

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**  
**КАФЕДРА ПІДТРИМАННЯ ЛЬОТНОЇ ПРИДАТНОСТІ ПОВІТРЯНИХ**  
**СУДЕН**

**ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ**

Завідувач кафедри

канд. техн. наук, доц.

\_\_\_\_\_ О.В. Попов

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р.

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)  
ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ  
«ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН І АВІАДВИГУНІВ»

**Тема: Дослідження впливу графітового наповнювача на властивості  
пластичних мастил**

**Виконав:** \_\_\_\_\_ **М.П. Лещенко**

**Керівник: д-р. техн. наук, проф.** \_\_\_\_\_ **О.І. Духота**

**Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:**

**охорона праці: ст.викладач** \_\_\_\_\_ **О.О. Козлітін**

**охорона навколишнього середовища:**  
**канд. біол. наук, доц.** \_\_\_\_\_ **А.О. Падун**

**Нормоконтролер** \_\_\_\_\_

**Київ 2022**

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Аерокосмічний факультет

Кафедра підтримання льотної придатності повітряних суден

Освітній ступінь «Магістр»

Спеціальність 272 «Авіаційний транспорт»

Освітньо-професійна програма «Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден і авіадвигунів»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

канд. техн. наук, доц.

О.В. Попов

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р.

## ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи  
**МАКСИМА ПЕТРОВИЧА ЛЕЩЕНКА**

1. Тема роботи: «Дослідження впливу графітового наповнювача на властивості пластичних мастил» затверджено наказом ректора від 29 вересня 2022 року № 1785/ст.

2. Термін виконання роботи: з 26 вересня 2022 року по 30 листопада 2022 року.

3. Вихідні дані до роботи: аналіз причин втрати працездатності повітряних суден, окремих деталей, вузлів та агрегатів.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):

- проаналізувати інформацію з різних літературних джерел;
- вибрати напрямок дослідження – фретинг-корозія
- провести дослідження титанових сплавів на фретинг-корозійну зносостійкість;
- проаналізувати отримані результати; надати рекомендації, зробити висновки.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу:

- схема установок МФК-1 та ПМТ-3, креслення зразків та контрзразків;
- зображення поверхонь зносу зразків та контрзразків;
- результати досліджень та рекомендації по боротьбі з фретинг-корозією та підвищення зносостійкості титанових сплавів.

Графічний (ілюстративний) матеріал виконано з використанням Microsoft Office Excel, Power Point та представлено у вигляді презентацій.

#### 6. Календарний план-графік

Завдання	Строк виконання	Відмітка про виконання
Підбір матеріалів для кваліфікаційної роботи і вивчення літератури по темі проекту	26.09.22-30.09.22	
Розробка заходів з охорони праці та охорони навколишнього середовища.	01.10.22 –15.10.22	
Огляд перспективних напрямків підвищення зносостійкості титанових сплавів	16.10.22 –20.10.22	
Вибір напрямку дослідження, виклад загальної методики та основних методів дослідження, оформлення другого розділу;	21.10.22 –27.10.22	
Проведення дослідів; обробка результатів;	28.10.22 –10.11.22	
Оформлення третього розділу про експериментальні дослідження	11.11.22 –14.11.22	
Аналіз та узагальнення результатів дослідження;	15.11.22 –18.11.22	
Висновки; коригування пояснювальної записки, її остаточне оформлення	19.11.22 –22.11.22	
Підготовка до попереднього захисту кваліфікаційної роботи.	22.11.22 –24.11.22	

#### 7. Консультанти з окремих розділів роботи

Розділ	Консультант	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Ст. викладач Козлітін О. О.		
Охорона навколишнього середовища	Канд. біол. наук, доц. Падун А.О.		

8. Дата видачі завдання: «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 року.

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: «Дослідження впливу графітового наповнювача на властивості пластичних мастил»:

104 с., 46 рис., 8 табл., 84 посил.

### **ЛОПАТКА ТУРБІНИ, ТУРБІНА НИЗЬКОГО ТИСКУ, ГАЗОТУРБІННИЙ ДВИГУН, КОРОЗІЯ, ДЕГРАДАЦІЯ ПОВЕРХНІ, ОКИСЛЕННЯ, ЗАХИСНЕ ПОКРИТТЯ**

Об'єкт досліджень – трибологічні властивості мастил із графітовим або його модифікаціями наповнювачем.

Предмет досліджень – мастила з графітом або його модифікаціями, що використовуються як добавки або загусники.

Мета кваліфікаційної роботи – є підвищення надійності лопаток турбіни низького тиску авіаційного двигуна.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань застосовувалися методи математичної статистики, регресійного аналізу, метод штучних баз, об'ємний метод визначення зношування матеріалів, виконання стендових випробувань мастильних матеріалів, використання пенетрації для дослідження пластичних матеріалів.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень підтверджено стендовими випробуваннями. Обробка результатів експериментальних досліджень здійснювалася на ПЕОМ із використанням пакетів програм MathCAD, Excel.

Практичне значення роботи – виявлено оптимальну концентрацію графіту і його модифікацій у мастилах.

Матеріали кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати в практичній діяльності авіаремонтних заводів і авіаційно-експлуатуючих підприємствах.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ ТА ІНДЕКСІВ.....	8
Вступ.....	10
1.1. Основи тертя та зношування в машинах .....	13
1.2. Дослідження антифрикційних характеристик графіту та його модифікацій як добавка до пластичних мастил.....	15
1.3. Застосування мастил з добавками графіту та його модифікацій .....	21
1.3.1. Графітовмісне мастило для авіаційної техніки.....	21
1.3.2. Мащення різьбових з'єднань .....	23
1.3.3. Використання в підшипниках.....	25
1.3.4. Властивості мастил в екстремальних умовах .....	26
1.4. Застосування графіту та його модифікацій як загусник пластичних мастил.....	28
1.5. Дослідження фізико-хімічних взаємодій та механізму мастильної дії пластичних мастил з добавками.....	32
1.5.1. Адсорбційна здатність присадок.....	32
1.5.2. Хімічна активність мастильного середовища.....	33
Висновки до розділу 1 .....	35
ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	36
2.1. Вихідні компоненти та їх характеристики для дослідження .....	36
2.2. Оцінка реологічних та фізико-хімічних властивостей мастил.....	39
2.3. Фізико-хімічні методи дослідження взаємодій на межі розділу «мастильне середовище-метал» .....	39
2.3.1. Комплексний термічний аналіз .....	39
2.3.2. Дослідження теплоти адсорбції.....	40
2.3.3. Хімічна активність мастил.....	41

2.3.4. Трибологічні методи оцінки мастил .....	42
2.4 Методи оцінки механічної стабільності мастил .....	45
2.5 Метод електронно-растрової мікроскопії та оже-спектроскопії .....	47
Висновки до розділу 2 .....	49
<b>ВПЛИВ ДОБАВОК, НАПОВНЮВАЧІВ І ЗГУЩУВАЧІВ НА ОСНОВІ ГРАФІТУ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАСТИЧНИХ МАСТИЛ .....</b>	<b>50</b>
3.1 Вплив графітових наповнювачів на реологічні та трибологічні характеристики мастила з різним характером загусника .....	50
3.2 Вплив концентрації та дисперсності колоїдно-графітового препарату на властивості літєвого мастила.....	53
3.3. Дослідження поверхні тертя та механізмів мастильної дії при додаванні присадок.....	58
Висновки до розділу 3 .....	67
<b>РОЗДІЛ 4.....</b>	<b>68</b>
<b>ОХОРОНА ПРАЦІ .....</b>	<b>68</b>
4.1. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори.....	68
4.2. Розробка заходів щодо зниження впливу небезпечних чинників.....	71
4.2.1. Вплив небезпечних чинників при роботі із легкозаймистими речовинами.....	71
4.2.2. Вплив небезпечних факторів під час використання паливо- мастильних матеріалів .....	71
4.2.3. Розрахунок вентиляційних систем виробничого приміщення .....	73
Висновки до розділу 4 .....	79
Загальні висновки.....	89
Список бібліографічних посилань використаних джерел .....	91

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ ТА ІНДЕКСІВ

кСа	комплексні кальцієві мастила
Li	літієві мастила
Si	силікагелеві мастила
ЧШМ	чотирикулькова машина тертя
Рк	навантаження критичне на ЧШМ
Рс	навантаження зварювання на ЧШМ
З	індекс задира на ЧШМ
Ді	показник зносу на ЧШМ
(CFx)n	фторований вуглець
ТРГ	терморозширений графіт
σПЧ	межа міцності на зсув
Кр	індекс руйнування
Кв	індекс тиксотропного відновлення
PHC	навантажувальна здатність на машині тертя Фалекс-1
SRV	вібротрибометр фірми «Оптимоль»
μ	коефіцієнт тертя на SRV
di	діаметр плями зносу на SRV
МЦ-1	машина тертя
ДТА	диференціальний термічний аналіз
ТГА	термогравіметричний аналіз

ДТГ – диференціальний термогравіметричний аналіз

пσ кількість адсорбованої речовини

ЦДФ-100 діалкілдітіофосфат цинку, 100 % речовини

меш – одиниця виміру розміру сит у деяких країнах з дюймовою системою лінійних мір, 1 меш – число отворів сита на одному лінійному дюймі, тобто на відстані 25,4 мм;





## ВСТУП

Одним з основних напрямків економічної стратегії кожної країни є підвищення ефективності виробництва.

Основними економічними показниками авіаційної галузі є ефективність ведення виробництва, яке включає і собівартість продукції. Надійність технічних засобів і витрати здійснені при їх обслуговуванні і ремонті суттєво впливає на собівартість продукції.

Розробка та застосування нових видів обладнання, що експлуатуються у складних умовах при зростаючих навантаженнях, швидкостях та температурах, вимагає створення нових мастильних матеріалів, що забезпечують роботу в цих умовах. Рациональне використання та створення ефективних мастильних матеріалів, що багато в чому визначають працездатність та довговічність машин та механізмів, є актуальним завданням сучасного машинобудування [1-3].

На ремонт мобільної техніки та виготовлення запасних частин до неї витрачається майже в'ятеро більше виробничих потужностей, ніж виробництво нової.

Навіть у найрозвиненіших країнах із високою культурою технічного обслуговування машин та обладнання – США, Англії, Німеччина практичне використання досягнень трибології дозволяє заощадити десятки мільярдів доларів та євро [4].

Технічне вдосконалення техніки та обладнання неможливе без використання сучасних досягнень трибології та високоякісних мастильних матеріалів. Важливу групу мастильних матеріалів складають пластичні мастила.

Пластичні мастила відрізняються від масел наявністю другого компонента – загусника, який формує структуру, що надає мастила міцність та інші реологічні властивості [5].

Поліпшення властивостей та розробка нових типів мастил ведеться за такими напрямками:

- підбір та створення нових типів загусників, у тому числі змішаних та комплексних, наприклад, надлужних сульфонатів та алкілсаліцилатів;
- застосування як дисперсійних середовищ синтетичних і рослинних олив, з метою створення високотемпературних та екологічних (біорозкладних) мастил;
- Поліпшення якості мастил у процесі їх виробництва за рахунок оптимізації технологічних параметрів;
- підвищення якості мастил та їх функціональних характеристик за рахунок використання добавок (присадок та наповнювачів).

Застосування в мастилах добавок виявилось дуже ефективним напрямом, що дозволяє цілеспрямовано покращувати властивості мастил і вирішувати низку важливих практичних завдань:

- покращувати функціональні характеристики та розширювати діапазон (температурний, навантажувальний, швидкісний тощо) експлуатації мастил;
- більш гнучко регулювати структуру та реологічні характеристики мастил;
- вирішувати технологічні та технічні завдання, які неможливо подолати, використовуючи лише дисперсійне середовище та дисперсну фазу [5].

Ефективність графіту як добавки оцінювали в мастилах різної природи: літєвих, комплексних кальцієвих та силікагелевих. Відзначається суттєвий вплив концентрації та дисперсності добавки графіту С-1 у літєвому мастилі, а також добавок фтористого графіту. Як загусник розширений і високодисперсний графіт впливає на властивості мастил, одержаних в дисперсійних середовищ різної природи: нафтових, синтетичних та рослинних олив. Оптимальними параметрами механічної обробки мастил на графітовому загуснику є основною технологічною операцією при їх отримання.

Так, наприклад, у сотнях публікацій показано вплив дисперсності твердих добавок, насамперед графіту та  $\text{MoS}_2$  на трибологічні характеристики

мастильних матеріалів, але в сотнях інших публікацій показано відсутність такого впливу. Було висунуто робочу гіпотезу у тому, що це з умовами тертя, саме з формою контакту пари тертя. Ще один важливий аспект – спільне використання присадок та добавок. Дослідники часто відзначають синергетичне посилення властивостей, але відсутні якісь пояснення.

***Наукова новизна*** роботи полягає в наступному:

- виявлено принципову можливість заміни в мастилах добавки  $\text{MoS}_2$  графітом або його модифікаціями без зниження рівня трибологічних властивостей;

- встановлені вимоги до розширеного графіту як загусника мастил;

- низька об'ємна маса, висока питома маслоємність, велика питома поверхня; для високодисперсного графіту як загусника мастил. Здатність загущати зростає із зменшенням частинок графіту;

- показано вплив адсорбційної здатності присадок на трибологічні характеристики (протизносні властивості) мастильного середовища;

- встановлено вплив хімічної активності мастильного середовища на протизадирні властивості мастила в умовах ушкодження;

- встановлений якісний склад вторинних структур поверхонь тертя, що утворюються в умовах ушкодження.

## РОЗДІЛ 1

# ВПЛИВ ГРАФІТУ ТА ЙОГО МОДИФІКАЦІЙ НА ВЛАСТИВОСТІ ПЛАСТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

Графіт використовується як мастильний матеріал понад 150 років. Його високі мастильні властивості пояснюються шаруватою гратчастою структурою. Слабкі сили Ван-дер-Ваальса між шарами вуглецю не заважають ковзанню «площин», що складаються з атомів вуглецю. Щодо термічної стабільності, графіт перевершує дисульфід молібдену, а по електропровідності близький до металів. Змащувальні властивості графіту відбуваються лише при наявності кисню та водяної пари. У вакуумі та серед інертних газів графіт непрацездатний. Сьогодні на основі графіту отримують безліч видів мастильних матеріалів, що застосовуються в авіаційному транспорті, в автомобільній індустрії, нафтогазопромисловому устаткуванні та в металургійному виробництві.

### 1.1. Основи тертя та зношування в машинах

Ресурсозберігаючі технології в сучасних умовах передбачають широке застосування різних нанотехнологій [6]. Основними напрямками використання нанотехнологій в авіаційному комплексі є забезпечення надійності авіаційної техніки та підтримка відповідного технічного стану авіаційної техніки.

Використання сучасних наноматеріалів дозволяє значно збільшити ресурс деталей машин і механізмів, знизити експлуатаційні показники, підвищити екологічні показники.

Робота всіх механізмів і машин базується на відносному русі спряжених поверхонь, що супроводжується їх зношуванням і тертям.

В умовах тертя одночасно відбуваються механічні, електричні, теплові, коливальні та хімічні процеси.

Тертя може як зміцнити, так і послабити метал. У той же час тертя – це процес самоорганізації, в якому в певній послідовності відбуваються явища,

спрямовані на руйнування поверхні або, навпаки, на створення цілого ряду систем, що зменшують знос і тертя.

З тертям пов'язаний один з основних негативних процесів у роботі будь-якого механізму – зношування конструктивних елементів.

Як зазначає ряд авторів, більшість машин (85 - 90%) виходить з ладу через знос деталей. Тому проблема тертя і зношування є однією з найбільш загальних і важливих, що значною мірою визначає розвиток і прогрес більшості галузей техніки.

Зношення деталей вирішальним чином впливає на довговічність і експлуатаційну надійність машин. Збільшення зазору в сполученнях внаслідок зношування часто супроводжується зниженням ККД, виникненням ударних навантажень, збільшенням втрат на тертя і інтенсивності зношування деталей, що сполучаються.

Розкриттю механізму та основних закономірностей тертя і зношування присвячені дослідження багатьох вчених, серед яких праці Н.Е. Жуковський, Є.А. Ф. Боуден, Д. Табор, Чудакова, В.Д. Кузнецова, М.М. Хрущов, П.А. Ребіндер, А.С. Ахматової, І.В. Крагельський, В.А. Білий, С. Баходур, Н.Б. Дьомкіна, Д. Баклі, Г. Польцер, Д. Н. Гаркунова, Б.І. Костецький та ін. [7-10]. Крагельський І.В. відзначає, що взаємодія твердих тіл являє собою складне явище, що складається з чотирьох груп процесів:

- 1) механічні (пружна і пластична деформація, вібрації);
- 2) молекулярно-фізичні (дифузія, адсорбція, контактне плавлення, нагрівання);
- 3) механо-хімічні (хемосорбція на поверхні, розпад і утворення хімічних і високомолекулярних сполук в нафті);
- 4) електричні, електрокінетичні, електрохімічні та інші в результаті Е.Р.С., електромагнітної індукції, гальванічної електрики.

В даний час найбільш розробленою і фізично обґрунтованою є молекулярно-механічна теорія тертя, заснована на тому, що контакт двох дискретних поверхонь здійснюється по окремих макроплощинах, сумарна

площа яких дорівнює площі фактичний контакт. Відповідно до молекулярно-механічної теорії тертя, сила тертя розглядається як сума двох складових: сили, обумовленої молекулярною (адгезійною) взаємодією поверхонь, і сили, що виникає в результаті деформації поверхні (механічна складова) [11].

Залежно від відносної глибини поширення макронерівностей і співвідношення сил зчеплення і когезії в місцях фактичного контакту розрізняють такі види фрикційних зв'язків: пружне деформування поверхонь; пластичне продавлювання матеріалу; мікронадріз або зрізання нерівностей, якщо вони недостатньо міцні; нанесення плівок, що покривають нерівності, та їх знищення (розшарування клею); схоплювання поверхонь, що супроводжується глибоким висмикуванням матеріалу (когезійне роз'єднання).

## **1.2. Дослідження антифрикційних характеристик графіту та його модифікацій як добавка до пластичних мастил**

Тверді наповнювачі, насамперед графіт та  $\text{MoS}_2$ , широко використовуються у оливах для підвищення трибологічних характеристик. Перші глибокі дослідження у цій галузі відносяться до 40-50-х років минулого століття [101]. Основні питання, які з'ясовувалися у численних дослідженнях, стосувалися оцінки впливу концентрації та дисперсності твердих наповнювачів на властивості мастил [102-5].

Так у роботах В.В. Сініцина та Ю.С. Вікторової досліджували вплив добавок графіту та дисульфиду молібдену на властивості Са-комплексних, Li- та Si-мастил. Встановлено, що незалежно від дисперсності добавок вони мають слабкий вплив на реологічні властивості, колоїдну та механічну стабільність, термозміцнюваність всіх трьох мастил різної природи (табл. 1.1-1.3) [109].

Показано [108], що збільшення концентрації (2-30 %) слабо позначається на реологічних характеристиках, термозміцнюваності, колоїдній та механічній стабільності цих мастил.

У силікагелевих мастилах при високій концентрації графіту (30 %) відзначається, приблизно, дворазове підвищення в'язкості та межі міцності.

Графіт слабо впливає на критичне навантаження, а в комплексних мастилах навіть знижує її. У Li- і Si-мастилах графіт знижує знос куль (випробування на ЧКМ) в області високих навантажень тільки при концентрації 30 %, у Ca-комплексних мастилах вже при концентрації 10 %. У Li-мастилах дисульфід молібдену буде ефективніший, ніж графіт, але в Si- і особливо в Ca-комплексних мастилах різниця в ефективності графіту та  $\text{MoS}_2$  при введенні їх у великій концентрації (30 %) зникає.

Таблиця 1.1 – Вплив дисперсності добавок графіту (10 % мас.) на реологічні та фізико-хімічні характеристики літійового мастила

Показники	Літійове мастило			
	Без добавки	Графіт		
		П 20-40 мкм	П 120-150 мкм	С-1 ~ 10 мкм
В'язкість при $10 \text{ сек}^{-1}$ , пз:				
при $0^\circ\text{C}$	1740	-	1740	2100
при $20^\circ\text{C}$	1400	-	1400	1400
при $50^\circ\text{C}$	645	-	645	550
Межа міцності на зсув, $\text{гс}/\text{см}^2$ :				
при $20^\circ\text{C}$	6,4	7,4	6,0	7,6
при $50^\circ\text{C}$	4,3	-	3,6	4,8
при $80^\circ\text{C}$	2,8	2,0	2,1	2,0
Механічна стабільність:				
межа міцності на розрив при $20^\circ\text{C}$ , $\text{гс}/\text{см}^2$ : до руйнування	9,1	-	10,5	11,5
після руйнування:				
через 5 с	1,8	-	1,4	1,1
через 3 хв	2,2	-	2,4	2,3
через 30 хв	2,6	-	2,4	2,1
через 5 діб	2,2	-	2,0	-
Термозміцнення:				
межа міцності П, $\text{гс}/\text{см}^2$ : до термостатування	8,3	-	8,8	9,3
після 1 год термостатування при $120^\circ\text{C}$	6,8	-	5,2	6,8
Відпресовування мастила, %	14,8	12,2	12,1	12,3

При дослідженні впливу дисперсності добавок на трибологічні характеристики мастил зазначено, що дисперсність графіту слабо впливає на протизносні властивості Si- та Ca-комплексних мастил. Ефективність графіту як протизносної добавки в досліджених мастилах нижче, ніж дисульфиду молібдену. Як виняток для Si-мастил відзначається більша ефективність

впливу добавки графіту «П» (табл. 1.2) на показник «критичного навантаження», ніж для  $\text{MoS}_2$ .

Фторований вуглець  $(\text{CF}_x)_n$ , де  $x$  може змінюватися в межах від 0,5 до 1,2 - загальна назва групи фторованих вуглеців. Фторовані вуглеці одержують шляхом фторування сажі, коксу, графіту, вуглецевих тканин, волокон при температурах 350-600 °С.

