

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра підтримання льотної придатності повітряних суден

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
канд. техн. наук, доц.

_____ О. В. Попов
« ____ » _____ 2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)
ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ
«МАГІСТР»

Тема: «Дослідження трибомеханічних характеристик рухомих спряжень в моторних оливах»

Виконав: _____ **П.В. Артамонов**

Керівник: д-р техн. наук, проф. _____ **Р. Г. Мнацаканов**

Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:

охорона праці: канд. техн. наук, доц. _____ **О.М. Гунченко**

охорона навколишнього

середовища: канд.техн.наук, доцент _____ **Є.О. Бовсуновський**

Нормоконтролер: _____

Київ 2021

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Аерокосмічний факультет
Кафедра підтримання льотної придатності повітряних суден
Освітній ступень «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

«___» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання кваліфікаційної роботи
АРТАМОНОВА ПАВЛА ВІКТОРОВИЧА

1. Тема роботи: «**Дослідження трибомеханічних характеристик рухомих спряжень в моторних оливах**» затверджено наказом ректора від 11 жовтня 2021 року № 2197/ст.
 2. Термін виконання роботи: з 25 жовтня 2021 року по 31 грудня 2020 року.
Вихідні дані до роботи: статистичні дані за результатами аналізу експлуатації повітряних суден нескладної конструкції, пошкодження і несправності авіаційних поршневих двигунів редукторів, наявних мастильних матеріалів, що використовуються в даних двигунах.
 4. Зміст пояснювальної записки: аналіз характерних пошкоджень і причини їх виникнення в циліндро-поршневій групі і редукторах двигунів внутрішнього згорання, аналіз мастильних матеріалів, їх властивості, що впливають на збільшення витривалості довговічності трибоспряжень двигунів розробка методики дослідження триботехнічних характеристик мастильних матеріалів і металів, що перебувають в контракті під час тертя, розробка заходів з охорони праці та навколишнього середовища.
 5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: класифікація пошкоджень і факторів які впливають на ефективність роботи двигунів і редукторів, класифікація мастильних матеріалів за призначенням і характеристиками, вимоги, що висуваються до процедур підвищення працездатності двигунів, методи випробування мастильних, універсальна машина тертя для дослідження мастильних матеріалів, результати дослідження продених для обраних мастильних матеріалів припрацювання елементів редуктора.
- Графічний (ілюстративний) матеріал виконано за допомогою Microsoft Office Excel, Power Point, САПР КОМПАС та AutoCad та представлено у вигляді презентацій.

6. Календарний план–графік

Завдання	Строк виконання	Відмітка про виконання
Аналіз основних напрямків підвищення працездатності деталей і компонентів поршневого двигуна	15.10 – 21.10.2021 р.	
Аналіз матеріалів, які можуть бути використані для підвищення надійності і довговічності конструктивних елементів поршневого двигуна Постановка задач дослідження	15.10 – 23.10.2021 р.	
Вибір методики діагностування технічного стану полімерних композиційних матеріалів	20.10 – 26.10.2021 р.	
Розробка плану експериментів дослідження змащувальних матеріалів	27.11 – 04.11.2021 р.	
Проведення досліджень та аналіз отриманих результатів	05.11 – 24.11.2021 р.	
Розробка рекомендацій щодо підвищення експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів	22.11 – 06.12.2021 р.	
Виконання окремих розділів роботи : охорона праці, охорона навколишнього середовища	17.10– 04.12.2021 р.	
Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу	25.11– 13.12.2021 р.	
Попередній захист дипломної роботи	06.12– 17.12.2021 р.	

7. Консультанти по окремих розділах

Розділ	Консультант	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Канд. техн. наук, доцент Гунченко О.М.		
Охорона навколишнього середовища	Канд. техн. наук, доцент Бовсуновський Є.О.		

8. Дата видачі завдання: « ___ » _____ 2021 року.

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Р.Г. Мнацаканов

Завдання прийняв до виконання _____ П.В. Артамонов

Реферат

Пояснювальна записка до дипломної роботи: «Дослідження трибомеханічних характеристик рухомих спряжень в моторних оливах»:

116 с., 32 рис., 3 табл., 42 посил.

Об'єкт досліджень – процес підвищення витривалості і зносостійкості конструктивних елементів поршневого двигуна.

Предмет досліджень – мастильні матеріали MC-20, Shell Helix Ultra та антифрикційні добавки на основі міді і олова.

Мета дипломної роботи – є підвищення зносостійкості важконавантажених рухомих сполучень авіаційних поршневих двигунів та зниження в них втрат на тертя за рахунок додавання присадок до базової оливи і формуванням металоміських плівок в процесі тертя.

Методи дослідження.

Триботехнічні випробування матеріалів трибосистем, фізичні методи аналізу поверхні тертя для визначення, аналіз зміни коефіцієнта тертя при додаванні антифрикційних матеріалів процесі припрацювання.

Практичне значення роботи - Запропонована маслорозчинна мастильна композиція до моторних масел, яка забезпечує формування на поверхнях тертя рухомих сполучень металоміських захисних плівок, що сприяють зниженню коефіцієнта тертя і, як наслідок, підвищенню зносостійкості трибосполучень при різному поєднанні матеріалів і зовнішнього тертя.

Проведені випробування на зносостійкість пари тертя показали, що значне зниження інтенсивності зношування, коефіцієнта тертя, а також підвищення якості поверхневого шару при утворенні на поверхнях тертя захисної оловомісткої плівки (у порівнянні з роботою металевих пар в базовій моторній оливі).

Розроблені автором рекомендації можуть бути запропоновані для підвищення працездатності конструктивних елементів поршневого двигуна.

**ДВИГУН, ПОШКОДЖЕННЯ, ОЛИВА, ПРИСАДКА,
ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, КОЕФІЦІЄНТ ТЕРТЯ**

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ ТА ІНДЕКСІВ.....	8
Вступ.....	10
АНАЛІЗ ОСНОВНИХ НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ ПАР ТЕРТЯ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ	12
1.1 Пошкодження і причини їх появи в парах тертя двигунів внутрішнього згоряння	12
1.2 Пошкодження і причини їх появи в парах тертя зубчастих передач редукторів	19
1.3 Змащувальні матеріали	24
1.4 Антикорозійні властивості змащувальних матеріалів.....	25
1.5 Роль поверхневих плівок в процесах тертя і зношування.....	27
1.6 Роль присадки для підвищення триботехнічних характеристик	29
1.7 Захисні покриття з антифрикційних матеріалів	30
Висновки до розділу 1	32
МАТЕРІАЛИ, ОБЛАДНАННЯ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОТОРНИХ ОЛИВ В ПРОЦЕСІ ТЕРТЯ	33
2.1 Методика визначення контактної втоми тіл кочення в моторних оливах	33
2.2 Виконання випробувань матеріалів циліндро-поршневих груп авіаційних двигунів внутрішнього згоряння на стендовій установці	38
2.3. Дослідження властивостей захисних металовмісних плівок на поверхнях тертя зразків.....	41
2.4 Вимірювання шорсткості за допомогою профілометра	42
2.5 Фрактографічні методи дослідження	44
Висновки до розділу 2	47
АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ МОТОРНИХ ОЛИВ	48
3.1 Дослідження процесів тертя та зношування рухомих сполучень у моторних маслах	48
3.2 Вплив швидкості ковзання на триботехнічних характеристик металевих пар тертя	51
3.3 Вплив твердості сталевого зразка на процеси тертя та зношування пари алюмінієвий сплав-сталь у моторних оліях	54

3.4 Вплив фізико-хімічних властивостей мастильних матеріалів на контактну витривалість тіл кочення	56
3.5 Вплив мастильних матеріалів на зміну мікрогеометрії поверхневого шару пари вал-втулка	58
Висновки до розділу 3	63
ОХОРОНА ПРАЦІ	64
4.1. Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів ..	64
4.1.1. Аналіз параметрів мікроклімату	64
4.1.2. Аналіз природного та штучного освітлення	65
4.1.3. Аналіз шуму та вібрації.....	69
4.2. Розробка заходів з поліпшення умов праці щодо освітлення при виконання аналізу лабораторних досліджень.....	72
4.3. Пожежна безпека	76
Висновки до розділу 4.....	85
ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	86
5.1 Негативний вплив відпрацьованих мастильних матеріалів на навколишнє середовище	86
5.2 Способи регенерації відпрацьованих мастильних матеріалів та їх апаратне оформлення	90
5.3 Розрахунок викидів речовин та парникових газів, що забруднюють атмосферу при спалюванні відпрацьованих паливно-мастильних матеріалів	92
5.4 Визначення еколого-економічних втрат від спалювання відпрацьованих паливно-мастильних матеріалів	94
Висновки до розділу 5.....	96
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	97
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	98

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ ТА ІНДЕКСІВ

CCD	- Charge-coupled device;
ІСАО	- International Civil Aviation Organization;
ККМ	- керамічні композиційні матеріали;
КМ	- композиційні матеріали;
ЛА	- літальний апарат;
ЛКП	- лакофарбове покриття;
МКМ	- металеві композиційні матеріали;
НД	- нормативна документація;
НК	- неруйнуючої контроль;
РМК	- руйнівні методи контролю;
ООН	- Організація Об'єднаних Націй;
ПКМ	- полімерні композиційні матеріали;
СВАМ	- скловолокнистий армований матеріал;
УЗ	- ультразвуковий;
ВВКМ	- вуглець-вуглецеві композиційні матеріали;
ЕОМ	- електронна обчислювальна машина;
σ_x^2	- дисперсія помилки вимірювання;
ρ	- щільність матеріалу;
(i, j)	- координати точки контролю;
$ \Delta x $	- модуль похибки вимірювань;
$A(t), A(i, j)$	- амплітуда сигналу;
E_p/\square	- питома модуль пружності;
$f(t)$	- функція часу;
F_p	- зусилля реакції сигналу;
$F_{pд}$	- зусилля реакції сигналу дефекту;
$K_1(i, j)$	- флуктуації передачі п'єзодатчиків;

- $K_2(i, j)$ - флуктуації передачі пьезопріємників;
- L_i - рівень звукового тиску в основній смузі частот вимірювань на робочому місці;
- L_{ie} - ефективність кошти в октавній смузі частот на конкретний вид шуму;
- L_p - рівень звукового тиску;
- L_w - рівень звукової потужності джерела шуму;

Вступ

Розвиток сучасного літакобудування та машинобудування в цілому нерозривно пов'язане з вдосконаленням конструкції і зростанням навантажень, що діють в спряжених парах.

