуатаційному режимі, за літературними даними можна класифікувати на:

а) Масляні суспензії високодисперсних порошоків сплавів м'яких металів (Cu, Pb, Sn, Ag, Zn, Au) та їх сплавів: наприклад, склади марок Кластер, РІМЕТ з їх багатьма різновидами, Ресурс-Дизель, їх

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

модифікації, а також аналогічні імпорتنі, як металоплаки. Ці препарати без участі тертя, на основі осадження міді та інших м'яких металів утворюють недовговічні м'які плівки на поверхнях сталевих деталей; за деяких умов через корозію поверхонь деталей під плівкою вона може швидко відшаруватись та обумовлювати побічну негативну дію (корозію); після цього триботехніка сполучень тертя помітно погіршується;

б) Масляні розчини органічних солей м'яких металів (нафтових кислот, жирних амідів, ефірів жирних кислот і спиртів, гліцерину): марки МКФ-8, МКФ-18, МКФ-18У, МКФ-18НТ, Валена, кілька препаратів Repom для двигунів і трансмісій, СУРМ, СУРМ, Стимул-1, МПП ІГСХА-ТС, імпорتنі Remetallisant Moteur, Lubrifilm з їх аналогами та ін. Вони плакують плівки м'яких металів на поверхні сталевих деталей навіть без участі тертя; їхня дія на основі електролітичного осадження металів на залозі всіх чистих поверхонь недовговічна, як і у препаратів групи а);

в) Раніше відомі фторорганічні препарати на основі політетрафторетилену (або тефлону) та його численних аналогів, утворюють фізичну адсорбцію, без впливу процесів тертя тимчасові полімерні плівки: Форум, Аспект-модифікатор, Універсальний модифікатор, PMF-200, Slider-2000, SLIK 50 та інші вітчизняні та імпорتنі. Ці препарати формують плівки у поєднанні тертя, а й інших поверхнях деталей агрегатів, зокрема. у масляних каналах, звужуючи або закупорюючи їх, що у 90-х роках минулого століття призвело до епідемії аварій ДВЗ [10];

г) Органічні речовини з надзвичайно високою адгезією до металевих поверхонь, що створюють міцний захисний «молекулярний ворс». Це серія препаратів Енергія 3000 (епіломоподібний препарат

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

без фтору) для всієї різноманітності вузлів, агрегатів та систем мастила, паливоподачі, гідравліки. Мабуть, до цього класу можна віднести і трибопрепарат із США

«Мікро ХЗ» на основі фторкарбонатної смоли. Останній — дуже ефективний трибопрепарат, миттєво знижує тертя, що підвищує здатність навантаження сполучення до задира більш ніж в 5 разів, що знижує знос на два порядки, так само, як і комплект препаратів фірми Wagner;

д) Високодисперсні порошки природних мінералів з питомою енергощільністю, їх масляні суспензії або гелі, наприклад, шаруваті гідросилікати магнію (серпентини), в комплекті Російських препаратів РВС, НЮД, АРТ, ТСК-М, СУПРОТЕК, Живий метал, RU РВД, ХАДО, ТРИБО, SUPRO, Motor doctor та іноземних аналогів: НВО «Руспромремонт» створило й кілька інших трибопрепаратів та їх виробництв: RVS-metaryzer в Японії, «РВС — Блакитний нефрит у Китаї», TFT у В'єтнамі, REWITEC у Німеччині, RVS-Тес Швеція. У майбутньому можливі і алюмогідросилікати магнію - або хлорити;

Всі ці препарати з мало вивчених фізико-хімічних процесів на поверхнях, в основному чорних металів, забезпечують, але тільки при терті, утворення зовнішньої міцної антифрикційної плівки товщиною від часток до десятків мікронів. Відмінними властивостями РВС-покриттів є висока чистота їх світлої поверхні, прозорість, твердість, шаруватість, маслофільність, підвищений (від 10 до 300 Ом/см) електричний опір. При електричному впливі РВС-покриття, що містять досить велику частку вуглеводнів або сполук вуглецю, можуть руйнуватися (повільно

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

окислюватися і згоряти);

е) Трибопрепарати на основі масляних суспензій ультрадисперсних алмазів: Українські (м. Харків) їх закордонні попередники 60-70-х років з Англії та Голландії.

ж) Комплексні препарати, склад і механізм дії яких не розкривається, наприклад, група дуже ефективних препаратів приробітків фірми Wagner і деякі інші. Препарати Wagner забезпечують багаторазове підвищення навантаження до задира, а додавання до них високодисперсної кераміки ще більше підвищує їхню ефективність.

Трибопрепарати на основі серпентинів і органічних добавок - антифрикційна ресурсо-відновлююча композиція, в якій спочатку спрацьовує органічна компонента і відразу забезпечує утворення тимчасової захисної полімолекулярної плівки, а пізніше - органо-мінеральне покриття:

- багатокomпонентний "Forsan";
- трикомпонентний склад «Реагент-2000» із графітоалмазною шихтою;
- Складний склад ОМКА;
- низка препаратів на основі солей міді жирних кислот з добавкою серпентину

Всі препарати розрізняються способами застосування (введення в сполуки, що труться). Більшість складів вводять у моторні та трансмісійні олії, паливо або пластичні мастила. Інші подають через систему живлення (впускний трубопровід) у вигляді аерозолів та добавок до паливно – повітряних сумішей – так звана «спеціальна обробка». Ряд препаратів подається безпосередньо в зону тертя, наприклад, циліндропоршневу групу.

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ефективність композиції АРВК підтверджена у лабораторіях, а й у автотранспорті.

1.2.1 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 переносу при терті (ефект беззнос). Особливий клас трибоматеріалів, що базується на аспектах теорії самоорганізації, передбаченої І. Р. Пригожиним, та науковому відкритті – явище виборчого перенесення при терті (ефекту беззносності) [5].

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 мікродефекти, знижується коефіцієнт тертя, значно підвищується зносостійкість плакованих поверхонь, у деяких випадках у сотні разів [12].

В даний час металоплакуючі композиції (реметалізанти) ділять на порошкові та іонні. Порошкові металоплакуючі препарати в якості основного компонента містять ультрадисперсні порошки, а іонні – повністю олійнорозчинні солі пластичних металів, органічні кислоти, мила жирних та нафтенових кислот, жирні аміді, ефіри жирних кислот та спиртів, а також гліцерин. Як плакуючі метали використовуються мідь, олово, цинк, залізо, алюміній, свинець, срібло, хром, нікель, молібден [13].

Під дією активних груп COOH , що містяться в присадці, і

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

компонентів СМ на поверхні «сервовітної» плівки утворюється полімерна плівка — «серфінг – плівка».

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.

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 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.

1.2.2 Полімеровмісні трибодобавки

Наприкінці п'ятдесятих років минулого століття Х. В. Германсом та Т. Ф. Іганом було виявлено явище утворення органічних відкладень (забруднень) на релейних контактах телефонного та телеграфного зв'язку. На підставі спеціальних високоточних експериментів ними було встановлено, що відкладення в зоні контакту утворюються

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 [15].

Трибосуміші, що містять у своєму складі політетрафторетилен («тефлон»), фторопласт, перфторпропіленоксид, перфторполієфір карбонової кислоти («епілам»), полісилоксани (силікон) та деякі інші, слід виділити в окрему групу — полімерсодержащі (або полімерні) добавки.

Незважаючи на доведену результативність застосування полімервмісних препаратів, існує ціла низка серйозних проблем при їх широкому використанні. Лабораторні дослідження та тривалі експлуатаційні випробування одного з тефлонових препаратів виявили ряд негативних наслідків використання даного відновника [16]:

1. Зазначено також, що застосування тефлонових препаратів сприяє утворенню смолистих відкладень з білим нальотом та нагару на днищах поршнів та поршневих кільцях.

2. Рекомендовані концентрації багатьох полімервмісних препаратів для введення в моторне масло необґрунтовано завищено (до 25 % від обсягу моторного масла), що позначається на хімотологічних властивостях базової олії [17].

1.2.3 Геомодифікатори

Нині у низці науково – технічних центрів розробляється новий напрям у автохімії та трибології загалом. Цей напрямок отримало найменування

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

«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 поверхонь тертя [1].

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.

Серпентиніт (від лат. serpens - змія) - гірська порода, що включає серпентин $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$. В якості базового елемента, що становить не менше 50% від загального обсягу породи, а також тальк $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$, пірротин FeS , енстатит $MgSiO_3$, фаяліт Fe_2SiO_4 , мінерали із загальною хімічною формулою $FexOy$, як правило, це магнетит Fe_3O_4 , рідше - гематит Fe_2O_3 і т.д. 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

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 поздовжньоохвилястих агрегатів.

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

Також існують геомодифікатори з мінеральними компонентами – бемітом і цеолітом.

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.

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 (фібрилу). Зона контакту збіднюється вільним воднем, а поверхневі шари внаслідок дифузії змінюють свою структуру та збільшують міцність у кілька разів. У процесі подальшої

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

роботи на поверхнях тертя формується органо-металокерамічне покриття, що частково відновлює дефекти поверхні тертя і має високі антифрикційні та протизносні властивості.

Металокерамічний захисний шар, який виходить на поверхнях тертя, може мати унікальні триботехнічні характеристики:

- Мікротвердість 65 ... 72 HRC;
- Шорсткість 0,3 ... 0,1 мкм;
- Коефіцієнт тертя 0,003 ... 0,007;
- Температура руйнування 1700 ... 2000 С.

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 зносу та виникненню основних первинних руйнівних факторів, таких як електрохімічна корозія, стирання, механічні пошкодження. 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 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 унаслідок вдавлювання (вкраплення) в більш м'який матеріал частинок

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

геомодифікатора, що не розклалися, і 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. Поряд зі зниженням концентрацій у газах, що відпрацювали, окису вуглецю CO та вуглеводнів CH, спостерігається майже дворазове зростання виходу оксидів азоту NO.

На закінчення даного розділу слід зазначити, що головною проблемою, яка суттєво стримує застосування препаратів на основі геомодифікаторів, є нестабільність їх властивостей, а як наслідок, результатів обробки. Все це, перш за все, обумовлено мінеральною основою добавок з наявністю безлічі неконтрольованих домішок та забруднень.

1.3 Опис досліджуваних металовмісних добавок

Одними з найбільш поширених присадок на ринку автомобільної хімії є металовмісні добавки Valena SV і Cupper, що містять олеат міді і працюють за принципом ефекту безносності. Метою даного дослідження є порівняння протизносних властивостей добавок «Valena SV» і «Cupper» з металовмісними присадками олеатів інших металів.

Металовмісна маслорозчинна композиція для мастильних матеріалів (названа авторами МСК «Валена») являє собою густу рідину від темно-зеленого до темно-коричневого кольору, добре

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

розчиняється в оліях, утворюючи розчин, в якому метал знаходиться у вигляді молекул та іонів, і легко проходить через пристрій, що фільтрує. Це дозволяє використовувати композицію в оліях, мастильно-охолоджуючих рідинах, гідравлічних рідинах, а також у пластичних мастилах.

МСК «Валена» забезпечує антифрикційні та протизадирні властивості мастильного матеріалу завдяки реалізації ефекту безносності в парах тертя (сталь-сталь, сталь-чавун, сталь-бронза тощо) в результаті утворення захисної (сервовітної) металоплакуючої плівки на поверхнях деталей у місцях фактичного контакту товщиною. Утворення сервовитої плівки забезпечує захист поверхонь деталей від проникнення водню в них, усуваючи тим самим водневий знос (Рисунок 1.1).

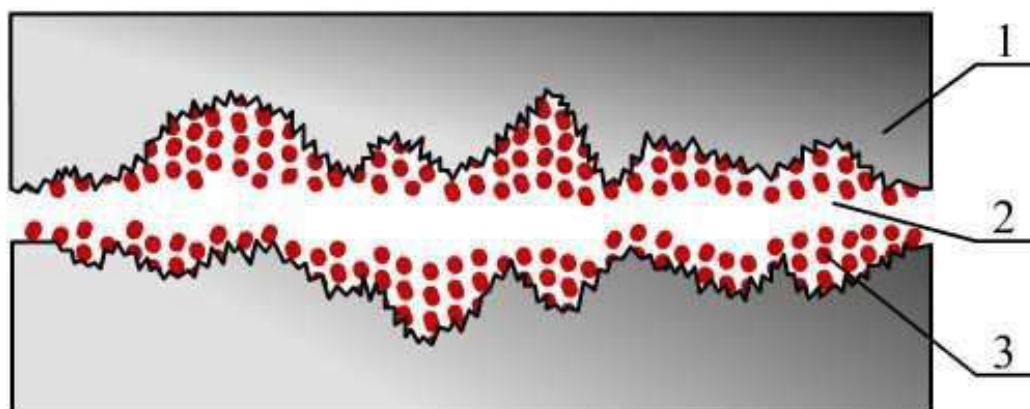


Рисунок 1.1 – Структура поверхні, відновленої реметалізатором: 1 – металева поверхня деталі; 2 – мастильний матеріал; 3 – «серовита» плівка

2 МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МЕТАЛОВМІСНИХ ПРИСАДОК НА ПРОТИЗНОСНІ ВЛАСТИВОСТІ АВТОМОБІЛЬНИХ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

2.1 Опис пристрою та послідовності роботи на чотирикульковій машині тертя

Дослідження проводилося на кафедрі ТАМ, оскільки на кафедрі є чотирикулькова машина тертя ЧМТ-1.

Як зразки використовуються кульки діаметром 12,70 мм. Експеримент проводився на установці ЧМТ-1 – чотирикулькова машина тертя (рисунок 2.1). Основою конструкції є стійка 1, до якої кріпиться вузол тертя 2. Сійка представляє зварний каркас, до якого пригорнута сталевая плита. У верхній частині стійки розташована панель управління 3. У нижній частині стійки, по чотирьох кутах, розміщені ніжки 4, що регулюються, службовці для установки машини. На лівій стороні стійки внизу закріплені роз'єм 6, за допомогою якого до машини підключаються дроти зовнішніх з'єднань і болт 5 для заземлення.