Таблиця 1.2 – Вплив дисперсності добавок графіту (10 % мас.) на реологічні та фізико-хімічні характеристики кальцієвого мастила

Показники	Кальцієве комплексне мастило			
	Без добавки	Графіт		
		П 20-40 мкм	П 120-150 мкм	С-1 ~ 10 мкм
В'язкість при $10 \text{ сек}^{-1}$ , пз:				
при 0°C	1500	-	1900	3300
при 20°C	860	-	870	2340
при 50°C	380	-	600	680
Межа міцності на зсув, $\text{гс}/\text{см}^2$ :				
при 20°C	14,1	14,2	12,5	>24,0
при 50°C	6,8	6,5	5,5	9,2
при 80°C	3,8	4,5	5,0	7,0
Механічна стабільність:				
межа міцності на розрив при 20°C, $\text{гс}/\text{см}^2$ :				
до руйнування	10,0	-	9,0	-
після руйнування:	13,3	-	14	-
через 5 с				
через 3 хв	20,0	-	12	-
через 30 хв	20,0	-	19,2	-
через 5 діб	20,0	-	>20,0	-
Термозміцнення:				
межа міцності П, $\text{гс}/\text{см}^2$ :				
до термостатування	12,0	-	12,0	41,7
після 1 год термостатування при 120°C	22,5	-	24,5	56,0
Відпресовування оливи, %	4,9	2,4	2,0	2,8

Ці продукти є нерозчинні неплавкі неорганічні полімери і характеризуються унікальним поєднанням властивостей:

- високою електрохімічною активністю;
- низьким коефіцієнтом тертя;
- низькою поверхневою вільною енергією;
- великою питомою поверхнею;



- хімічною стійкістю;
- висока термостабільність.

Таблиця 1.3 – Вплив дисперсності добавок графіту (10 % мас.) на реологічні та фізико-хімічні характеристики силікагелевого мастила

Показники	Силікагелеве мастило			
	Без добавки	Графіт		
		П 20-40 мкм	П 120-150 мкм	С-1 ~ 10 мкм
В'язкість при 10 сек <sup>-1</sup> , пз:				
при 0°C	1820	-	1760	2200
при 20°C	1380	-	1000	1620
при 50°C	830	-	660	830
Межа міцності на зсув, гс/см <sup>2</sup> :				
при 20°C	6,0	6,0	6,0	7,5
при 50°C	5,2	4,6	4,5	5,7
при 80°C	4,1	4,0	4,0	7,0
Механічна стабільність:				
межа міцності на розрив при 20°C, гс/см <sup>2</sup> :				
до руйнування	8,0	-	8,6	-
після руйнування:				
через 5 с	8,26	-	8,6	-
через 3 хв	8,8	-	12,8	-
через 30 хв	11,5	-	13,6	-
через 5 діб	11,0	-	16,5	-
Термозміцнення:				
межа міцності П, гс/см <sup>2</sup> :				
до термостатування	6,0	10,0	7,0	9,9
після 1 год термостатування при 120°C	24,0	24,2	19,2	25,5
Відпресовування оливи, %	5,5	5,4	4,7	4,5

Таблиця 1.4 - Вплив концентрації антифрикційних добавок на властивості силікагелевих мастил.

Характеристика	Вихідне мастило	Графіт, %		
		2	10	30
Ефективна в'язкість при 10 сек <sup>-1</sup> , пз, за температури:				
20°C	1050	1000	1110	2200
50°C	660	650	600	1000
Межа міцності на зсув, гс/см <sup>2</sup> при температурі:				
20°C	6,1	6,1	7,5	14,0
50°C	5,0	5,0	5,7	12
80°C	4,0	5,7	7	12,8
Термозміцнення: межа міцності 20°C, гс/см <sup>2</sup> :				
до термостатування	7,7	8,7	9,9	22,2
після витримки 1 год при 120°C	18,9	29,0	25,5	38,5
Відпресовування оливи, %	5,3	5,4	4,0	3,0

Використовуючи різні вуглецеві матеріали, можна при їх фторуванні отримувати фторвуглеці з різним вмістом фтору (х), різного кольору та різної дисперсності, що відповідають різному призначенню.

Важливим є використання фторвуглецю як антифрикційного матеріалу з низьким коефіцієнтом тертя, особливо в умовах великих навантажень, високих температур, низької вологості у вакуумі. Фторвуглецеві матеріали використовують як тверде мастило, присадку до мастил для зменшення тертя і зносу тертьових деталей, підвищення теплостійкості і стійкості при граничному тиску. За своїми показниками порошкоподібні фторвуглеці перевершують відомі добавки – дисульфід молибдену ( $\text{MoS}_2$ ) та графіт. Так само фторвуглеці використовують як мастильний і зміцнюючий наповнювач для полімерів, що одночасно дозволяють регулювати електропровідність останніх.

Створено цілу низку фторованих вуглеців (компактних і порошкоподібних), що знаходять застосування в різних галузях техніки (табл. 1.5).

- ФУП-НК/63 – порошок фторвуглецю на основі нафтового коксу;
- ФУП-С/65 – порошок фторвуглецю на основі сажі;
- ФУП-С/28 – порошок фторвуглецю на основі сажі;
- ФУП-ІГ – фторвуглець порошкоподібний на основі штучного графіту.

Таблиця 1.5 - Властивості фторвуглеців для трибологічних цілей.

Найменування матеріалу	Вміст фтору, %	Вміст вільного фтору, %	Розмір частинок, мкм		Температура термічного розкладання, °С
			мінімум	максимум	
ФУП-НК/63	63	0,01	10	45	580
ФУП-С/65	65±2	0,002	1	5	590
ФУП-С/28	28±2	0,12	1	5	480
ФУП-ІГ	61	0,01	10	45	680

У роботах [101010 – 1012] досліджували можливість використання фторвуглеців як компонента пластичних мастил.

В роботі [101010] ефективність фтористого вуглецю порівнювали з традиційними антифрикційними добавками до пластичних мастил –  $\text{MoS}_2$  та

графітом марки ГС-1. Добавки вводили в базові мастила: літієву на оливі МВП (ЦИАТИМ-201) та комплексну кальцієву на основі полісилоксанової рідини (ЦИАТИМ-221). Випробування мастил свідчили, що введення фторованого вуглецю суттєво покращує трибологічні характеристики літієвого мастила на нафтовій оливі, але малоефективно для комплексного кальцієвого мастила на полісилоксанах. Введення фторованого вуглецю в мастила до 10% мас. слабо впливає на реологічні властивості та колоїдну стабільність. Як антифрикційна добавка фторований вуглець виявився ефективнішим за графіт, але поступався MoS<sub>2</sub>.

В роботі [101011] досліджували можливість застосування фторованого вуглецю, отриманого на основі різних марок технічного вуглецю: ТГ-10, ПМ-50, ДГ-100 і ацетиленовий, що відрізняються величиною питомої поверхні та структурністю, як загусник мастил. Ефект загущення досліджуваних компонентів знаходився у прямій залежності від розміру питомої поверхні вихідного технічного вуглецю та його структурності. Також у цій роботі досліджували вплив ступеня фторування вуглецю на властивості мастил (табл. 1.6).

Показники	Вміст фтору у фторованому вуглеці, % мас.			
	0,0	20,0	49,5	54,5
Межа міцності на зсув, ГПа, при температурі:				
20°C	5,0	3,4	4,7	4,0
80°C	3,7	2,0	3,2	3,3
Колоїдна стабільність, %	1,8	1,8	1,8	1,8
Коефіцієнт термозміцнення, %	180	130	25	15
Коефіцієнт термомеханічної стабільності, %	66	50	24	15
Механічна стабільність:				
- Вихідна межа міцності на розрив, ГПа;	4,1	4,1	5,2	5,3
- Коефіцієнт розміцнення, %;	50	50	20	20
- Коефіцієнт відновлення, %.	150	130	56	50
Змащувальні властивості:				
- навантаження критичне, Н;	1000	1410	1600	1660
- навантаження зварювання, Н;	5000	5000	5620	5620
- Індекс задира.	57	71	97	86

Збільшення концентрації фтору призводить до поліпшення термомеханічної та механічної стабільності. За результатами випробувань зроблено висновок про перспективність використання фторованого вуглецю як загусник для отримання термостабільних, механічно стійких мастил з підвищеними змащувальними властивостями.

У роботі [101012] досліджували можливість отримання високотемпературних мастил на основі фторованого вуглецю. Отримані результати можна порівняти з більш ранніми дослідженнями і свідчать про можливість створення ефективних мастил на основі фторованого вуглецю.

### **1.3. Застосування мастил з добавками графіту та його модифікацій**

Графіт традиційно використовується як добавка до мастильних матеріалів для пари тертя «колесо-рейка». Застосування мастил з графітом у авіаційному транспорті обумовлено його достатніми протизносними та протизадирними властивостями та високою працездатністю у широкому інтервалі температур, навантажень та швидкостей. Лубрикація або змащення бічної поверхні головки рейки і реборди колеса, що контактує з нею, дає істотний ефект зниження інтенсивності зносу рейок і коліс локомотивів, а також економію палива або електроенергії. В даний час розроблено та застосовується кілька типів рейкових лубрикаторів. У більшості випадків найбільш зручні у застосуванні лубрикатори для пластичних мастил. Витрата графіту (до 30 %) можна знизити до 5-10 % використовуючи як основу для мастильної композиції низькомолекулярного поліетилену - відходу виробництва поліетилену високого тиску.

#### **1.3.1. Графітовмісне мастило для авіаційної техніки**

Графітовмісне протизносне мастило для авіаційної промисловості може включати мильні загусники (стеарат алюмінію [1046], стеарат літію або оксистеарат літію [1047], стератат кальцію [1048], гідратоване кальцієве мило олеїнової кислоти [1049]), рідке скло (натрієве [1050 – 1052] або калієве [1049]), графіт загущує рідке скло. Такі мастила мають хорошу

високотемпературну стабільність і текучість при низькій температурі, відносно високою адгезією і хороші протизносні, антикорозійні властивості і водостійкість. Для поліпшення адгезійної здатності та здешевлення авіаційних графітовмісних мастил можуть додатково використовуватися різні види виробництва. Наприклад, антифрикційним компонентом [1047] мастила є дрібноподрібнені механічні домішки і сірчисті з'єднання, які в поєднанні з доданим графітом сприяють утворенню поверхневої плівки, що має високий опір продавлювання, і забезпечують низький коефіцієнт тертя сполучених деталей. Введення до складу мастила графіту [1050] дозволяє підвищити рівень коефіцієнта тертя в антифрикційних вузлах, в яких це мастило застосовується і тим самим уможливорює використання мастила для мащення робочої поверхні пар тертя. В екологічно безпечному мастилі для мащення важконавантажених пар тертя використовуються різні способи отримання графіту.

Введення в графітовмісне мастило [1049] водного розчину мідної солі етилендіамінтетраоцтової кислоти надає мастилу чудові низькотемпературні властивості.

Графіт і дисульфід молібдену є найбільш традиційними та найбільш дослідженими [1055 – 1062] твердими змащувальними матеріалами у пластичних мастилах. Мастила, що містять дані добавки, відрізняються чудовими експлуатаційними властивостями при аварійних ситуаціях, коли порушується подача мастила. Крім того, за рахунок своєї високої температурної стабільності добавки застосовуються в мастилі, що використовуються при екстремально високих температурах.

Вважається, що на більш зношених ділянках шляху доцільно використовувати мастило з підвищеним вмістом антифрикційних присадок [1056] – графіту і дисульфиду молібдену, влітку при високих температурах середовища і значній кількості опадів, що випадають, потрібне збільшення вмісту загусників, які покращують адгезійні властивості покриття залежно від температури навколишнього повітря

Для поліпшення адгезійних, водовідштовхувальних та захисних властивостей графітовмісні мастила посилюють введенням полімерів. Мастила для змащування, що містять: фенолформальдегідну смолу, поліізобутилен низької молекулярної маси (мастило працездатне в несприятливих умовах – при високому навантаженні, низькій швидкості і при дуже низьких мінусових температурах і високій вологості) [1057 – 1059], дисульфід-алкілфенолформальдегідну смолу і бутадієнстирольний термопласт (склад має підвищену міцність, еластичність плівкоутворювального покриття, адгезії його до металу, зниженню змивання покриття опадами) [1063], епоксифенольний лак [1061].

Зазвичай пластичні мастила, виготовлені на основі нафтових олив, вимиваються з різьбових з'єднань, які є в безпосередньому контакту з корозійно-активними середовищами. Це незмінно призводить до часткової або навіть повної втрати працездатності (розгемертизація, корозійно-механічне зношування, фреттинг-корозія) відповідного обладнання.

### **1.3.2. Машення різьбових з'єднань**

Для забезпечення герметичності різьбових з'єднань широке застосування знайшли різьбоущільнювальні мастила з наповнювачами у вигляді порошків (графіт, вермікулит, аеросил, цинк, свинець, алюміній та ін.). Введення в мастило тільки графіту не вирішує проблему герметизації різьбових з'єднань, так як допустимий питомий тиск на графіт 3...4 МПа, а на контактних різьбових поверхнях можуть виникати напруження на 2 порядки більше. Графіт забезпечує мастилу антифрикційні властивості матеріалу за рахунок здатності утворювати на поверхні тіл, що труться, тонку плівку, механічно не відокремлену від металу. Ця плівка зопобігає заїданню та появи задиру на поверхнях тертя. Незважаючи на високу хімічну стійкість та стабільність властивостей графіту при високих температурах (до 2000 °С) у нього низький допустимий питомий тиск, який не може перевищувати 3...4 МПа. Тому графітні мастила дещо покращують припрацювання замкових

різьб. Для вирішення завдання в графітове мастило вводять інгібітор корозії та поліфторетилен.

Як правило, спеціалізоване мастило для різьблення містить у своєму складі додатковий твердий наповнювач – мінерал (слюда) [1064-66], органофільний бентоніт [1067], гідрофобізований силікагель [1068], порошок металу ( алюмінієву [1069], свинцеву, цинкову [1070 – 1073], олов'яну [1074], мідну [1068, 1069, 1071 – 1073, 1075, 1076], залізну та кремнієву пудру [1077]) або оксиди металів [1070] (альфа- $\text{Al}_2\text{O}_3$  [1065, 1076], гамма-  $\text{Al}_2\text{O}_3$  та оксид хрому [1078]), діоксид кремнію [1071], або неорганічну сіль металу (карбонату кальцію [1064, 1074], сульфонат магнію [1071], каолінит кальцію і рідкісноземельні фториди [1078], сульфід молібдену або вольфраму, модифікований алюмосилікат [1072], сірку [1082]. Як базу різьбових мастил також часто використовують мильні мастила (на алюмінієвій [1064, 1073], літієвій [1065, 1071, 1073, 1075], кальцієвій [1080, 1083 – 1085], натрієвій [1086] основі. Ущільнювальну здатність графітвмісних мастил можна збільшити шляхом введення полімерів. Додавання графіту покращує фрикційні властивості полімерів Тонкодисперсні тверді сполуки утворюють проміжний шар між контактними поверхнями в різьбі, запобігаючи її заїданню під час загвинчування і розгвинчування навіть при значному зменшенні вмісту графіту в мастилі, крім того, тонкодисперсні тверді сполуки сприяють фіксації в різьбових зазорах більших, але м'яких частинок поліетилену і фторопласту, забезпечуючи стабільність ущільнювальних властивостей мастила як за низьких так і при високих температурах [1077]. Графіт також підвищує модуль пружності політетрафторетилену. У графітовмісних мастилах застосовується політетрафторетилен [1066, 1068, 1074, 1084]. Використовується також поліізобутилен [1070, 1087], порошок поліетилену з розмірами частинок 0,07 – 1,25 мм, порошок фторопласту з розмірами частинок 0,07 – 1,25 мм, поліетилен і фторопласт [1077], адгезійну здатність збільшують шляхом введення [1077], поліметакрилату [1083]. термопластичними полімерами (наприклад, поліолефінової або етиленвінілацетатної смолами) [1088].

### 1.3.3. Використання в підшипниках

Досить широко графіт використовується для мащення підшипників [1089-100]. Введення в мастило для підшипників графіту забезпечує відмінну стійкість до стирання при екстремальних тисках, при цьому сферичні частинки графіту утворюють захисні шари на контактних поверхнях, ефективно зменшуючи тертя на поверхні металу, продовжуючи термін експлуатації обладнання. Крім графіту в мастилах для підшипників використовуються інші тверді наповнювачі (бентоніт, графіт, дисульфід молібдену та діоксид кремнію [1091], сажа [1092]).

Для підвищення працездатності підшипників в екстремальних умовах підвищених температур і швидкостей мастила додатково вводять ЕР присадки, наприклад, органофосфорні добавки – продукт взаємодії між діетилфосфітом і N-арилсульфонілквіноїміном [1096]. У багатоцільових високотемпературних мастилах крім графіту як загусник може використовуватися, літієве мастило [1091, 10101], суміш Са-стеарату або Li-12-гідроксистеарату [1097] або полімер [1096].

При високих температурах і високошвидкісних підшипниках може використовуватися графітозований нітрид бору з індексом графітизації  $\leq 4$  [1098].

Для виготовлення підшипників ковзання рекомендуються самозмащувальні матеріали [1099]. Графіт дозволяє збільшити надійність виготовлених на основі цих матеріалів вкладишів підшипників ковзання. Запатентований [10112] матеріал з чудовими ковзальними характеристиками на основі аморфного вуглецю, що одержувано формуванням вихідної сировини з одного або декількох видів смол, природних та синтетичних полімерів, з вуглецевим порошком (суміші одного або більше видів графіту, алмазу, графітних та алмазних кластерів, сажі – графіт є особливо доцільним). Антифрикційний самозмащувальний матеріал для середньонавантажених вузлів тертя ковзання, а також як тверде мастило. У важконавантажених вузлах тертя [10103] крім графіту містять кокс, мідь, свинцево-боросилікатне скло та



епоксидну смолу. Композиція забезпечує зниження коефіцієнту тертя та інтенсивності зношування, підвищення здатності навантаження в різних умовах тертя.

#### **1.3.4. Властивості мастил в екстремальних умовах**

Водовідштовхувальні властивості графітсодержащим мастил для підшипників забезпечують надають водонепроникність агенти, вибрані з поверхнево-активних речовин, металевих мил, фторвмісних водовідштовхувальних, силіконового типу з водовідштовхувальними властивостями, рН контролюючий агент, воску, полімери і граф. Відповідно, це може запобігти луценню, такі як білі структури пілінгування, навіть коли відбувається домішування води [1093].

Посилення високотемпературних властивостей графітовмісних мастил, що працюють в умовах високих температур (стан гарячої прокатки металургійної промисловості; ківш обладнання для безперервного лиття) здійснюють за рахунок застосування синтетичних дисперсійних середовищ або суміші мінеральної та синтетичної [1093, 94] масел. Використовують, наприклад, поліефірну синтетичну оливу [1090], фтористу оливу [1092, 1095] або перфторполіефірну базову оливу [10104], додатково вводять порошок діоксиду кремнію, порошок металу, нітрид бору [1090] або Таке мастило працює при високотемпературних умовах, запобігає підшипників.

Графіт є обов'язковим компонентом струмопровідних [1095, 1097, 10105 – 10109] мастил електропровідні властивості посилюються при використанні графіту разом з вуглецевим порошком [10109], сажею, амінової солі поліефірфосфату або поліефірної кислоти [10105], мідного пилу золота, срібла, міді, цинку, олова [10106] політетрафторетиленом та фторвуглецевим маслом [1095, 106]. Як електропровідний компонент крім графіту в мастила вводять метал, металоорганічні сполуки, особливо органісмут, в якості антистатика - м'які частинки металу, срібла, міді, графіту, вісмуту, ніобію сульфід (IV) та інші загальновідомі присадки [1097].

Графіт також може бути одним із компонентів карбамідних мастил для вузлів з постійною швидкістю [10110 – 10112], при цьому дія графіту посилюється сульфідом [10111, 10112], дитіофосфатом [10111], дитіокарбаматом [10110] або органофосфородитіатом [10112] молібдену.

У композиції з іншими антифрикційними присадками графіт застосовується також у складах для мастила важконавантажених відкритих зубчастих передач [10113 – 10117] та у складах на основі синтетичних (поліальфаолефінової та етилсилоконової) мастил для коліс літальних апаратів у широкому діапазоні температур [10118, 10119].

Поєднання колоїдно-графітових препаратів, органічного наповнювача (мильні або композитні загусники), з багатофункціональною присадкою (дисульфід молібдену та полімери - поліізобутилен або термоеластопласт) у складах мастила для герметизації запірної арматури поверхонь і забезпечує колір [10120, 10121].

У мастилах для механізмів з важкими умовами роботи в графітовмісних мастила вводяться комплексні EP-присадки (дисульфід молібдену в композиції з вапняком [10124], в композиції з триметилфосфатом [10125], диалкилдитіофосфат цинку, молібденіадіалкил і молибдениади тетрабутилтітанат, фосфат-ефір або їх поєднання [10126]); досягаються стабільність мастила в умовах надвисокого тиску, механічна та колоїдна стабільність. Графітове пластичне мастило для важконавантажених вузлів тертя кочення може бути посилене за рахунок використання синтетичних олив, наприклад, за рахунок поліальфаолефінової та складноефірної на основі пентаеритритового спирту та жирних кислот фракції C5-C9 [10140].

Магнітосприйнятлива мастильна композиція для приготування мастил і СОЖ, що працюють в умовах дії великих контактних напружень і високої температури, нерегулярного змащування, глибокого вакууму і невагомості, що містить графіт, просочений магнітною рідиною 10-20, і ПАВи, та зниженням інтенсивності зношування поверхонь тертя.

#### 1.4. Застосування графіту та його модифікацій як загусник пластичних мастил

При отриманні терморозширеного графіту, призначеного для виготовлення графітових ущільнень, застосовують великолускатий природний графіт, інтеркалований сірчаною кислотою, відмитий від кислоти, що не прореагувала, і просушений [101013 – 1014].

Готовий інтеркалований графіт піддають короткочасній термообробці (ударного нагрівання) за нормальної температури 900-1500 °С. Отриманий таким чином терморозширений графіт має насипну щільність 1 – 4 г/дм<sup>3</sup> та питому поверхневу 30-80 г/м<sup>2</sup> залежно від морфологічних особливостей вихідного графіту.

В процесі термічного розширення інтеркалованого графіту вплив продуктів деструкції впровадженої сірчаної кислоти призводить до збільшення розмірів кристалітів графіту по осі з 300-500 разів і утворення червоподібних частинок терморозширеного графіту. На рис. 1.1 [101013] представлено морфологію частинок терморозширеного графіту.



Рисунок 1.1 – Терморозширений графіт (8,5, МБС)

У процесі термічного розширення інтеркалованого графіту вплив продуктів деструкції застосованої сірчаної кислоти призводить до збільшення розмірів кристалітів графіту по осі з 300-500 разів і утворення червоподібних частинок терморозширеного графіту [101014]. На рис. 1.2 [1013] представлено зображення лусочки інтеркалованого графіту (32 меш) і одна з частинок отриманого з них терморозширеного графіту (ступінь розширення > 750 см<sup>3</sup>/г).