Термін служби літаків, вертольотів і двигунів, які широко використовуються для перевезення пасажирів і вантажу, багато в чому визначається зносостійкістю важко навантажених трибосопрядень. Сьогодні по новому починає розвиватися мала авіація, використовують поршневі двигуни для створення необхідної тяги. Тому вони є одним із важливих елементів конструкції легкої авіації. У двигунах внутрішнього згорання (поршневих) – це перш за все знос деталей циліндро-поршневої групи, вкладишів, пари кулачок-штовхач механізму газорозподілу.

Авіаційний поршковий двигун, який також зазвичай називають поршковим двигуном і є двигуном внутрішнього згорання, який використовує один або кілька циліндричних поршнів для перетворення тиску в обертальний рух. Авіаційний поршковий двигун працює за тими ж принципами, що й двигуни більшості автомобілів. Проте модифікації, такі як системи подвійного запалювання, щоб покращити резервування та безпеку, і повітряне охолодження для зменшення ваги, були застосовані в двигунах, що призначені для використання в авіації. Турбокомпресори і, рідше, нагнітачі можуть бути встановлені в поршкових двигунах для підвищення продуктивності. Поршкові двигуни літаків найчастіше використовують авіаційний керосин, але дизельні двигуни стають все більш поширеними, особливо в легких літаках.

Як і у випадку з народним автомобілем, переважна більшість поршкових авіаційних двигунів, що використовуються сьогодні, використовують цикл Отто, винайдений Ніколаусом Августом Отто в 1876 році. Ці двигуни також називаються чотиритактними або чотиритактними, ці двигуни містять циліндр, в який вмонтовано поршень; поршень діє на колінчастий вал через шатун. Колінчастий вал, який у більшості літаків прикріплений болтами

безпосередньо до гвинта, перетворює лінійні (назад і назад) рухи поршня в обертальну роботу.

Отже, підвищення терміну служби пар тертя в авіаційних поршневих двигунах, економія паливно-мастильних матеріалів та захист навколишнього середовища є важливою технічною задачею. Одним з основних факторів при цьому є зносостійкість рухомих сполучень, що залежить не тільки від металофізичних характеристик поверхонь тертя, але і від властивостей мастильного матеріалу.

В умовах фізико-хімічної взаємодії мастильного матеріалу з поверхнею тертя рухомих спряжень одним з напрямків підвищення зносостійкості є трибомодифікація їх зони тертя шляхом формування металомістких антифрикційних і протизносних плівок.

Аналіз науково-технічної літератури свідчить про те, що основні триботехнічних досліджень запропоновано металомісткі змащувальні матеріали до моторних масел для збільшення терміну роботи тільки для одного конкретного трибоспряження двигуна.

Актуальність роботи

Дослідження зміни характеристик мікрогеометрії поверхневих шарів трибоспряжень, що працюють в моторних оливах є актуальним питанням сучасних авіаційних поршневих двигунів.

Вивчення складу, будови та товщини металомістких плівок на поверхнях тертя металевих пар, розробка практичних рекомендацій щодо підвищення зносостійкості важконавантажених рухомих спряжень пар тертя в двигунах дозволить продовжити строк служби авіаційних двигунів і знизити витрати на їх технічне обслуговування.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ ТЕРМІНУ СЛУЖБИ ПАР ТЕРТЯ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

1.1 Пошкодження і причини їх появи в парах тертя двигунів внутрішнього згоряння

Вузол тертя, як при наявності, так і при відсутності мастильної плівки, являє собою систему, в якій здійснюється безперервний обмін теплової та механічної енергії. Такий обмін здійснюється не тільки всередині системи, але і з зовнішнім середовищем. Характерним для цього процесу є:

- зменшення і більш рівномірний розподіл шорсткості поверхонь, а також перетворення структури у приповерхневих шарах;
- пряме спонтанне (відбувається саме собою) перетворення механічної енергії в тепло.

Зі збільшенням навантаження при постійному числі обертів зростають тиск згоряння і швидкість його наростання, температури днища поршня і прилеглої циліндричної частини, а також температури верхньої частини гільзи циліндра і підшипників. В результаті прискорюється зношування.

При роботі двигуна по швидкісній характеристиці, при збільшенні частоти обертання валу, зростає тепловиділення в одиницю часу і теплонапруженості деталей. Одночасно погіршується ступінь очищення циліндрів від відпрацьованих газів, посилюється догорання палива в такті розширення. В результаті підвищується температура деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ) і клапанів.

Відомо, що деталі поршневої групи в більшій частині типів двигунів внутрішнього згоряння зношуються найбільш швидко і тому за їх станом визначають необхідність ремонту. Найбільший знос спостерігається при русі поршня поблизу верхньої мертвої точки (рис.1.1).



Рисунок 1.1 – Знос верхньої частини ЦПГ авіаційного ДВС

Гільза циліндра в більшості випадків зношується в верхній частині, максимальному зносу піддається також верхнє компресійне кільце і його канавка. Це викликано впливом пилю, що проникає в циліндр з повітря; зниженням або повним порушенням гідродинамічного режиму мащення пари кільце-гільза у верхній частині ходу поршня у зв'язку зі зменшенням швидкості відносного переміщення; високою температурою і тиском газів в кільцевому просторі канавки верхнього компресійного кільця.

Отже, інтенсивність зношування визначається не сумарним шляхом поршня, що залежать від його середньої швидкості руху, а кількістю актів впливу на деталі ЦПГ, тобто частотою обертання колінчастого валу. Збільшення середньої швидкості руху поршня може виявитися корисним – сприяти зниженню зносу поршневих кілець і спрямовуючої частини поршня у зв'язку із посиленням гідродинамічного ефекту мастила в поршневій групі.

Відомо, що при роботі двигуна, в камері згорання, різке вибухове згорання в другій фазі призводить до підвищеного видавлювання масла із зазорів в парах тертя ЦПГ і підшипниках колінчастого валу. Крім того, воно викликає зниження втомної міцності деталей і особливо антифрикційного шару підшипників колінчастого валу. Абсолютно обґрунтованим слід вважати думку ряду дослідників про те, що висока жорсткість згорання більш небезпечна, ніж його короткочасно діючий максимальний тиск.

Досвід експлуатації і ремонту авіаційних двигунів внутрішнього згорання різних типів показує, що найбільш зношуються вузлами є ЦПГ, опори колінчастого валу (шийки (рис. 1.2) і вкладиші (рис 1.3)) і деталі

механізму газорозподілу.



Рисунок 1.2 – Знос шийок колінчастого валу авіаційного ДВЗ

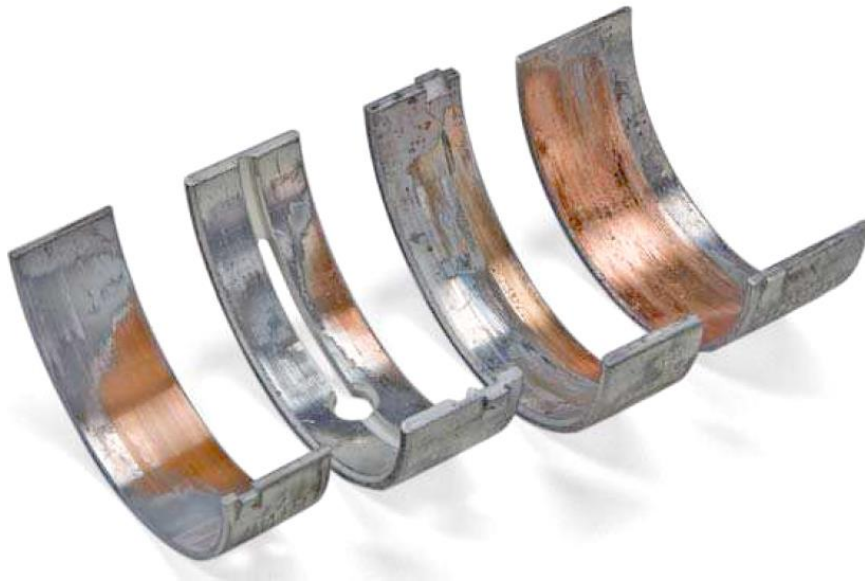


Рисунок 1.3 – Знос вкладишів опор колінчастого валу

Деталі циліндро-поршневої групи (поршневі кільця, поршень, гільза, циліндри) працюють під дією високих тисків газів, сил інерції і температури. Максимальний тиск згоряння в карбюраторних двигунах – не більше $5,5 \text{ МН/м}^2$, а , наприклад, в дизельних двигунах ще вищий і може досягати $10 \div 12 \text{ МН/м}^2$, Максимальні температури в процесі згоряння в карбюраторних двигунах 3000 К . Середні робочі температури деталей циліндро-поршневої групи в карбюраторних двигунах становлять: гільз циліндрів – до 450 К ,

чавунних поршнів – до 700 К і алюмінієвих до 550 К. Всі відомі методи форсування двигунів відбиваються, насамперед, на тисках і температурах деталей ЦПГ в зоні їх контакту. Найбільш небезпечний перепад температур, який викликає викривлення поверхонь тертя і, отже, прискорене зношування.