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

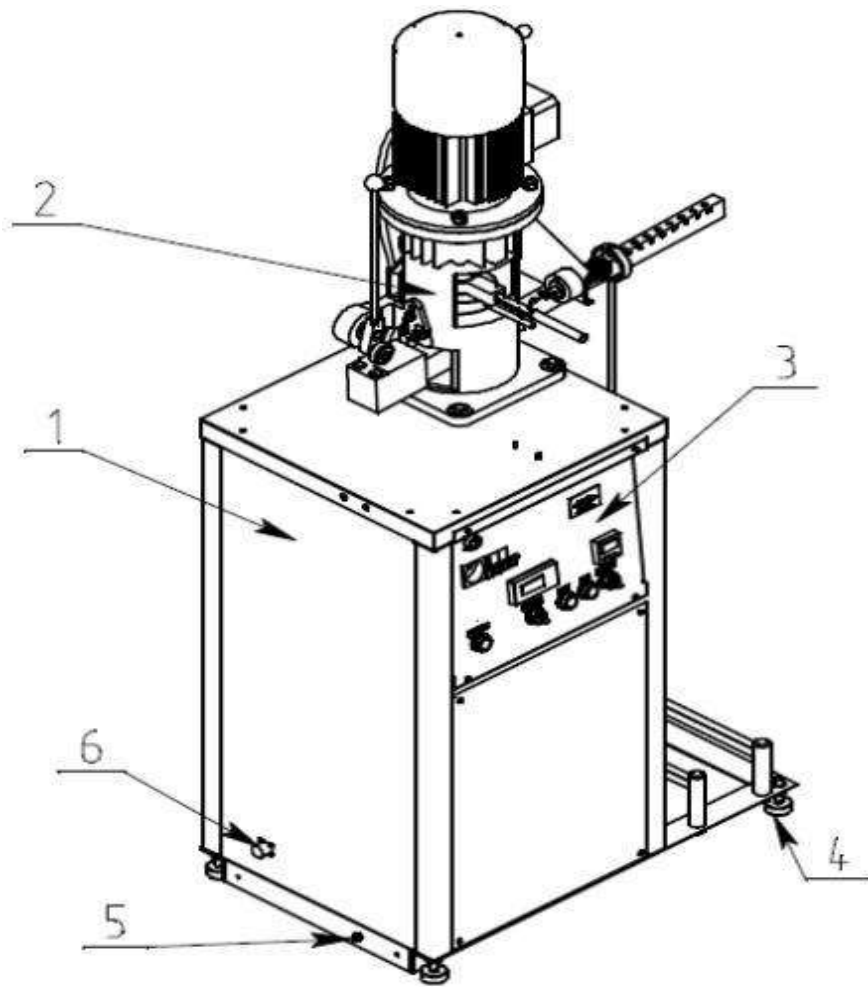


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд чотирикулькової машини тертя 1 – стійка; 2 – вузол тертя; 3 – панель управління; 4 – регульовані ніжки; 5 – болт для заземлення; 6 – роз'єм для зовнішніх з'єднань.

Загальний вигляд панелі управління представлений малюнку 2.2. На панелі керування встановлено:

1. Розетка для підключення електронагрівача;
2. Роз'єм для підключення електронного секундоміра;
3. Мережевий індикатор фаз;

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

4. Автоматичний вимикач;
5. Реле часу;
6. Вимірювач регулятор температури;
7. Кнопка ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ СКИД з сигнальною лампою;
8. Перемикач Час, призначений для встановлення режиму «10 сек» або «60 хв»;
9. Кнопка ПУСК, призначена для включення електродвигуна машини;
10. Кнопка СТОП, призначена для вимкнення електродвигуна машини;
11. Перемикач НАГРІВ, призначений для включення та вимикання регулятора температури.

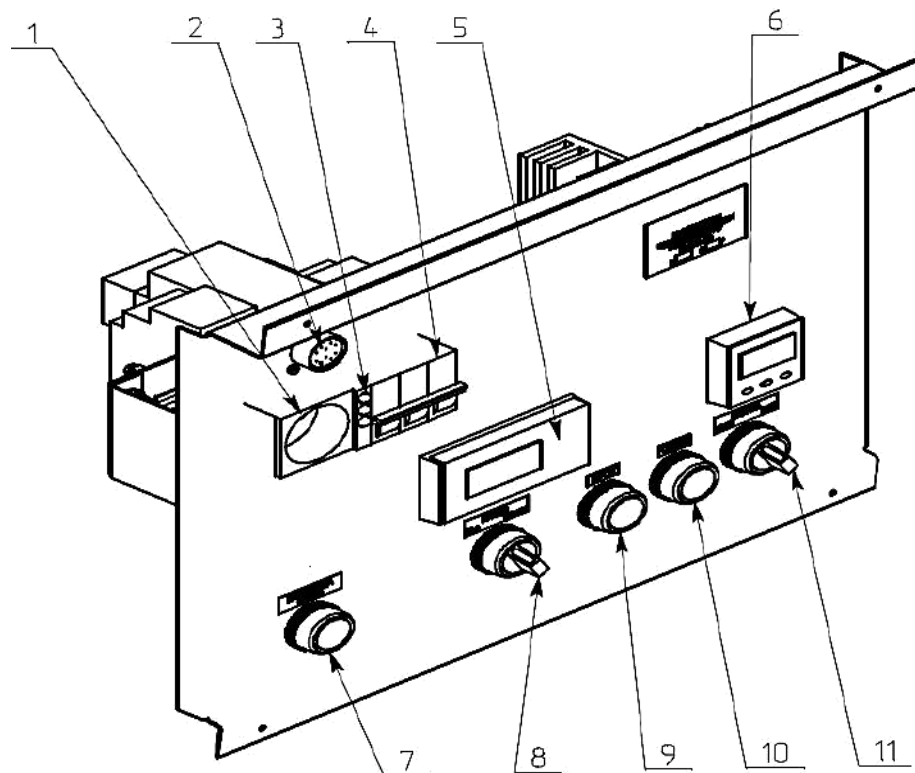


Рисунок 2.2 – Загальний вигляд панелі керування

Загальний вигляд вузла тертя машини представлений малюнку 2.3.

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Загальний вигляд вузла тертя машини складається з наступних деталей та вузлів:

1. Електродвигун з вбудованим електромагнітним гальмом і з ручним пристроєм, що розгальмовує 2;
3. Обмежувач, що вимикає електродвигун при перевищенні крутного моменту (120 кг·м);
4. Важіль для створення осьових навантажень у вузлі тертя;
5. Корпус для кріплення трьох нижніх кульок;
6. Гіретримач для установки гир;
7. Підставка для корпусу 6;
8. Литий корпус;
9. Підпірка для застосування та зняття осьових навантажень.

При випробуваннях мастильного матеріалу на підвищених температурах, замість підставки встановлюється електронагрівач.

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

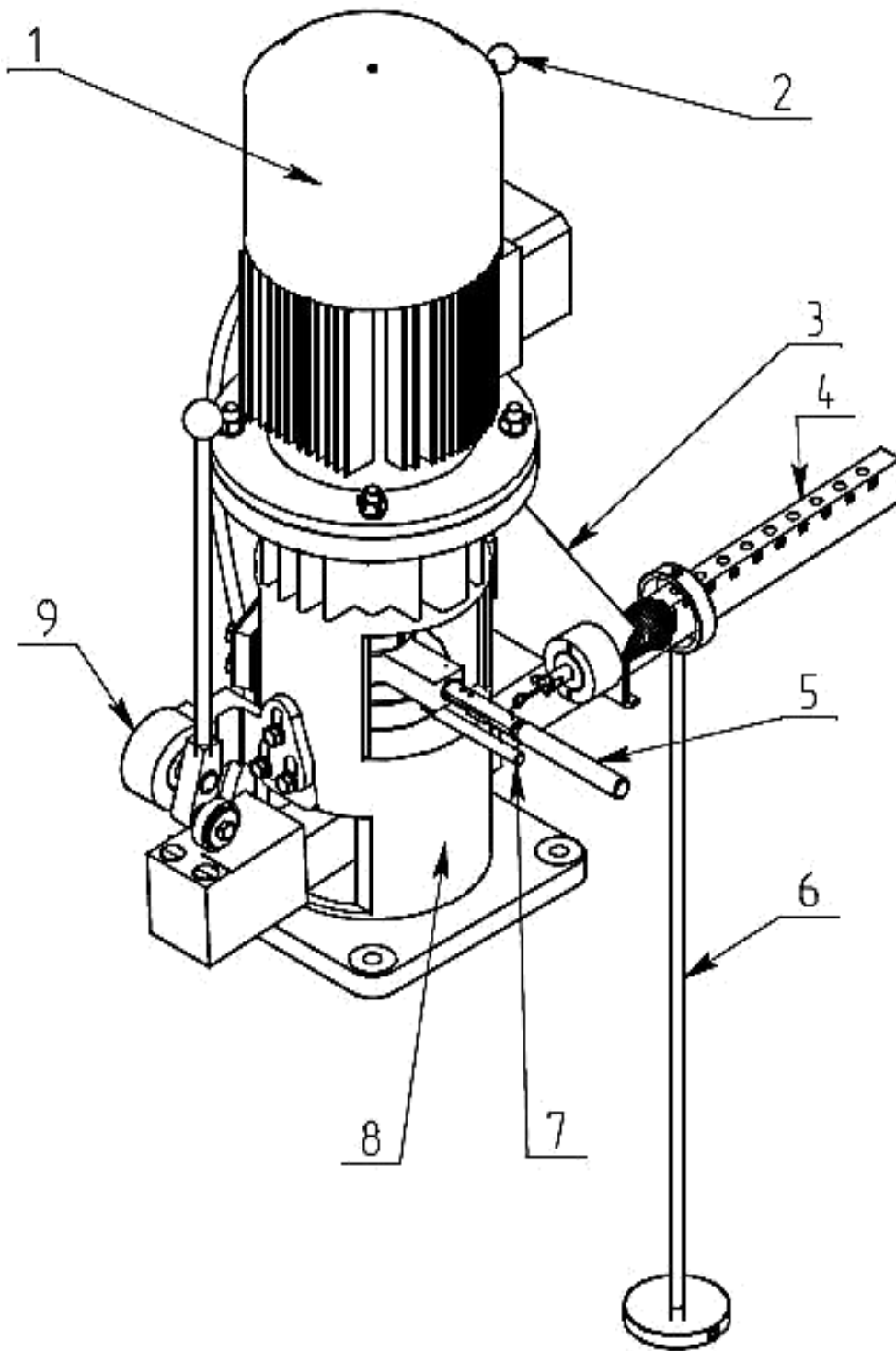


Рисунок 2.3 – Загальний вигляд вузла тертя машини

Вузол тертя у розрізі представлений малюнку 2.4.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

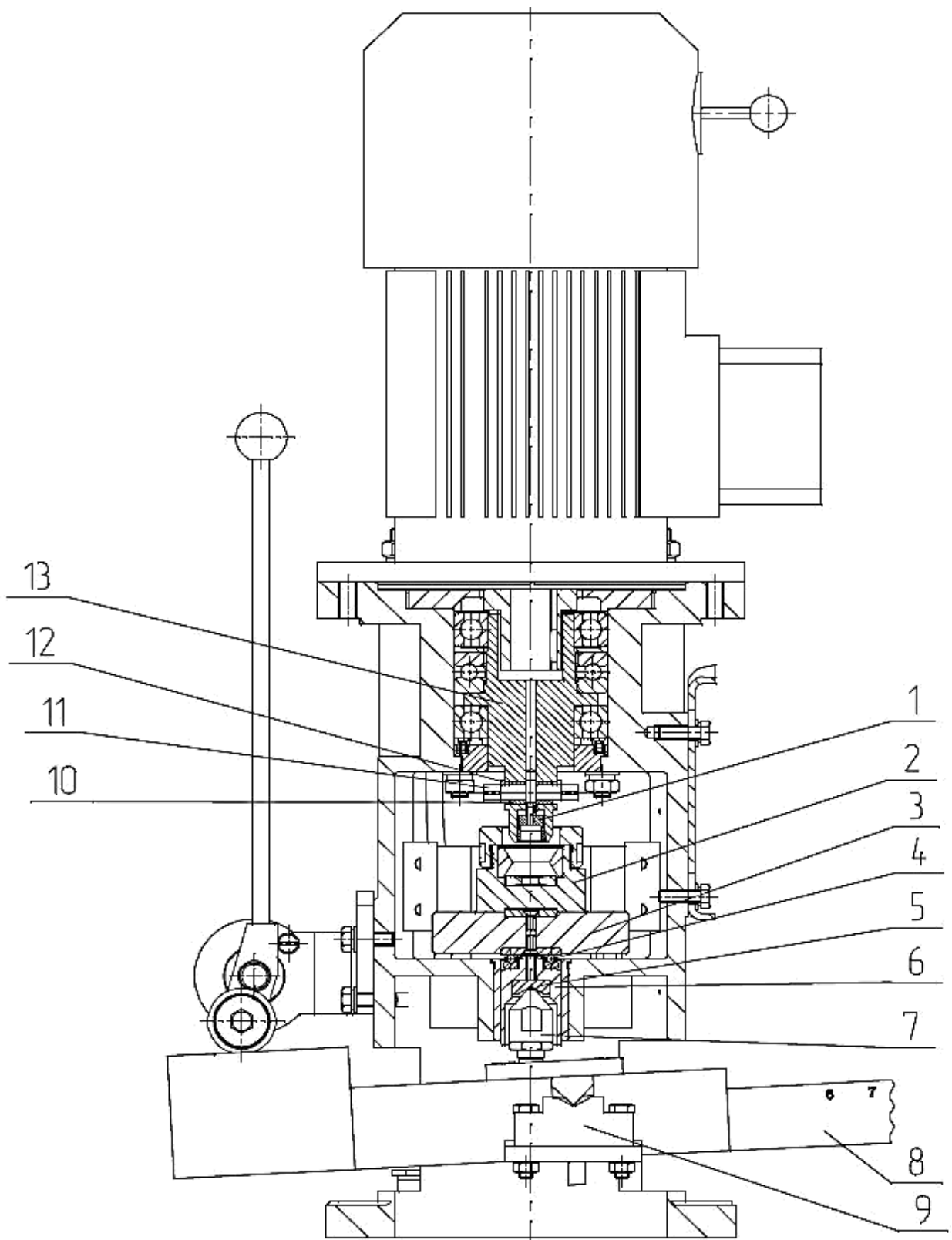


Рисунок 2.4 – Вузол тертя у розрізі

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРММТВА 25.24335.000. ПЗ

Арк.