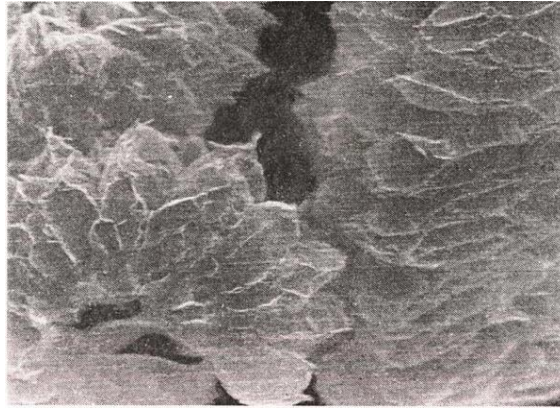
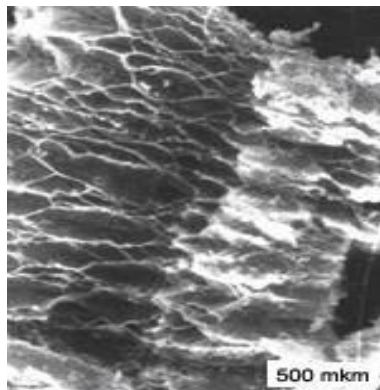
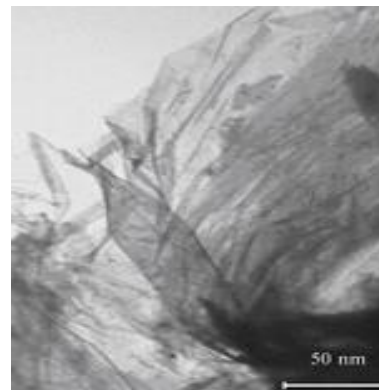


Рисунок 1.3 – Пелюсткова структура частинок терморозширеного графіту, отриманого з інтеркалованого графіту Завалівського родовища при 400 °С (×500, РЕМ)



а (×700)



б

а – РЕМ, б – ТЕМ

Рисунок 1.4 – Мікроструктура терморозширеного графіту

Одна з найважливіших технічних характеристик терморозширеного графіту – ступінь розширення – залежить від ступеня впорядкованості кристалічної структури вихідної матриці – це основний фактор, властивостей впровадженої речовини (інтеркаланта), ступеня впровадження, товщини лусочки вихідного графіту, кінцевої температури та швидкості термолізу [101014 – 1017].

Кількість досліджень можливості застосування розширеного графіту як загусник пластичних мастил дуже обмежена.

У роботі [101018] вивчали можливість отримання та властивості мастил на розширеному графіті та різних дисперсійних середовищах. Використовували розширений графіт із характеристиками:

- Питома поверхня  $38,8 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{кг}$ ;
- Щільність  $7 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;
- маслоємність  $18,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Відзначено, що розширений графіт загущує всі класи досліджених олив. Найбільш високий ефект загущення розширеного графіту проявляється у нафтових оливах і зростає із підвищенням їх ароматичності і в'язкості. Одночасно в цьому ряду покращуються і трибологічні характеристики мастил. Хороші результати отримані при загущенні вуглеводневих синтетичних масел МП-601 і ПМС – 5. Для них характерні: високі межі міцності та низька відпресовуваність оливи.

Зазначається, що всі досліджені мастила схильні до термозміцнення та характеризуються невисокою механічною стабільністю [101018].

У роботі [1019] розширений графіт отримували з різних природних марок графіту. На основі отриманих розширених графітів (15% мас.) та синтетичної вуглеводневої оливи МП-601 були виготовлені мастила. Досліджували вплив на властивості цих мастил питомої поверхні, маслоємності, об'ємної маси та рН водної витяжки розширеного графіту.

Відзначено, що із зменшенням об'ємної маси графіту, збільшенням його маслоємності підвищуються межа міцності та в'язкість, покращується колоїдна стабільність мастил. Змащувальні властивості мастил на розширеному графіті близькі до змащувальних властивостей композицій на графіті С-1 як наповнювач.

Зроблено висновок про можливість отримання високотемпературних мастил з хорошими змащувальними властивостями та термічною стабільністю на основі розширеного графіту, але з посередньою механічною стабільністю [101019]

Розширений графіт, незважаючи на унікальні властивості, недостатньо вивчений як загусник мастил. Роботи, що розглядаються, носять фрагментарний характер і не дозволяють зробити узагальнюючі висновки про використання цього компонента в мастилах.

### **1.5. Дослідження фізико-хімічних взаємодій та механізму мастильної дії пластичних мастил з добавками**

У багатьох роботах наведено результати досліджень властивості мастил із добавками. Вони вказують на відсутність спроби пояснити, за рахунок чого відбувається поліпшення чи зміна досліджуваних властивостей.

У разі хімічно активних присадок узагальнений механізм взаємодії на межі «метал-мастильне середовище» представляється таким чином [101020]:

- адсорбція чи хемосорбція присадок на металевій поверхні;
- хімічне розкладання присадок за умов трибоактивації;
- хімічна взаємодія елементів присадки з металевою поверхнею тертя з утворенням вторинних структур (за Б.І.Костецьким) [101021].

У разі твердих добавок – графіт,  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{BN}$  та ін, мастильна дія пояснюється кристалічною структурою цих сполук. Проте, графіт, як відомо, за умов вакууму втрачає свої властивості, тобто наявність анізотропії зв'язків не є умовою, що забезпечує механізм змащування.

Проаналізовано роботи, у яких досліджували взаємозв'язок різних фізико-хімічних характеристик та їх впливом трибологію мастильного матеріалу.

#### **1.5.1. Адсорбційна здатність присадок**

У ряді робіт [101022 – 1028] показано, що із підвищенням адсорбційної здатності присадок покращуються і трибологічні характеристики мастильних композицій із цими присадками.

Адсорбційну здатність присадок можна оцінити розрахунковим шляхом, визначаючи в процесі тертя критичні температури (А. Камерон та ін.) [101022 – 1024], але цей підхід має низку істотних недоліків:

- не виключається фрикційна складова нагріву в процесі тертя;
- неможливо розділити адсорбційну та хемосорбційну взаємодію.

У роботах Грошека [101025 – 1026] для оцінки адсорбції застосовано метод проточної мікрокалориметрії. Цей метод дозволяє безпосередньо виміряти теплоту адсорбції. Виконані дослідження різних за природою присадок та на різних адсорбентах дозволили виявити зв'язок між теплотою адсорбції присадок у мастильному середовищі на порошках металів та їх ефективністю знижувати зношування.

У роботах вітчизняних дослідників [101027] методом проточної мікрокалориметрії оцінювали теплоту адсорбції на відновленому порошок заліза протизносних присадок до олив та порівнювали з трибологічними характеристиками олив з цими присадками в умовах тертя. Для присадок з вищою адсорбційною здатністю отримані і кращі трибологічні характеристики.

Також важливо для дослідження адсорбційних процесів те, що метод мікрокалориметрії дозволяє оцінювати присадки у розчинах за малої концентрації.

Для дослідження адсорбційної здатності присадок використовується також метод «контактної різниці потенціалів» [101028], в якому адсорбція оцінюється по роботі виходу електронів. Показано [101028] відповідність адсорбційної здатності присадок та їх ефективності в умовах тертя.

### **1.5.2. Хімічна активність мастильного середовища.**

Для оцінки хімічної активності мастильних середовищ Ф. Баркрофт був запропонований метод «гарячого дроту» [101029 – 1030]. Тим же Ф. Баркрофтом, а також Т.Сакураї [101031 – 1035] виконано дослідження присадок різної хімічної природи та показано кореляцію хімічної активності та протизадирних властивостей мастильних систем (рис. 1.5) [1031].



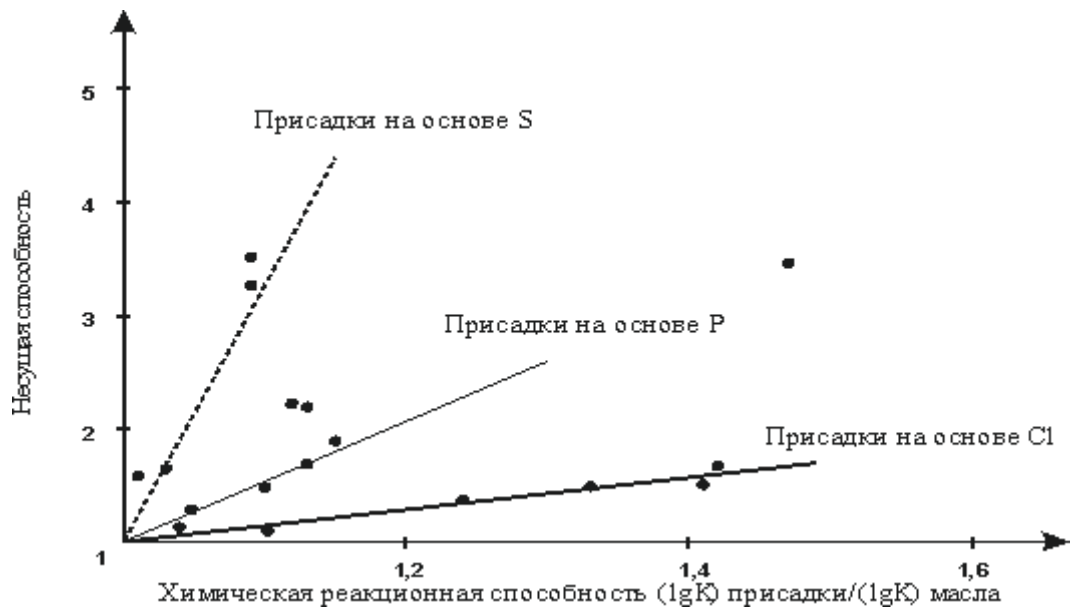


Рисунок 1.5 – Відповідність між хімічною реакційною здатністю та несучою здатністю масел, що містять протизносні присадки

На рис. 1.5 по осі ординат відкладено відношення середньої напруги за Герцом для мастил з присадкою і без неї.

Проте, метод «гарячого дроту» придатний лише рідких мастильних матеріалів. Для оцінки хімічної активності пластичних мастил у ВНІНП був розроблений метод [101036], але в дослідженнях цей метод практично не використовується. Пояснюється це, найімовірніше, трудомісткістю підготовки зразків для випробувань.

## Висновки до розділу 1

Як показує практика, одним з найбільш економічно вигідних шляхів підвищення зносостійкості, надійності і довговічності різних машин і механізмів є поліпшення якості мастильних матеріалів, в першу чергу поліпшення їх протизносних і антифрикційних властивостей.

Таким чином, графіт через свою ефективність, доступність, технологічність, дешевизну і понині є одним з найбільш широко використовуваних компонентів пластичних мастил.

Аналіз публікацій свідчить про широке використання графіту в мастилах різного призначення. Тим не менш, у багатьох мастилах графіт використовується як антифрикційна добавка без урахування можливості отримання максимального ефекту за рахунок його модифікування або спільного застосування з присадками для конкретних умов експлуатації. Також недостатньо уваги приділено можливості заміни дорожчих добавок (дисульфід молібдену, порошки кольорових металів тощо) графітом.

Незважаючи на широке використання графіту та його модифікацій як добавки до мастил, практично відсутні дослідження, що пояснюють ефективність застосування цих добавок з точки зору фізико-хімічних взаємодій на межі розділу «мастильне середовище-метал», а також механізму їх змащувальної дії. Кількість таких робіт численна для мастил з присадками та добавками, але дуже незначна для мастил.

## РОЗДІЛ 2

### ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 2.1. Вихідні компоненти та їх характеристики для дослідження

Дисперсійне сердовище. Багато досліджень у роботі проводилися на модельних системах, щоб максимально виявити ефективність присадок, що вводяться, і добавок. Для цього в модельних системах як інактивного середовища використовувалося вазелінове масло (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 - Показники нафтових масел

Масило	Хімічна природа	Характеристика				
		В'язкість при температурі, °С, мм <sup>2</sup> /с		Щільність при температурі 20 °С, г/см <sup>3</sup>	Температура застигання, °С	Температура спалаху, °С
		40	100			
Вазелінове	Парафінове	61	12	0,870	-8	185
I-20	Дистилятне	32	6	0,890	-15	200
ПРО-500	Залишковий	120	17	0,910	-10	240
МС-20	Селективне очищення	78	20,5	0,897	-18	265
АСВ-5	Селективне очищення	21	5	0,878	-18	196

При дослідженні мастил з добавками графіту та його модифікацій використовували нафтові масла: I-20, МС-20, ПРО-500 за ТУ У 13932946.027, АСВ-5, олія Касторова (табл. 2.2).

При дослідженні та розробці мастил з використанням графіту як загусник застосовували синтетичні масла: ПЕС-5, ДОС, ПМС – 5, МП-601, ПАОМ-20, Ефір № 2 (табл. 2.3), оскільки ці мастила призначені для експлуатації за високих температур.

Таблиця 2.2 - Показники касторового масла

Масило	Хімічна природа	Характеристика			
		В'язкість при температурі, °С, мм <sup>2</sup> /с	Щільність при температурі 20 °С, г/см <sup>3</sup>	Температура застигання, °С	Температура спалаху, °С
Касторове	Рослинне	умовна в'язкість 230	0,955	-18	243

Таблиця 2.3 - Показники синтетичних рідин

Рідина	Хімічна природа	Характеристика				
		В'язкість при температурі, °С, мм <sup>2</sup> /с		Щільність при температурі 20 °С, г/см <sup>3</sup>	В'язкість при температурі, °С, мм <sup>2</sup> /с	Температура спалаху, °С
		20	100			
ПЭС-5	Поліетил-сілоксан	220,6	8,5	0,965	-50	255
ДОС	Діоктиловий ефір-пластифікатор	190	20	0,913	-60	215
ПМС – 5	Кремнійорганічна рідина	963	29	1,100	-21	310
МП-601	Вуглеводнева олія	1639	31,7	0,887	-36	280
ПАОМ-20	Поліальфаолефінова рідина	-	13	0,838	-50	270
Ефир-2	-	51	4,5	0,990	-58	259

**Згущувачі.** Літієві мастила отримували на 12-оксистеаринової кислоти (12-ОСК):

Кислота 12-оксистеаринова:

- температура плавлення – 74-76 °С;
- кислотне число, мг КОН на 1 г продукту – 170-180;
- число омилення, мг КОН на 1 г продукту - 175-185.

Гідроксид літію:

- вміст гідроксиду літію, %, щонайменше – 56,7.

Комплексні кальцієві мастила отримували на компонентах: Кислота стеаринова:

- температура застигання, °С, не нижче – 65;
- кислотне число, мг КОН на 1 г продукту – 198-201;
- Число омилення, мг КОН на 1 г продукту - 200-204.

Гідрат оксиду кальцію:

- вміст оксиду кальцію вільного у перерахунку на гідрат оксиду кальцію, %, не менше – 96.

Кислота оцтова синтетична регенована:

- вміст оцтової кислоти, %, щонайменше – 99,5.

Силікагелеве мастило марки А-300:

- вміст діоксиду кремнію ( $\text{SiO}_2$ ) у перерахунку на прокалений продукт, щонайменше – 99,9 %;
- рН суспензії – 36-43;
- насипна щільність:
  - не ущільненого – 40-60 г/л;
  - ущільненого – 110-140 г/л;
- питома поверхня, за методом БЕТ300 $\pm$ 3 м<sup>2</sup>/г.

**Присадка.** Досліджували та застосовували при випробуванні мастил диалкілдітіофосфат цинку ДФ-11:

- в'язкість при 100 °С, мм<sup>2</sup>/с – 5-10
- температура спалаху у відкритому тиглі, °С – 170
- вміст цинку, % мас – 5,0-5,6

**Добавки.** Як добавок досліджували графіти різних марок:

Графіт марки ГС-1:

- зольність, не більше – 0,5%;

Графіт марки П згідно з ГОСТ 17022:

- зольність, не більше – 7%;
- товщина помелу, вміст залишку, не більше, на сита із сіткою № 0,2 - 0,1% і № 0,16 - 1,5%.

Колоїдно-графітовий препарат С-0:

- вміст вуглецю, щонайменше – 99%;
- вміст золи, трохи більше – 1 %;
- вміст вологи, трохи більше - 0,5 %;
- середній розмір часток: 90% (8 мкм), 50% (4,2 мкм), 10% (1,5 мкм).

Колоїдно-графітовий препарат С-1:

- вміст вуглецю, щонайменше – 99 %;
- вміст золи, трохи більше – 1 %;
- вміст вологи, трохи більше – 0,5 %;

- середній розмір часток: 90% (15 мкм), 50% (6,5 мкм), 10% (2,6 мкм). Розширені графіти отримували з графітів марок ПММ-1 та ПММ-2 – спеціальні малозольні, ГАК-2 – для виготовлення активних мас лужних акумуляторів, ГЕ-1 та ГЕ-3 – графіт елементний, ЕУЗ-Е – електровугільний, ГК -1 та ГК-3 – олівцевий та С-1.

Дисульфід молібдену марки ДМ-1:

- Розмір частинок, не менше 7 мкм, %, не менше - 96:
- вміст  $\text{MoS}_2$ , % не менше – 99,718;
- окислюваність Мо, %, трохи більше – 0,09.

Дисульфід молібдену використовували як добавку, що дозволяє оцінити ефективність графітів різної модифікації.

## **2.2. Оцінка реологічних та фізико-хімічних властивостей мастил**

Для оцінки реологічних та фізико-хімічних показників мастил використовували стандартні методи, які широко застосовуються у дослідницькій практиці. Для оцінки реологічних властивостей: пенетрація, межа міцності на зсув, температура краплепадіння, ефективна в'язкість; стабільності та фізико-хімічних властивостей: колоїдна стабільність, випаровуваність; корозійна дія на метали, стабільність проти окислення, термозміцнення.

## **2.3. Фізико-хімічні методи дослідження взаємодій на межі розділу «мастильне середовище-метал»**

### **2.3.1. Комплексний термічний аналіз**

Додатково для діалкілдітіофосфату цинку провели термічний аналіз (термографію) на дериватографі МОМ (Угорщина). За допомогою термографії визначали температуру, за якої відбуваються фізико-хімічні перетворення у присадці.

Дериватографія є комбінацією двох найбільш поширених термографічних методів: диференціального термічного аналізу та термогравіметричного.

Дериватографічний аналіз базується на одночасному вимірі маси та ентальпії матеріалу, що аналізується під час нагрівання. Під час дериватографічного аналізу для кожного зразка одночасно записують чотири криві: ДТА, ТГ, ДТГ та Т. Крива Т – додаткова; проектуючи на неї відповідні точки основних кривих, можна визначити температури фазових перетворень та хімічних реакцій аналізованого матеріалу.

Апарат для побудови дериватограм – дериватограф містить інфрачервону піч, що відбиває, яка забезпечує швидке підвищення температури; терморегулятор, за допомогою якого задається швидкість нагрівання; високочутливі ваги, що фіксують відносну зміну маси навіть до величини  $10^{-7}$ ; утримувачі зразків (тиглі або блоки), які поміщають аналізований матеріал і еталон; термопари, за допомогою яких вимірюють температуру зразка та різницю температур зразка та еталона. Дериватограф оснащений механізмом безперервної реєстрації кривих нагріву.

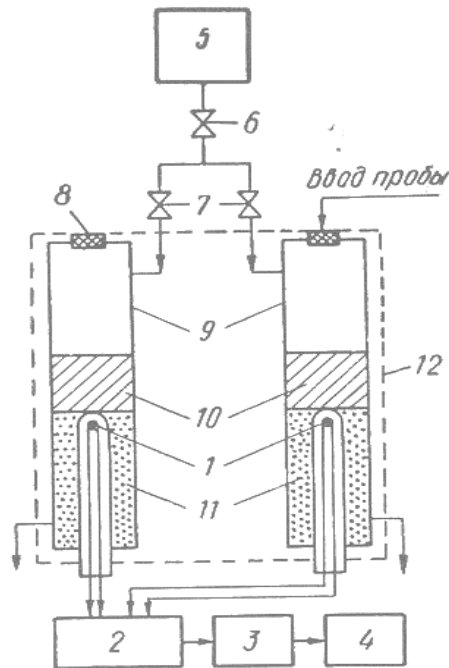
### **2.3.2. Дослідження теплоти адсорбції**

Визначення теплот адсорбції різних речовин з розчинів має важливе значення, оскільки дозволяє судити про характер взаємодії молекул, що адсорбуються, з поверхнею адсорбентів. Для визначення теплот адсорбції з розчинів розроблено прямі калориметричні методи: метод Янга [1025], в якому для вимірювання теплоти адсорбції з розчинів використовується техніка визначення теплот змочування, метод проточної мікрокалориметрії Гроші [1026], згідно з яким вимірюється теплота, що виділяється при адсорбції речовини на адсорбенті з потоку розчину відомої концентрації [10102 – 1105].

Для визначення теплот адсорбції розчинів застосовували один з варіантів проточного мікрокалориметра типу Грошека [1026], блок-схема якого представлена на рис. 2.1.

Швидкість потоку гептану регулювали кранами точного регулювання 7. Рівні потоки гептану подавали на порівняльну і реєструючу колони, де знаходилися термістори 1, використовувані як термочутливі елементи. Їх з'єднували за диференціальною схемою. Калібрувальний нагрівач,

виготовлений з платинового дроту, розміщували в сорбенті 10 на 1 см вище термістора реєструючої колони. Зміна опору термістора при введенні проби посилювалося і реєструвалося на самописці 4. Градування енергії проводили для швидкості потоку гептану 0,8-1,4 (алкілбензоли) і 2,0-2,7 мл/хв (парафіни) через кожні 0,1 мл/хв.



1 - термістори; 2 – міст; 3 – підсилювач; 4 – самописець; 5 – пристрій підтримки постійного рівня рідини; 6 – запірний вентиль; 7 – крани точної регулювання; 8 – прокладка; 9 – порівняльна та детектуюча колони; 10 – адсорбент; 11 – скляні кульки; 12 – кожух

Рисунок 2.1 – Блок-схема проточного мікрокалориметра

З урахуванням похибок всіх операцій калориметричного досвіду точність визначення теплот переважної адсорбції становила 10%.

### 2.3.3. Хімічна активність мастил

Хімічну активність мастил визначали резисторним методом, розробленим та апробованим у [1036]. Датчик-вимірювач корозії є скляною пластинкою товщиною 1,5 мм розмірами 70×70 мм з нанесеними на ній датчиками-резисторами (напилений шар міді товщиною 0,25 мкм). Загальна довжина чутливого елемента датчика становить 100 мм та ширина 1-1,5 мм.