Труднощі підведення мастила до деталей ЦПГ відомі. Внаслідок своїх конструктивних особливостей ці деталі, як правило, змащуються лише шляхом розбризкування оливи, що впливає з шатунних і корінних підшипників колінчастого валу. У двигунах з відносно малими діаметрами циліндра, це важко здійсненне. Щодо поширеного підведення, оливи для охолодження днища поршня шляхом подачі струменя оливи з верхньої шатунної головки.

Гідродинамічний режим мащення можливий в парах тертя: кільце-гільза і спрямовуюча частина пари поршень-гільза в середній частині ходу поршня.

Поблизу мертвих точок, коли рух поршня загальмовано, гідродинамічний режим, мабуть, неможливий. Тому властивість оливи утворювати на поверхнях тертя граничні шари є для деталей ЦПГ найбільш важливим.

Електрохімічна корозія є однією із складових сумарного зносу (рис 1.4). Однак її роль значно менше, ніж абразивного зносу. Також слід зазначити, що за останні роки в паливах, призначених для авіаційних двигунів, завдяки застосуванню при їх виробництві гідроочищення, значно знизився вміст сірки. Абразивний знос деталей ЦПГ є провідним видом зношування. Цим, зокрема, пояснюється широке застосування в фільтрах для очищення повітря паперу та інших сучасних матеріалів.

Підшипники колінчастого валу працюють, як правило, в умовах гідродинамічного режиму. Отже, антифрикційні та протизносні властивості оливи визначаються в цих вузлах, в основному, тільки його в'язкістю. Порушення гідродинамічного режиму можливі в процесі пуску, при миттєвих перевантаженнях, а також при зниженій в'язкості оливи, порушення її подачі і ін. В процесі нормальної роботи в гідродинамічному режимі при певних кутах

повороту колінчастого валу, як правило, відбуваються небезпечні зближення шийки з вкладишами. При наявності стабільного гідродинамічного режиму, знос поверхонь тертя не виключається, оскільки тиски, що розвиваються масляним клином, в $2,5 \div 3$ рази перевищують середній тиск зовнішніх сил. У зв'язку з цим можлива пластична деформація приповерхневих шарів. Крім того, наявність масляного прошарку, зумовлює появу різниці потенціалів між шийками і вкладишами. В результаті виникає електростатична складова зносу.



Рисунок 1.4 – Пошкодження деталей в наслідок електрохімічної корозії

На сьогодні в реальних умовах відхилення макрогеометричних характеристик шийок, а також деформація вкладишів і вузла тертя в цілому викликають локальне порушення гідродинамічного режиму, різке підвищення температури, в результаті чого інтенсифікується зношування і можливий задир, що супроводжується порушенням антифрикційного шару.

Надійність роботи підшипникових вузлів в значній мірі визначається якістю оливи. Окрім правильно підібраної в'язкості оливи і її пологої в'язкісно-температурної залежності, велике значення мають її антикорозійні властивості і електропровідність.

Сьогодні широке застосування мають тверді підшипникові сплави (рис. 1.5), в тому числі свинцюваті бронзу, що демонструють істотно більш високі механічні властивості і твердість, ніж бабіти. Недоліки твердих сплавів щодо важкого припрацювання і відсутність здатності до поглинання твердих абразивних частинок з оливи. Крім того, при використанні таких сплавів необхідно підвищити точність обробки поверхонь тертя. Одночасно для

зниження зносу контртіла, тобто шийок колінчастого валу, в ряді випадків застосовують загартування шийок і їх хіміко-термічну обробку. Свинцюваті бронзи під дією органічних кислот в значній мірі піддаються корозії. В авіаційних двигунах поширені тришарові підшипники з антифрикційним, сплавом СОС-б-6 (сурма-олово-свинець). Все це плакують на сталевій тонкостінній основі, як результат своєї малої жорсткості добре прилягає до масивної основи підшипника.



Рисунок 1.5 – Тверді підшипники

Широко використовують алюмінієві підшипники, для яких характерна висока втомна і механічна міцність. Сплави для підшипників зазвичай легують міддю, оловом або нікелем. Застосовують лудіння вкладишів, що підвищує їх протизадирні і протизносні властивості.

В деяких двигунах широко використовують біметалічні вкладиші з антифрикційним сплавом АСМ (алюміній-сурма-магній). Цей сплав наносять прокаткою на жорстку сталеву підставку; при цьому накладають проміжний підшар з чистого алюмінію або з алюмінієвої фольги. В інші групі двигунів є сталє-алюмінієві вкладиші різного складу. Оскільки виробництво вкладишів є досить поширеним явищем і тому проводять дослідження з метою

знаходження нових видів антифрикційних матеріалів, що забезпечують високу надійність підшипникового вузла. Зокрема, перспективним є використання сплаву астма, одним з компонентів якого є телур. Такі вкладиші мають високу зносостійкість, втомної міцністю, але одночасно знижену протизадирну стійкість. Тому для подальшого підвищення надійності роботи вузлів шийки вала-вкладиш, необхідно провести дослідження по введенню в оливу високоефективних присадок, що дозволить забезпечити наявність деякої кількості резервної оливи, яка може надійти в небезпечну зону при локальному підвищенні температури.

Робота швидкозношуваних деталей авіаційних двигунів внутрішнього згорання відбувається при високих швидкостях ковзання, навантаженнях і значних температурах. За даними багатьох робіт, навантажувально-швидкісні режими, характерні для роботи рухомих сполучень двигунів внутрішнього згорання представлені в таблиці 1.1.

Таким чином, рухомі спряження циліндро-поршневої групи, підшипники ковзання, пара кулачок-штовхач працюють при високих навантаженнях і швидкостях ковзання і схильні до різних видів зношування, це забезпечується великим впливом мастильних матеріалів на щеси зношування.

Таблиця 1.1 – Умови роботи трибоспрямижень двигунів внутрішнього згорання

№ п/п	Трибоспрямиження	Тиск, МПа	Швидкість ковзання, м/с	Температура плівки оливи, °С
1.	Поршневе кільце- гільза циліндру	10	2,5	170
2.	Шийка колінчастого валу-вкладиш підшипнику	12	10	140
3.	Пара кулачок- штовхач	2000	5	150

1.2 Пошкодження і причини їх появи в парах тертя зубчастих передач редукторів

Основними видами поверхневого руйнування зубів є втомний, адгезійний, абразивний, корозійно-механічний, при заїданні.

До факторів, що визначають характер, механізм, інтенсивність, швидкість зношування зубчастих коліс, відносяться контактні напруження та температура, товщина шару оливи, механічні та фізикохімічні властивості конструкційних та мастильних матеріалів, кінематика передачі, склад навколишнього середовища та ін.

Контактна напруга на робочій поверхні зубів у закритих, рясно змащуваних і захищених від абразиву передачах змінюються за пульсаційним циклом, а в їх поверхневих шарах – за знако-змінним циклом. Тому природа руйнування – втомна, що полягає в утворенні на поверхностях зубів подібного зносу, каверн, раковин. Зазвичай викришування починається біля полюсної лінії на ніжках зубів, в області максимальних сил тертя. Втомні зародкові тріщини утворюються як на поверхні тертя, так і під поверхнею, в зоні дії максимальної дотичної напруги. При виникненні зносу поверхневих шарів втомного викришування може не бути, якщо накопичення втомних ушкоджень поступається за швидкістю і темпу зношування.

Працюючи зубчастих передач має місце обмежене втомне викришування, обумовлене періодом припрацювання коліс. З приробітком зменшуються локальні контактні напруги на мікронерівностях контактуючих поверхонь зубів, поліпшується їх прилягання. Обмежене викришування припиняється, тому воно не є небезпечним. При прогресуючому викришування скорочується площа несучої поверхні контактуючої частини зубів, зростають контактні тиски, видавлюється мастильний матеріал, збільшуються зминання, знос, може статися заїдання. Стійкість зубчастих передач до викришування залежить від напрямку сил тертя на головках зубів (випереджальних поверхнях), викришування утворюється пізніше або не виникає зовсім. Прогресивне викришування супроводжується втратою кінематичної точності,

підвищенням рівня вібрації та шуму.