28

Вузол тертя машини складається з наступних деталей та вузлів:

1. Цанга для встановлення верхньої кульки;
2. Корпус для кріплення трьох нижніх кульок;
3. Підставка;
4. Опорний підшипник без верхньої шайби;
5. Підп'ятник;
6. Втулка;
7. Глувач;
8. Важіль;
9. Опора призматична.

Рукоятка корпусу 5, показана малюнку 2.3, забезпечена гачком, з допомогою якого корпус вузла тертя з'єднується з тягою обмежувача 3. Пристрій для створення навантаження, показаний малюнку 2.4, складається з важеля 8, встановленого на двох призматичних опорах 9, які встановлені на припливах корпусу.

Загальний вигляд важеля представлений малюнку 2.5. У важелі є 15 глухих отворів з індексами від 6 до 20, що позначають коефіцієнт передачі вантажів на вузол тертя. На ці отвори встановлюється гиретримач із необхідними вантажами. Для створення осьових навантажень в діапазоні від 59 до 9800 Н (від 6 до 1000 кгс) машина забезпечена комплектом вантажів, що включає гирі і гиретримач, який в неробочому положенні розташований на стійці машини.

У комплект входять такі гирі: масою 0,1 кг – 4 шт.; масою 0,5 кг – 1 шт.; масою 1 кг – 4 шт.; масою 2 кг – 3 шт. та масою 5 кг – 8 шт. Маса гиретримача дорівнює 1 кг.

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

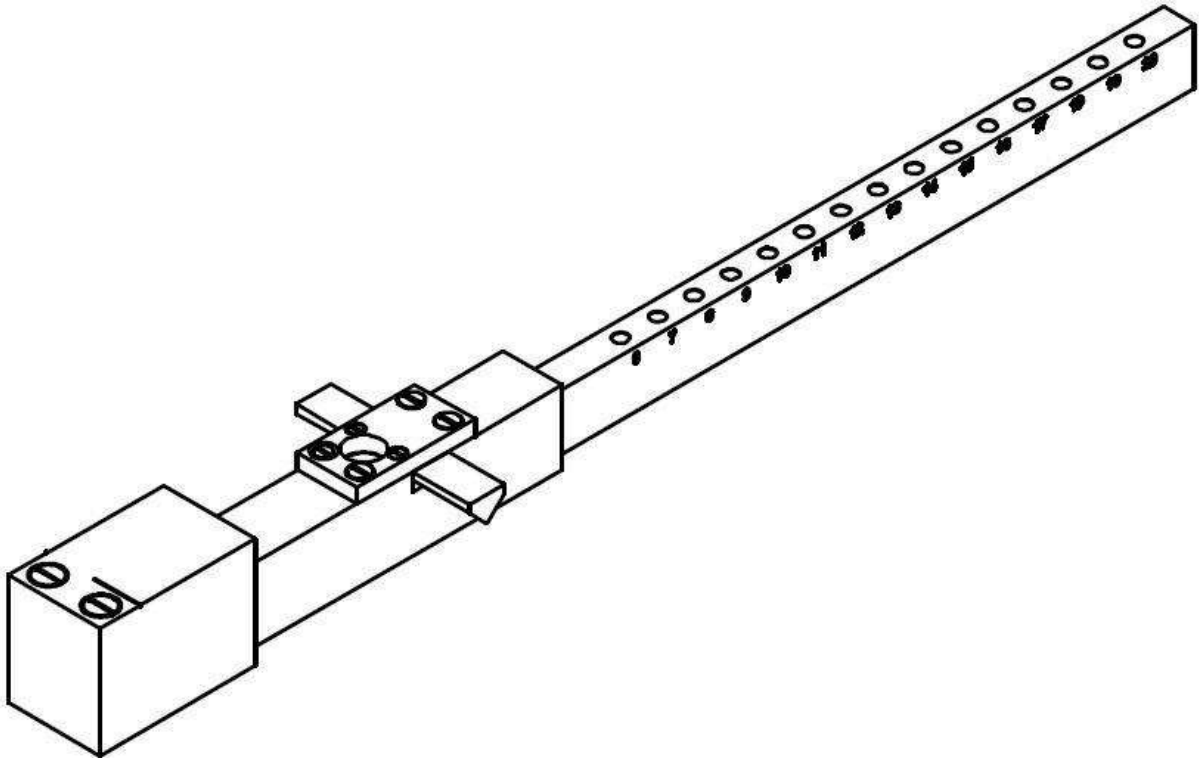


Рисунок 2.5 – Важіль

Зліва від призматичної опори, що є центром обертання, у гнізді важеля встановлений підп'ятник, на який встановлений штовхач 7, показаний на малюнку

2.4. Підштовхувач зверху впирається в підп'ятник 5, встановлений у втулці 6. На верхньому уступі втулки 6 встановлений упорний підшипник 4, на який спирається алюмінієва підставка 3. Для зручності установки підставка забезпечена ручкою. При випробуваннях, що проходять при підвищених температурах мастильного матеріалу, замість підставки в машину встановлюють електронагрівач. На корпусі 2, показаному малюнку 2.4, є нижня торцева проточка, в яку входить верхній диск підставки, чим забезпечується самоцентрування вузла тертя в процесі роботи.

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У корпусі закріплюються три нижні кульки. Четверта кулька затискається в цангу 1. Зовнішня конусна частина цанги знаходиться в конічному гнізді валу 13. Останній забезпечений діаметральним отвором, в якому на двох втулках 10 встановлений валик ексцентриковий 11, призначений для виштовхування цанги з валу 13. Ексцентриковий валик має квадратні хвостовики під ключ. На торцях хвостовиків нанесено стрілку, що показує положення виступу ексцентрики. Фіксація втулок 10 здійснюється втулкою 12 через вирізи якої проходить ексцентриковий валик 11. Вал 13 з'єднаний з валом електродвигуна муфтою, встановленою на вал двигуна зі шпонкою. Електродвигун прикріплений до верхнього фланця корпусу болтами. Провід від електродвигуна пропущено через металорукав, який прикріплений до нижнього фланця корпусу за допомогою притисків.

Вал встановлений на двох радіальних підшипниках. Осьове зусилля сприймається завзятим підшипником. Підшипники підібгані за допомогою фланця. Задній прямокутний хвостовик корпусу розміщений між двома гумовими амортизаторами, закріпленими на припливах корпусу. Амортизатори пом'якшують удари корпусу, що виникають при досягненні навантаження зварювання. На задній стороні литого корпусу на припливі встановлена пластина, що має вертикальний виріз. При знятті корпусу з машини датчик температури спочатку потрапляє у виріз пластини, а потім автоматично висмикується з корпусу.

Загальний вигляд корпусу представлений малюнку 2.6. Корпус 1 має центральну циліндричну частину і два прямокутні хвостовики. Корпус має знімну ручку 3 з пружинною клямкою. На ручці 3 встановлений гачок, за допомогою якого з'єднується корпус з тягою

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обмежувача. Під час встановлення рукоятки засувка замикається автоматично, а при знятті відмикається натисканням на виступ. Гайка 2 служить для закріплення кульок.

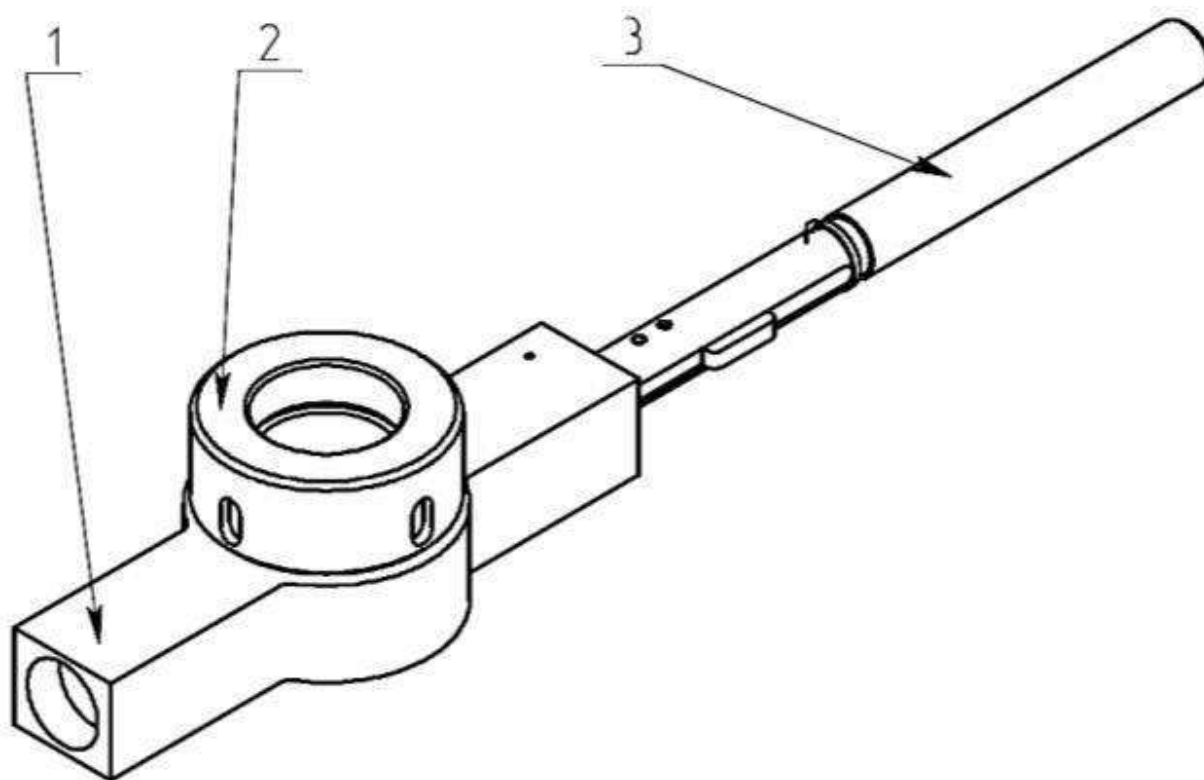


Рисунок 2.6 – Корпус для кріплення трьох нижніх кульок

Корпус у розрізі представлений малюнку 2.7. Усередині центральної частини поміщаються три кульки між конічними поверхнями нижнього кільця 3 і верхнього кільця 4 і затискаються гайкою 2. У корпусі розташований конічний отвір 1 для установки датчика температури.

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

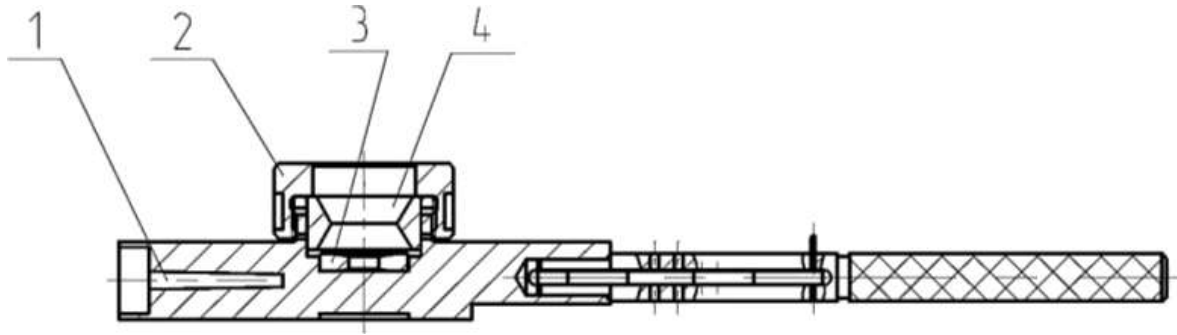


Рисунок 2.7 – Корпус у розрізі

Загальний вид підпірки представлений малюнку 2.8. У підпірці, у втулці 1 встановлений палець, закріплений за допомогою шайби 6 і болта 7, з іншого боку запресований важіль 3, який служить цапфою при повороті важеля.

У важіль також запресований палець 4, на якому кріпиться підшипник 5. Ролик, що несе, виконує функцію ексцентрика. При повороті важеля за ручку 2 у верхнє положення звільняється вузол тертя від осьового навантаження. При повороті важеля в нижнє положення — осьове навантаження сприймається вузлом тертя.