Датчик має чутливість до 20 Å, точність вимірювання не гірша за  $\pm 5\%$  (при активності близько 500 Å).

Методика визначення хімічної активності мастил полягала в наступному: датчики-резистори протравлювали в хлорній кислоті, розведеної водою 1:3 за обсягом, протягом 20-30 с для зняття окисного шару, послідовно промивали водою і спиртом (етиловий) і сушили на повітрі. Після цього датчики фіксували в тримачі та підключали до схеми для вимірювання їх опору.

Один з резисторів використовувався як еталон і при випробуванні захищався від корозії шаром неактивного мастила, в наших експериментах модельним мастилом літєвим без присадок і добавок.

Після проведення початкових вимірів на датчики наносили шар досліджуваного мастила товщиною 2-5 мм і розміщали в повітряному термостаті, відрегульованому на 150 °C на 0,5; 1,0; 2,0 та 3,0 години.

Після закінчення нагрівання пластинку охолоджували до повного остигання (15 хв), змивали мастило гексаном і знову вимірювали опір датчиків.

Товщину шару, що прореагував, з металом обчислювали за формулою:

$$\Delta r = \frac{h(R_{\text{МК}} - R_{\text{МО}})}{R_{\text{МК}}} \quad (2.1)$$

де  $h$  – товщина шару напиленого металу, Å;

$R_{\text{МК}}, R_{\text{МО}}$  – кінцевий і початковий опір датчика значення опору [1036].

#### **2.3.4. Трибологічні методи оцінки мастил**

Трибологічні характеристики мастил визначали згідно: «Матеріали мастильні рідкі та пластичні. Метод визначення трибологічних характеристик на чотирикульковій машині».

Протизадирні властивості мастил визначали за наступних параметрів:

- частота обертання – 1460 хв-1;
- зовнішня температура випробування – 25 °C;

- навантаження – ступінчасте збільшення згідно з табличними даними стандарту в діапазоні 59-9800 Н (6-1000 кгс).

Вимірювані характеристики:

- навантаження зварювання,  $P_s$ , Н;
- критичне навантаження,  $P_k$ , Н;
- Індекс задира,  $I_z$ , Н.

ASTM D 2596 (Reapproved 2002). Стандартний метод вимірювання протизадирних властивостей мастил (чотирьохкульковий метод).

Протизносні характеристики мастил визначали за наступних параметрів навантаження чотирикульової пари тертя:

- частота обертання –  $1200 \text{ хв}^{-1}$ ;
- навантаження – 392 Н (40 кгс);
- температура випробування –  $75 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- час випробування – 1 год.

Визначали протизносні характеристики мастил: Scar Diameter, D4Bs, мм – середнє значення діаметра плями зносу сталевих куль.

ASTM D 5706 - Стандартний метод визначення протизадирних властивостей мастил з використанням високочастотного лінійно-осцилюючого випробувального стенду.

Випробування проводили за схемою «куля-площина» на машині тертя типу Optimol SRV за наступних навантажувально-швидкісних умов:

- матеріал пари тертя – сталь ШХ15, HRC 62;
- частота коливань кулі – 50 Гц;
- амплітуда коливань кулі – 1 мм;
- навантаження - ступінчасте збільшення в діапазоні 100-1200 Н з кроком 100 Н та витримкою при кожному навантаженні 2 хв.

Визначали протизносну величину – величина найбільшого навантаження, при якому ще не реєструється захоплення пари тертя «куля-площина» в умовах зворотно-поступального руху.

ASTM D 2266 Стандартний метод визначення протизносних характеристик мастил (чотирьохкульковий метод).

Випробування проводили на машині тертя типу СМЦ -2 при наступних параметрах:

- частота обертання – 1770 хв-1;
- навантаження - ступінчасте збільшення згідно з табличними даними стандарту.

Протизадирні властивості:

- Weld Point (Weld Load), WP, в Н – навантаження зварювання чотирикулькової пари тертя;

- Load Wear Index, LWI, в Н - умовне навантаження, є аналогом індексу задира в ГОСТ 9490, але розраховується інакше;

- Last non - Seizure Point, Ln - SP, Н - необов'язковий визначення критерій, який є повним аналогом критичного навантаження в ГОСТ 9490.

Фалекс-1 - випробування на машині тертя знайшли широке застосування в зарубіжній дослідницькій практиці [4, 5] для оцінки протизадирних властивостей мастил (ASTM D 3233), як оцінки якості мастил.

В роботі застосовували методику близьку до ASTM D 3233, але припрацювання пари тертя проводили при нижчому навантаженні (1100 Н) протягом 5 хв.

Схема пари тертя: вал-V-подібні призми. Вал діаметром 6,35 мм, довжиною 31,75 мм із сталі SAE 3135 твердістю 87-91 од. по Бринелю, призми з кутом  $96 \pm 1^\circ$ , виготовлені зі сталі AISI 1137 твердістю 20-24 од. за Роквелом.

Умови випробувань: швидкість обертання валу  $230 \pm 10$  хв<sup>-1</sup>, навантаження передається на нерухомі призми ступінчасто через храповий механізм.

Противозадирні властивості мастил оцінюють за величиною показника Рнс (несуча здатність мастильного матеріалу), а величину Рнс визначають по різкій зміні коефіцієнта тертя та зменшенню навантаження на індикаторі тиску.

## 2.4 Методи оцінки механічної стабільності мастил

Особлива увага приділялася визначенню механічної стабільності мастил, оскільки раніше графітові мастила за цим показником досліджували недостатньо.

Механічну стабільність мастил прийнято оцінювати за зміною величини їх показників якості (зазвичай об'ємно-механічних характеристик) після механічного руйнування. Для досліджень використовували три основні регламентовані методи визначення механічної стабільності мастил. «Змащення пластичні. Метод визначення механічної стабільності» – стандарт поширюється на пластичні мастила та встановлює метод визначення механічної стабільності, яка виражається індексом руйнування ( $K_p$ ), що характеризує ступінь руйнування мастила при його інтенсивному деформуванні та індексом тиксотропного відновлення ( $K_v$ ), що характеризує ступінь тиксотропного відновлення мастила.

Суть методу полягає у визначенні зміни межі міцності на розрив в результаті інтенсивного деформування мастила в зазорі між ротором і статором тиксометра і при наступному відновленні тиксотропного. Визначення механічної стабільності мастила виконується на приладі – тиксометр ТМС-1М.

За цим методом, для визначення індексу руйнування порівнюється межа міцності витісненого вихідного та зруйнованого мастила. Для цього з тиксометра витісняється на сталеві або скляні чашки стовпчики вихідного та зруйнованого мастила, визначається їх вага і за формулою (2.2) розраховується їхня межа міцності ( $\sigma_{міц}$ ) у паскалях (Па):

$$\sigma_{міц} = \frac{4 \cdot 9,81 \cdot 10 \cdot m}{\pi \cdot d^2} \quad (2.2)$$

де  $m$  – середнє арифметичне значення маси стовпчика мастила, г;

$d$  – діаметр капіляра, см.

Індекс руйнування  $K_p$  у відсотках визначають за формулою (2.3):

$$K_p = \frac{\sigma_p}{\sigma_{вих}} \times 100 \quad (2.3)$$

де  $\sigma_{\text{вих}}$  – межа міцності на розрив вихідного мастила, Па;

$\sigma_p$  – межа міцності на розрив зруйнованого мастила, Па.

Індекс тиксотропного відновлення  $K_v$  визначається через 3 доби та розраховується аналогічним способом за формулою (2.4):

$$K_p = \frac{\sigma_p}{\sigma_{\text{відн}}} \times 100 \quad (2.4)$$

де  $\sigma_{\text{відн}}$  – межа міцності на розрив відновленого мастила, Па.

Індекси руйнування та відновлення можуть виражатися позитивним чи негативним числом залежно від характеру тиксотропного перетворення мастила.

ASTM D 217 "Standard Test Method for Cone Penetration of Lubrication Grease" (Метод визначення пенетрації пластичних мастил). Згідно ASTM D 217 мастило руйнується в стандартній мішалці від пенетрометра (60 та 10000 ударів). Зміна показника пенетрації в ході тривалого перемішування свідчить про схильність мастила до тиксотропного руйнування та є критерієм її механічної стабільності.

ASTM D 1831 "Standard Test Method for Roll Stability of Lubricating Grease" (Стандартний метод визначення стабільності мастил на роликовому стенді).

Зразок пластичного мастила (50 г) випробовують на механічну стабільність у роликовому пристрої впродовж двох годин у діапазоні температур 721,1 – 37,8 °С та визначають мікропенетрацію до та після перемішування.

Зміна мікропенетрації перемішаного мастила до і після його руйнування є критерієм оцінки механічної стабільності пластичного мастила.

Зміну консистенції зразка мастила розраховують за формулою (2.5):

$$\text{Зміна мікропенетрації} = P_2 - P_1, \quad (2.5)$$

де  $P_1$  – початкова мікропенетрація;

$P_2$  – величина мікропенетрації після руйнування.

За ASTM D 1831 різниця між двома результатами випробувань, отримана одним і тим же оператором на тому самому приладі при постійних умовах випробування ідентичних зразків, вважається задовільною, якщо вона не перевищує наступні значення тільки в одному випадку з двадцяти.

З практики проведення досліджень за вказаною методикою відомо, що розкид результатів випробувань занадто великий, тому в методиці виконання випробувань внесено деякі зміни. Після випробування на роликовому стенді, 60 °C протягом 6 годин визначали не мікропенетрацію мастила, а її межа міцності на зсув при 20 °C. Після цього розраховували значення індексу руйнування ( $K_p$ ) за формулою (2.6):

$$K_p = \frac{\tau_1 - \tau_2}{\tau_1} \times 100 \quad (2.6)$$

де  $\tau_1$  та  $\tau_2$  - значення межі міцності на зсув мастила при 20 °C до і після випробувань, відповідно.

Показник межі міцності на зсув більш інформативно характеризує реологічні властивості мастила в порівнянні з умовним емпіричним показником – мікропенетрацією, визначення якої, крім цього, має певні труднощі, пов'язані із збереженням постійної температури мастила, наявністю в мастилі бульбашок повітря та відсутністю шаблонів для її нанесення чашку.

Слід зазначити, що ці три методи дослідження відрізняються умовами випробувань, у яких руйнація мастила відбувається під впливом різних типів навантаження. Наприклад, за методикою ASTM D 1831 вузол тертя імітує роботу мастила в підшипниках кочення, а за методикою руйнування мастила відбувається під впливом навантаження зсуву [10106].

## 2.5 Метод електронно-растрової мікроскопії та оже-спектроскопії

Даний метод дозволяє методично визначати ділянки поверхні зразка, найбільш характерні та оптимальні для наступних Оже-спектральних досліджень. Випробування проводили за наступних параметрів електронно-оптичної системи: енергія електронного променя 10 кеВ, напруга променя  $2 \cdot 10^{-10}$  А, діаметр пучка 0,05-0,1 мкм.

Зразки досліджували методами електронної растрової мікроскопії та електронної Оже-спектроскопії, використовуючи надвисоковакуумний Оже-мікрозонд JEOL JAMP-10S.

Диференціальні Оже-спектри типу  $dN(E)/dE$  реєстрували з використанням енергоаналізатора типу «циліндричне дзеркало» при розділювальній здатності енергії Оже-електронів  $\Delta E/E = 0,7\%$ , амплітуді модуляції на енергоаналізаторі 4 еВ, напрузі на каналотроні приблизно 2,5 кВ, постійного часу тракту посилення 0,3 с у режимі автоматичного запису з кроком 1 еВ за програмами фірми JEOL.

Концентрацію електронів оцінювали за допомогою інтенсивності характеристик Оже-ліній та відповідних коефіцієнтів відносної чутливості за відомою формулою:

$$C_i = \frac{I_i/g_i}{\sum_{k=1}^n I_k/g_k} \quad (2.6)$$

де  $C_i$ ,  $I_i$ , та  $g_i$  – концентрація (в ат. %), інтенсивність Оже-ліній та коефіцієнт відносної чутливості для  $i$ -го елемента відповідно;

$n$  – загальна кількість всіх елементів, концентрація яких розраховується.

З метою дослідження концентраційного профілю елементів у поверхневих шарах сталі, поверхні зразків обробляли пучком іонів  $Ar^+$  протягом часу  $t_{Ar}$ . Обробка забезпечувала растрова іонна гармата з диференціальним відкачуванням вакууму при наступних параметрах іонного пучка: енергія іонів 2 кВ, напруга пучка  $1 \cdot 10^{-6}$  А, діаметр пучка 3 мм. Швидкість обробка поверхневого шару сталі, з використанням якої оцінювали глибину розміщення  $h$  поверхового шару, при зазначених параметрах пучка іонів становила приблизно 3 нм/хв.

Реєстрували: а) профілі розподілу елементів  $I(t_{Ar})$  у поверхневих шарах зразків; б) Оже-спектри  $dN(E)/dE$  початкової поверхні кожного зразка, перехідних шарів та після залишкового завершення розпилення поверхні іонами  $Ar^+$ .

## **Висновки до розділу 2**

На основі літературного огляду та аналізу методів дослідження мастильних матеріалів, що використовуються для визначення трибологічних характеристик мастильних матеріалів, було вибрано методику, що дозволила отримати достовірні результати проведених досліджень. Зазначені методи дозволяли визначати коефіцієнт тертя, механічну стабільність, пенетрацію і інші трибологічні характеристики мастильних матеріалів.

Лабораторна випробувальна техніка, а саме, чотирикулькова машина тертя, СМЦ-1 використовувалися для дослідження трибологічних характеристик мастил. Простота конструкції лабораторної техніки і обладнання забезпечували їх надійність і простоту в обслуговуванні, реєстрації необхідних експериментальних параметрів.



## РОЗДІЛ 3

## ВПЛИВ ДОБАВОК, НАПОВНЮВАЧІВ І ЗГУЩУВАЧІВ НА ОСНОВІ ГРАФІТУ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАСТИЧНИХ МАСТИЛ

### 3.1 Вплив графітових наповнювачів на реологічні та трибологічні характеристики мастила з різним характером загусника

Відомо, що ефективність дії добавок та наповнювачів у мастильних матеріалах з різною природою загусника проявляється по-різному [2, 5]. У зв'язку з цим було проведено оцінку впливу графітових наповнювачів класів П і С1 у мастилах різного характеру: літійових, комплексних кальцієвих та силікагелевих.

Для експерименту готували основні мастильні матеріали, а потім графітові наповнювачі (10 % маси) на тривалковій притирочній машині. Результати оцінки реологічних властивостей отриманих мастила наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Реологічні характеристики мастила з добавками графіту П і С-1 (10 % маси)

Показники	Літійове мастило			Комплексне кальцієве мастило			Силікагелеве мастило		
	-	П	С-1	-	П	С-1	-	П	С-1
1. Межа міцності на зсув $10 \text{ c}^{-1}$ , Па, при									
- 20 °С	700	650	720	1520	1350	1680	650	620	810
- 50 °С	450	400	500	740	610	1040	540	500	600
- 80 °С	300	300	320	410	550	750	450	450	560
2. Ефективна в'язкість при $D=10 \text{ c}^{-1}$ , Па·с, при:									
- 0 °С	180	182	220	160	200	340	195	188	240
- 20 °С	155	155	160	90	94	250	140	110	180
- 50 °С	75	78	75	44	70	90	96	75	100
3. Колоїдна стабільність, %	15,4	13,0	13,1	5,0	2,4	2,5	6,2	5,0	4,7

При оцінці реологічних характеристик мастил з різною природою загусника (літійєвих, комплексних кальцієвих та силікагелевих) та товарними

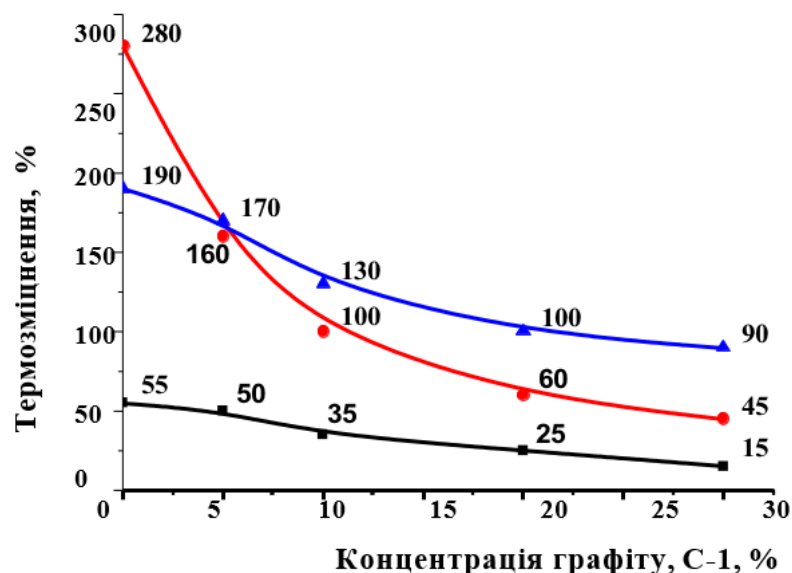
графітами марок П та С-1 у концентрації 10 % мас. отримані такі результати (табл. 3.1):

- межа міцності літієвих мастил з введенням добавок графіту змінювався незначно, у комплексних кальцієвих і силікагелевих при додаванні графіту П так само відзначалося слабкий вплив на цей показник, а для графіту С-1 цей вплив дещо помітніший, що можна пояснити вищою дисперсністю графіту С-1;

- ефективна в'язкість літієвих мастил мало змінюється для обох добавок графіту, а комплексних кальцієвих і силікагелевих помітніше збільшується для мастил з графітом С-1 ніж із графітом П, що знову ж таки швидше за все пов'язано з різною дисперсністю цих добавок;

- колоїдна стабільність літієвих та силікагелевих мастил з добавками графітів змінюється незначно, а в комплексних кальцієвих мастилах обидві марки графітів знижують цей показник у 2 рази.

При оцінці впливу концентрації графіту С-1 на термозміцнення мастил з різною природою загусника (рис. 3.1) ефективність добавки підвищувалася в мастилах: силікагелеве <літієве <комплексне кальцієве.



— Літієве мастило, — Комплексне кальцієве мастило, — Силікагелеве мастило

Рисунок 3.1 – Вплив концентрації графіту на термозміцнення (в %) мастил з різним типом загусника.

Результати оцінки трибологічних характеристик мастил наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Трибологічні характеристики мастил з добавками графітів П і С-1 (10% мас.)

Показники	Літійове мастило			Комплексне кальцієве мастило			Силікагелеве мастило		
	-	П	С-1	-	П	С-1	-	П	С-1
1. Чотирьохкулькова машина ЧКМ:									
- навантаження критичне, Н	630	750	790	790	890	910	530	890	890
- навантаження зварювання, Н	1260	2720	3360	200	2860	3250	1120	1680	2000
- Індекс задира, Н	340	460	530	730	780	840	250	380	410
- Діаметр плями зносу при навантаженні 392 Н, мм	1,10	0,80	0,75	0,65	0,70	0,65	1,20	1,05	1,00
2. Вібротрибометр SRV:									
- Встановилася коефіцієнт тертя	0,16	0,21	0,18	0,19	0,25	0,23	0,22	0,25	0,24
- діаметр плями зносу, мкм	1,3	1,9	1,7	1,2	1,5	1,5	1,8	2,3	2,1
3. Машина Фалекс-1:									
- несущая способность, Н	Не вид.	2540	3160	1970	4160	5780	Не вид.	1970	2540

При оцінці трибологічних характеристик мастил з добавкою графіту виявлено, що:

- у літійєвих мастилах при випробуванні на ЧКМ добавки графіту марок П і С-1 покращують показники  $P_K$ ,  $I_3$ ,  $D_I$ , і суттєво підвищують показник  $P_C$ . Ефективність графіту марки С-1 практично завжди була вищою, ніж графіту марки П. На вібротрибометрі SRV відбувається погіршення та коефіцієнта тертя та показника  $D_I$  для мастил з добавками графіту, що, очевидно, можна пояснити гетерогенністю мастильного шару в зоні контакту. На машині тертя Фалекс-1 мастила з добавками підвищують здатність, що несе, причому для мастила з графітом марки С-1 цей показник більше;

- у комплексних кальцієвих мастилах при випробуваннях на ЧКМ введення добавок підвищує показники  $P_K$ ,  $P_C$ ,  $I_3$ , та не впливає на показник  $D_I$ . Додавання графіту марки С-1 за всіма характеристиками ефективніше, ніж графіту марки П.

При випробуваннях на вібротрибометрі SRV показники мастил з добавками графіту гірші, ніж для вихідного мастила.

На машині тертя Фалекс-1 несуча здатність для змащення з добавкою графіту марки П в 2 рази вище за вихідне змащення, а з добавкою марки С-1 в 3 рази;

- у силікагелевих мастилах при випробуванні на ЧКМ відзначено покращення показників  $P_K$ ,  $P_C$ , та  $I_3$ , та незначне для  $D_L$ .

Отримані результати досліджень свідчать про більшу ефективність добавки марки С-1. Причому ефективність добавки сильніше проявляється в літієвому мастилі. Тому подальше дослідження впливу графітового наповнювача С-1 оцінювали в літієвих мастилах [10111].

### **3.2 Вплив концентрації та дисперсності колоїдно-графітового препарату на властивості літієвого мастила**

Дослідження показали високу ефективність використання в мастилах добавки графіту марки С-1.

У зв'язку з цим у подальшій частині роботи досліджували вплив концентрації добавки графіту марки С-1 на реологічні та трибологічні характеристики літієвої модельної мастила, виготовленої з використанням вазелінової олії та 7,5 % мас. LioSt (рис. 3.2 – 3.4).

При оцінці реологічних властивостей літієвих мастил (рис. 3.2 – 3.4) зазначено, що зі збільшенням концентрації добавки графіту марки С-1 відбувається монотонне збільшення показників «межі міцності на зсув» та «ефективної в'язкості», і зменшення кількості мастила, що відпресовується (показник «колоїдна стабільність»).