Збільшення товщини шару мастильного матеріалу і зниження коефіцієнта тертя ковзання підвищують несучу здатність зубчастого зачеплення за умовою контактного втомного руйнування (викришування). Прогнозування впливу товщини мастильного матеріалу на поверхневе викришування поверхонь зубів можна виконати за залежністю [17]:

$$P_c = \frac{h_r + h_{кст}}{\sqrt{R_{a1} + R_{a2}}}$$

де h_r – товщина граничного шару мастильного матеріалу ($I_r < 0,1$ мкм);
 $h_{кст}$ – товщина контактнo-гiдрaвлiчного шару мастильного матеріалу;
 R_{a1} і R_{a2} – відповідно параметри шорсткості поверхні контактуючих поверхонь зубів коліс.

Якщо $P > (3-4)$, то мастильний шар має високу несучу здатність та робочі поверхні зубів розділені між собою. При $1 < P < 3$ режим змащування є змішаним, при якому можливе руйнування контактуючих поверхонь зубів у вигляді зношування, викришування, мікрозаїдання. Коли $P > 1$, то в контакті переважає граничне змащування, має місце контакт микронеровностей поверхонь зубів. У цьому випадку можливі різні види підвищеного зношування та заїдання, на величину яких значно впливають фізико-хімічні властивості поверхневих шарів, адгезійно-деформаційні процеси, фактична температура в дискретних плямах контакту поверхонь зубів.

У тихохідних важко навантажених зубчастих передачах при значних нормальних і дотичних зусиллях поруч із полюсною лінією має місце спотворення профілю зуба, зумовлене пластичною деформацією. На поверхнях зубів провідних коліс у напрямку дії сил тертя від полюсної лінії утворюються виступи. Змащення в цьому випадку також змінює інтенсивність протікання зазначених процесів шляхом впливу її властивостей на сили тертя в поверхнях контактуючих зубів і фізико-хімічні властивості цих поверхонь.

Поверхні зубів зубчастих передач машин різного призначення у процесі експлуатації зношуються, а не викришуються. Зношування являє собою

процес поверхневого руйнування різної природи: абразивної, адгезійної, корозійно-механічної та ін. Факторами руйнування робочої поверхні зуба є деформація стиснення та проковзування.

Інтенсивність зношування:

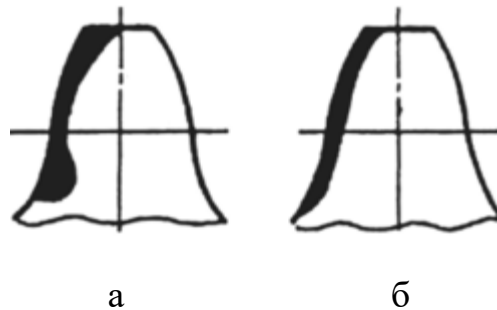
$$I_3 = \frac{dh}{dL},$$

де h –глибина зношеного шару,

L – шлях тертя ковзання.

Характерні види геометрії зношування поверхонь зубів показано на рис. 1.6. Особливістю зношування важконавантаженого зуба (рис. 1.6 а) є збільшення кількості зношеного матеріалу від полюсної частини до його периферії, до місця підвищеного ковзання. Більш рівномірним зношуванням профілів зубів відрізняються малонавантажені зубчасті пари (рис. 1.6, б). Це відноситься і до пар з твердими мастилами. У ряді випадків у швидкохідних передачах у місцях переспряження зубів утворюються вм'ятини.

Товщина зношеного шару зуба $h = I \times S$.



а - знос важконавантаженого зуба, б - знос малонавантаженого зуба

Рисунок 1.6 – Характерний вид зношування зубів коліс зубчастих передач

Підвищення температури мастильного матеріалу викликає збільшення зносу. Використання мастильного матеріалу з більш пологою температурною характеристикою (в'язкістю) зменшує залежність інтенсивності зношування від величини температури. Зростання робочого навантаження (контактної напруги) призводить до майже пропорційного збільшення інтенсивності зношування зубів.

При роботі зубчастих передач ознакою заїдання робочих поверхонь зубів є утворення на них рисок, глибоких заглибин, каверн матеріалу, наростів та оплавлень. Заїдання супроводжується, як правило, інтенсивним (катастрофічним) зношуванням. Цей процес може викликати швидку та повну втрату працездатності передачі, зварювання контактуючих поверхонь зубів.

При заїданні різко зростає коефіцієнт тертя ковзання, збільшується температура, посилюються динамічні віброакустичні процеси. При дуже високих окружних швидкостях коефіцієнт тертя ковзання через оплавлення контактуючих поверхонь зубів може збільшуватися, а передача швидко зношується. До факторів, що впливають виникнення заїдання, відносяться: навантаження, швидкість ковзання і кочення, матеріал зубчастих коліс, шорсткість контактуючих поверхонь, фізико-хімічні та реологічні характеристики мастильного матеріалу, якість і кількість присадок до базової олії, спосіб мастила, стан навколишнього середовища та ін.

Заїдання виникає завжди, коли відбувається руйнування мастильного шару, що розділяє поверхні зубів, що контактують. Зазначене руйнування може відбуватися через пластичні деформації при значних навантаженнях або зношуванні одиничних шорсткостей контактуючих поверхонь зубів, що знаходяться навіть у холодному стані, а також внаслідок втрати оливою змащувальних властивостей при підвищених температурах або внаслідок спрацьовування оливи при недостатності або відсутності її надходження в зону контакту зубів. Для холодного заїдання важливе значення має ступінь дискретності контакту зубів коліс, зносостійкість шорсткості їх поверхонь, пластичність шорсткості, схильність до утворення адгезійних зв'язків. І тут заїдання виникають при невисоких окружних швидкостях ($v < 3$ м/с).

При незначних температурах у зоні контакту зубів та деформованому зміцненні матеріалу в результаті пластичного деформування утворюються поверхневі вузли схоплювання, що мають більш високу міцність, ніж основний матеріал зубів. Матеріал руйнується в слабшому місці (на глибині), виникають задир і підвищений знос.

«Гаряче» заїдання виникає за підвищених окружних швидкостях. На появу заїдання впливають всі фактори, що викликають підвищення температури в зоні контакту зубів і потужності контактного теплового джерела. Кінетика та інтенсивність розвитку заїдання визначається як зовнішніми факторами:

- навантаження,
- температура,
- фізико-хімічні властивості мастильного матеріалу,
- стан навколишнього середовища;

так і внутрішніми:

- фізичні,
- хімічні,
- механічні,
- структурні властивості контактуючих матеріалів.

Розвиток процесу заїдання залежить від швидкості утворення та руйнування захисних шарів мастила, кінематики контакту (ковзання, кочення, кочення зі ковзанням).

Навантаження заїдання зменшується зі збільшенням ковзання у зоні контакту зростає з підвищенням швидкостей перекошування робочих поверхонь зубів. Важливе значення мають трибохімічні процеси і хімічне модифікування поверхонь, що труться, при підвищених температурах. Збільшення температури робочих поверхонь зубів викликає зниження в'язкості оливи, зменшення товщини шару мастила контактної-гідродинамічної природи, який розділяє робочі поверхні зубів, призводить до зростання коефіцієнта тертя, а тому і до теплонапруженості зношування (за інших рівних умов) відстаючої поверхні (що рухається з меншою швидкістю) завжди значно більше, ніж випереджальної поверхні. Це пояснюється різною температурою, напруженістю поверхневих шарів зубів коліс.

Стійкість коліс зубчастих передач до заїдання збільшується з підвищенням в'язкості мастильного матеріалу, швидкості кочення, зростанням

наведеного радіусу кривизни контактуючих зубів, підвищенням теплопровідності їх матеріалів, а також мастильного матеріалу та зменшується зі зростанням навантаження, підвищенням швидкості ковзання, збільшенням шорсткості робочих поверхонь зубів та температур в'язкості мастильного матеріалу.

Використання спеціальних протизадирних присадок, що забезпечують хімічну модифікацію поверхневих та приповерхневих шарів матеріалів зубів, збільшує передремонтний термін служби зубчастих передач.

1.3 Змащувальні матеріали

Змащувальні матеріали (масла, змазки), що використовуються в процесі припрацювання, викликають підвищену пластичну деформацію ділянок, до яких застосовуються високі контактні навантаження через високу шорсткість поверхонь, що утворюється при виробництві, в результаті чого збільшується несуча поверхня спряжених пар тертя.

Темп зміни мікрорельєфу при припрацюванні і якість спряжених поверхонь багато в чому визначаються властивостями змащувального матеріалу (при стабільності інших зовнішніх факторів). Процес припрацювання відбувається, як правило, при граничному змащуванні. В цих умовах, коли спряжені поверхні мають відносно високі мікронерівності, внаслідок розриву змащувального шару відбувається металічний контакт по виступам припрацьованих поверхонь. Це викликає інтенсивне пластифікування шару, зменшення коефіцієнту тертя і зміну мікрорельєфа.