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

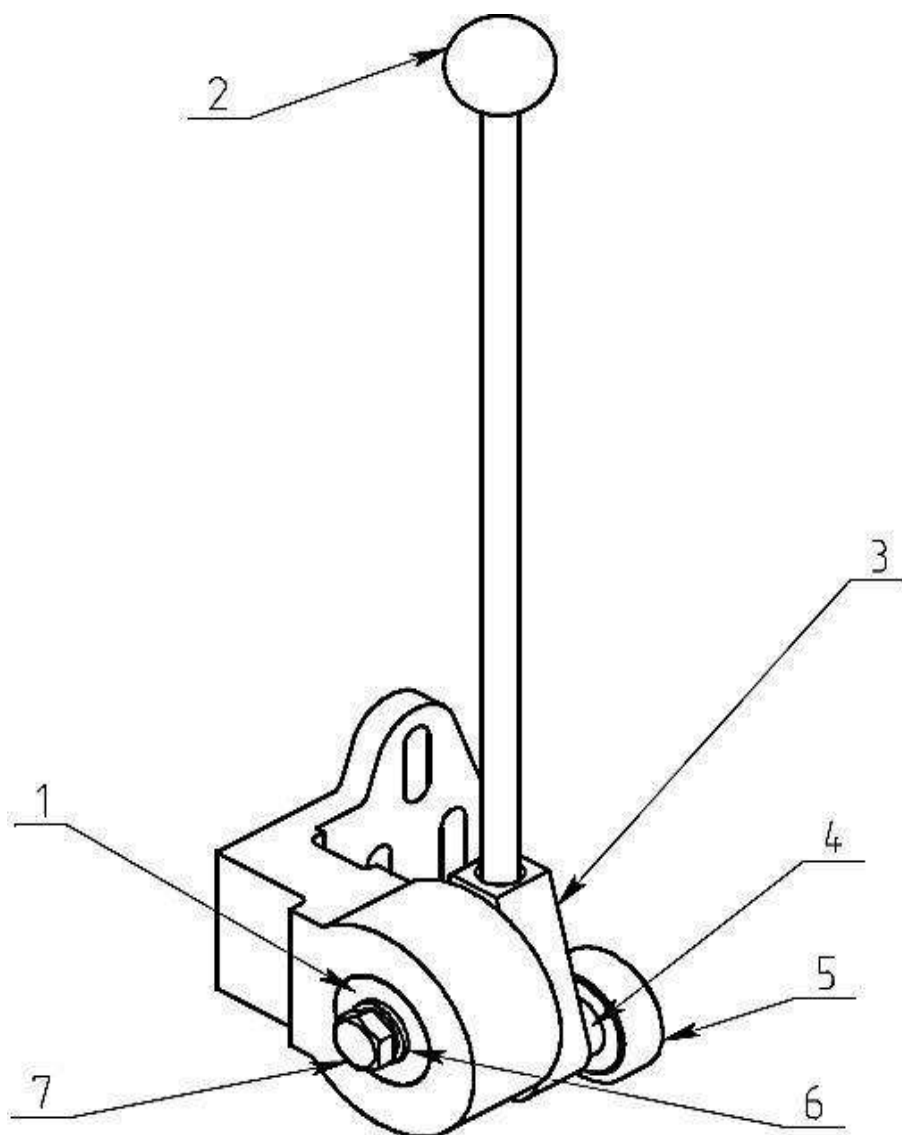


Рисунок 2.8 – Загальний вигляд підпірки

Загальний вид обмежувача представлено малюнку 2.9. Обмежувач – пристрій для автоматичного вимикання електродвигуна при досягненні максимально допустимого значення моменту, що крутить.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

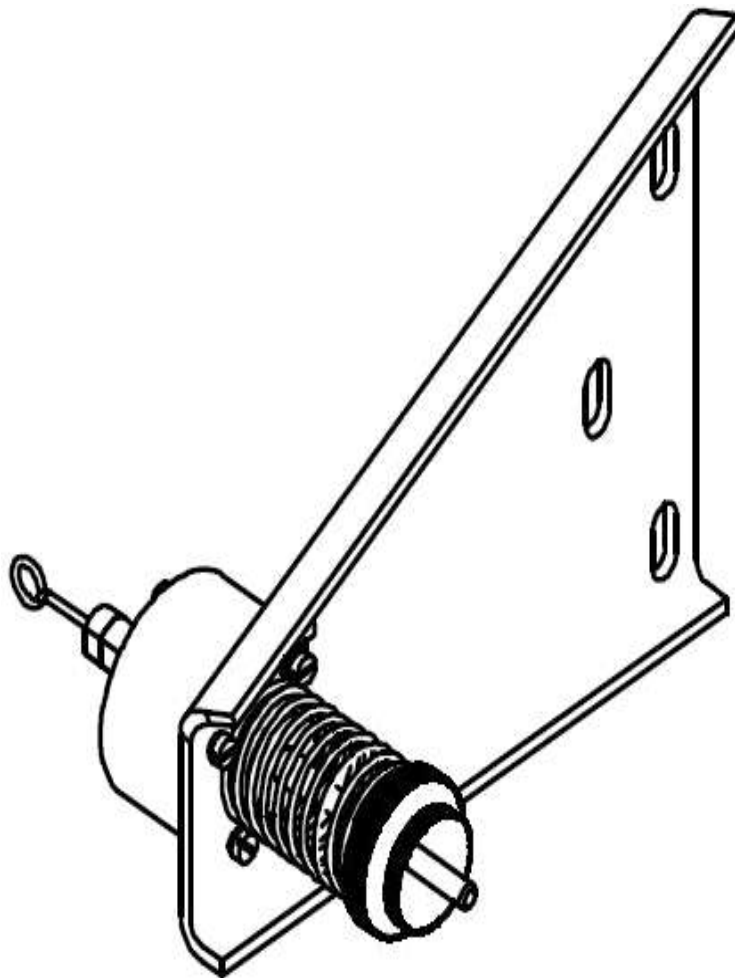


Рисунок 2.9 – Загальний вид обмежувача

Схема обмежувача з частковим розрізом представлена малюнку 2.10. На кронштейні гвинтами кріпиться втулка 4, в якій переміщається в осьовому напрямку валик 2. Пружина 5, нижній кінець якої спирається на кронштейн, а верхній - на втулку 6, що упирається в нагвинчені на вал 2 гайки 7 і 8. Гайка 7 гайка 8 контрит гайку 7. На валику закріплений гачок 9 за допомогою гайки 1 для з'єднання з ручкою корпусу. На втулці 4 закріплена пластина 3 із

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

встановленим на ній мікрорелем 11. На валік 2 встановлена шайба 10, яка у вихідному положенні натискає на мікрореле, контакт перемикача - замкнутий. При зростанні моменту тертя до 1180 Н·см [120,0 кгс·см], зусилля на валік у горизонтальному напрямку долає зусилля натягу пружини, і віджимає валік із встановленою шайбою, внаслідок чого контакт мікроперемикача розмикається і загоряється лампа в кнопці ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ/. Електродвигун машини вимикається.

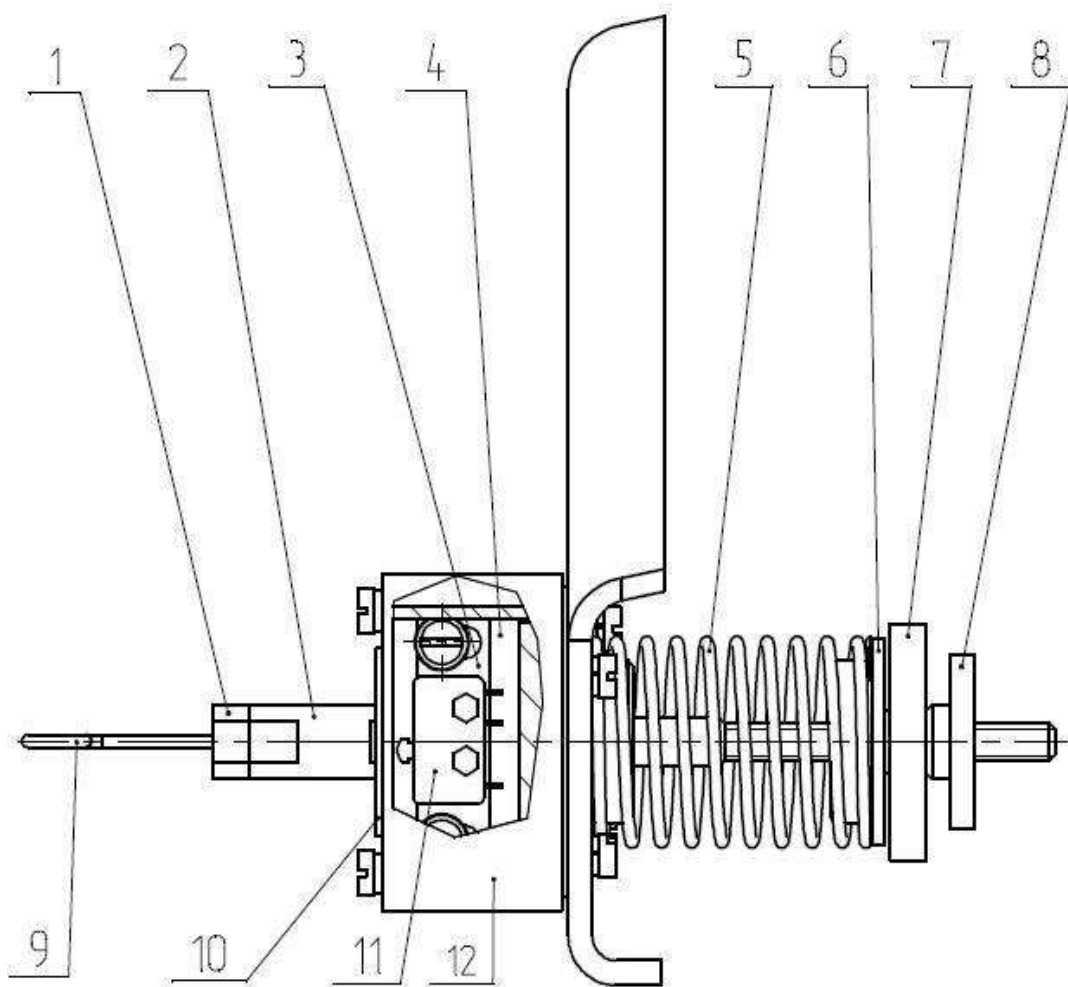


Рисунок 2.10 – Схема обмежувача з частковим розрізом

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРММТВА 25.24335.000. ПЗ

Арк.

36

Чотирикокулькова машина тертя використовується для визначення ряду трибологічних характеристик трансмісійних масел, гідравлічних масел і

пластичних мастил. Також вона може використовуватися для порівняльної оцінки моторних масел. Умови випробувань на цій установці не відтворюють реальних вузлів тертя. Однак її достатньо для оцінки властивостей олій на попередніх етапах дослідження.

Відповідно до ДСТУ 9490-75 за допомогою чотирикулькової машини тертя можна визначати такі характеристики:

- несуча здатність - по критичному навантаженню гранична
- здатність навантаження - по навантаженню зварювання
- протизносні властивості - по діаметру плями зносу протизадирні
- властивості - по індексу задира

Принцип роботи машини полягає у відтворенні нормованих впливів на випробувані зразки з наступним виміром величини зносу. Як випробувальні зразки використовуються кульки ($12,70 \pm 0,01$ мм) за ДСТУ 3722 зі сталі ШХ-15 за ДСТУ 801. Для одного випробування використовуються чотири кульки, які утворюють піраміду. Три кульки, основа піраміди, закріплюються нерухомо в корпусі, в якому вони заливаються випробуваним мастильним матеріалом.

Четверта кулька, вершина піраміди, закріплюється в шпинделі машини і притискається під заданим навантаженням і обертається двигуном, розташованим у верхній частині установки з постійною швидкістю. Тривалість випробувань – 10 с або 60 хв залежно від типу випробування. Якщо під час випробування виникає момент тертя, що дорівнює (1180 ± 25) Н·см, установка автоматично вимикається. У вузлі

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тертя (рисунок 3) можливо регулювати осьове навантаження в діапазоні від 59 до 9800 Н. Регулюється вона шляхом установки гиредержателя з необхідним набором гирь, в потрібне положення на важелі. Положення визначається згідно з розрахунковими таблицями в ДСТУ 9490-75.

Кожне випробування складається із серії визначень. Кожне нове визначення проводять на новій пробі мастильного матеріалу та чотирма новими кульками. Тривалість роботи машини щодо показника зносу становить 60 хв, а осьове навантаження залишається постійною.

Порядок роботи:

1. Перед початком випробування всі деталі машини необхідно ретельно промити очищаючим засобом, що не залишає розлук, плям і т.д. Самі деталі мають бути сухими та повністю чистими.

2. Кульки так само необхідно відчистити та просушити

3. Верхня кулька встановлюється в цангу, яка кріпиться в конічній гнізді. Про її фіксацію говорить квадратний кінцевик, стрілка на якому має дивитися нагору

4. Чашка встановлюється на шплінти на робочій поверхні машини

5. У корпус міститься нижнє кільце

6. У чашку поміщаються три кульки

7. У чашку опускається верхнє кільце

8. У чашку заливається випробуваний матеріал. Рівень матеріалу має бути

врівень з верхньою гранню верхнього кільця

9. Встановлюється гайка, яка затягується ключем

10. У корпус встановлюється знімна ручка

11. Корпус з підставкою для корпусу встановлюється в литий корпус машини

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. У корпус чашки встановлюється термопара
13. Захисний екран опускається в нижнє положення
14. Гіретримач встановлюється в потрібнє положення на важелі. на гіроутримувач встановлюються необхідні гирі
15. Перемикачем ЧАС на панелі керування вибираємо необхідний режим роботи установки
16. Важіль підпірки повертається до нижнього положення. Потім необхідно натиснути кнопку ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ СКИД на панелі управління, а потім ПУСК
17. Після закінчення проведення досвіду, електродвигун автоматично відключиться. Після цього необхідно вимкнути машину шляхом переведення вимикача у положення ВІДКЛ
18. Знімається прикладене навантаження поворотом важеля підпірки у верхнє становище
19. Захисний екран піднімається у верхнє положення
20. Виймається термопара
21. Корпус чашки разом із підставкою виймається. Корпус чашки встановлюється на шплінти на робочій поверхні машини
22. Ексцентриковий валик повертається торцевим ключем на 180 ° (стрілка має бути повернена вниз) і виймається цанга з верхнім ключем. Кулька видаляється через отвір у верхній частині цанги
23. Ключем необхідно відкрутити гайку
24. Гайка, верхнє та нижнє кільця, чашка, цанга та кульки очищаються від мастильного матеріалу, знежирюються та висушуються

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

2.2 Опис та послідовність роботи з цифровим мікроскопом

Оскільки плями зносу мають діаметр близько одного міліметра і менше, для їх виміру потрібен мікроскоп з можливістю виміру лінійних величин. Для цього буде використовуватися електронний мікроскоп з програмним забезпеченням для комп'ютера (рисунок 2.11).