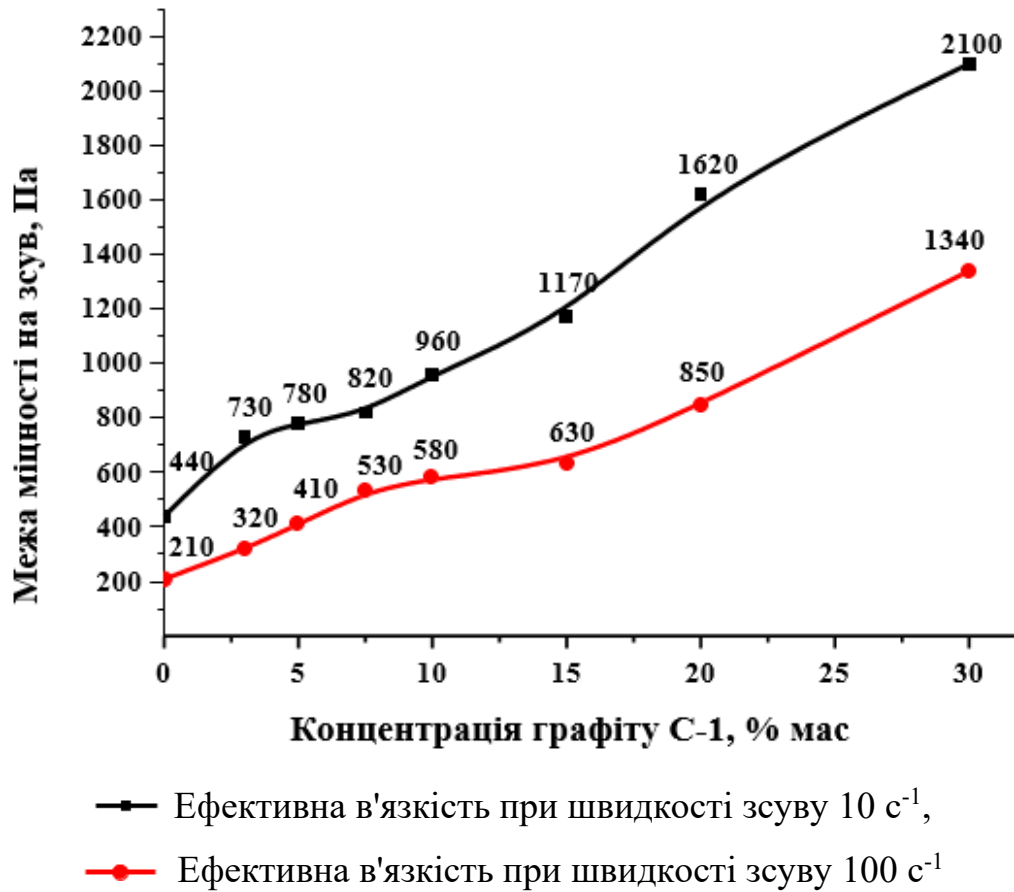


Рисунок 3.2 – Вплив концентрації графіту на межу міцності літєвої мастила.

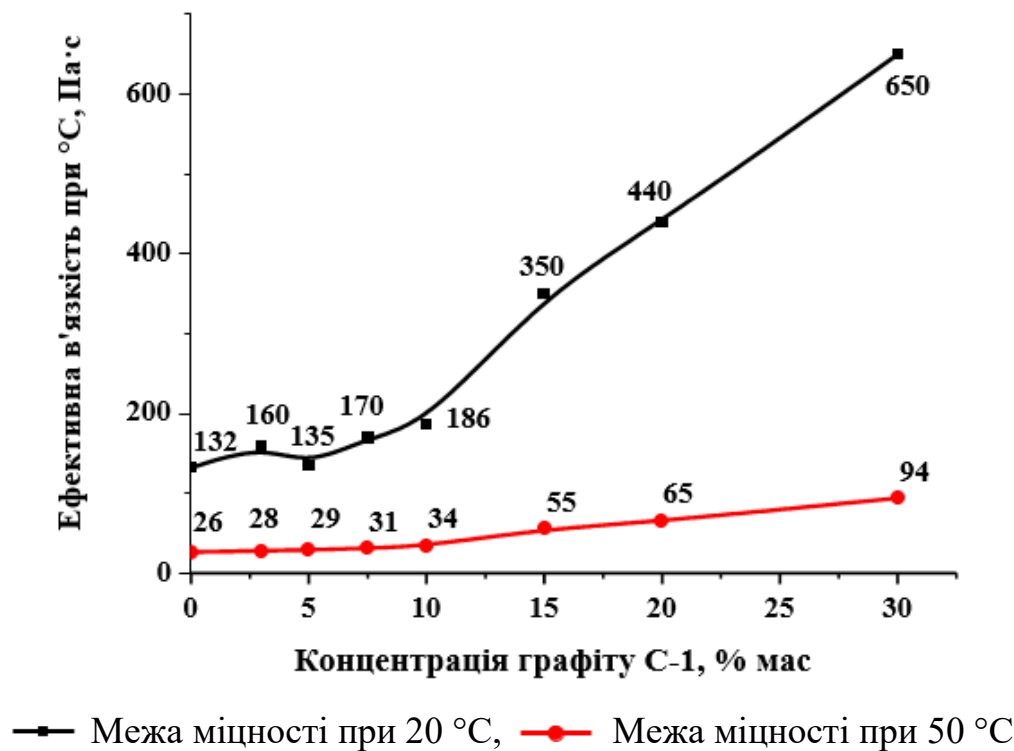


Рисунок 3.3 – Вплив концентрації графіту на ефективну в'язкість літєвої мастила.

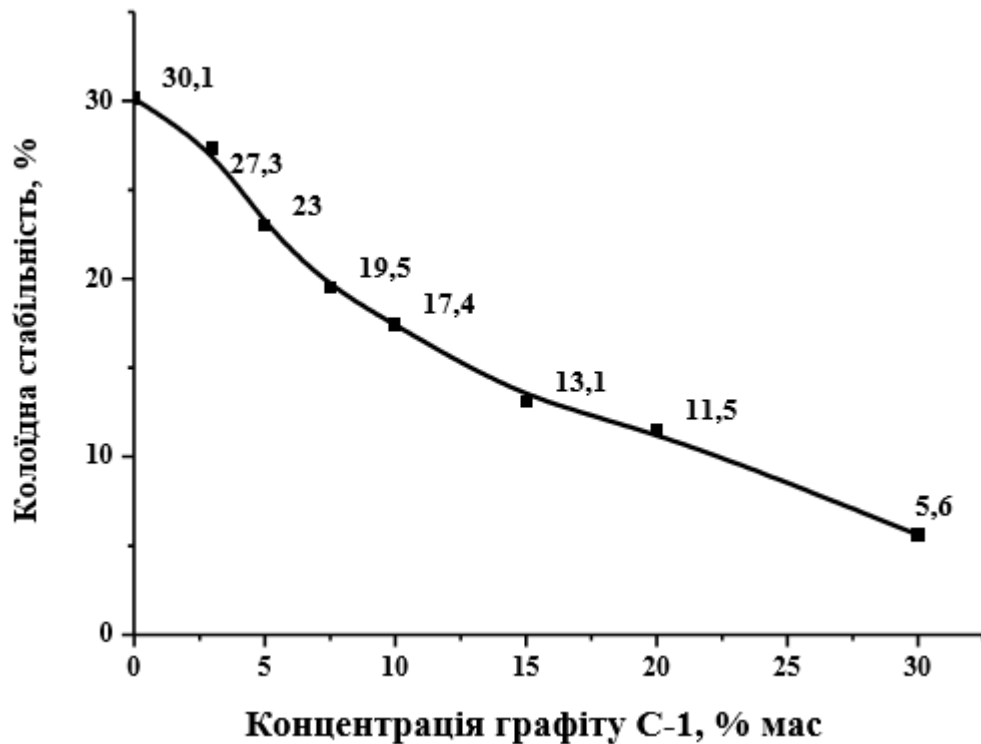


Рисунок 3.4 – Вплив концентрації графіту на колоїдну стабільність літєвої мастила.

При оцінці трибологічних властивостей літєвих мастил (рис. 3.5 та табл. 3.3) збільшення концентрації добавки графіту С-1 підвищує протизадирні характеристики на чотирикульковій машині ( $P_k$ ,  $P_c$  та  $I_z$ ) та машині тертя Фалекс-1 ( $P_{нс}$ ). Протизносні характеристики на чотирикульковій машині (показник  $Ді$ ) характеризуються діапазоном оптимальної концентрації – 3-7,5 % мас., а антифрикційні та протизносні характеристики, що визначаються на вібротрибометрі SRV зі збільшенням концентрації добавки графіту С-1 погіршуються, що можна пояснити збільшенням гетерогенності мастильного шару в зоні контакту [10111].

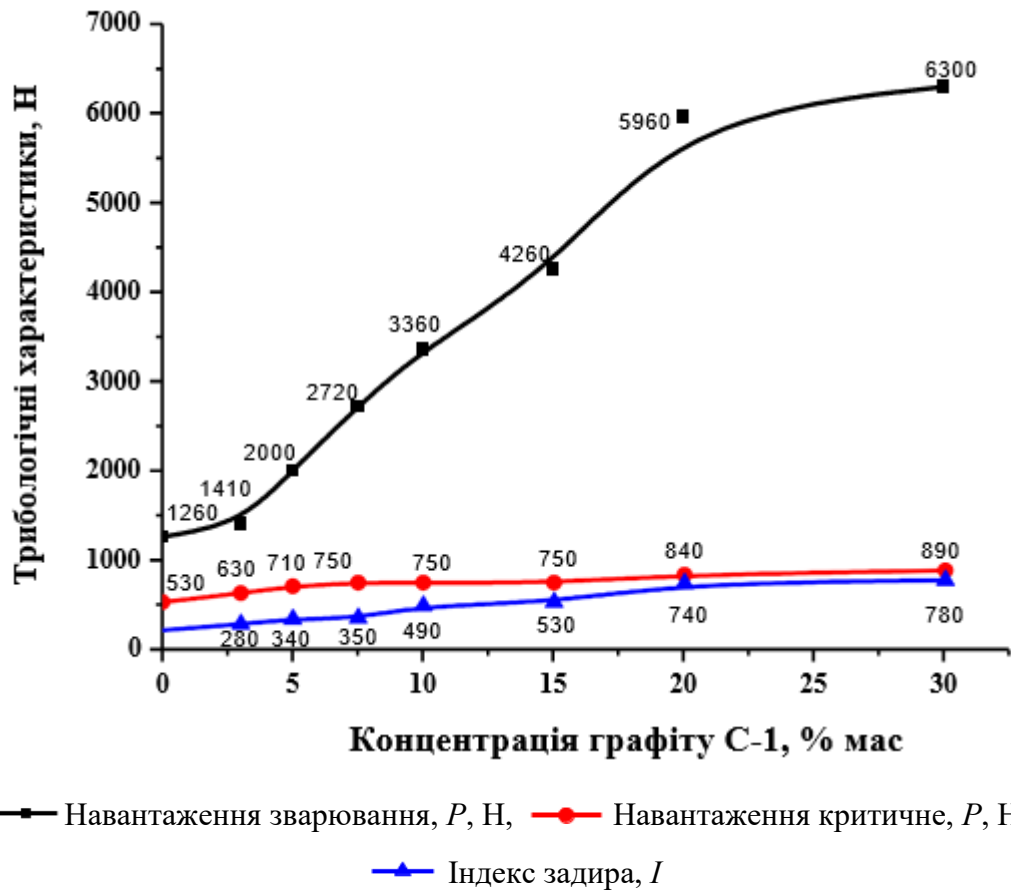


Рисунок 3.5 – Вплив концентрації графіту на протизадірні характеристики літєвої мастила

Таблиця 3.3 – Вплив концентрації графіту С-1 на трибологічні властивості літєвої мастила.

Концентрація графіту С-1, % мас	ЧКМ		SRV		Фалекс-1
	D <sub>п</sub> , мм (P=392 Н)		μ	d <sub>п</sub> , мкм	P <sub>нс</sub> , Н
-	1,90		0,13	Не вид.	Не вид.
3	0,70		0,14	1,1	1970
5	0,70		0,15	1,3	2540
7,5	0,72		0,16	1,5	3160
10	0,75		0,18	1,6	4160
15	0,80		0,21	1,8	6680
20	0,80		0,23	2,1	7000
30	0,80		0,24	2,5	7560

У великій кількості публікацій [6-9], присвячених оцінці ефективності графіту як добавки до мастил, досліджується вплив дисперсності добавки на трибологічні характеристики. І якщо в одних дослідженнях виявлено вплив

дисперсності на трибологічні характеристики [7, 9], то в інших [5] такий вплив не відзначено. Крім того, у цих публікаціях фактично відсутні пояснення отриманих результатів, лише наведено їх констатація.

У зв'язку з цим, нами було висловлено робочу гіпотезу у тому, вплив дисперсності проявляється залежно від форми контакту у парі тертя (геометрія контакту, шорсткість поверхні, умови випробувань тощо.). Ця гіпотеза частково була перевірена при випробуваннях на різних машинах тертя, що реалізують різні форми контакту та умови випробувань.

Для випробувань були приготовлені модельні літєві мастила - вазелінове масло, 7,5% мас. 12 LioSt та 10 % мас. графіту. Графіт був розділений на фракції наступних розмірів, мкм: 20-40, 30-60, 50-100, 100-200, 200-250.

Результати випробувань наведено на рис. 3.6 й у табл. 3.4, 3.5.

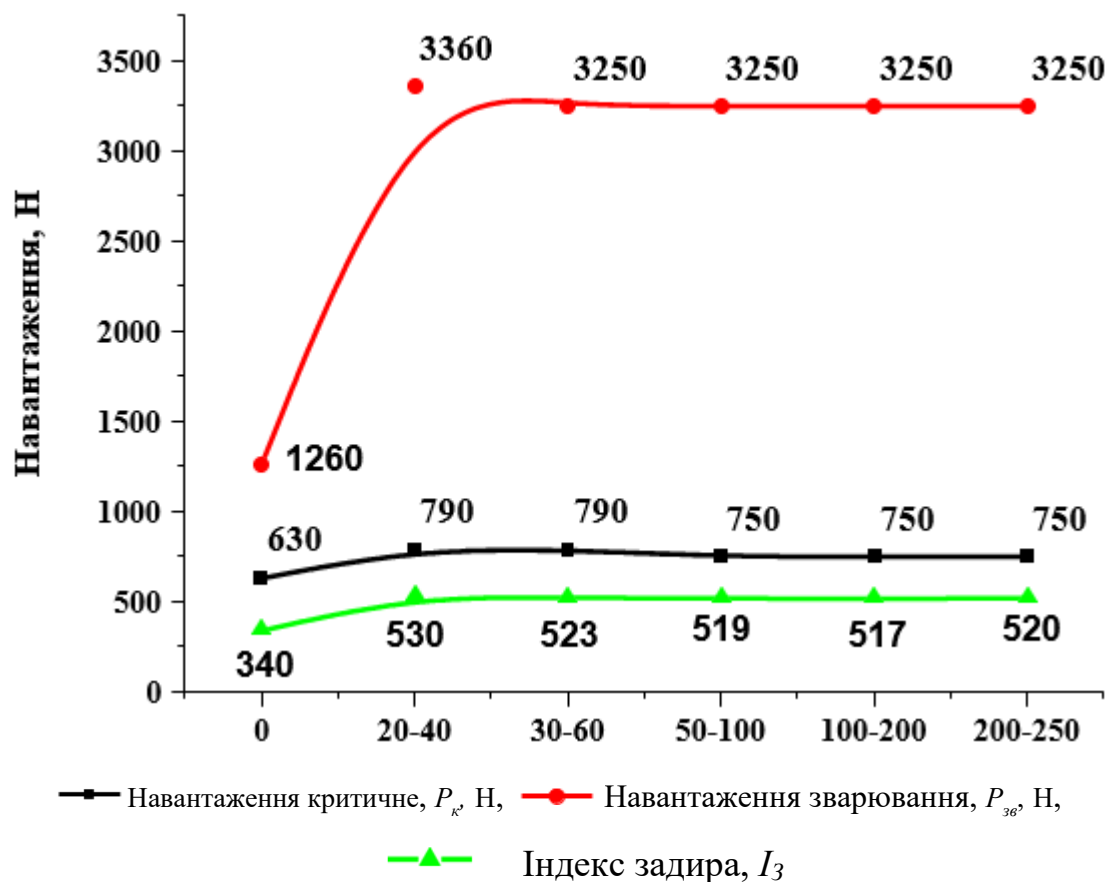


Рисунок 3.6 – Вплив дисперсності графіту на трибологічні характеристики літєвої мастила за умов точкового контакту



Таблиця 3.4 – Вплив дисперсності графіту на трибологічні характеристики літієвої мастила в умовах точкового контакту

Машина тертя, показники	Графіт, дисперсність, мкм:					
	-	20-40	30-60	50-100	100-200	200-250
<b>ЧКМ</b>						
- діаметр плями зносу (392 Н, 1 год), мкм	1,10	0,75	0,75	0,75	0,70	0,70
<b>Вібротрибометр SRV</b>						
- знос, мкм, при навантаженні:						
100 Н	1,3	1,6	1,7	1,7	1,8	1,8
200 Н	1,8	2,4	2,5	2,5	2,7	2,8

Таблиця 3.5 - Вплив дисперсності графіту на протизносні характеристики літієвої мастила в умовах лінійного та площинного контакту

Машина трення, показателі	Графіт, дисперсність, мкм:					
	-	20-40	30-60	50-100	100-200	200-250
<b>2070 СМТ-1</b>						
- знос, мм	0,34	0,11	0,13	0,14	0,17	0,18
<b>Фалекс-1</b>						
- несуча здатність, Н·10 <sup>3</sup>	Не витрим.	3160	3160	2540	2540	2540
<b>Фалекс-5</b>						
- інтенсивність зношування, I <sub>h</sub> ·10 <sup>-9</sup>	710	302	310	312	331	343
<b>ЦБК-60К</b>						
- глибина доріжки кочення, мкм	6,4	3,1	3,2	3,4	3,7	3,8

З отриманих результатів випливає, що в умовах точкового контакту (табл. 3.4) вплив дисперсності графіту в діапазоні, що досліджується, практично відсутній. В умовах лінійного та площинного контакту (табл. 3.5) протизадирні характеристики (Фалекс-1) змінюються незначно, а протизносні (СМЦ-1 та Фалекс-5) покращуються зі збільшенням ступеня дисперсності. У разі тертя кочення також відзначається поліпшення показника «глибина доріжки кочення» з підвищенням дисперсності добавки графіту.

### 3.3. Дослідження поверхні тертя та механізмів мастильної дії при додаванні присадок

При дослідженні механізмів мастил дуже важливими є питання вивчення хімічного складу поверхонь тертя. Найчастіше використовувани

методи аналізу поверхні та інформаційні характеристики наведено в табл. 3.6 та 3.7 [1037 – 1039].

Механізм дії присадок в оливах вивчався у багатьох наукових центрах та з удосконаленням трибологічних методів оцінки, а також інструментальних методів дослідження поверхні, кількість робіт у цій галузі збільшується та інформативність їх зростає. Багато в чому вони узагальнені у вітчизняних монографіях [1040-1042].

Таблиця 3.6 – Найбільш використовуються методи аналізу поверхні

	Отримувана інформація	Просторове розміщення	Глибина аналізу, моношар	Чутливість, %	Кількісний аналіз (П-простий)	Обсяг отриманої інформації
Електронна оже-спектроскопія (ЕОС)	Е	0,2 мкм	3	0,3	П	+++++
Автоемісійний польовий іонний мікроскоп	Е	1 нм	1	1	П	++
Спектроскопія характеристичних втрат енергії електронів (СХПЕЕ)	С	1 мм	1	1	П	++
Вторинно-іонна мас-спектроскопія (ВІМС) (стат.)	С	1 мм	2	0,1		++
Вторинно-іонна мас-спектроскопія (ВІМС) (динам.)	Е	0,5 мкм	40	$10^{-4}$	П	++++
Вторинно-іонна мас-спектроскопія (ВІМС) (динам., пошаровий аналіз)	Е	50 мкм	40	$10^{-4}$	П	+++
Рентгенівська фотоелектронна спектроскопія (РФЕС)	С, Е	0,2 мм	3	0,3	П	+++++

Е – інформація щодо елементного складу, С – інформація з хімічного складу.

Як тверді протизносні присадки до олив у роботі [1043] досліджували дисульфід молібдену, графіт і фторвуглець при коченні з прослизанням. Випробували також трансмісійне масло із сіркофосформісткими присадками і олива, що містить дитіофосфат молібдену. Випробування проводили на двороліковій машині з діаметром роликів 60 мм і шириною 10 мм із хромомолібденової сталі. Твердість поверхонь роликів за Віккерсом була 700-800; шорсткість характеризувалася значеннями  $R_a = 0,3$  мкм. Один із роликів обертався із частотою  $3600 \text{ хв}^{-1}$ , а інший – з  $1800 \text{ хв}^{-1}$ . Швидкість ковзання була

5,65 м/с. Навантаження підвищувалося поступово, по 25 кН/м у діапазоні від 25 до 200 кН/м, по 50 кН/м у діапазоні від 200 до 500 кН/м та по 100 кН/м при навантаженні понад 500 кН/м. Випробування проводилися до появи задира або навантаження 800 кН/м. На кожному етапі навантаження трибометр працював 30 хв. з наступною роботою впродовж 15 хв. без навантаження. Потім через 5 хв. поверхні профілювали.

Таблиця 3.7 – Інформаційні характеристики основних методів дослідження поверхні

Метод	Структура	Склад	Електронна структура чи хімічний стан
Дифракція повільних електронів (ДМЕ)	+		
Дифракція (відбитих) швидких електронів (ДОБЕ)	+		
Рентгенівська фотоелектронна спектроскопія (РФЕС)	(+)	+	+
Розвинена тонка структура краю поглинання рентгенівських променів поверхнею (SEXAFS)	+	(+)	
Електронна оже-спектроскопія (ЕОС)		+	+
Спектроскопія потенціалу появи (СПП)		+	+
Спектроскопія іонізаційних втрат (СІП)		+	+
Ультрафіолетова фотоелектронна спектроскопія (УФЕС)	(+)	(+)	+
Іонно-нейтралізаційна спектроскопія (ІНС)			+
Спектроскопія розсіяних повільних іонів (СРМІ)	+	+	
Спектроскопія розсіяних швидких іонів (СРБІ)	+	+	
Вторинно-іонна мас-спектроскопія (ВІМС)		+	
Електронно- та фотонно-стимульована десорбція (ЕСД та ФСД)	+	(+)	(+)
Польова емісійна мікроскопія (ПЕМ)			+
Польова іонна мікроскопія (ПІМ)	+		
Спектроскопія характеристичних втрат енергії електронів високого дозволу (СХПЕЕВР)	+	+	(+)

За допомогою вимірювання електроопору у фрикційній зоні реєструвалося формування плівки. Безперервно реєструвався коефіцієнт тертя. Термопарою вимірювали температуру на поверхні роликів у зоні, що відстояла на  $180^\circ$  від зони контакту роликів. При цьому термопара притискалася до поверхні одного з роликів з навантаженням 0,1 Н. Випробувана олива подавалася форсункою в зону контакту роликів у кількості 400 мл/хв. за температури  $55^\circ\text{C}$ . Тверді присадки вводили в мінеральну оливу, і вони мали розміри: дисульфід молібдену і графіт – 0,5 мкм, фтористий вуглець – 0,2 мкм.