При припрацюванні, а також в експлуатаційних мастильних матеріалах для зубчастих передач застосовують різноманітні сполуки присадок. Високу ефективність мають присадки хлорпарафінів з нафтенами або олеатами свинця, що в сою чергу забезпечують короткий період і високу швидкість припрацювання. Слід зазначити, що механізм дії припрацювання олив і особливо змащувальної здатності вивчений дуже слабо.

Сьогодні гостро стоїть проблема так званих матеріалів «першої заливки», тобто ті, що заливаються на заводі виробнику. До змазок «першої

заливки» висуваються дві взаємно виключні вимоги – на першому етапі припрацювання забезпечити достатній темп зношування спряжених поверхонь і крім того в умовах експлуатації забезпечити, щоб цей строк був мінімальним. Зрозуміло, що з'єднати ці дві протилежні характеристики в одному мастильному матеріалі достатньо складно і ця проблема залишається відкритою в теперішніх умовах експлуатації авіаційних двигунів в цілому.

В роботі зазначено взаємний вплив шорсткості і температурної стійкості поверхневих шарів в період припрацювання суттєвим є визначення впливу шорсткості на поведінку змащувального шару. За даними Камерона А., Асевича Т., та Гурома Р. теплота десорбції визначається не тільки властивостями мастила і матеріалом припрацювання поверхні тертя, але і її шорсткістю. Ці уявлення дають пояснення впливу шорсткості на задир і несучу здатність мастил.

1.4 Антикорозійні властивості змащувальних матеріалів

В теперішній час при оцінці загального зносу пар тертя все більшу увагу приділяють корозійним процесам. В загальний знос, окрім зносу, вносить свій внесок і корозія. Ці процеси, як правило, виникають паралельно або послідовно і, тим самим, значно інтенсифікують знос поверхонь тертя.

Корозія являє собою процес руйнування матеріалів внаслідок їх хімічної або електрохімічної взаємодії із середовищем. Визначені два типи корозії – хімічна і електрохімічна і біля сорока видів корозії.

В цілому характер і інтенсивність зносу сучасних механізмів в значній мірі залежить від антикорозійних властивостей змащувальних матеріалів. Особливо шкідливий вплив на знос пар тертя надає наявність в змащувальному середовищі води. Наявність води в картері двигуна може досягати значної концентрації до 3 – 5 % (маси). Вода, електроліт, значно інтенсифікує хімічно-електрохімічну корозію підшипників і інших поверхонь тертя. Вона стимулює інтенсифікацію корозійно-механічних видів зносу (корозійне розтріскування, пітинг, фретинг-корозію). Поєднання різних видів корозійних та

зношувальних процесів забезпечує синергетичний ефект, який значно знижує надійність та довговічність пар тертя.

Антикорозійні властивості чистих мінеральних мастил, як правило, не забезпечують надійний захист спряжених пар і корпусу двигуна внутрішнього згорання від корозії, так кисень, повітря і волога легко дифундують через масляну плівку та взаємодіють з металом. Слід зазначити, що мастило неглибокого очищення забезпечує певний захист від корозії, в той час як мастила глибокого очищення позбавлені таких властивостей.

Теоретичні принципи отримання комбінованих антикорозійних присадок другого покоління базуються на наступних функціональних мастилорозчинних ПАР:

- інгібітори корозії адсорбційного типу; що витісняють воду і швидкодіючим ПАР;
- інгібітори корозії хемосорбційного типу – донорської акцепторної дії;
- антиокислювальні і антикорозійні присадки.

Отримані по цьому принципу комбіновані присадки другого покоління НГ-107М, НГ-110Т, НГ-110М та ін. при менших концентраціях в мастилах (до 5 %) більш ефективні, забезпечуючи високі протизносні антифрикційні протизадирні властивості і концентрацію редукторів до 15 років.

Слід зазначити, що вже розроблені композиції комбінованих присадок третього покоління, які містять крім невідомих раніше функціональних ПАР, присадки з легуючими елементами. Ці присадки забезпечують високі протизносні, протизадирні і антифрикційні характеристики масел і мастил при тій самій концентрації (до 5 % мас).

В таблиці 2 представлені основні характеристики антикорозійних присадок першого та другого поколінь.

Таблиця 1.2 – Характеристики антикорозійних присадок першого та другого поколінь

№ п/п	Характеристика	АКОР-1	НГ-197М НГ-110 М
1	Концентрація, що рекомендується, % (мас)	10-20	3-5

2	Сульфатна зольність, % (мас)	3-10	0,01-0,2
3	Лужне число, мг КОН/г	60-70	0,1-5
4	Окислення вологим повітрям (при 175°C на протязі 12 год.: збільшення в'язкості мастила, % збільшення кислотного числа	5-8 10-20	0-2 0-10
5	Втрата маси пластинок, г/м ² : сталь мідь свинець	0-0,5 4-20 15-40	0-0,1 2-10 5-10
6	Температура початку розкладення на дериватографі, °C	230-240	250-280

1.5 Роль поверхневих плівок в процесах тертя і зношування

Фізико-хімічний стан поверхневих шарів деталей механізмів і машин є одним з істотних факторів, що визначають експлуатаційні характеристики вузлів тертя. Зовнішнє тертя двох твердих тіл без проміжного масляного шару, що забезпечує позитивний градієнт механічних властивостей по глибині, неможливо. Ця плівка виникає в результаті механо-фізико-хімічних процесів на фрикційному контакті, шляхом штучного нанесення, а також за рахунок впливу навколишнього середовища.

Вважається, що в результаті впливу атмосфери на поверхню металу утворюються окисні плівки, товщина яких, наприклад на сталях, становить $(10 \div 20) \times 10^{-4}$ мкм. Вивчення низькотемпературних окисних плівок на конструкційних сталях з різним вмістом легуючих елементів показало, що верхній шар цієї плівки представлений вуглецем $(10 \div 20) \times 10^{-4}$ мкм, потім йде шар з оксидів заліза, а нижній-перехідний містить залізо, як в окисленому, так і в металевому стані. Вся товщина сформованого шару на сталевій поверхні складає близько 400×10^{-4} мкм.

Якщо в змащувальному матеріалі містяться полярні групи, то на поверхнях тертя можуть формуватися адсорбційні плівки, максимальна товщина яких $(0,05 \div 0,1)$ мкм. Полярно-активні компоненти мастильного матеріалу не можуть нівелювати шорсткість технічних поверхонь, висота нерівностей яких, як правило, значно більше. Тому адсорбційна плівка відтворює мікрорельєф поверхневого шару деталей. Такі адсорбційні шари за

рахунок наявності поверхнево-активних речовин (ПАР) можуть витримувати великі нормальні тиску, проте з підвищенням температури їх орієнтація порушується товщина граничного шару залежить від навантаження, швидкості переміщення, складу і властивостей мастильного матеріалу і може варіювати від декількох до $400 \div 500$ мономолекулярних шарів і в залежності від середнього розміру молекули може складати $(0,5 \div 0,8)$ мкм.

Для поліпшення антифрикційних і протизносних властивостей мастильних матеріалів вводяться присадки, які містять сірку, фосфор, хлор, азот і т.д. Металеві поверхні в процесі тертя взаємодіють з присадками, що містяться в мастильних матеріалах, покриваються захисними плівками хімічних сполук, роль яких аналогічна окисним плівкам. У численних дослідках була показана висока ефективність присадок, що містять трихлорметильну групу. На поверхнях сталі, в залежності від умов, утворюється плівка хлоридів заліза товщиною від 15×10^{-4} мкм. До 190×10^{-4} мкм. Використання фосфоровмісних присадок забезпечує формування протизносного шару, що містить фосфат заліза товщиною порядку $(70 \div 280) \times 10^{-4}$ мкм. При введенні в мастильний матеріал сірковмісних присадок товщина плівок, що утворюються на фрикційних поверхнях, має величину $2 \div 4$ мкм. Створювані плівки в результаті хімічного модифікування поверхневого шару металу ефективно захищають поверхні тертя від інтенсивного зношування, якщо швидкість їх утворення перевищує інтенсивність їх зношування. В процесі роботи вузла тертя, плівки вторинних структур видаляються із зони контакту, оголюючи «ювенільні» поверхні металу, знову відбувається утворення захисних плівок і їх зношування. Таким чином, в таких випадках, а також при формуванні на контактуючих поверхнях окисних плівок, має місце корозійно-механічне або окисне зношування, яке супроводжується зменшенням геометричних розмірів деталей.

При введенні в мастильний матеріал деяких органічних сполук на контактуючих поверхнях утворюються полімерні плівки (рис 1.7). У процесі формування цієї полімерної плівки молекули присадки координаційно

зв'язуються з атомами металу на поверхні тертя, утворюючи металополімерний комплекс, який за рахунок своєї будови міцно утримується на поверхнях тертя. В таких випадках роль мастильного матеріалу полягає в переважній більшості в транспортуванні присадки в зону тертя, а ефективність присадки залежить від її властивостей і від властивостей утвореної нею трибopolімерної плівки, товщина якої становить $1 \div 3$ мкм.