Рисунок 2.11 – Електронний мікроскоп Kromatech

Даний мікроскоп дозволяє отримувати зображення зі збільшенням до 1000 разів, виводити на екран монітора зображення, а також вимірювати лінійні розміри. Цих можливостей цілком достатньо для аналізу змін розмірів плям зношування, залежно від масла або присадок, що використовується [25].

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Порядок роботи:

1. Перед початком роботи необхідно увімкнути комп'ютер із встановленим

ПЗ для мікроскопа.

2. Потім запустити програму і вручну увімкнути підсвічування предметного столика мікроскопа за допомогою перемикача, розташованого на єдиному дроті, підключеного до мікроскопа.

3. На корпусі мікроскопа шляхом обертання коронки вибрати потрібну кратність збільшення, а на правій панелі у програмі вибрати відповідне калібрування.

4. Помістити кульку на підставку на предметному столику прямою зносу нагору та поворотом шарніра на опорі сфокусувати зображення.

5. На верхній панелі встановити зображення на паузу. Натиснути кнопку з іконкою лінійки і провести через пляму зношування дві перпендикулярні лінії вздовж плями зношування і поперек.

6. Зберегти зображення у папці програми.

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Мета та завдання дослідження

Справжня робота присвячена дослідженню впливу металовмісних добавок на протизносні властивості моторних і трансмісійних масел, а саме олеатів металів на протизносні властивості, з'єднання металів з кислотним залишком олеїнової кислоти, олеат міді є основою так званих металоплакуючих добавок. олеати інших металів більш активних ніж мідь на протизносні властивості масел.

Мета дослідження: визначити вплив металовмісних добавок на протизносні властивості олій.

Завдання дослідження: підготувати експериментальну базу (оцінити протизносні властивості на ЧМТ-1 за ДСТУ 9490-75, методика проведення, принцип дії ЧМТ-1, показник зносу, оцінку моменту тертя, тобто вплив і антифрикційні властивості) [24].

Провести порівняльну оцінку впливу металовмісних сполук на протизносні властивості на прикладі масел СИНТЕК 5W40 та І40А.

3.2 Випробування мастильних матеріалів на ЧМТ-1

Випробування проводилися на машині тертя ЧМТ-1 за ДСТУ 9490-75, на протизносні та протизадирні властивості. Протизносні властивості випробовувалися при навантаженні 392 Н (40 кг) по 2 повторних досвіду для кожного мастильного матеріалу, при температурі навколишнього повітря 25°C.

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Результати випробувань виражаються у діаметрі плям зносу нижніх кульок.

Середній діаметр плями зносу, що враховується при випробуванні кожного мастильного матеріалу, розраховується наступним чином. Після проведення кожного досвіду, за допомогою цифрового мікроскопа, вимірюються діаметри плям зносу трьох нижніх кульок у двох площинах: у напрямку ковзання та перпендикулярно напрямку ковзання верхньої кульки. Для кожної кулі розраховується середній діаметр плями зносу шляхом розрахунку середнього значення для вимірних значень обох площин. Далі розраховується середнє значення всім трьох куль, що у результаті дає середній діаметр плями зносу для проведеного досвіду — показник зносу, що позначається D_i .

За результат вимірювання приймається середнє арифметичне значення вимірювань плями зношування трьох нижніх кульок. Результати проведених випробувань заносяться до протоколу.

Показник діаметрального зносу визначається за постійного навантаження, встановленого в нормативно-технічній документації. При встановленні діаметрального зносу проводять як мінімум два послідовні досліди.

Надійне визначення діаметрального зносу забезпечується при стабільній роботі машини, без вібрацій та скрипів. Також точність випробування перевіряється показником збіжність.

Східність (для пластичних мастильних матеріалів встановлюють тільки для показника зношування D_i).

Два результати визначень, отримані одним виконавцем, визнаються достовірними (з 95% - ною довірчою ймовірністю), якщо розташування між ними не перевищує показника зносу (D_i) — значення для більшого

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

результату (Рисунок 3.1).

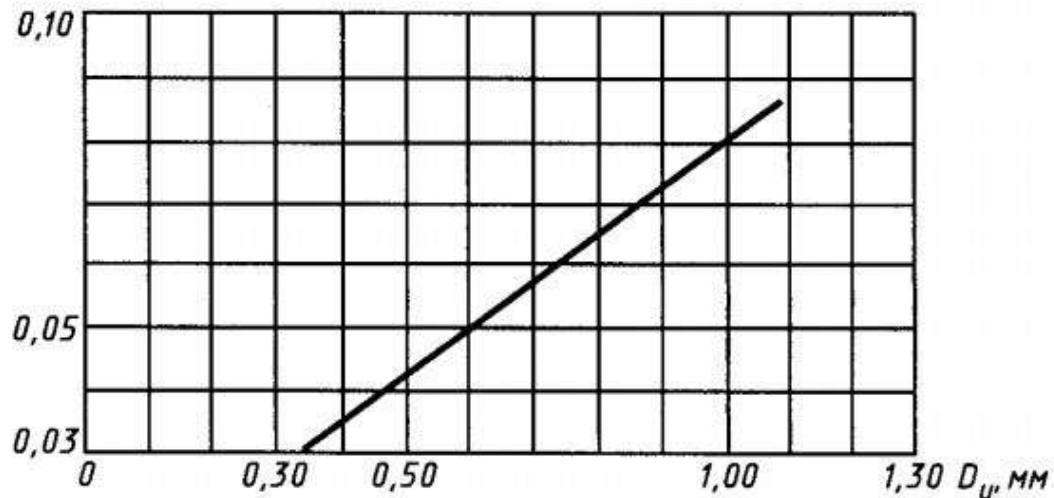


Рисунок 3.1 – Графік збіжності результатів.

Наступним кроком, розраховуємо розбіжність D_i для двох досвідів випробування одного і того ж мастильного матеріалу, шляхом різниці D_i двох дослідів. Отримане значення має бути припустимо – тобто. має бути менше значення збіжності, розрахованого за ДСТУ 9490-75. D_i – Більше значення середнього діаметра плям зносу з двох дослідів, що перевіряються. Якщо не виконується умова, необхідно провести повторний досвід.

При підборі мастильних матеріалів для випробувань основним завданням було знайти такі мастильні матеріали, щоб була можливість їх порівняння, також СМ повинні бути актуальними для застосування споживачами.

3.3 Вибір зразків мастильних матеріалів для дослідження

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Від підприємства-виробника автомобільних мастильних матеріалів та різних добавок до них, був отриманий запит на проведення дослідження впливу металовмісних добавок, синтезованих у хімічній лабораторії кафедри ТАМ ХНУ, на протизносні властивості порівняно з аналогами, представленими на ринку, такими, як «Valene SV» і «Valena SV». Відмінність добавок «Valena SV» та «Copper» у базовій олії, до якої додається олеат міді. Сенс проведених випробувань у тому, щоб порівняти дію олеату міді з олеатами інших металів, оскільки вартість виробництва олеату міді вище, ніж виробництво олеатів інших металів.

Для дослідження було обрано загальнодоступне, відоме споживачеві та досить недорогу олію «Sintec 5W40». Однак враховуючи те, що товарна олія «Sintec 5W40» вже має у своєму складі різні присадки, відповідно ефект від взаємодії базових присадок даного масла з металовмісними добавками був невідомий, було прийнято рішення провести випробування зі мастильним матеріалом схожим по в'язкості і не має присадок. В якості такого зразка було обрано базове індустріальне масло І40А, яке не має у складі присадок і дуже близько по в'язкості до вибраного товарного мастила.

Крім того, від підприємства також надійшов запит на перевірку впливу металовмісних добавок на основі олеату міді на олію для двотактних двигунів. Враховуючи принцип роботи та особливості конструкції двотактних ДВС масло у складі паливної суміші потрапляє в камеру згоряння, внаслідок чого одними з основних властивостей мастильних матеріалів для даного типу ДВС є повнота згоряння, зольність при згорянні, а також стабільність властивостей при високих температурах. Відповідно, товарні олії для двотактних двигунів мають інші присадки, ніж для чотиритактних двигунів. Так, антизадирні та протизносні присадки практично не додаються в дані масла, через

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

високу зольність даних присадок. Внаслідок чого було вирішено дослідити показники зношування двотактних масел при додаванні металовмісних добавок до їх складу. Для проведення випробувань були обрані мотоциклетні олії "Eni i-Ride Racing moto 2t" середньої цінової категорії та "Motul 710 2t" з високої цінової категорії. Вибрані олії дуже близькі за в'язкісними характеристиками і однакові за класифікаціями, що представлено таблиці 1.

Таблиця 1 – Властивості вибраних олій

Фізико-хімічні властивості	Марка олії	
	Eni i-Ride Racing moto 2t	Motul 710 2t
В'язкість при 100°C мм ² /с:	9,7	8,9
В'язкість при 40°C мм ² /с:	55	46,4
Індекс в'язкості:	162	175
Температура спалаху°C:	82	88
Температура застигання °C:	- 54	- 49
Щільність при 15°C кг/л:	0,875	0,862
Класифікація	API TC, ISO-L-EGD	API TC, ISO-L-EGD

3.4 Випробування моторної олії «Sintec 5W40»

Для дослідження впливу металовмісних добавок на протизносні властивості моторної олії було проведено випробування чистої олії «Sintec 5W40». Після чого у хімічній лабораторії були синтезовані металовмісні добавки на основі олеатів міді («Valena SV» та «Copper»), заліза, олова та цинку. Олеати даних металів додавали в Sintec 5W40 в концентрації 1%. Ця концентрація була виявлена в ході раніше

зроблених дослідів на кафедрі «Автомобільний транспорт» у лабораторії триботехніки, як найнижча і при цьому ефективна концентрація для автомобільних моторних масел. Далі зразки також випробували на ЧМТ-1. Крім того, були проведені випробування з додаванням 1% чистої олеїнової кислоти для виявлення її впливу на протизносні властивості олії, що досліджується. Результати проведених дослідів представлені в таблиці 2, а також малюнку 3.2.

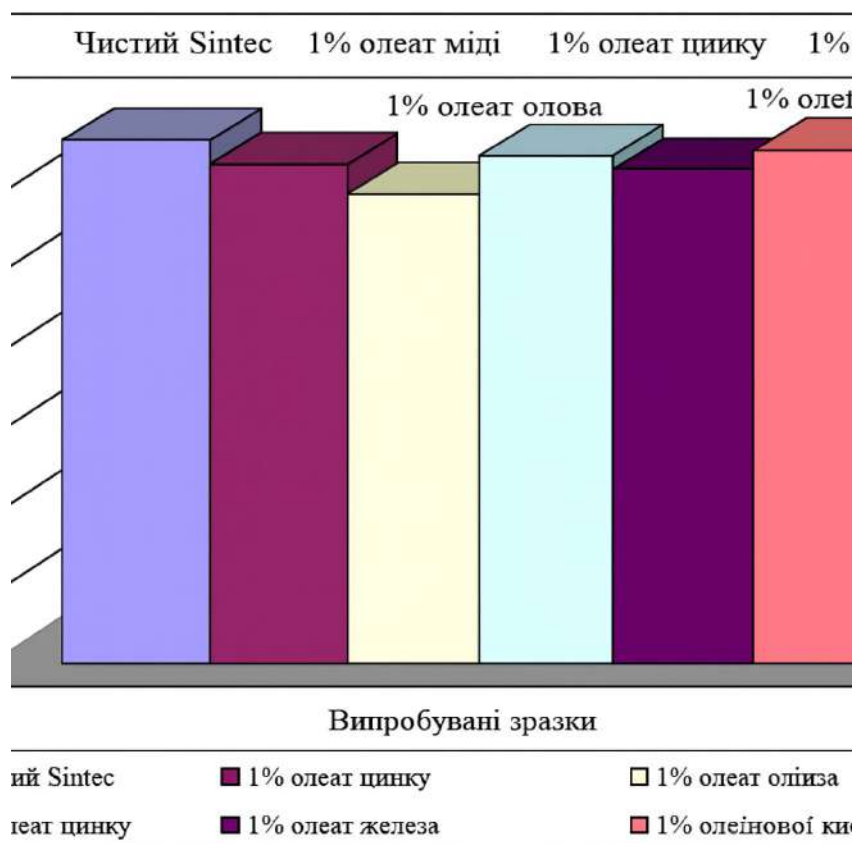


Рисунок 3.2 – Результати випробувань для Sintec 5W40

Таблиця 2 – Результати вимірювань для Sintec 5W40

Зразок	D_{cp}^* , мм	D_i , мм
Чистий Sintec вимірювання вздовж	0,501	0,480
Чистий Sintec вимір упоперек	0,458	
Sintec +1% олеат міді, вимірювання вздовж	0,390	0,386
Sintec +1% олеат міді, вимірювання впоперек	0,383	
Sintec +1% олеат олова, вимір вздовж	0,352	0,355
Sintec +1% олеат олова, вимір упоперек	0,359	
Sintec +1% олеат цинку, вимірювання вздовж	0,393	0,389
Sintec +1% олеат цинку, вимірювання впоперек	0,384	
Sintec +1% олеат заліза, вимір вздовж	0,380	0,382
Sintec +1% олеат заліза, вимірювання впоперек	0,383	
Sintec +1% олеїнової кислоти, вздовж	0,389	0,403
Sintec +1% олеїнової кислоти, поперек	0,410	

тут D_{cp}^* – середній діаметр плями зносу вимірів вздовж або впоперек,
 D_i - Середній діаметр плями зносу

Випробовані зразки різних варіантів присадок представлені на
 рисунках 3.3 – 3.8.