Склад випробуваних зразків та результати випробувань (навантаження до задира) наведені в табл. 3.8 [1043].

Вказується, що тільки композиція з вуглецю фтористого з дисперсантом А забезпечила дуже ефективну протизадирну дію, яка без дисперсанта не досягалася. Сам дисперсант (масло Н) помітного впливу не має.

Таблиця 3.8 – Результати випробувань твердих присадок до мастил на двороликовій машині

Мастило	Присадка	Навантаження до задира кН/м
А	-	150
В	Сірку, що містить фосфор (гіпоїдна олива)	250
С	Дітіофосфат молібдену (тверда), 400 млн.-1 молібдену	350
Д	Графіт (0,5 мкм) 0,5% мас. Присадка А*, 1% мас.	125
Е	Дисульфід молібдену (0,5 мкм) 0,5% мас. Присадка А, 1% мас.	150
Ф	Фтористий вуглець (0,2 мкм) 0,5 мас. Присадка А, 1 мас.	600
Г	Фтористий вуглець (0,2 мкм) 0,5 мас.	150
Н	Присадка А, 1% мас.	125
А*- дисперсант, що стабілізує суспензію		

Прямого зв'язку між антифрикційною та протизадирною дією присадок не встановлено (за винятком дітіофосфату молібдену).

В роботі [1044] досліджувалися полііміди з різними наповнювачами, з специфіки хімічної будови цих полімерів. Вона характерна наявністю поперечної з'єднання між молекулами, що призводить до відсутності

скловання та розм'якшення при підвищенні температури, що забезпечує збереження модуля пружності та еластичності цих полімерів. Вказується, що це є великою перевагою поліїмідів порівняно з термопластиками стосовно створення самозмащувальних матеріалів для пар тертя деталей машин, які експлуатуються при високих температурах, зокрема, 260 °С і короткостроково – до 480 °С.

У табл. 3.9 наведено склади випробуваних композицій поліїмідної смоли з наповнювачами [1044].

Таблиця 3.9 – Характеристики випробуваних композицій поліїмідної смоли з наповнювачами

Зразок	Склад	Наведені відомості про зразок	Коефіцієнт тертя *
SP – 1D	Поліамідна смола	Оптимальні фізичні властивості з кращими діелектричними та термічними властивостями	0,29
SP – 21D	Те саме + 15% мас. графіту	Хороші антифрикційні та протизносні властивості при використанні як підшипники і сальників	0,24
SP – 22D	Поліїмідна смола + 40% мас.	Те ж саме, плюс покращена збереженість розмірів зразка, найменший коефіцієнт термічного розширення	0,30
SP – 211D	Поліїмідна смола + 15% мас. графіту + 10% мас. фторвуглецю	Найменший коефіцієнт тертя у широкому діапазоні експлуатаційних умов та найменша швидкість зношування при 150°C	0,12

\* При  $P \cdot V = 0,875 \text{ МПа} \cdot \text{м/с}$ , встановленому значенні при 10% деформації серед повітря.

Випробування зразків проводили на трибометрі з парою тертя обертове сталеве кільце – полімерний палець.

Сталеве кільце мало діаметр 60 мм і вихідну шорсткість робочої поверхні, що характеризується значенням  $R_a = 0,6 \text{ мкм}$ . Розміри полімерних пальців не наведено. Випробування проводили при трьох швидкостях ковзання – 0,6, 1,5 та 3,0 м/с та початкових питомих навантажень від 0,57 до 8,33 МПа таким чином, щоб створювалися два різні значення

$P \cdot V$  – 1,7 та 5 МПа м/с. Автором наведено конкретні значення перевірених поєднань  $P$  та  $V$ .

Після припрацювання, при якому на поверхні полімерного пальця утворювався циліндричний профіль кільця, визначали втрату маси полімерного пальця зважуванням через 30 та/або 60 хвилин.

У роботі наведено численні цифрові дані, що характеризують результати випробувань. В узагальненій вигляді вони зводяться до наступного: зі збільшенням значень  $P \cdot V$  збільшується швидкість зношування всіх випробуваних зразків поліімідів; запровадження наповнювачів підвищує протизносні властивості всіх випробуваних складів; у кожного складу виявлено специфічні йому значення  $P \cdot V$ , викликали різке підвищення швидкості зношування, тобто. руйнування полімеру.

За зазначеною методикою на трибометрі були випробувані термопластики, армовані скловолокном або вуглецевим волокном. Їхні протизносні властивості були гіршими, ніж у поліімідів.

Слід зазначити, що найкращі протизносні властивості має зразок поліімідної смоли з 15% мас. графіту та 10% мас. фторвуглецю.

При дослідженнях не вивчали механізм руйнування самозмащувальних поліімідів за допомогою РЕМ або інших методів досліджень, так само, як і механізм антифрикційної або протизносної дії використаних наповнювачів, що значно знижує інформативність отриманих результатів.

В роботі [1045] палець з композиту — сталевий диск (кільце) досліджували антифрикційні та протизносні властивості композиту, що складався з 50% мас. поліімідної смоли та 50% мас. вуглецевих волокон. Останні мали довжину 6,4 мм та діаметр 0,0076 мм. Другий варіант композиту включав додатково 10 % мас. фторвуглецю.

Трибометр, розташований в герметичній камері, працював при швидкостях ковзання 0,014 і 0,14 м/с з максимальною тривалістю, що характеризувалася шляхом тертя 1000 м. Через 3, 5, 15, 50, 100, 200, 400 і 1000 м шляху визначали знос пальця.

При швидкостях ковзання 1,7 і 2,8 м/с знос пальця визначали через 40, 200, 400, 600, 800 та 1000 м шляху тертя. Було встановлено, що припрацювання закінчувалася менше, ніж за 3 м шляху тертя. Після припрацювання швидкість зношування була практично постійна.

Знос визначали шляхом вимірювання розміру плями зносу на напівсферичній поверхні пальця, яку розглядали в оптичний мікроскоп. коефіцієнт тертя безперервно реєструвався при роботі трибометра. Умови дослідів: навантаження 2, 4,9, 9,8, 19,6 Н та температури в камері 25, 100, 200 та 350 °С.

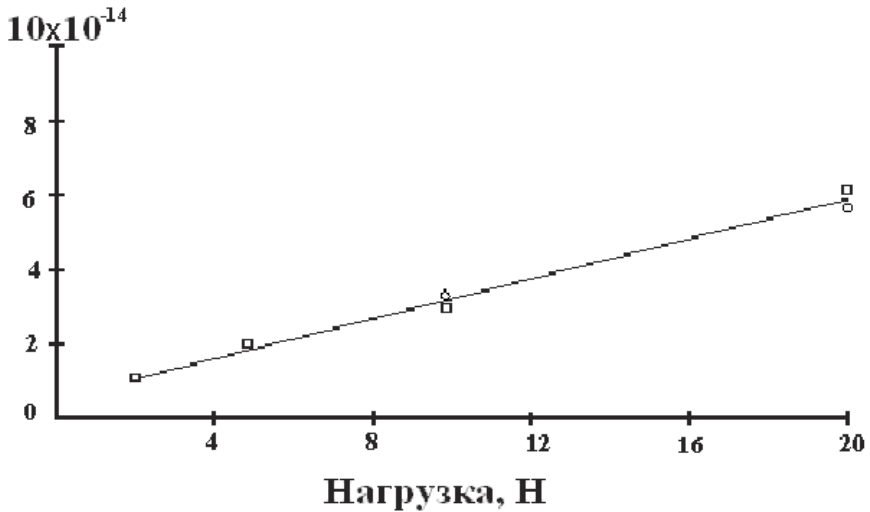
З отриманих результатів випробувань найцікавішим є графіки залежності швидкості зношування від швидкості ковзання, навантаження і температури, наведені рис. 3.7. Слід зазначити, лінійна залежність швидкості зношування обох композитів від навантаження і відсутність впливу на швидкість зношування при всіх навантаженнях, швидкостях ковзання і температурах введення в композит фторвуглецю, на відміну від результатів випробувань, розглянутих вище.

Особливу увагу в роботі приділено впливу геометрії фрикційного контакту на антифрикційну та протизносну дію композитів. Щоб встановити цей вплив, було проведено випробування на тому ж трибометрі, але зі зворотною парою – палець із сталі, кільце з композиту.

Результати випробувань двох зазначених варіантах пар тертя трибометра були зовсім різними. Зокрема, швидкість ковзання композиту у варіанті пари композитний палець-стальне кільце була втричі вищою, ніж композиту у варіанті сталевий палець-композитне кільце.

Таким чином, було однозначно встановлено вплив геометрії фрикційного контакту на антифрикційну та протизносну ефективність самозмащувального матеріалу. Щоб зрозуміти механізм такого впливу геометрії фрикційного контакту на зношування композитного матеріалу, було проведено дослідження мікротопографії композиту на РЕМ. Вони показали різні зміни мікроструктури композиту при випробуваннях на двох варіантах

пар тертя, викликані різними температурними умовами. Зокрема, при стиранні композитного пальця змінюється точковий початковий контакт пари та створюються певні умови тепловідведення із зони тертя, а при сталевому пальці та композитному кільці утворювалася інша форма сліду зношування на композиті та створюються інші умови тепловідведення. З цього було зроблено висновок про необхідність точно моделювати геометрію фрикційного контакту та виготовляти деталі пар тертя з відповідних матеріалів.





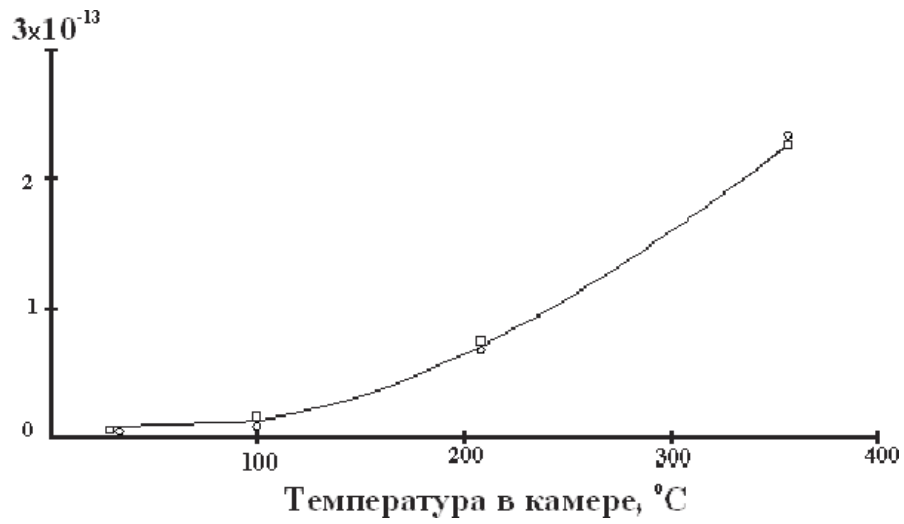


Рисунок 1.7 – Результати випробувань на трибометрі композитів на основі поліімідної смоли, армованої вуглецевим волокном. Другим значком позначений композит, що містить 10 мас. фторвуглецю [

### Висновки до розділу 3

Отримані результати дозволяють зробити такі висновки:

При використанні мастил в умовах ушкодження з обмеженим терміном експлуатації дисперсність добавок графіту мало впливає на трибологічні характеристики тріади тертя «метал-мастило-метал»;

у вузлах тертя, де мастило експлуатується тривалий період, дрібнодисперсні добавки графіту забезпечують вищий рівень протизносних властивостей.

При збільшенні концентрації добавки С-1 у літєвому мастилі відбувається монотонне збільшення реологічних показників «межа міцності на зсув» і «ефективна в'язкість» і зменшення кількості масла, що відпресовується, – показник «колоїдна стабільність». З трибологічних характеристик помітно покращуються протизадирні, а протизносні змінюються мало або навіть погіршуються, що пояснюється збільшенням гетерогенності мастильного шару в зоні контакту.

При дослідженні впливу дисперсності добавки на трибологічні характеристики літєвого мастила виявлено слабку зміну протизадирних.

Все перелічене вище вказує на те, що взаємозв'язок фізико-хімічних процесів на межі розділу «мастильне середовище-метал» та трибологічними характеристиками мастильних матеріалів. Визначення фізико-хімічних характеристик дозволяє оцінити ефективність мастильних композицій в умовах тертя, за допомогою сучасних інструментальних методів відповісти на питання за рахунок яких взаємодій та активних елементів мастильного середовища досягається максимальний ефект, тобто пояснити механізм мастильної дії.

Можна відзначити також, що якщо для оливок кількість таких робіт багато, то для мастил їх практично немає. Очевидно, це пояснюється появою ще одного компонента в мастилах – загусника, порівняно з оливами, що одразу ускладнює завдання дослідників.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ

Об'єктом дослідження є приміщення, де проводяться дослідження триботехнічних характеристик мастильних матеріалів. Дане приміщення повинно бути ізольоване від впливу шуму і вібрації, забезпечувати достатню освітленість. Приміщення оснащено устаткуванням для проведення маталографічних досліджень. Забезпечення охорони праці в даному приміщенні повинно відповідати умовам роботи в наукових підрозділах.

#### 4.1. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я та працездатності людини в процесі охорони праці.

Шкідливий виробничий фактор – вплив якого може привести до погіршення стану здоров'я, зниження працездатності робітника.

Небезпечний виробничий фактор – виробничий фактор, дія якого за певних умов може призвести до травм або іншого раптового погіршення здоров'я працівника.

Відповідно до ГН 3.3.5-8-6.6.1-2002 небезпечні та шкідливі виробничі фактори (НШВФ) за природою дії поділяються на такі групи [1]:

- фізичні;
- хімічні;
- біологічні;
- психологічні.

До фізичних НШВФ належать рухомі частини та механізми, запиленість та загазованість повітря робочої зони, неформальна освітленість робочих місць; інші несприятливі фізичні характеристики середовища: температура, вологість, атмосферний тиск, шум, вібрація, ультразвук, іонізація та елементи випромінювання, статична електрика та інші.

До хімічних НШВФ відносять хімічні речовини, які за характером дії на організм людини поділяються на загально токсичні, подразнюючі, сенсibiliзуючі, канцерогенні, мутагенні.

До біологічних НШВФ належать патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, мікрогриби та інші) та продукти їх життєдіяльності, а також макроорганізми (рослини та тварини).

До психофізіологічних НШВФ належать фізичні (статичні та динамічні) і нервово-психічні (розумове перенапруження органів чуття, монотонність праці, емоційні перевантаження) перевантаження.

При проведенні робіт з дослідження характеристик мастильних матеріалів виникають небезпечні й шкідливі виробничі фактори, а саме:

- підвищене значення струму в ланцюзі джерела живлення нагрівального пристрою, а також пристроїв для нагрівання зони тертя;
- локальна вібрація й шум, що перевищують допустимі значення при роботі лабораторної установки;
- відхилення параметрів мікроклімату у виробничому приміщенні від оптимальних значень;
- недостатня освітленість робочого місця;
- пари токсичних речовин;
- підвищена пожежо- і вибухонебезпечність деяких застосовуваних паливно-мастильних матеріалів.

Характеристики застосовуваних речовин за токсикологічними показниками, класу небезпеки й гранично припустима концентрація змісту шкідливих речовин у повітрі зазначені в табл. 4.1.

Мікроклімат у виробничих умовах визначається наступними параметрами [2]:

- Температура повітря;
- Відносна вологість;
- Швидкість руху повітря на робочому місці;
- Інтенсивність теплового випромінювання.

Таблиця 4.1 – Характеристики застосовуваних речовин

Речовина	Шкідливі компоненти	Агрегатний стан	ГДК мг/м <sup>3</sup>	Клас небезпеки	Токсикологічна характеристика
1	2	3	4	5	6
Бензин	Бензин	Пари	100	4	Наркотик, діє на органи подиху
Розчинник Р-5	Ксилол	Пари	50	3	Наркотик, дратує слизисту, діє на кров
Етилацетат	Етилацетат	Пари	50	3	Наркотик, дратує слизувати, діє на кров
Склотканина	Склопил	Пил	4	4	Дратівна, фіброгенна дія; викликає екземи, дерматити
Гексафторсилікат натрію	Фтористий водень	Пари аерозоль	0,5	2	Дратівна дія на шкіру, слизисту оболонку очей, верхніх дихальних шляхів
Алюмінієва пудра	Алюмінієва пудра	Пил	2	4	Отрута, що діє на нервову систему, проникає через неушкоджену шкіру
	Формальдегід	пари	0,5	2	Отрута, викликає гострі хронічні отруєння, сильно дратує слизисту очей і дихальних шляхів
Ацетон	Ацетон	Пари	200	4	Наркотик, що дратує слизувати оболонки
Епоксидна смола	Епіхлорид-гідрин	Пари	1	2	Алерген, дратує слизисті оболонки, вражає печінку й нирки

Оптимальні і допустимі показники температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень повинні відповідати значенням, відповідним ДСН 3.3.6.042-99 [3].

## 4.2. Розробка заходів щодо зниження впливу небезпечних чинників

### 4.2.1. Вплив небезпечних чинників при роботі із легкозаймистими речовинами

При роботі із легкозаймистими речовинами (ЛЗР) завжди існує небезпека вибуху, виникнення пожежі й пов'язаних з ним руйнувань, небезпека отримання опіків. Головні заходи щодо запобігання небезпеки заpalення й вибуху [4]:

- не застосовувати відкритий вогонь біля місця роботи із ЛЗР, уникати утворення іскор, розливання ЛЗР й їхніх патьоків;
- при виникненні невеликого полум'я швидко ізолювати його від потрапляння повітря – засипати піском або накрити азбестовою ковдрою, а більші язика вогню гасити вогнегасником;
- не застосовувати воду для гасіння ЛЗР, тому що при контакті з водою вони розприскуються, збільшуючи вогнище полум'я, будучи легше води, спливають і продовжують горіти;
- зберігати ЛЗР у спеціальних приміщеннях, обладнаних припливно-витяжною вентиляцією й засобами пожежогасіння.
- при експлуатації електроустаткування керуватись правилами щодо пристроїв електроустановок;
- всі пристрої й прилади, що працюють під напругою більше 36 В, повинні бути надійно заземлені;
- освітленість робочої зони не менш 200 лк. При відсутності природного освітлення освітленість на робочому місці забезпечити за допомогою переносних світильників напругою не більше 12 В або системою загального висвітлення;
- очі працюючого захищають від влучення паливно=мастильних матеріалів. Для захисту очей використовують захисні окуляри відповідно до Гігієнічних нормативів [1].

### 4.2.2. Вплив небезпечних факторів під час використання паливо-мастильних матеріалів

При проведенні дослідження паливно-мастильних матеріалів, приміщення має бути оснащено припливно-витяжною вентиляцією.

*Вплив масла та мастил на поверхню тіла/шкіру.* Шкіра – це ніжна структура [5]. Щоразу, коли масло/мастило контактує з поверхнею шкіри протягом тривалого періоду, на шкірі відбувається біологічна реакція, внаслідок чого з'являються різні типи шкірних захворювань, як легких, так і серйозних. Захворювання залежать від періоду контакту, типу мастила, структури шкіри, тобто загальної опірності організму.

Різні шкірні захворювання можуть проявлятися у вигляді свербіжу, зміни кольору шкіри, дерматиту, екземи, потовщення шкіри та сухості тощо.

Внаслідок тривалого контакту з певною ділянкою шкіри, морфологія (структурний малюнок) якої змінюється, на шкірі утворюється виразка. У разі виявлення шкірних захворювань через масло та мастило відповідну особу слід відсторонити від конкретної роботи.

*Вплив мастил на органи дихання людини.* Вид, який зазвичай можна побачити в гірничодобувній промисловості та в інших місцях, – це практика сифонування паливного баку шляхом всмоктування через рот після вставлення в бак гумової трубки. Така практика таїть в собі небезпеку потрапляння солярки в органи дихання. Перше може призвести до аспіраційної пневмонії в легенях, а в другому випадку уражається шлунково-кишкова система, що призводить до повільних рухів, блювоти тощо.

Іноді ці мастильні матеріали при згорянні виділяють деяку газоподібну речовину, що містить оксид вуглеводню групи вуглеводнів, діоксид вуглецю та діоксид сірки. Ці гази є отруйними і при вдиханні людиною надають отруйну дію на організм, викликаючи серйозні захворювання. Насправді деякі з нафтопродуктів є леткими за своєю природою, і коли вони потрапляють у дихальну систему людини, викликають подразнення живих тканин.

При тривалому впливі відбувається постійне подразнення тканин, що призводить до пошкодження тканин, що призводить до розвитку таких захворювань, як бронхіт, бронхопневмонія, астма, емфізема легенів і туберкульоз. У багатьох випадках може розвинути несприродне зростання, тобто пухлина, яка може бути доброякісною або злоякісною за своєю

природою.

Роботу з пожеже небезпечними шкідливими речовинами проводити при ввімкнутих вентиляційних системах. При ручному знежиренні поверхонь застосовувати бавовняні серветки, тампони й інші матеріали, що не сприяють нагромадженню статичної електрики.

Забруднені при знежиренні обтиральні матеріали, а також тверді відходи складати в металеву тару, що щільно закривається, що у міру заповнення, але не менше одного разу в зміну, видаляють із виробничого приміщення в спеціальні, визначення пожежною охороною, місця.

Всі застосовувані шкідливі чинники повинні мати встановлені гранично припустимі концентрації в повітрі робочої зони й токсикологічну характеристику, затверджену органами охорони здоров'я.

Концентрація вибухо- пожеже небезпечних речовин у місцях їхнього найбільшого скупчення не повинна перевищувати гранично припустимих вибухобезпечних концентрацій.

#### 4.2.3. Розрахунок вентиляційних систем виробничого приміщення

Розділяють природну й механічну систему вентиляції [6]. У першому випадку рух повітря здійснюється за рахунок природних фізичних явищ, в другому рухом повітря управляє спеціальне механічне вентиляційне устаткування. За допомогою природної вентиляції не вдається вирішити деякі завдання забезпечення комфортного мікроклімату в приміщеннях, тому більш бажаною є механічна вентиляція.

Також вентиляцію можна розділити на припливну й витяжну, і на місцеву або загальнообмінну.