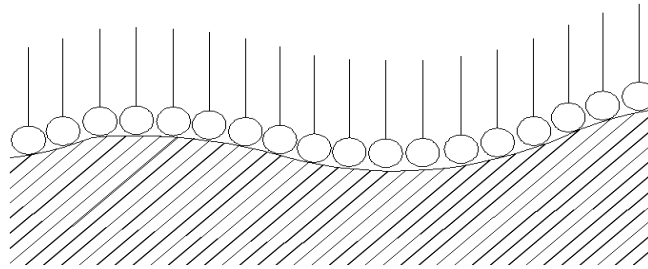


Рисунок 1.7 – Мономолекулярний шар ПАР на поверхні твердого тіла.

Вивчення протизносних та антифрикційних властивостей трибopolімероутворюючих мастильних матеріалів проводилися в роботі. Встановлено, що металовмісні композиції забезпечують нижчі триботехнічні характеристики сталевих пар.

1.6 Роль присадки для підвищення триботехнічних характеристик

В даний час для підвищення зносостійкості рухомих спряжень авіаційних двигунів внутрішнього згорання використовуються наступні методи: металомісткі мастильні матеріали, фінішна антифрикційна безабразивна обробка.

Мідномісткі присадка на основі олеата міді [Лаптев В.О. Енергетичний підхід при конструюванні антифрикційних металоплакуючих мастил для пар тертя - ковзання //Тези доп. Міжнар. наук.-техн. конф. „Зносостійкість і надійність вузлів тертя машин“. Миколаїв, 2003, С. 62—63.] додаються в мастильні матеріали. Автори прийшли до висновку про те, що в змащувальному матеріалі присутні високомолекулярні сполуки міді і ненасичені жирні кислоти.

Проведені дослідження щодо впливу мідномісткі присадки до мастильних матеріалів на процеси тертя і зношування рухливих сполучень

дозволили розробити концентрат мідьмісткої присадки МКФ-18.

Випробувань мастильних матеріалів щодо впливу мідномісткої присадки типу МКФ-18 до мастильних матеріалів на процеси тертя і зношування головного двигуна, редукторів, підшипників та інших трибосопрязених суден, що перебувають в експлуатації.

Велике значення, в підвищенні терміну служби рухомих спряжень двигуна внутрішнього згорання, має процес припрацювання. На підставі аналізу сучасних напрямків інтенсифікації процесу припрацювання, автори різних робіт приходять до висновку, що найбільш перспективним методом припрацювання рухомих спряжень двигуна є формування м'якою металомісткої плівки .

1.7 Захисні покриття з антифрикційних матеріалів

Захисні покриття з антифрикційних матеріалів широко використовуються в якості твердих мастильних матеріалів при терті. Поєднання твердої підкладки, має високий опір нормальним навантаженням, і м'якою плівки з малим опором зсуву лежить в основі механізму мастильної дії металевих покриттів.

На основі явища ефекту беззносності, що було запропоновано Гаркуновим Д.Н. і Лозовським В.Н. [Гаркунов Д. Н. Триботехника (износ и безызносность): учебник / Д.Н.Гаркунов. – М. : МСХА, 2001. – 616 с. Лозовский В.Н. Фрикционное латунирование как метод повышения антифрикционных свойств стальных деталей авиационной техники: дис. ...канд. тех. наук / В Н. Лозовский. – М. , 1961. – 179 с], були розроблені нові триботехнології: безрозбірного відновлення технічних характеристик машин і устаткування і фінішна антифрикційна безабразивна обробка (ФАБО). Процес ФАБО полягає в тому, що для попередження захоплювання і покращення процесу припрацювання, сталеві і алюмінієві деталі перед складанням покривають тонким шаром антифрикційного металу.

В даний час стосовно авіаційних двигунів внутрішнього згорання, роботи по ФАБО ведуться за наступними напрямками: способи нанесення композицій антифрикційних покриттів, до складу якого входять

антифрикційний метал та пристрої для нанесення покриттів з антифрикційними характеристиками.

Роботи по використанню процесу ФАБО для поліпшення припрацювання рухомих спряжень авіаційних двигунів внутрішнього згоряння проводяться як в нашій країні так і за кордоном. Методом ФАБО наносять антифрикційні покриття на рухомі спряження циліндро-поршневої групи двигунів внутрішнього згоряння, що дозволяє знизити їх зношування, а також значно скоротити витрату палива.

Процес відновлення трибосопрямих з використанням безрозбірної технології (вузли не розбираються) має за мету проведення технічних або технологічних заходів, що спрямовані на зміну: або працездатності до встановлених показників безрозбірного відновлення, або їх геометричних характеристик до номінальних.

В даний час композиції для рухомих спряжень авіаційних двигунів внутрішнього згоряння можна згрупувати наступним чином: полімеризуючі композиції, металоплакувальних, шаруваті добавки-модифікатори, кондиціонери металу.

У нашій країні розроблені та виготовлені металомісткі мастильні композиції відновлення технічних характеристик з використанням технології безрозбірного відновлення авіаційних двигунів внутрішнього згоряння.

Найбільш відомі закордонні металомісткі мастильні композиції «Metal-5», «ESKA», «Lubriform metal» знайшли широке використання для безрозбірного відновлення рухомих спряжень двигунів внутрішнього згоряння.

Частинки міді, цинку, свинцю, срібла містяться в складі закордонних мастильних композицій, що в свою чергу забезпечує формування металмістких плівок на поверхнях тертя.

Висновки до розділу 1

Сьогодні в світі широко розвивається авіація. На новий рівень, зокрема, виходить розвиток повітряних суден нескладної конструкції, що розраховані на переміщення незначної відстані, здійснення екскурсійних польотів, використання в агропромисловому комплексі, розвиток приватної некомерційної авіації. В більшості випадків такі повітряні судна оснащені поршневыми двигунами внутрішнього згорання і редукторами для передачі обертання на повітряний гвинт. Тому питання підтримання працездатності і довговічності двигуна і редуктора є актуальним питанням сучасної цивільної авіації. В сучасних умовах ДВЗ і редуктори повинні задовольняти технічним характеристикам та зберігати працездатність досить тривалий час,

На основі літературних даних було проаналізовано характерні пошкодження і причини виникнення авіаційних двигунів внутрішнього згорання і редукторів. Оцінено можливості використання мастильних матеріалів, а особливо їх триботехнічні характеристики, підвищення працездатності і запобігання ушкодження ДВЗ і редукторів шляхом додавання присадок до існуючих мастильних матеріалів. Такі присадки дають можливість розшири діапазон і сферу використання базових мастильних матеріалів.

Захисні антифрикційні покриття працюють у різних умовах, а саме: граничне тертя, вакуум, тертя без мастила, еластогідродинамічне тертя, при підвищених температурах, високих швидкостях, високих навантаженнях, у різних агресивних середовищах (вода, кислоти, луги, розплавлені метали, гарячі гази), інертні гази та ін.

Дослідження властивостей мастильних матеріалів з додаванням присадок залишається актуальним при розробці нових зразків авіаційної техніки.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ, ОБЛАДНАННЯ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОТОРНИХ ОЛИВ В ПРОЦЕСІ ТЕРТЯ

Технічні рішення, що підвищують термін служби вузлів тертя авіаційної техніки багато в чому визначається лабораторними випробуваннями на тертя та зношування. Це пояснюється тим, що натурні випробування вузлів тертя машин є дорогими, складними. Вони не дозволяють використовувати широкий діапазон параметрів, а також потребують тривалого часу. З цієї причини в даний час визначення антифрикційних властивостей та зносостійкості матеріалів проводять у три етапи:

- а) лабораторні випробування з метою дослідження впливу навантаження, швидкості ковзання, навколишнього середовища на антифрикційні властивості та зносостійкість матеріалів;
- б) стендові випробування для конструктивного оформлення вузла тертя;
- в) промислові (натуральні) випробування, які є оцінкою експлуатаційних властивостей вузла тертя.

За результатами третього етапу судять про довговічність вузла тертя, в якому використовується новий конструкційний або мастильний матеріал.

2.1 Методика визначення контактної втоми тіл кочення в моторних оливах

Провідним видом зношування тіл кочення є втомне руйнування, яке залежить від складного напруженого стану активних обсягів металу біля поверхні тертя і властивостей поверхневого шару при повторно-змінних навантаженнях, що викликають пластичний перебіг металу. Втомні ушкодження зароджуються в області дислокаційних недосконалостей кристалічних ґраток та інших концентраторів напружень.

Властивості мастильного матеріалу впливають на утворення та розвиток втомних руйнувань як у бік підвищення терміну служби вузла тертя так і зниження працездатності пар тертя.

Вибір установки для дослідження впливу металовмісних мастильних матеріалів на контактну витривалість тіл кочення при статичному навантаженні проводився за принципом фізичного моделювання, що передбачає можливість створення високого контактного напруження, а також відтворення провідного виду зношування.

Моделювання умов, що існують у високонавантажених вузлах тертя, легко здійснюється на чотирикулькових машинах тертя. На даній машині використовуються зразки із стандартних куль, що виготовлені з високою точністю. Це дає можливість значно зменшити розкид даних, що має місце при втомних випробуваннях і дозволяє скоротити кількість необхідних експериментів. Крім того, у вузлі тертя чотирикулькової машини можна створити високу контактну напругу. Перераховані переваги, які має чотирикулькова машина тертя, пояснює вибір її для випробувань щодо оцінки впливу мастильних матеріалів на контактну витривалість куль зі сталі ШХ-15.