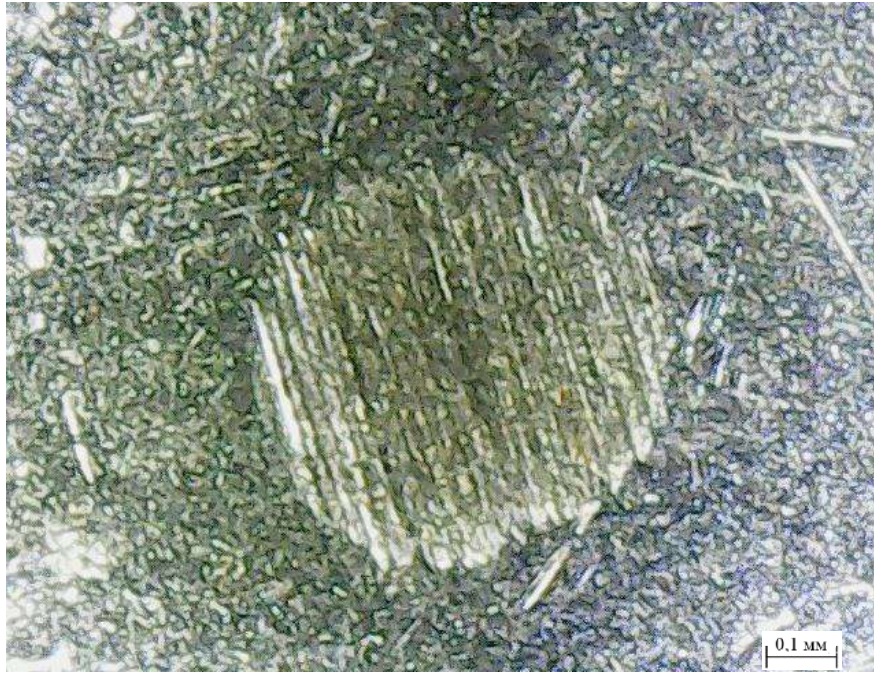


Рисунок 3.3 – Чистий «Sintec 5W40»

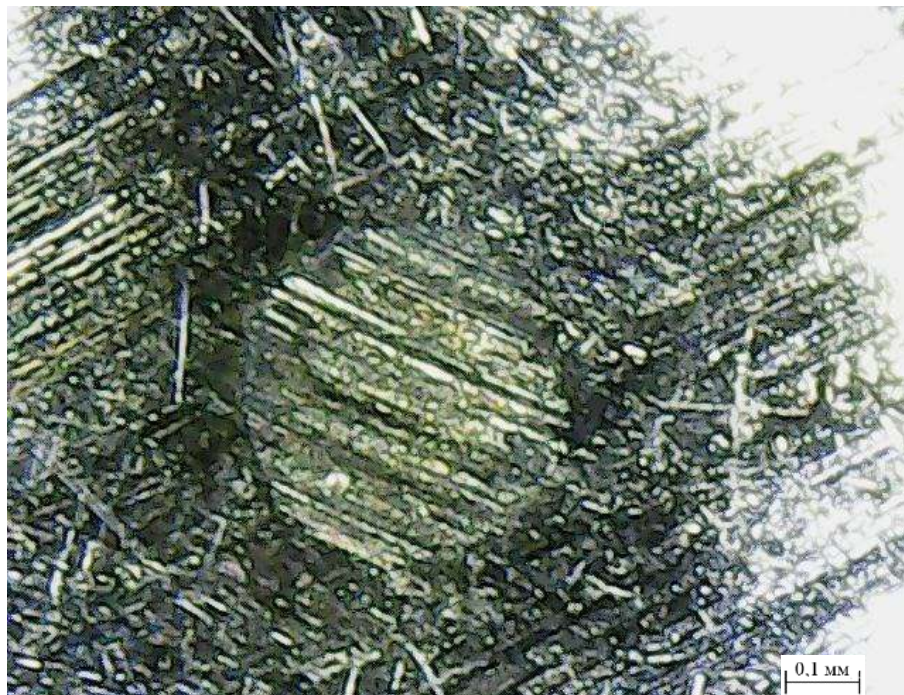


Рисунок 3.4 – «Sintec» +1% олеату міді

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРММТВА 25.24335.000. ПЗ

Арк.

49

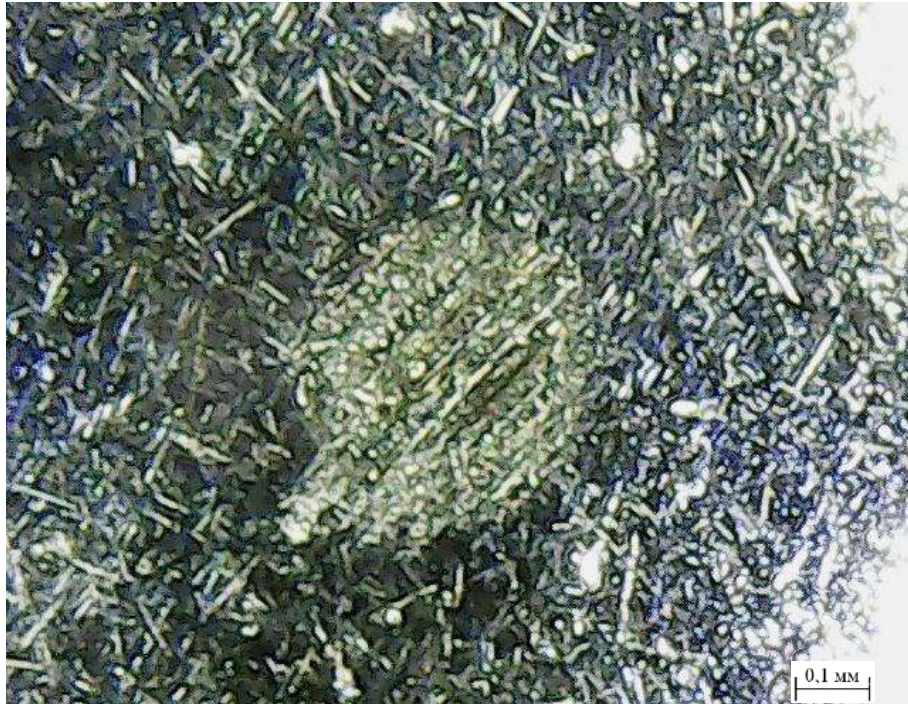


Рисунок 3.5 – «Sintec» +1% олеату олова

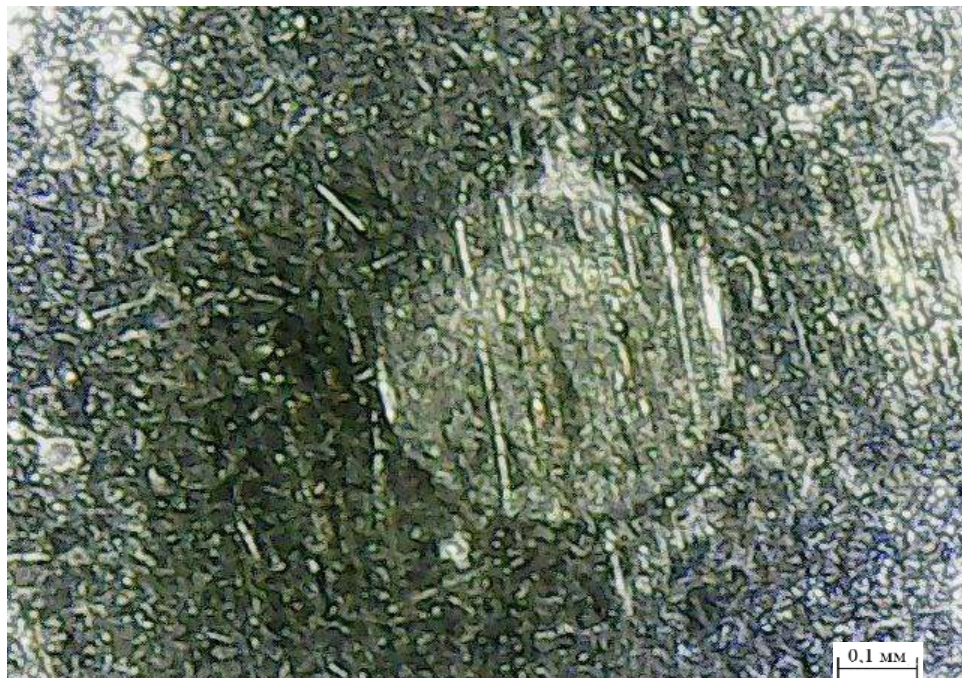


Рисунок 3.6 – «Sintec» +1% олеату цинку

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50



Рисунок 3.7 – «Sintec» +1% олеату заліза



Рисунок 3.8 – «Sintec» +1% олеїнової кислоти

3.5 Випробування індустриальної олії І40А

Для дослідження впливу металовмісних добавок на протизносні властивості індустриальної олії у лабораторії триботехніки на кафедрі ТАМ ХНУ було проведено випробування чистої олії І40А. Далі були проведені досліди з додаванням 1% олеату міді. Після чого І40А у співвідношенні 1:100 додавалися металовмісні добавки на основі олеатів заліза, олова і цинку. Ці зразки також випробовувалися на ЧМТ-1. Крім того, були проведені випробування з додаванням 1% чистої олеїнової кислоти для виявлення її впливу на протизносні властивості досліджуваного індустриального масла [27-29]. Результати проведених дослідів представлені в таблиці 3, а також малюнку 3.9.

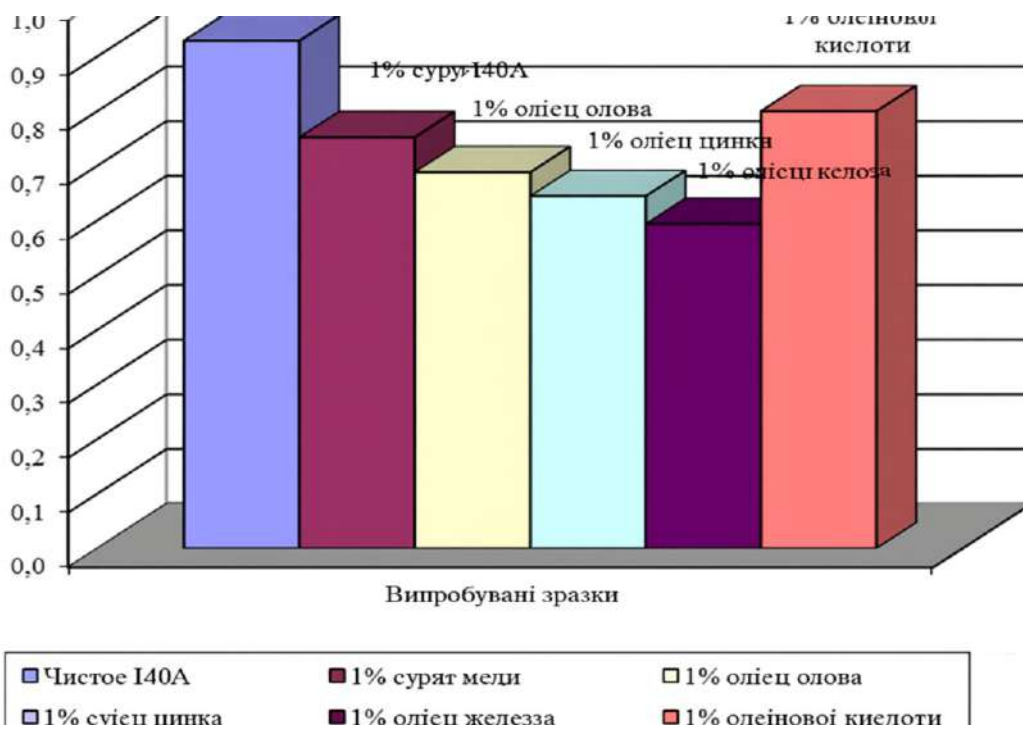


Рисунок 3.9 – Результати випробувань для І40А

Таблиця 3 - Результати вимірювань для I40A

Зразок	D_{cp}^* , мм	D_i , мм
Чистий I40A вимірювання вздовж	0,932	0,929
Чистий I40A вимір упоперек	0,926	
I40A +1% олеат міді, вимірювання вздовж	0,746	0,752
I40A +1% олеат міді, вимірювання впоперек	0,758	
I40A +1% олеат олова, вимір вздовж	0,687	0,688
I40A +1% олеат олова, вимірювання поперек	0,690	
I40A +1% олеат цинку, вимірювання вздовж	0,640	0,644
I40A +1% олеат цинку, вимірювання поперек	0,649	
I40A +1% олеат заліза, вимір вздовж	0,591	0,593
I40A +1% олеат заліза, вимірювання поперек	0,596	
I40A +1% олеїнової кислоти, вздовж	0,789	0,800
I40A +1% олеїнової кислоти, поперек	0,810	

тут D_{cp}^* – середній діаметр плями зносу вимірів вздовж або впоперек,
 D_i - Середній діаметр плями зносу.

Випробовані зразки різних варіантів присадок представлені малюнки
 3.10 – 3.15.

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53



Рисунок 3.10 – Чистий І40А



Рисунок 3.11 – І40А +1% олеату міді

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРММТВА 25.24335.000. ПЗ

Арк.