Припливна система вентиляції постачає свіже зовнішнє повітря в приміщення. Однак якщо повітря надходить ззовні, то в приміщенні неминуче буде рости тиск. Повітря буде йти із приміщення через щілини та інші отвори, але пропускна здатність всіх щілин у приміщенні обмежена.

Витяжна вентиляція відводить із приміщення використане (нагріте, забруднене) повітря. Механічна вентиляція є витяжний, коли механічно



вийдуть певний обсяг повітря, що потім компенсується надходженням повітря із сусідніх приміщень. Безканална вентиляція – схема вентиляції без застосування повітровода. Так організують витяжну вентиляцію в великих приміщеннях, ангарах на базі вентиляторів, які встановлюються на даху й витягають повітря безпосередньо із приміщення під дах. Вентилятори, як приточні так і витяжні, можуть бути встановлені й у стінах або віконних прорізах.

Краща одночасна установка як припливної, так і витяжної вентиляції.

При місцевій вентиляції відбувається подача свіжого повітря в певні місця (місцева припливна вентиляція) або видалення використаного або забрудненого повітря (місцева витяжна вентиляція). Місцева вентиляція використається переважно у виробництві.

В приміщенні відбувається виділення парів шкідливих речовин. Операційний процес відбувається як усередині витяжних шаф, так і за їх межами.

Розрахуємо витрату повітря через місцеву вентиляцію за формулою

$$Q_M = 3600 \cdot V \cdot F, \quad (4.1)$$

де  $F$  – сумарна площа усіх витяжних отворів,  $m^2$ ;

$V$  – швидкість повітря в цих отворах,  $m/s$ .

Якщо сумарна площа усіх витяжних отворів  $F = 3 m^2$ , а швидкість повітря складає  $V = 0,4 m/s$ , тоді

$$Q_M = 3600 \cdot 0,4 \cdot 3 = 4320 m^3/год.$$

Визначимо кількість парів шкідливої речовини (уайт-спірит), що видаляється місцевою вентиляцією до граничної концентрації  $m_{гр}$ :

$$G_M = m_{гр} \cdot Q_M \cdot 10^{-3}. \quad (4.2)$$

Згідно з ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 «Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва» гранична

концентрація для уайт-спіриту у перерахунку на вуглець складає  $m_{\text{гp}} = 300 \text{ мг/м}^3$ .

Тоді

$$G_M = 300 \cdot 10^{-3} \cdot 4320 \cdot 10^{-3} = 1,296 \text{ кг/год};$$

Залишкова кількість нерозчинних парів становить

$$G_3 = G - G_M, \quad (4.3)$$

де  $G = 2 \text{ кг/год}$  - щогодинне виділення пару уайт-спіриту у приміщенні.

Тоді

$$G_3 = 2 - 1,296 = 0,704 \text{ кг/год}.$$

Визначимо необхідну витрату повітря загальнообмінної вентиляції

$$Q = \frac{G_3 \cdot 1000}{m_{\text{гp}} - m_{\text{пр}}}, \quad (4.4)$$

де  $m_{\text{пр}}$  - концентрація шкідливої речовини, що потрапляє до приміщення з приточним повітрям,  $\text{мг/м}^3$ .

Вважаємо, що з приточним повітрям до приміщення не надходить шкідливих речовин, тобто  $m_{\text{пр}} = 0$ , тоді

$$Q = \frac{0,704 \cdot 1000}{(300 - 0) \cdot 10^{-3}} = 2347 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Отже для забезпечення необхідних безпечних умов для праці в даному приміщенні необхідно, щоб загальнообмінна вентиляція забезпечувала витрату повітря не менше  $Q = 2347 \text{ м}^3 / \text{год}$ .

Визначимо площу живого перетину повітряної заслінки вентиляційної шахти:

$$F_{\text{ж.п.}} = \frac{Q}{\omega_{\text{ж.п.}} \cdot 3600}, \quad (3.5)$$

де  $\omega_{\text{ж.п.}}$  - швидкість руху повітря,  $\text{м/с}$ . Тоді

$$F_{\text{ж.п.}} = \frac{2347}{6 \cdot 3600} = 0,11 \text{ м}^2.$$

Отже розміри заслінки вентиляційної шахти становлять  $400 \times 275 \text{ мм}^2$ .

Виконаємо підбір вентилятора при умові, що повний тиск у робочій зоні знаходиться у межах 660-820 Па. Таким вентилятором може бути радіальний вентилятор ВР-80-70. Для забезпечення необхідної продуктивності він повинен бути обладнаний двигуном АИР160М8 типорозміру з потужністю 11 кВт. Частота обертання 730 об/хв.

Згідно з ДСТУ 3000-95 «Вентилятори радіальні та осьові загального призначення. Методи визначення вібраційних характеристик тип виконання» (рис. 4.1) - №1. В такому виконанні забезпечується компактність установки, її надійність, відносна безшумність, а також економічність завдяки відсутності втрат у передачі.

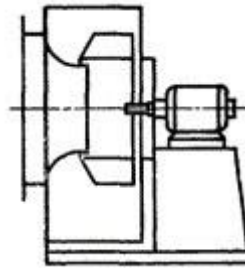


Рисунок 4.1 - Вентилятор радіальний загального призначення.

### 4.3. Пожежна і вибухова безпека

Вся робота з пожежної та вибухової безпеки авіапідприємств цивільної авіації (ЦА) виконується згідно з постановами з пожежної охорони підприємств, організацій та установ ЦА [2].

Вона визначає основні положення організації проведення пожежо-профілактичної роботи, служби та бойової підготовки пожежних частин на підприємствах ЦА, а також обов'язки посадових осіб щодо забезпечення пожежної безпеки на об'єктах підприємств ЦА. При проведенні випробування мастильних матеріалів до виникнення пожежі або вибуху можуть привести наступні фактори [8]:

- попадання ПММ на гарячі елементи конструкції або електричну проводку;
- іскри від удару, тертя або при падінні інструменту;

- порушення вимог пожежної безпеки (куріння у не відведених для цього місцях, наявність джерел відкритого вогню).

Основними причинами виникнення пожеж в лабораторії є: недбале поводження з відкритим вогнем, при роботі з паяльними лампами та іншими джерелами відкритого вогню, несправність опалювальних систем, несправність або перевантаження, неправильний монтаж електроустановок, освітлювальних приладів і мереж, який призводить до підвищеного нагрівання або короткого замикання; несправність обладнання, порушення технології робіт, протоку продуктів ПММ; вибух горючих сумішей в повітрі при терті, ударах; самозаймання горючих речовин при неправильному зберіганні, незнання їх пожежної небезпеки; розряди статичної та атмосферної електрики при неправильному заземленні і блискавковідводів; палінні в пожежонебезпечних зонах.

Безпека людей повинна бути забезпечена при виникненні пожежі в будь-якому місці виробничого споруди, території підприємства. При виникненні пожежі на людей можуть діяти небезпечні фактори: відкритий вогонь і іскри, підвищена температура повітря, предметів, устаткування, токсичні продукти горіння, дим, знижена концентрація кисню, обвалення і пошкодження будинків, споруд, установок; вибухи.

Пропонуються наступні заходи з попередження виникнення пожежі: для захисту від пожежі і боротьби з нею на місцях, де відбувається лабораторне дослідження повинні бути встановлені протипожежні щити, на які є первинні засоби захисту та боротьби з пожежею: вуглекислі, порошкові вогнегасники, лопати, багор, пожежне відро, ємність з піском;

- в лабораторному приміщенні встановлюються, як переносні засоби захисту від пожежі;
- в місцях підвищеної пожежної небезпеки встановлюються ручні повітряно-пінні вогнегасники типу ВПП-10, що подають струмінь піни на відстань 3,7 м на протязі 53 секунд (використовуються для всіх матеріалів крім електроустановок).

Небезпечним, в пожежному відношенні є:

- гідробаки;
- ємності з мастильними матеріалами;
- ємності із розчинниками;
- панелі електроприладів;
- зона проведення трубопроводів постачання мастильних матеріалів.

Запобігання пожежі досягається:

- максимальної механізацією технічних процесів, пов'язаних з роботою з мастильними матеріалами;
- застосування вогнестійких матеріалів для обробки обладнання та матеріалів для випробування;
- застосування електроустаткування, яке відповідає вимогам «Правил улаштування електроустановок» ПУЕ-86.

Протипожежний захист забезпечує:

- Застосування засобів пожежогасіння та відповідних видів пожежної техніки;
- Застосування автоматичних установок пожежної сигналізації та пожежогасіння.

В якості вогнегасної складу застосовується водоетілоногліколева суміш або хладон 1281.

Переносні вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-5 для ліквідації окремих осередків пожежі: ручні вогнегасники ВВК-3,5; порошковий ВП-6 хімічний ВП-9 ММ і ВХПП-10.

#### **Висновки до розділу 4**

У результаті проведеного аналізу небезпечних та шкідливих виробничих факторів у приміщенні для лабораторних досліджень встановлено небезпечну дію шуму, низький рівень освітленості, випаровування хімічних речовин. Для зменшення несприятливого впливу на персонал, який виконує роботи з дослідження мастильних матеріалів та при подальшій експлуатації лабораторного приміщення, де розташовані зазначені робочі місця розроблені заходи з нормалізації мікроклімату, поліпшення природнього і штучного освітлення, пожежної безпеки.

Також проведено проектний розрахунок системи припливно-витяжної вентиляції на прикладі мінімізації випаровування уайт-спірита.

Запропоновані заходи дозволять зменшити ризик виникнення професійних захворювань та травмування на зазначеному об'єкті дослідження.

## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

#### 5.1. Вплив авіаційної промисловості на навколишнє середовище

Негативні наслідки сучасної науково-технічної революції створили прямий та опосередкований вплив на навколишнє середовище, скорочення запасів сировинних та енергетичних ресурсів, негативний вплив на здоров'я людини та ін.

Зі збільшенням інтенсивності авіаперевезень прийшло розуміння того, що така техніка суттєво впливає на навколишнє середовище, причому не лише в районах дії аеродромів, а й у значно більших просторових та часових масштабах. Вплив на навколишнє середовище авіаційної техніки (АТ) надзвичайно різноманітний – акустичний, тепловий, механічний, хімічний, електромагнітний, радіоактивний. Очевидно, що деякі із зазначених видів впливу взаємопов'язані та їх внесок у загальне забруднення навколишнього середовища залежить, наприклад, від конструкції виробу, висоти його польоту, умов експлуатації обладнання, аварійних ситуацій, так і за технологією експлуатації та ремонту авіаційної техніки.

Результати досліджень впливу авіаційної техніки на навколишнє середовище свідчать про те, що проблема шкідливості експлуатації та ремонту авіаційної техніки дійсно існує; деякі наслідки цієї господарської діяльності вже викликають серйозне занепокоєння на регіональному та глобальному рівнях (енергетичне та хімічне забруднення під час експлуатації та обслуговування авіаційної техніки в районі авіаремонтних заводів та аеродромів).

В цілому проблема та окремі її частини завжди потребують постійної уваги, в цих умовах негативні наслідки можуть вийти за допустимі межі та призвести до катастрофи, отже, необхідно посилювати екологічні вимоги щодо авіаційної техніки.

Основними джерелами забруднення **навколишнього середовища** серед авіапідприємств є аеропорти (або авіаремонтні заводи) із закріпленим за ними обладнанням.

Наземні джерела забруднення можна умовно поділити на розташовані всередині аеропорту (або авіаремонтного заводу) і розташовані за межами аеропорту (або авіаремонтного заводу). До останніх належать насамперед теплоенергетичні установки, що працюють на різних видах палива, тому характер забруднення визначається видом палива, способами його спалювання та способами видалення викидів.

В авіаційній промисловості широко використовуються паливно-мастильні матеріали.

Різні композиції пально-мастильних матеріалів забруднюють атмосферне повітря на території аеропорту авіаційним паливом, мастилами та спеціальними рідинами. Пари авіаційного палива потрапляють в атмосферу: при їх видавлюванні з баків, автоцистерн і авіацистерн в процесі заповнення їх паливом, в процесі «малого дихання» баків, а також при розливі. Випаровування палива через негерметичність з'єднань або недотримання правил заправки авіаційної техніки, зберігання, транспортування та наповнення ємностей пально-мастильними матеріалами.

Забруднення атмосферного повітря не тільки безпосередньо впливає на здоров'я живих організмів, але й опосередковано, змінюючи структуру, склад і навіть структуру атмосфери, яка в новій якості впливає вже глобально на життя людини, а також на флору і тваринний світ планети.

З іншого боку, промислова діяльність авіапідприємств сприяє забрудненню ґрунтів і водойм промисловими і побутовими стічними водами, що містять різноманітні механічні, фізичні та хімічні домішки.

Забруднення ґрунту також відбувається внаслідок осідання з повітряного басейну на поверхню ґрунту забруднюючих речовин, які знаходяться з газами в атмосфері, що утворилися від роботи літаків, наземної авіаційної техніки і т.п.



До основних джерел забруднення поверхневого стоку відносяться території авіаційно-технічних баз, майданчики для оздоблювальних робіт, мийки та протиобледнювальна обробка повітряних суден, перон і аванмайданчик, приміщення для зберігання паливно-мастильних матеріалів та ін.

Мастильний матеріал (ММ) є важливим ресурсом і основним продуктом нафти. Висока ціна на нафту та мета економії цінної іноземної валюти призвели до спроб регенерації використаного мастильного матеріалу. Неправильне використання відпрацьованого ММ є серйозною екологічною проблемою. Майже всі типи відпрацьованих олив і мастил мають потенціал для безпечної переробки, зберігаючи дорогоцінне невідновлюване джерело та водночас мінімізуючи забруднення навколишнього середовища. На жаль, більшість відпрацьованого ММ утилізується неналежним чином. Частина зливається в каналізацію, що призводить до безпосереднього потрапляння у стічні води, що негативно впливає на водоочисні споруди. Частину виливають прямо на землю, щоб знищити бур'яни, виливають на брудні дороги чи викидають у пустелі, де можуть забруднювати поверхневі та ґрунтові води. Утилізація використаного ММ в екосистемі створює небезпеку для навколишнього середовища. У всьому світі діють жорсткі закони щодо утилізації відпрацьованих нафтопродуктів, і потрібно докласти всіх зусиль для їх повторного використання. У більшості випадків відпрацьований ММ можна повторно використовувати після відновлення з додаванням або без додавання будь-яких присадок, що призводить до значної економії та збереження дорогоцінного мастильного матеріалу. Таким чином, регенерація, утилізація або переробка відпрацьованих мастильних матеріалів стала важливою технологічною галуззю, яка використовує різні методи очищення олив і мастил.

Склад стічних вод, що скидаються, тісно пов'язаний з видами виробничої діяльності, сировиною і різними допоміжними продуктами, що беруть участь в технологічному процесі, а також залежить від перебігу цих

процесів, типу і досконалості виробничого обладнання і т. д. Склад стічних вод є різноманітним і навіть для однієї продукції коливається в широкому діапазоні.

Особливу шкоду наносять водоймам нафта і нафтопродукти.

Забруднення нафтопродуктами стічних вод, що особливо характерно для аеропортів, викликає різноманітні і глибокі зміни в складі водних біоценозів і навіть у всій фауні і флорі водойм. Це зумовлено фізико-хімічними властивостями самої нафти, яка надзвичайно різноманітна за складом і може віддавати в воду речовини в різних агрегатних станах: твердому, рідкому і газоподібному. Частина її компонентів осідає на дно, частина знаходиться у вигляді суспензій та емульсій у товщі води, а частина – у молекулярно розчиненому стані. У зв'язку з такими особливостями нафти вона, потрапляючи у воду, захоплює в сферу свого впливу всю товщу води водойми. Водні організми, де б вони не мешкали (на поверхні води або на певній глибині), піддаються дії нафти, її компонентів та продуктів окислення вуглеводнів і продуктів переробки нафти. У воді, що містить 0,5 мг/л нафтопродуктів, риба набуває присмаку нафти через 1 добу; 0,2 мг/л – через 3 доби; 0,1 мг/л – через 10 діб. Поріг сприйняття запаху нафти в рибі – при концентрації нафтопродуктів у воді 0,1 мг/л.

Вища водна рослинність, вкрита шаром нафтопродуктів, смол та інших рідких речовин антропогенного походження, непридатна для нересту риб і розвитку кормових організмів. Летальною концентрацією для водоростей виявляється нафтове забруднення від 1 мг/л, а припинення розмноження клітин спостерігається при концентраціях 0,1–0,001 мг/л.

Плівка нафтової речовини на дзеркалі резервуара для води може викликати порушення киснево-газообміну між водою та атмосферою, але також може зменшити доступ світла до глибини резервуара. Ці обмеження можуть призвести до змін у життєдіяльності та метаболічних порушень гідробіонтів і, як наслідок, до утворення зони кисневого голодування в придонних частинах водойми, що може призвести до розладу екосистеми.

Зниження процесу фотосинтезу та підвищення температури води за рахунок поглинання сонячної радіації може загрожувати правильному розвитку водних рослин та призвести до евтрофікації водойми. Евтрофікація водойм є всесвітньою проблемою, яка відбувається в річках, озерах і морях і навіть впливає на океани. Забруднення нафтопродуктів є предметом громадських дебатів переважно під час аварії танкерів. Розливи нафти, що поширюються у воді та узбережжі, не пропускають кисень, що спричиняє повне зникнення життя на даній території.

Таким чином, всі існуючі види забруднення водойм впливають на здоров'я людей, тварин, на розвиток водних організмів. Забруднена вода не тільки стає непридатною чи малоприсадною для використання, але й завдає значної, часто непоправної шкоди всьому природному середовищу, з яким вона взаємодіє.

Відпрацьованим мастильним матеріалом є будь-яка олива або мастило, отримані з сирової нафти або синтетичного масла, використане і в результаті такого використання забруднене фізичними або хімічними домішками. Іншими словами, відпрацьованим мастильним матеріалом є саме те, що має на увазі його назву, тобто – це будь-який використаний мастильний матеріал на нафтовій основі або синтетичне масло. При нормальному використанні такі домішки, металеві частинки, вода або хімічні речовини можуть змішуватися таким чином, що з часом мастильний матеріал не може бути використаний за призначенням.

Проблеми екологічної безпеки застосування мастильних матеріалів невіддільні від утилізації мастильних матеріалів, які в даний час є одними з найбільш поширених техногенних відходів, що негативно впливають на всі об'єкти навколишнього середовища – атмосферу, ґрунт і води.

Необхідність утилізації мастильних матеріалів у даний час ні в кого не викликає сумнівів, оскільки їх захоронення і знищення (в основному – шляхом спалювання) породжують ще більші екологічні проблеми, ніж самі мастильних матеріалів, і при значних витратах не дозволяють повторно

використовувати цінну вторинну сировину, що не вигідно вже з економічної точки зору. При цьому вельми важливо, щоб процеси утилізації самі по собі не уявляли істотної загрози біосфері.

## **5.2. Очищення працюючих і регенерація відпрацьованих масел**

Виробництво нафтових масел продовжує збільшуватися, що в свою чергу сприяє зростанню кількості відпрацьованих масел.

Очищення та регенерація масел безпосередньо на місцях їх споживання є одним з найбільш економічних способів використання вторинних ресурсів і дозволяє підбирати процеси і технологічні режими, найбільш відповідні маслу даного призначення і продуктів його старіння. Основна проблема полягає в потраплянні сторонніх забруднень, видалення яких шляхом механічного очищення є найбільш ефективним способом відновлення якості. Очищене масло повторно використовується за призначенням. В основному це відноситься до індустріальних, гідравлічних, турбінних і трансформаторних олив, рідше - до моторних, хоча це найбільша група масел за обсягом виробництва.

Серед сучасних способів очищення і регенерації переважають фізичні методи – відстій, центрифугування, фільтрація, вакуумне сушіння. Можливе застосування і більш складних фізико-хімічних методів (у разі сильного забруднення або глибокого старіння масел).

Регенерація відпрацьованих олив є тривалим процесом, який відбувається на спеціальних станціях. На вибір технології регенерації відпрацьованих мастил впливають такі фактори як: марка оливи, вміст домішок, склад і кількість оливи.

Для централізації первинної переробки, спрощення технології збирання з мінімальними втратами і скорочення технологічного циклу усі відпрацьовані нафтопродукти в залежності від призначення поділені на 3 основні групи: 1 група-оливи моторні відпрацьовані і їх суміші з індустріальними при 50 °С; 2 група-оливи індустріальні відпрацьовані і їх суміші, а також турбінні і компресорні, які призначені для регенерації; 3 група-суміш нафтопродуктів

відпрацьованих в тому числі і олив, бензину, гасу, дизельного пального. Технологічний процес первинної переробки для кожної групи відпрацьованих олив більш економний в порівнянні з індивідуальними для кожної марки, однак загальні витрати повертаються тільки на спеціалізованих регенераційних підприємствах.

Як і в основних галузях промисловості, у галузі переробки вторинної сировини все більше фахівців висловлюється на користь відмови від традиційних методів боротьби з забрудненнями шляхом установки очисного обладнання в кінці технологічного ланцюжка. Висувається завдання вирішення екологічних проблем у процесі виробництва, на основі принципово нових технологічних рішень.

Ідеальне втілення цієї думки – створення промислових підприємств з мінімальними викидами. Оскільки виникнення відходів у промисловому виробництві уникнути не можна, так як неможливо уникнути термодинамічно обумовлених втрат речовини та енергії і повністю переробити сировину в бажану продукцію, створення підприємств такого роду передбачає систему технологічних процесів, що забезпечують комплексне використання сировини та енергії, коли побічні продукти і відходи одного процесу є сировиною або реагентами іншого. Комплексна переробка сировини включає вловлювання, виділення і переробку всіх відходів у готову продукцію або щодо екологічнобезпечних речовини, придатні до безпечного захоронення.

Комплексне використання сировини – найбільш повне, економічно й екологічно виправдане використання всіх корисних компонентів, що містяться в сировині, а також у відходах виробництва, при цьому передбачається максимальний вихід продукції на кожній стадії переробки, що підвищує ефективність виробництва і зменшує утворення відходів.

Найважливіша умова організації маловідходного виробництва – наявність системи знешкодження невикористовуваних відходів, в першу чергу токсичних. При цьому вплив відходів на навколишнє середовище не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій.

Шляхи створення маловідходних технологій:

1. комплексна переробка сировини;
2. розробка принципово нових процесів і схем отримання відомих видів продукції;
3. проектування безстічних і замкнутих систем водоспоживання;
4. рекуперація промислових відходів;
5. розробка і створення територіально-промислових комплексів з замкнутою структурою матеріальних потоків сировини та відходів.

У сучасній технічній літературі при розгляді питання відновлення якості мастильних матеріалів використовують різні терміни – очищення, регенерація, вторинна переробка.