На підставі вищевикладеного, нами обрано машину тертя типу УМТ-3, де замість типової схеми «кільце-кільце» було встановлено тримачі, що забезпечують моделювання стандартного контакту чотирикулькової машини. Фото машини УМТ-3Т представлено на рис. 2.1, а схема її роботи – на рисунку 2.2. Дана машина тертя призначена для дослідження матеріалів покриттів і властивостей мастильних матеріалів при високих температурах і в різних газових середовищах.

Технічні дані машини тертя:

Максимальна частота обертання зразків n , об /хв	3000
Нормальне осьове навантаження P , кгс	10 ... 400
Об'ємна (задавана) температура вузла тертя T_c , °С	20 ... 1400

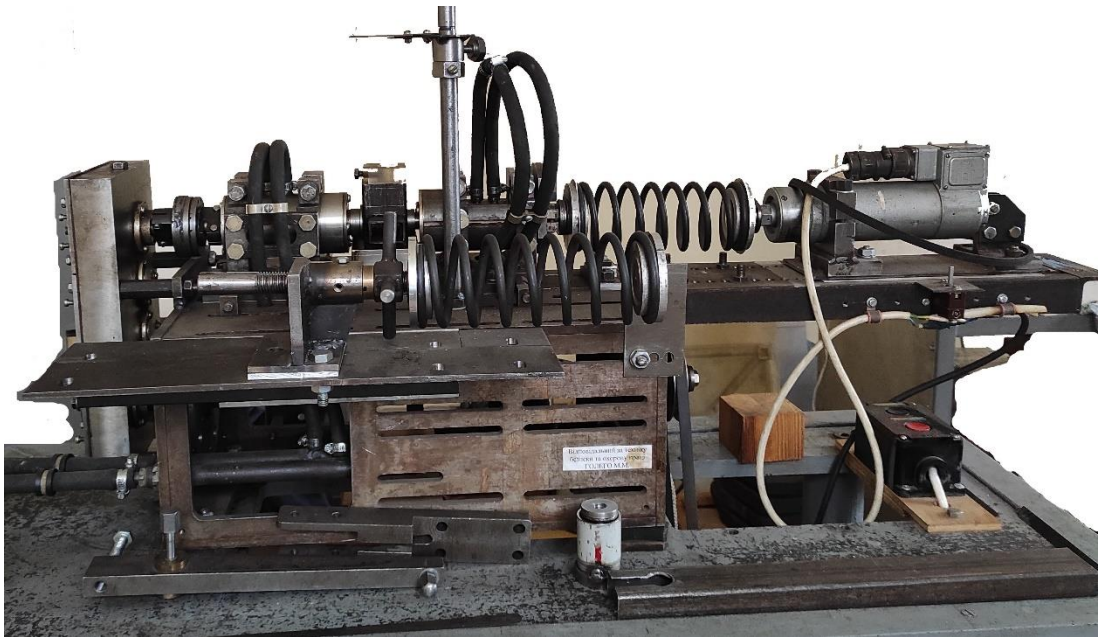


Рисунок 2.1 – Загальний вид машини УМТ-3Т

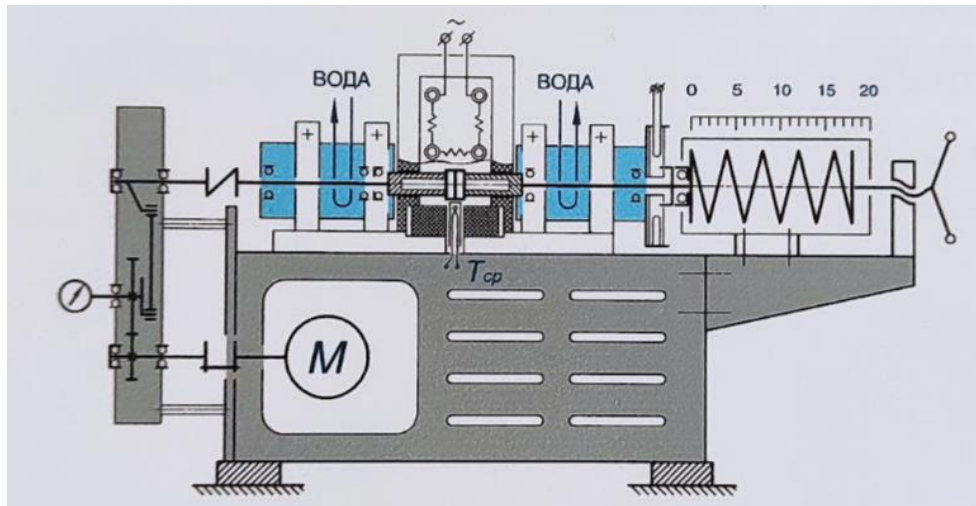
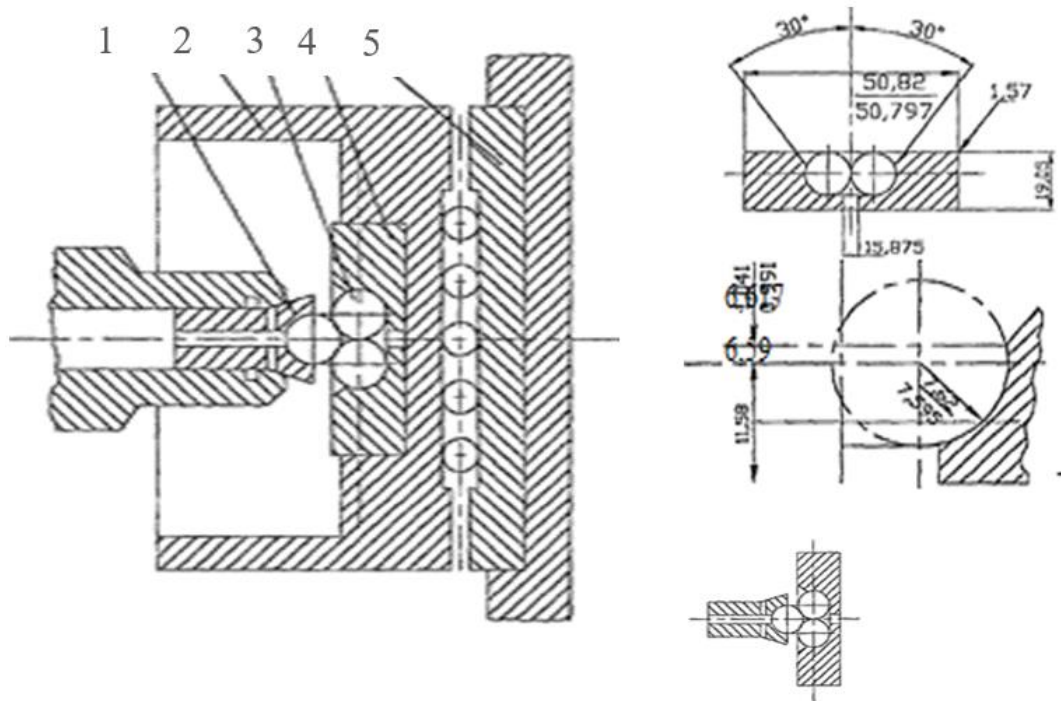


Рисунок 2.2 – Схема роботи машини УМТ-3Т

Вузол тертя якої представлений на рис. 2.3.

При випробуванні мастильних матеріалів в режимі тертя кочення вузол є пірамідою з чотирьох куль, три з яких є її основою (праворуч) і можуть вільно обертатися в спеціальній оправці 4. Три праві кулі притискаються до лівої кулі 1 із заданим навантаженням. Ліва куля, що знаходиться наполовину в оправці, що обертається, приводить в рух нижні кулі. Аналіз схеми випробувальної машини дозволяє відзначити, що є умови для тертя кочення, при яких куля, закріплена в патроні, що обертається, виконує роль кільця підшипника. На ньому в процесі випробувань, у зоні

контакту з правими кулями, утворюється кільцева доріжка, а також мають місце втомні викрашування, початок яких фіксується спеціальним датчиком.



1 – обертальна куля, 2 – випробувальна камера, 3 – три кулі основи,
4 – оправка, 5 – упорний шарикопідшипник

Рисунок 2.3 – Схема контакту в машині тертя

Експерименти з впливу мастильних матеріалів на контактну витривалість куль на машині тертя УМТ-3Т виконували відповідно до інструкції в наступній послідовності:

- а) включали подачу повітря до мастильного агрегату та перевіряли швидкість потоку рідини через оглядове вікно;
- б) до включення машини тертя мастильний агрегат працював менше 15 хв;
- в) підключали датчик вібрації, включали двигун машин тертя і при 1000 об/хв шпинделя двигун працював на холостому ході 15 хв з метою прогріву;
- г) промивали оправку та висушували кулі;
- д) встановлювали кулю 1 в цанговий патрон, а потім цангу з кулю 1 в конус шпинделя;

е) встановлювали три чисті кулі 3 в спеціальну оправку 4 , заливали випробуваним мастильним матеріалом (10 мл); оправка з кулями 4 розташовувалася між упорним шарикопідшипником 5 і лівою кулею 1;

ж) включали двигун; частоту обертання встановлювали рівну 1000 об/хв, через 30 с починали навантаження вузла тертя; включали годинник;

з) впродовж експерименту проводили коригування числа обертів шпинделя; при настанні піттингу вібродатчик автоматично відключав двигун та годинник;

і) час до настання піттингу фіксували; виймали оправку з кулями 3, а також лівою кулею 1, промивали їх, висушували та вивчали;

к) якщо піттинг на лівій кулі не утворився, експеримент повторювали.