54

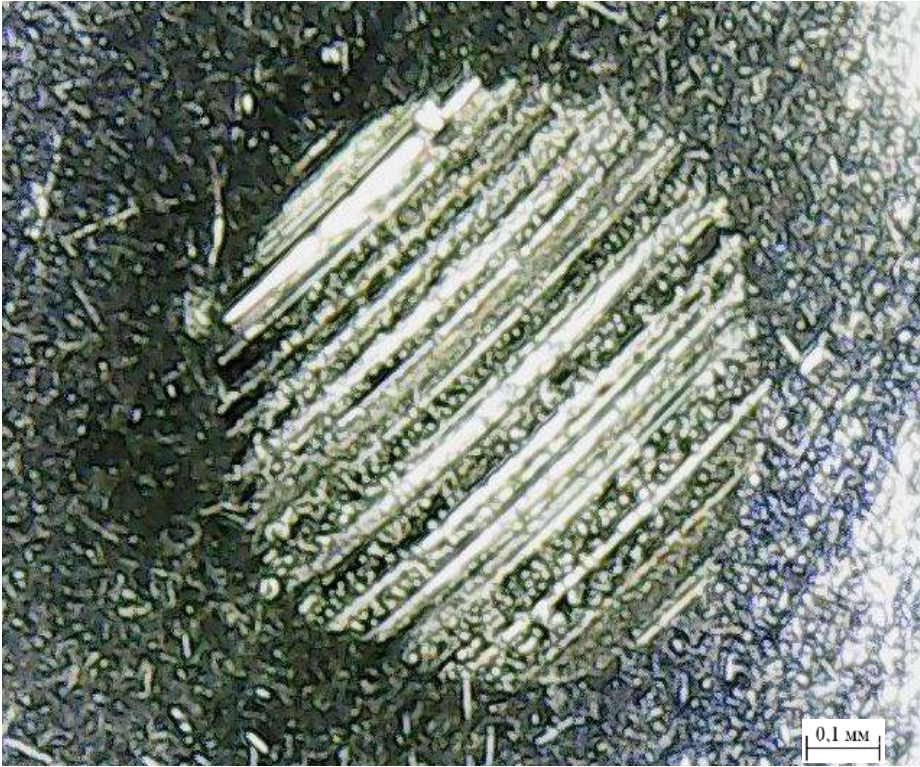


Рисунок 3.12 – I40A +1% олеату олова



Рисунок 3.13 – I40A +1% олеату цинку

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРММТВА 25.24335.000. ПЗ

Арк.

55

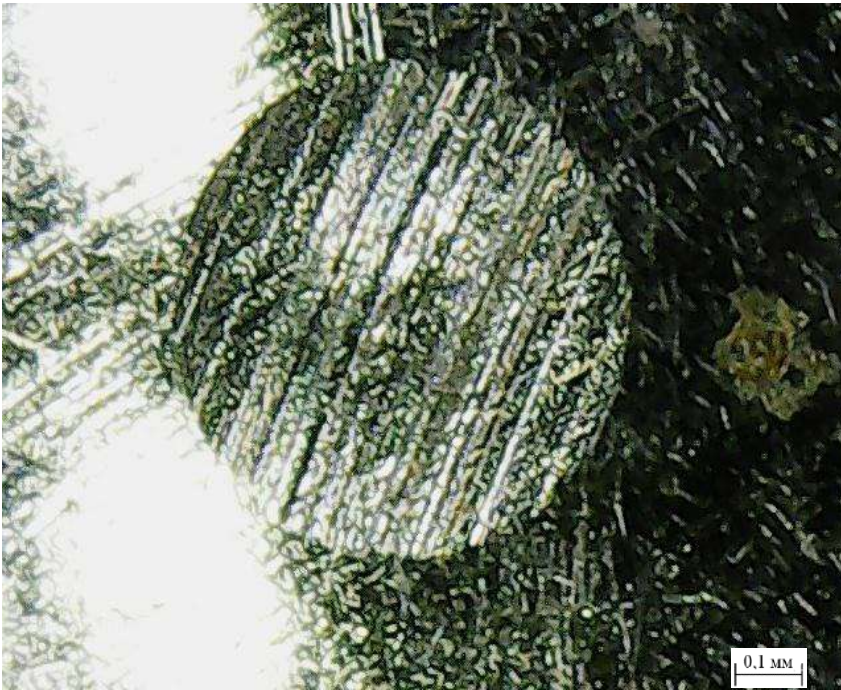
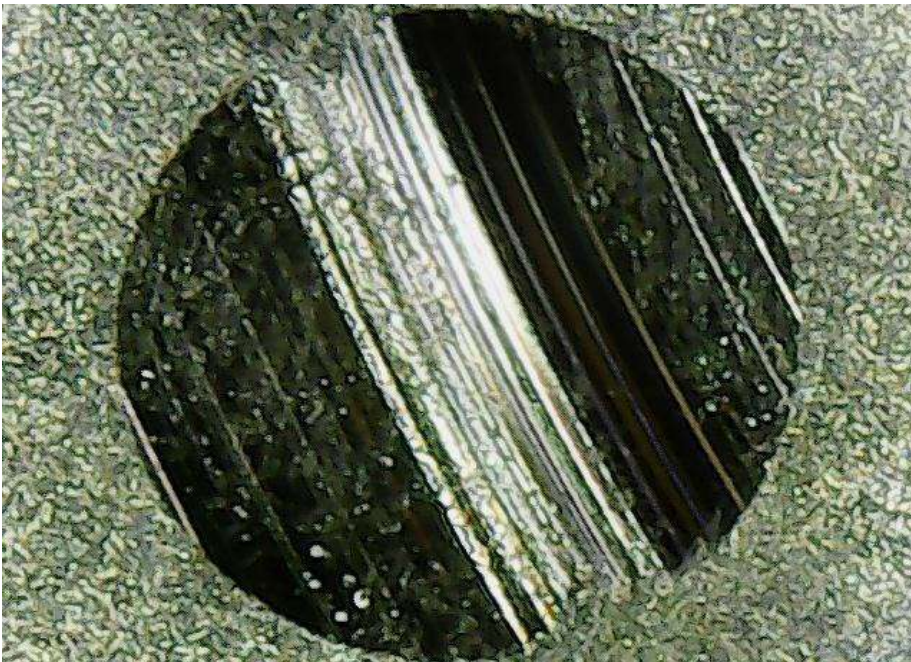


Рисунок 3.14 – I40A +1% олеату заліза



0.1 мм

Рисунок 3.15 – I40A +1% олеїнової кислоти

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРММТВА 25.24335.000. ПЗ

Арк.

56

3.6 Висновки з досліджень товарної олії «Sintec 5W40» та індустріального масла I40A

Виходячи з результатів дослідів, проведених на чотирикульковій машині тертя в лабораторії триботехніки кафедри ТАМ ХНУ над зразками масел «Sintec 5W40» та I40A з додаванням олеатів міді, олова, цинку, заліза та олеїнової кислоти були зроблені

1. Щодо чистої товарної олії «Sintec 5W40» при додаванні 1% олеату міді діаметр плями зносу зменшився на 20%, що свідчить про ефективність присадок Valena SV і Cupper. Однак, при додаванні 1% олеату олова діаметр плями зносу зменшився на 30%, з чого можна зробити висновок, що олеат олова ефективніший, як металовмісна добавка. Слід зазначити, що при додаванні 1% олеатів цинку і заліза діаметр плями зношування так само зменшився на 20%, що відповідає результатам показаних олеатом міді. Крім того, було виявлено вплив олеїнової кислоти, при додаванні якої в Sintec 5W40 діаметр плями зносу також зменшувався на 15%. Вплив олеїнової кислоти на протизносні властивості олій вимагає подальших досліджень, але на даному етапі очевидно, що більший вплив на протизносні властивості мають саме олеати металів.

2. Щодо чистої базової індустріальної олії I40A при додаванні 1% олеату міді діаметр плями зносу зменшився на 20%, що також свідчить про ефективність присадок Valena SV і Cupper, як і в досвіді з Sintec 5W40. Дослідження впливу інших зразків на діаметр зношування показали такі результати. При додаванні олеату олова діаметр плями зменшився на 25%, олеату цинку — 30%. Найефективнішим виявився олеат заліза, при випробуванні 1% якого

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

I40A діаметр плями зносу зменшився на 36%. Дані результати показують, що олеати олова, цинку та заліза ефективніші, ніж олеат міді. Також були проведені випробування з олеїною кислотою, які показали зменшення діаметра плями зносу на зразках близько 14%, що підтверджує досліди з олією Sintec 5W40. Вплив олеїнової кислоти на діаметр плями зносу на зразках не така велика, як олеатів металів.

3.7 Випробування моторних масел для двотактних ДВЗ

Для дослідження впливу металовмісних добавок на протизносні властивості двотактної моторної олії були проведені випробування чистих олій "Eni i-Ride Racing moto 2t", "Motul 710 2t". Після цього на ЧМТ-1 були випробувані зразки даних мастил з додаванням олеату міді, синтезованого в хімічній лабораторії кафедри ТАМ ХНУ. Так як для двотактних моторних масел не була відома найменша ефективна концентрація олеату міді, були проведені випробування з концентраціями 0,5% та 1% від загального обсягу мастила. Результати проведених дослідів представлені в таблицях 4 – 5, а також на рисунках 3.16 та 3.20.

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

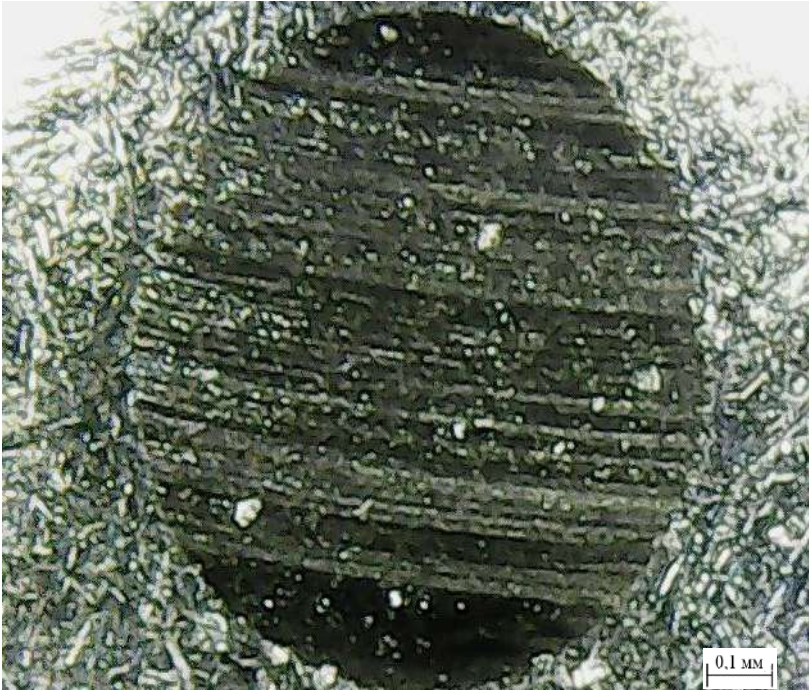


Рисунок 3.17 – Пляма зносу під час випробування чистого Eni 2t

Таблиця 4 – Результати вимірів для «Eni 2t»

Зразок	Dcp*, мм	Di, мм
Чисте Eni 2t вимірювання вздовж	0,702	0,723
Чисте Eni 2t вимірювання поперек	0,743	
Eni 2t +0,5% олеату міді вимір вздовж	0,465	0,474
Eni 2t +0,5% олеату міді вимірювання поперек	0,482	
Eni 2t +1% олеату міді вимір вздовж	0,662	0,667
Eni 2t +1% олеату міді вимірювання поперек	0,673	

тут Dcp* – середній діаметр плями зносу вимірів вздовж або впоперек,
Di- Середній діаметр плями зносу.

Випробовані зразки з плямами зношування представлені на рисунках 3.17-3.19.