Під «очищенням» будемо мати на увазі безперервну чи періодичне очищення працюючого мастильного матеріалу в діючому обладнанні, здійснювану за допомогою відстійників, фільтрів, центрифуг і адсорберів.

Термін «регенерація» відноситься до відновлення якості відпрацьованого мастильного матеріалу до рівня свіжого. Для проведення регенерації використовують більш складні фізичні та хімічно процеси – коагуляцію, сіркокисле і адсорбційне очищення.

У випадку переробки сумішей різних відпрацьованих нафтових масел (НМ), що збираються централізовано з промислових підприємств, використовують термін «вторинна переробка». З такої сировини можливе отримання базових масел різного складу і призначення. Вторинна переробка здійсненна тільки на великих спеціалізованих підприємствах і передбачає застосування комплексу процесів – вакуумної перегонки, екстракції, гідроочищення і деяких інших фізичних і хімічних методів.

## **Висновки до розділу 5**

Відпрацьовані масла, які потрапляють у навколишнє природне середовище, лише частково видаляються або знешкоджуються в результаті природних процесів. Основна ж їх частина є джерелом забруднення ґрунту, водойм і атмосфери. Накопичуючись вони призводять до порушення відтворення птахів, риби і ссавців, надають шкідливий вплив на людину.

В даний час особливу важливість набуває раціональне і економне витрачання нафтопродуктів. Проблема збору та утилізації відпрацьованих нафтопродуктів є актуальною, більше того, рентабельною і наукоємною областю, тому що при правильній організації процесу регенерації вартість відновлених масел на 40-70 % нижче вартості свіжих мастил при практично однаковому їх якості.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Отримано нові наукові та експериментальні результати, що дозволили розробити мастила з високими трибологічними характеристиками за рахунок використання графіту та його модифікацій як добавки або загусника.

2. Вивчено вплив добавок графіту та його модифікацій на властивості мастил різної природи. При вивченні впливу концентрації та дисперсності добавки С-

1 на трибологічні характеристики літієвої мастила підтверджено робочу гіпотезу про ефективність ступеня дисперсності добавок залежно від форми контакту пари тертя. При точковому контакті цей вплив незначний, при лінійному та площинному контакті протизносні характеристики покращуються зі збільшенням ступеня дисперсності.

3. Показано можливість заміни дефіцитного MoS<sub>2</sub> у мастила добавками фторованого графіту або КАМ.

4. Вивчено мастила з використанням як загусник розширеного або високодисперсного графіту та оптимізовано режими механічної обробки при їх отриманні: на тривалковій машині – величина зазору 0,01 мм; на колоїдному млині - величина зазору 0,05 мм, градієнт швидкості  $1,5 \cdot 10^5$  с<sup>-1</sup>; на клапанному гомогенізаторі – градієнт швидкості  $3,5 \cdot 10^5$  с<sup>-1</sup>.

5. Встановлено, що адсорбційна здатність ДАДТФЦ підвищує трибологічні характеристики мастильного середовища, але при тривалих випробуваннях та високих концентраціях присадки ( $\geq 2,9$  % мас.) погіршуються протизносні властивості, що можна пояснити посиленням корозійного зносу. Хімічна активність мастила та показник «навантаження зварювання» симбатні, що характеризує здатність мастильного матеріалу запобігати схоплюванню поверхонь тертя в умовах ушкодження.

6. Дослідження якісного складу вторинних структур поверхонь тертя виявило, що:



- у формуванні вторинних структур поверхонь тертя беруть участь усі компоненти мастильного та зовнішнього середовища;

- при автономному використанні присадки або наповнювача не можуть умови дифузії кисню в металеву підкладку;

- при спільному використанні присадки та наповнювача відбувається інтенсивне хімічне модифікування поверхні тертя та дифузія кисню, що може пояснювати синергетичне посилення трибологічних властивостей, що спостерігається.

7. Розроблені мастила з використанням графіту або його модифікацій як добавки або загусника:

- Літфол-2EP багатоцільова та протизадирна для вузлів тертя загального призначення та важконавантажених. Робочий ресурс на стенді JP-168 у 4,5 рази вищий ніж у мастила Фіол-2у;

- Аерол-2EP, термостійка для вузлів тертя, що експлуатуються при високих температурах. На відміну від мастила Аерол не містить дефіцитного MoS<sub>2</sub> (17% мас.);

- Різьбол РГ, для різьбових з'єднань труб нафтового сортаменту. У натурних випробуваннях на герметичність, високотемпературним характеристикам та протизносним властивостям більш ефективна, ніж різьбові мастила Р-113, Р-416 та Різьбол Б, може використовуватися як екологічна.

**СПИСОК БІБЛЮГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Кудрін А. П. Ремонт повітряних суден та авіаційних двигунів / А. П. Кудрін, Г. М. Зайвенко, Г. А. Волосович, В. Д. Хишко: Підручник. – К.: НАУ, 2002. – 492с.
2. Norris G., Warner M. Boeing 787 Dreamliner. US: MBI Publishing, 2009. 160 p.
3. Бонер К. Дж. Производство и применение консистентных смазок. Пер. сангл. Под ред. В.В. Сеницына. – М.: Гостоптехиздат, 1958. – 704 с.
4. Ищук Ю.Л. Состав, структура и свойства пластичных смазок. – Киев: Наукова думка, 1996. – 516 с.
5. Манг Т., Дрезель У. Смазки. Производство, применение, свойства. Справочник: пер. 2-го англ. изд. под ред. В.М. Школьников – Спб.: ЦОП «Профессия», 2010. – 944 с.
6. Сеницын В.В. Подбор и применение пластичных смазок. – М.: Химия, 1974. – 416 с.
7. Фукс И.Г. Добавки к пластичным смазкам. – М.: Химия, 1982. – 248 с.
8. Сеницын В.В., Викторова Ю.С. Графит и дисульфид молибдена в пластичных смазках. – Химия и технология топлив и масел, 1968, № 8, с. 25-28.
9. Викторова Ю.С., Сеницын В.В. Влияние дисперсности антифрикционных добавок на эффективность пластичных смазок. – Химия и технология топлив и масел, 1969, № 9, с. 53-55.
10. Сеницын В.В., Викторова Ю.С. Влияние антифрикционных добавок на реологические свойства пластичных смазок. – Нефтепереработка и нефтехимия, 1969, № 2, с. 14-16.
11. Сеницын В.В., Викторова Ю.С. Влияние дисперсности антифрикционных добавок на реологические свойства и коллоидную стабильность пластичных смазок. – Нефтепереработка и нефтехимия, 1970, № 2, с. 17-19.
12. Сеницын В.В., Викторова Ю.С., Бердеников А.И., Куценко Ю.Б. Фторированный углерод как антифрикционная добавка к пластичным смазкам. – Трение и износ, 1981, т. 2, № 6, с. 996-1000.
13. Уманская О.И., Абаджева Р.Н., Янив А.А. Фторированный углерод – загуститель высокотемпературных пластичных смазок. – В сб.: Нефтепереработка и нефтехимия, 1985, вып. 29, с. 56-59.

14. Бакалейников М.Б., Колесникова Н.В., Кобзова Р.И., Куценок Ю.Б., Сеницын В.В. Фторуглерод как компонент высокотемпературных пластичных смазок. – Химия и технология топлив и масел, 1986, № 2, с. 37-38.
15. Белова М.Ю. Графит, ИГ и ТРГ (краткий обзор) // [www.sealur.ru](http://www.sealur.ru)
16. Фиалков А.С. Углерод, межслоевые соединения и композиты на его основе. – М.: Аспект-Пресс, 1997. – 718 с.
17. Тительман Г.И., Печкин С.В., Гельман В.Н. и др. Термическое расщепление продуктов разложения соединений внедрения графит-кислота в условиях ударного и линейного нагрева. – Химия твердого топлива, 1991, № 4, с. 79-84.
18. Ярошенко А.П., Савоськин А.В. Высококачественные вспучивающиеся соединения интеркалирования графита – новые подходы к химии и технологии. – Журнал прикладной химии, 1995, т. 68, вып. 8, с. 1302-1306.
19. Ярошенко А.П., Попов А.Ф., Шапранов В.В. Технологические аспекты синтеза солей графита (обзор). – Журнал прикладной химии, 1994, т. 67, вып. 2, с. 204-211.
20. Уманская О.И., Фаст А.А., Абаджева Р.Н. и др. Пластичные смазки на расширенном графите и различных дисперсионных средах. – Химия и технология топлив и масел, 1987, № 4, с. 14-15.
21. Уманская О.И., Абаджева Р.Н., Ищук Ю.Л. и др. Влияние физико-химических характеристик расширенного графита на свойства пластичных смазок. – Химия и технология топлив и масел, 1988, № 2, с. 32-33.
22. Санин П.И. Химические аспекты граничной смазки. – Трение и износ, 1980, т. 1, № 1, с. 45-57.
23. Костецкий Б.И., Натансон М.Э., Бершадский Л.И. Механико-химические процессы при граничном трении. – М.: Наука, 1972. – 172 с.
24. Spikis H.A., Cameron A. Scuffing as a desorption process. An explanation of the Borsoff effect. – ASLE Trans., 1974, v. 17, № 2, p. 92-96.
25. Hirst W., Stafford J.V. Transition temperature in boundary lubrication. – Proc. Inst. Mech. Eng., 1972, v. 186, p. 179-192.

26. Peart S.D., Thorp J.M. Boundary lubricant adsorption data from high speed four-ball scuffing temperature. – *Wear*, 1974, v. 27, № 2, p. 209-218.
27. Forbes E.S., Groszek A.J., Neustadter E.L. Adsorption studies on lubricating oil additives. – *J. Coll. Interface Sci.*, 1970, v. 33, № 4, p. 629.
28. Groszek A.J. Heats of preferential adsorption of boundary additives at iron oxide / liquid hydrocarbons interfaces. – *ASLE Trans.*, 1970, V. 13, № 4, p. 278-287.
29. Лашхи В.Л., Марков А.А., Виппер А.Б. и др. Изучение адсорбции присадок к маслам на металле методом микрокалориметрии. – *Нефтехимия*, 1974, т. 14, № 3, с. 491-494.
30. Марков А.А., Кичкин Г.И., Лашхи В.Л. Метод измерения работы выхода электрона для оценки эффективности действия противоизносных присадок. – *Химия и технология топлив и масел*, 1970, № 10, с. 44-47.
31. Barcroft F.T. A technique for investigating reactions between E.P. additives and metal surfaces at high temperatures. - *Wear*, 1960, v. 3, p. 440-453.
32. Barcroft F.T., Hayden J.R. Reactions of metal surfaces at high temperatures. – *Nature*, 1961, v. 189, p. 133-134.
33. Сакураи Т. Роль химии в смазке сосредоточенных контактов, *Проблемы трения*, 1981. - т. 103, № 4, с. 1-15.
34. Sakurai T., Sato K., Chemical Reactivity and Load Carrying Capacity of Lubricating Oils Containing Organic Phosphorus Compounds, *ASLE Trans.*, Vol. 13, 1970, pp. 252-261.
35. Sakurai T., Sato K., Study of Corrosivity and Correlation between Chemical Reactivity and Load Carrying Capacity of Lubricating Oils Containing Extreme Pressure Agent, *ASLE Trans.*, Vol., 9, 1966, pp. 77-87.
36. Sakurai T., Sato K., Ishida K., Reaction between Sulfur Compounds and Metal Surface at high Temperatures, *Bull Japan Petroleum Inst.*, Vol. 6, 1964, pp. 219- 228.
37. Sakurai T., Sato K., Yamamoto Y., Reaction between Chlorine Extreme Pressure Additives and Metal Surface at high Temperatures, *Bull Japan Petroleum Inst.*, Vol. 7, 1965, pp. 229-236.

38. Станиславский С.С. Разработка методов измерения охлаждающих свойств и химической активности сред по отношению к металлам и исследование возможностей их применения в технологии смазочных материалов: Автореф. дисс. канд. техн. наук – Таллин, 1981.-17 с.
39. Зенгуил Э. Физика поверхности: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 536 с.
40. Анализ поверхности методами оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии: Пер. с англ. / Под. ред. Д.Бриггса, М.П.Сиха. – М.: Мир, 1987. – 600 с.
41. Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности: Пер. с англ. – М., Мир, 1989. – 564 с.
42. Заславский Ю.С., заславский Р.Н. Механизм действия противоизносных присадок к маслам. – М.: Химия, 1978. – 224 с.
43. Заславский Ю.С. Трибология смазочных материалов. – М.: Химия, 1991. – 240 с.
44. Заславский Ю.С., Артемьева В.П. Новое в трибологии смазочных материалов. – М.: ГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2001. – 480 с.
45. Ichimaru K., Izumi N., Yano N., Konishi K. Study on scoringproof ability oils containing solid lubricant additives-ibid. v. 2, P. 1117-1122.
46. Friedrich K. Sliding wear performance of different polyimide formulations. – Tribology International, 1989, v. 22, №1, P. 25-30.
47. Fusaro R.L. Geometrical aspects of the tribological properties of graphite fiber reinforced polyimide composites. – ASLE preprint, 1982, №82-AM-5A-2, P. 1-11.
48. Пат. 1064102 Китай, МКИ С10М105/32. Refractory and antiwear rail track gease and its productive method / Shijun Zhang (Китай); Zhang Shijun (Китай). - № 19921006430; Заявл. 13.03.1992; Оpubл. 02.09.1992. - 8 с.
49. Пат. 2186835 Российская Федерация, МКИ С10М169/02. Рельсовая смазка / Шпербер Р.Е., Беляев Б.О., Шпербер Е.Р., Шпербер Ф.Р., Шпербер И.Р., Шпербер Д.Р., Шпербер Р.С. (РФ); Строительное научно-техническое малое

предприятие "ЭЗИП" (РФ). - № 2001123807/04; Заявл. 27.08.2001; Оpubл. 10.08.2002. Бюл. № 22. – 4 с.

50. *Пат. 2071500 Российская Федерация*, МКИ С10М169/04. Смазка / Бухарин М.Н., Носырев А.В., Ризун А.А. (РФ); Управление Южно-Уральской железной дороги (РФ). - № 94010142/04; Заявл. 22.03.1994; Оpubл. 10.01.1997. Бюл. № 1. – 5 с.

51. *Пат. 2009187 Российская Федерация*, МКИ С10М169/04. Смазка для рельсов / Евдокимов Ю.А. (РФ), Майба И.А. (РФ), Богданов Виктор Михайлович (РФ); - № 5012844/04, 08.07.1991; Заявл. 08.07.1991; Оpubл. 15.03.1994. Бюл. № 7. – 5 с.

52. *Пат. 2170756 Российская Федерация*, МКИ С10М169/04. Рельсовый модификатор трения / Шаповалов В.В., Щербак П.Н., Черный В.С. (РФ); Шаповалов В.В. (РФ) - № 2000102501/04; Заявл. 01.02.2000; Оpubл. 20.07.2001. Бюл. № 20. – 4 с.

53. *Пат. 2067110 Российская Федерация*, МКИ С10М169/04. Смазка для лубрикации рельсов / Евдокимов Ю.А., Майба И.А., Кротов В.Н., Богданов В.М. (РФ); Евдокимов Ю.А. (РФ). – Оpubл. 27.09.1996. Бюл. № 27. – 6 с.

54. *Пат. 2068445 Российская Федерация*, МКИ С10М169/04. Смазочное покрытие для рельсов / Евдокимов Ю.А., Майба И.А., Кротов В.Н. (РФ); Майба И.А. (РФ). - № 94021202/04; Заявл. 07.06.1994; Оpubл. 27.10.1996. Бюл. № 30. – 5 с.

55. *Пат. 2161181 Российская Федерация*, МКИ С10М159/04. Смазочная композиция для лубрикации железнодорожных рельсов / Назаров Н.С., Марютин К.А., Логинов В.М. (РФ); Иркутский институт инженеров железнодорожного транспорта (РФ). - № 99101269/04; Заявл. 15.01.1999; Оpubл. 27.12.2000. Бюл. № 36. – 4 с.

56. *Пат. 2271385 Российская Федерация*, МКИ С10М177/00. Способ изготовления смазочного стержня / Баженов М.И., Литвиненко В.Г., Шелудченко В.Г., Широглазов В.В. (РФ); Открытое акционерное общество "Приаргунское

производственное горно-химическое объединение" (РФ). - № 2004119678/04; Заявл. 28.06.2004; Оpubл. 10.03.2006. Бюл. № 7. – 7 с.

57. Пат. 1077483 Китай, МКИ С10М103/02. Solid lubricant for locomotive wheel rim / Zhonghui Zhang (Китай); Harbin Inst of science and tec (Китай). - № 19931004881; Заявл. 11.05.1993; Оpubл. 20.10.93. – 8 с.

58. Пат. 2200184 Российская Федерация, МКИ С10М159/04. Рельсовое покрытие / Головин В.Ф., Литвиненко В.Г., Баженов М.И. (РФ); АОО "Приаргунское производственное горно-химическое объединение" (РФ). - № 2001111517/04; Заявл. 25.04.2001; Оpubл. 10.03.2003. Бюл. № 7. – 5 с.

59. Пат. 2198204 Российская Федерация, МКИ С10М141/06. Твердое смазочное вещество / Мукминов В.В., Бачурин С.Е., Литвиненко В.Г. (РФ); Государственное унитарное предприятие Забайкальская железная дорога, Научно- производственное внедренческое общество с ограниченной ответственностью "Цеолит", АОО "Приаргунское производственное горно-химическое объединение" (РФ). - № 2000128110/04; Заявл. 09.11.2000; Оpubл. 10.02.2003. Бюл. № 4. – 6 с.

60. Пат. 2204586 Российская Федерация, МКИ С10М169/04. Рельсовая смазка / Головин В.Ф., Баженов М.И., Литвиненко В.Г. (РФ); АОО "Приаргунское производственное горно-химическое объединение" (РФ). - № 2001132252/04; Заявл. 28.11.2001; Оpubл. 20.05.2003. Бюл. № 14. – 7 с.

61. Пат. 1212283 Китай, МКИ С10М147/00. High-low-temp. extreme- pressure resisting special lubricant / Gao Jintang (Китай); Mao Shaolan (Китай); Lanzhou Chem Phys Inst (Китай). - № 19971018737; Заявл. 25.09.1997; Оpubл. 31.03.99. - 7 с.

62. Пат. 2065484 Российская Федерация, МКИ С10М169/04. Смазка для лубрикации железнодорожных рельсов / Шаповалов В.В., Супрун Е.В., Майба И.А. (РФ); Шаповалов В.В. (РФ). - № 94006254/04; Заявл. 17.02.1994; Оpubл. 20.08.1996. Бюл. № 23. – 5 с.

63. Пат. 2017800 Российская Федерация, МКИ С10М169/04. Антифрикционное твердосмазочное покрытие / Кожухова В.Б., Мигунов В.П.,

Максимова Р.З. (РФ); Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (РФ). - № 92013655/04; Заявл. 16.12.1992; Оpubл. 15.08.1994. Бюл. № 23. – 6 с.

64. Пат. 2059693 Российская Федерация, МКИ С10М169/06.

Полужидкая смазка для тяжело нагруженных узлов трения / Нестеров А.В., Перекрестова В.В., Елисеев Л.С. (РФ); Кусковский завод консистентных смазок, Московский нефтемазозавод (РФ). - № 93025201/04; Заявл. 28.04.1993(45); Оpubл. 10.05.1996. Бюл. № 13. – 5 с.

65. Пат. 2072390 Российская Федерация, МКИ С10М169/04. Смазочный

концентрат для смазки боковых граней железнодорожных рельсов на кривых участках пути с целью снижения износа / Белосевич В.К., Соколов В.В., Зотова И.А. (РФ); Товарищество с ограниченной ответственностью "Межотраслевая научно-производственная лаборатория" (РФ). - № 94033307/04; Заявл. 14.09.1994; Оpubл. 27.01.1997. Бюл. № 3. – 7 с.

66. Пат. 102417852 Китай, МКИ С10М169/04. Metal-free environmental

protection thread compound and preparation method thereof / Feng Tian; Fengshou Shangguan (Китай), Yaoguang Wang (Китай), Jianjun Wang (Китай), China nat petroleum Corp (Китай); Tubular goods res ct of snpc. (Китай). - № 20111322801; Заявл. 21.10.2011; Оpubл. 12.04.2012. - 4 с.

67. Пат. 101191096 Китай, МКИ С10М125/02. Thread compound /

NaifenWu (Китай); Cunqiang Pan (Китай); Xing Dan (Китай); Qiang Qiu (Китай); Liubao Ma (Китай); Weidong Yan (Китай). - № 20061118623; Заявл. 22.11.2006; Оpubл. 04.06.1998. - 8 с.

68. Пат. 2008094991 Япония, МКИ С10М101/02. Urea grease composition

/ Hayashi Kenji (Япония); Cosmo Sekiyu Lubricants (Япония). - № 20060279618; Заявл. 13.10.2006; Оpubл. 24.04.2008. - 10 с.

69. Пат. 118968 Румынии, МКИ С10М101/04. Calcium grease / M Rcu An.



- Adela Zolotu C. Constantin (Румынія); M Rcu An. Adela Zolotu C. Constantin (Румынія). - № 19980000073; Заявл. 16.01.1998; Опубл. 30.01.2004. – 3 с.
- 70.ГН 3.3.5-8-6.6.1-2002 «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу».
- 71.Буріченко Л.А., Гулевець В.Д. Охорона праці в авіації. – К.: НАУ, 2003. – 448 с.
- 72.ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
- 73.НПАОП 0.00-8.24-05 «Перелік робіт з підвищеною безпекою». Наказ Держнаглядохоронпраці від 26.01.2005 р. № 15.
- 74.Chand, R. and B. Kumar, 2017. Oil and Lubricant Hazard Effects on Human Health. IJSET -International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology.<https://www.researchgate.net/publication/317821507%0Awww.ijiset.com>. Accessed 27September 2019.
- (2) (PDF) Potential Impacts of Oil and Grease on Algae, Invertebrates and Fish in the Bujagali Hydropower Project Area. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/358823758\\_Potential\\_Impacts\\_of\\_Oil\\_and\\_Grease\\_on\\_Algae\\_Invertebrates\\_and\\_Fish\\_in\\_the\\_Bujagali\\_Hydropower\\_Project\\_Area](https://www.researchgate.net/publication/358823758_Potential_Impacts_of_Oil_and_Grease_on_Algae_Invertebrates_and_Fish_in_the_Bujagali_Hydropower_Project_Area) [accessed Nov 04 2022].
- 75.ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.
- 76.ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва.

77. Закон України «Про пожежну безпеку».

78.