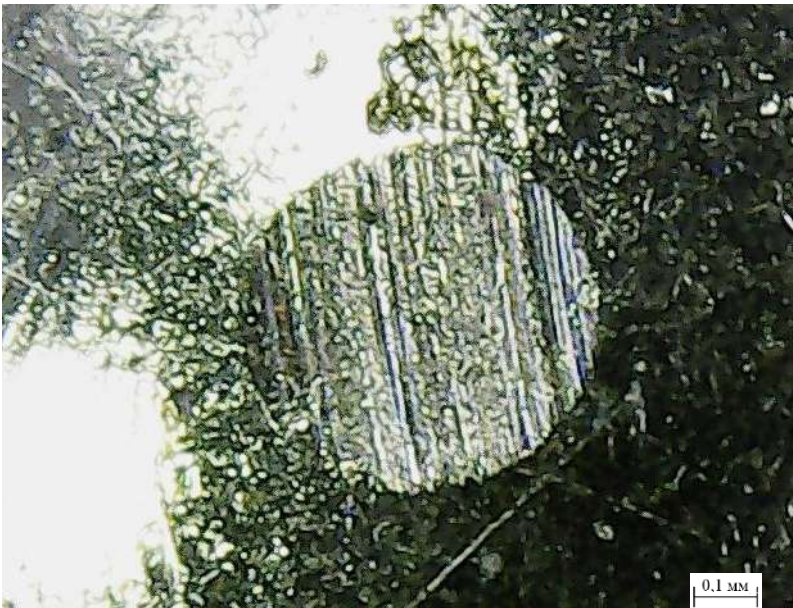


Рисунок 3.18 – Пляма зносу при випробуванні Eni 2t + 0,5% олеату міді

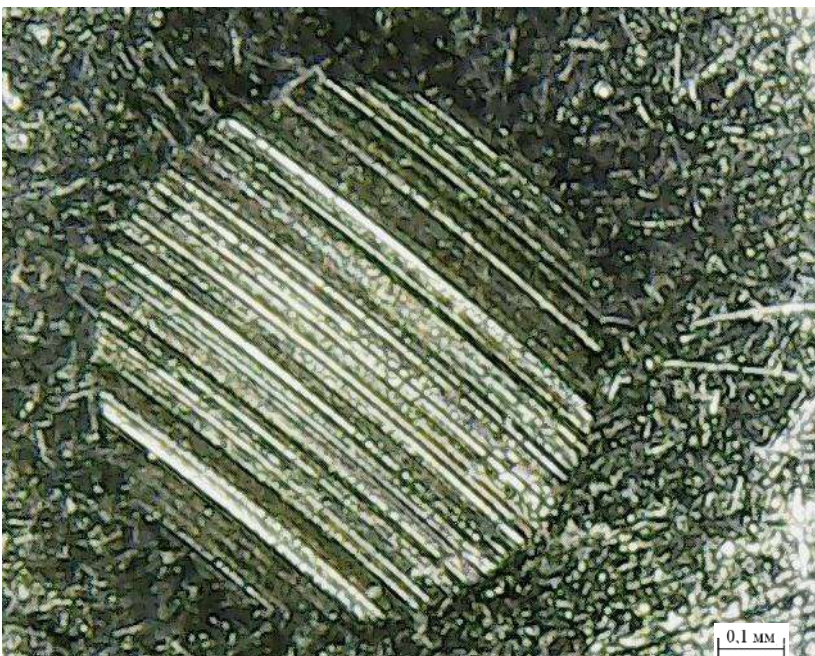


Рисунок 3.19 – Пляма зносу при випробуванні Eni 2t + 1% олеату міді

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

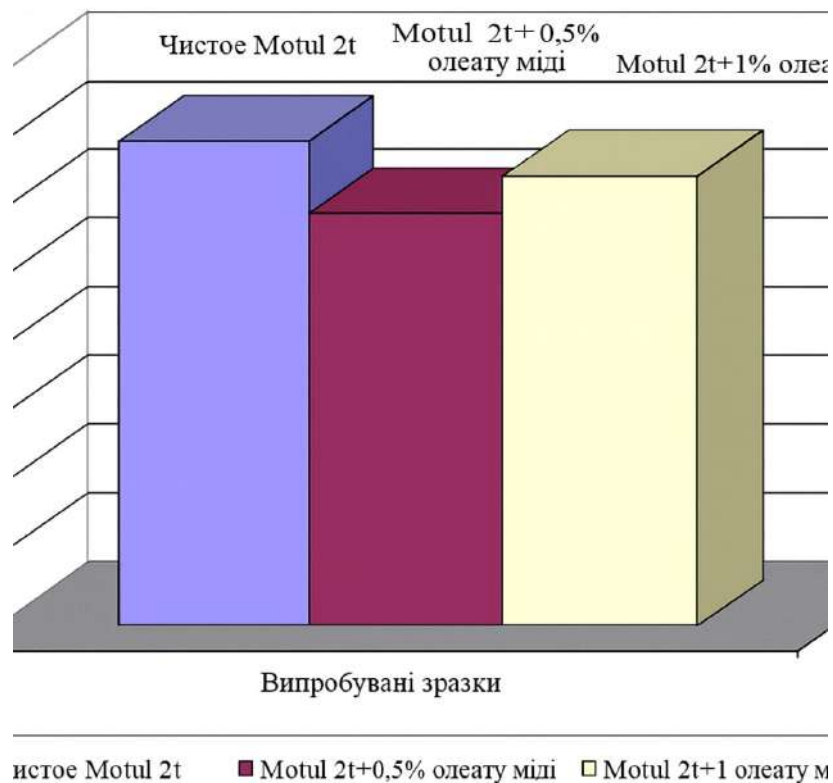


Рисунок 3.20 – Результати випробувань для «Motul 2t»

Таблиця 5 – Результати вимірювань для «Motul 2t»

Зразок	Dcp*, мм	Di, мм
Чистий Motul 2t вимірювання вздовж	0,823	0,829
Чисте Motul 2t вимір упоперек	0,836	
Motul 2t +0,5% олеату міді вимір вздовж	0,717	0,728
Motul 2t +0,5% олеату міді вимірювання поперек	0,739	
Motul 2t +1% міді олеату вимірювання вздовж	0,751	0,767
Motul 2t +1% олеату міді вимір поперек	0,782	

тут Dcp* – середній діаметр плями зносу вимірів вздовж або впоперек,
Di- Середній діаметр плями зносу.

Випробовані зразки з плямами зношування представлені на малюнках 3.21 – 3.23.

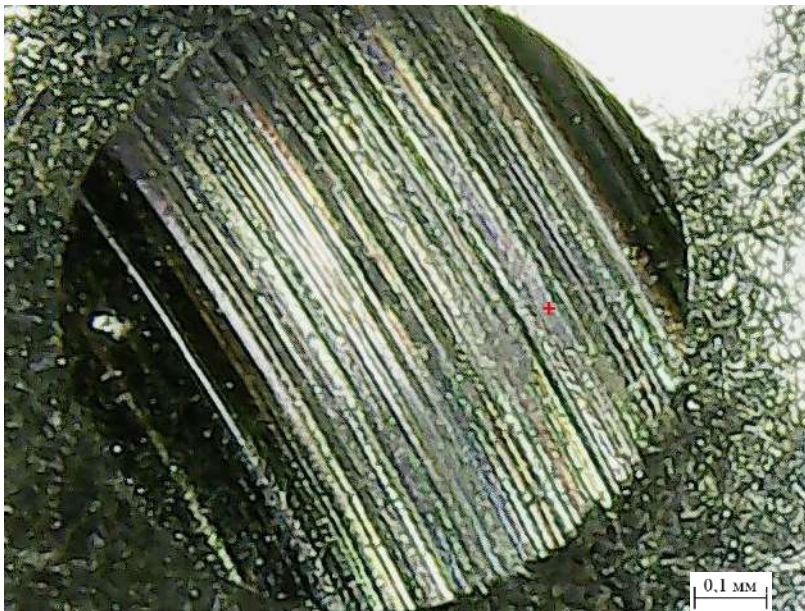


Рисунок 3.21 – Пляма зносу при випробуванні чистого Motul 2t

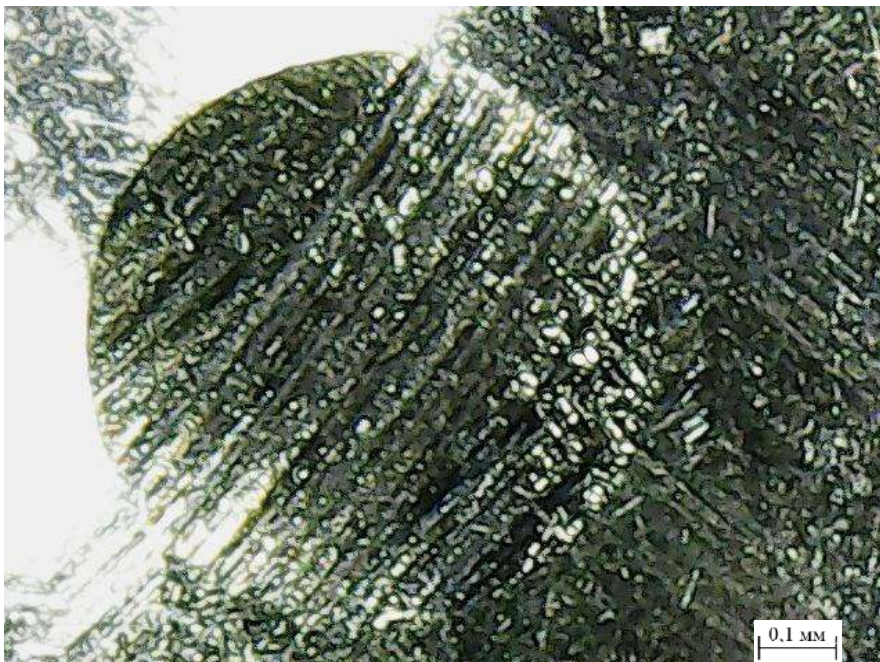


Рисунок 3.22 – Пляма зносу при випробуванні Motul 2t + 0,5% олеату міді

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

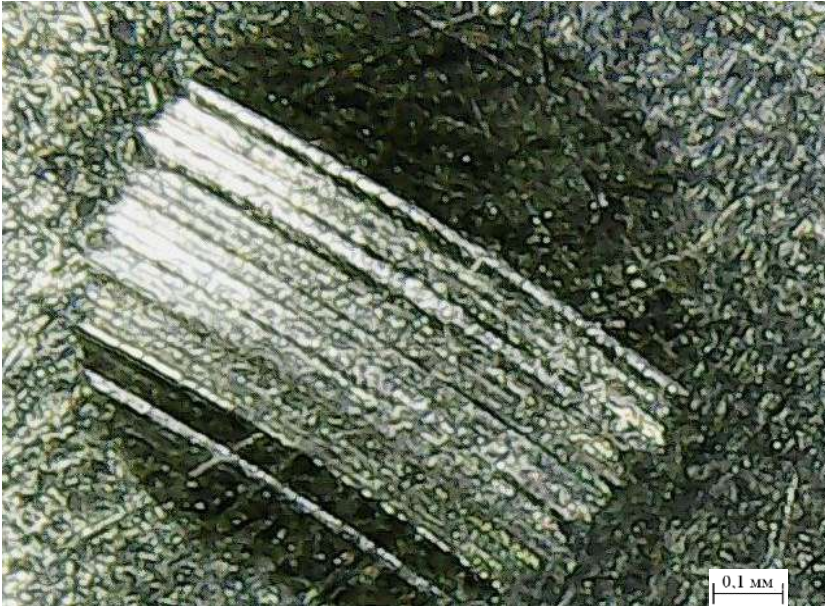


Рисунок 3.23 – Пляма зносу при випробуванні Motul 2t + 1% олеату міді

3.8 Висновки щодо досліджень мастил для двотактних ДВЗ

Виходячи з результатів дослідів, проведених на чотирикульковій машині тертя над зразками масел «Eni i-Ride Racing moto 2t» та «Motul 710 2t» з додаванням олеату міді в різному співвідношенні:

1. Щодо чистих товарних масел «Eni i-Ride Racing moto 2t» та «Motul 710 2t» зразки даних масел з додаванням олеату міді показали покращені протизносні властивості. Діаметри плям зносу на зразках випробуваних у оліях з олеатом міді менші, ніж діаметри плям зносу на кульках випробуваних у чистих оліях.

2. У ході дослідження було визначено найбільш ефективну концентрацію для застосування металовмісної добавки в мастила для двотактних двигунів внутрішнього згоряння. При додаванні 1% олеату

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

міді в обидва досліджувані масла діаметри плям зношування зменшилися на 8%. Однак при додаванні 0,5% олеату міді в "Eni i-Ride Racing moto 2t" діаметр плями зносу зменшився на 35%, тоді як при додаванні 0,5% синтезованої добавки в масло "Motul 710 2t" діаметр плями зносу зменшився всього на 12%. Дані результати показують, що концентрація олеату міді 0,5% щодо загального обсягу мастильного матеріалу ефективніше впливає на протизносні властивості олії, ніж концентрація 1%.

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході виконання випускної кваліфікаційної роботи було вивчено різні способи застосування протиізовних добавок у мастильні матеріали, а також перспектива їх використання. На основі цього було обґрунтовано актуальність обраної проблеми.

Було сформульовано алгоритм проведення експериментального дослідження для вивчення впливу металовмісних добавок на протизносні властивості олій для чотиритактних та двотактних двигунів внутрішнього згорання. Також обрані зразки масел, з якими були досліджені дані композиції.

Проведено експериментальні дослідження з даного алгоритму з вибраними зразками масел та металовмісних добавок. Було перевірено працездатність добавок. Для працездатних присадок було проведено дослідження, визначення найбільш ефективної їх концентрації в маслі. Перевірено збіжність результатів проведених дослідів.

Результати експериментів показали, що металовмісні присадки на основі олова при концентрації 1% покращують протизносні властивості товарної олії «Sintec 5W40» на 30%, а присадки на основі олеатів міді, цинку та заліза — на 20%. Проведені випробування показали, що олеїнова кислота додана в товарне масло зменшує діаметр плями зносу на 15%, це доводить, що олеати металів більш впливають на знос, ніж чиста олеїнова кислота.

Експерименти, проведені з індустріальною олією I40A, показали, що олеат міді в концентрації 1% сприяє зниженню зношування на 20%, олеат олова — на 25%, олеат цинку — на 30%, олеат заліза — на 36%. Олеїнова кислота сприяє зменшенню діаметра плями зносу на 14%, що

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

доводить правильність попередніх результатів.

Дослідження мастил для двотактних ДВЗ з додаванням олеату міді показало, що застосування металовмісної добавки позитивно впливає на протизносні властивості даних мастильних матеріалів. Крім того, в ході експериментів з мастилами для двотактних ДВС було виявлено, що при концентрації 0,5% олеату міді вплив металовмісної добавки на протизносні властивості обох випробуваних мастильних матеріалів збільшується (порівняно з концентрацією 1%). Так, при концентрації 1% в оліях "Eni i-Ride Racing moto 2t" і "Motul 710 2t" діаметр плями зносу зменшився на 8% в обох випадках, а при концентрації 0,5% в олії "Eni i-Ride Racing moto 2t" діаметр зменшився на 35%, в олії "Motul 7".

Використовуючи результати даних досліджень, компанія GR-7 запустила виробництво власної серії протизносних металовмісних добавок до масла для чотиритактних та двотактних двигунів внутрішнього згорання.

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Список літератури

1. Козловський В.І. Тертя і зношування в машинах. — Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2003.
2. Кондратюк М.І., Петков С.П. Трибологія: навч. посібник. — Київ: НАУ, 2015.
3. Григоренко А.І. Основи трибології. — Харків: НТУ «ХПІ», 2010.
4. Мироненко В.Г. Технологія підвищення зносостійкості машин. — Київ: Ліра-К, 2012.
5. Бровко Г.П. Основи змащення та триботехніки. — Суми: СумДУ, 2008.
6. Кисельов О.В. Поверхневі явища при терті та зношуванні. — Дніпро: ДНУ, 2016.
7. Жулинський О.В. Антифрикційні матеріали: властивості, застосування. — Одеса: ОНАХТ, 2017.
8. Литвиненко Ю.О. Дослідження зношування в умовах змішаного тертя. — Львів: Видавництво ЛНУ, 2020.
9. Bhushan B. *Principles and Applications of Tribology*. — Wiley, 2013.
10. Stachowiak G.W., Batchelor A.W. *Engineering Tribology*. — Butterworth-Heinemann, 2014.
11. Hutchings I.M., Shipway P. *Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials*. — CRC Press, 2017.
12. Williams J.A. *Engineering Tribology*. — Cambridge University Press, 2005.
13. Bryant M.D., Singh R. *Friction and Wear of Materials*. — Springer, 2019.
14. Gwidon Stachowiak *Wear – Materials, Mechanisms and Practice*. — Wiley,

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2005.

15. Dowson D. *History of Tribology*. — Professional Engineering Publishing, 1998.

					КРММТВА 25.24335.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68