Датчик вібрацій відключає випробувальну установку після початку втомного руйнування поверхневого шару кулі, а на світловому табло відзначається час роботи вузла тертя кочення.

Випробувальна машина УМТ-3Т розрахована на таке осьове навантаження, яке дає можливість максимально знизити зносостійкість куль у режимі кочення навіть для мастильних матеріалів найвищої якості.

Під навантаженням машина тертя може працювати безперервно 60 хв, якщо за цей час втомні руйнування тіл кочення не настали, то необхідно збільшити навантаження.

Проведені нами методичні експерименти показали, що досліджувані в роботі мастильні матеріали при випробуванні в режимі тертя кочення куль при частоті обертання шпинделя 1000 об/хв та осьовому навантаженні 600 Н задовольняють вимоги тривалості експерименту. Вплив мастильних матеріалів на контактну витривалість тіл кочення оцінювалося нами числом циклів навантаження до втомлених руйнувань.

Обробку результатів експериментів проводили згідно з методикою обрахунку результатів для машини тертя УМТ-3Т. З кожним мастильним матеріалом ми провели 3 експерименти. Отримані значення кількості циклів

навантаження до втомного викришування на доріжці кочення лівої кулі заносили в таблицю. Потім будували криву, середні значення якої відповідали значенням числа циклів до настання втомного викрашування на шляху кочення верхньої кулі з 50%-ної ймовірності достовірності (рис. 2.4).

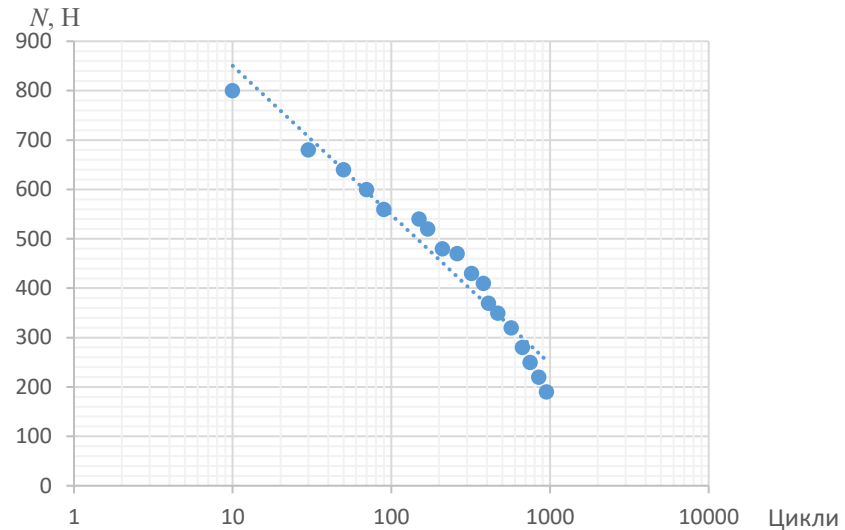


Рисунок 2.4 – Графік контактної втоми досліджених тіл кочення в дослідній оливі

2.2 Виконання випробувань матеріалів циліндро-поршневих груп авіаційних двигунів внутрішнього згоряння на стендовій установці

У цьому дослідженні нами було проведено стендові випробування впливу мастильних матеріалів на триботехнічні характеристики пари кільце-гільза двигунів внутрішнього згоряння.

Кінематична схема тертя машини представлена на рис. 2.5.

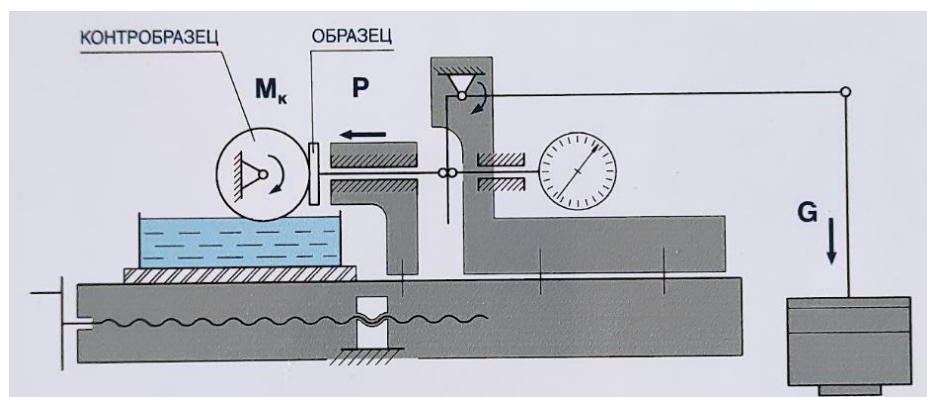


Рисунок 2.5 – Схема пристосування ПТ-4Ц для дослідження пари циліндр – кільце

З метою дослідження протизносних властивостей моторних оливо, було використано методику дослідження протизносних властивостей мастильних матеріалів та малов'язких рідин за схемою «циліндр - площина» з трибоконтактом по твірній циліндра.

У парах, що випробовуються, зразок вирізаний із алюмінієвого циліндра, що імеує нерухомий елемент (рис. 2.6), контрзразок – ролик діаметром 60 мм виготовлений з матеріалу кілець або його аналога (рис. 2.7).



Рисунок 2.6 – Зразок матеріалу циліндра



Рисунок 2.7 – Зразок-кілець

Матеріал компресійних кілець – сталь 51CrV4 (аналог 50ХФА) з покриттям хромом, матеріал циліндра – алюмінієвий сплав 46200 AlSi8Cu3 (аналог АК8М).

Методику досліджень реалізовано на приладі тертя типу «ПТ-4Ц» та пояснено схемою випробувань моторних оливо, яку подано на рис. 2.8. До обертально рухомого контрзразка – циліндра притискається плоский зразок з

заданим нормальним навантаженням у визначеному рідкому середовищі. Умови мащення можуть забезпечуватись шляхом занурення частини контрзразка у ванну з мастильним матеріалом або шляхом поливання через систему мащення приладу тертя. У результаті тертя робоча поверхня зразка зношується і утворюється вироблення у вигляді лунки. Після випробування на зразку вимірюються геометричні розміри вироблення і розраховуються параметри лінійної та об'ємної інтенсивності зношування.

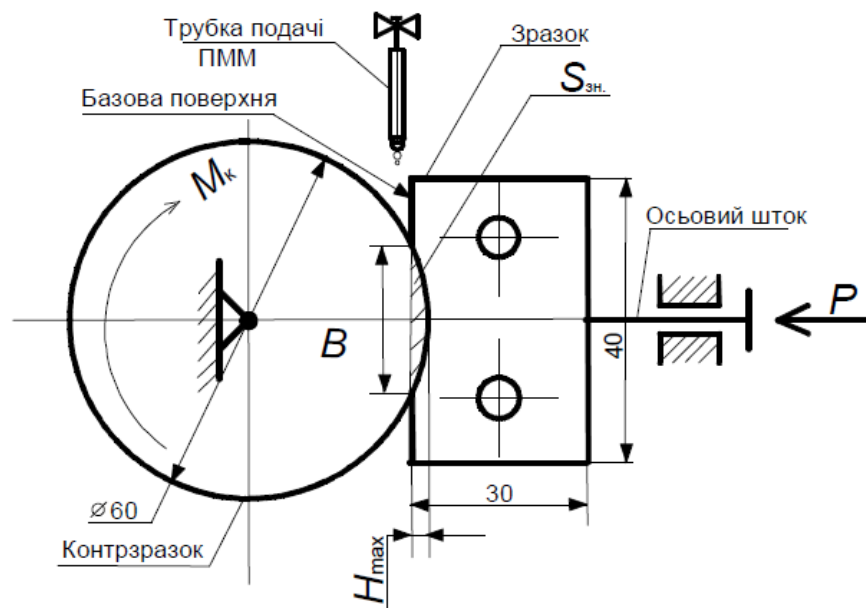


Рисунок 2.8 – Схема випробувань протизносних властивостей моторних оливок, реалізована на приладі тертя «ПТ-4Ц»

У якості відомої сертифікованої методики випробувань моторних оливок було вибрано чотирьохетапну методику та машину тертя для проведення досліджень за цією методикою, які розроблені в Національному авіаційному університеті. Машина тертя діє за схемою Тімена (диск – площина), яка реалізовує лінійний контакт та моделює трибопару «вал – втулка».

Для дослідження поверхонь тертя в динамічному режимі використано комплекс для вивчення трибологічних характеристик при корозійно-механічному зношуванні матеріалів. Технічні умови комплексу дозволяють робити фотографічні знімки та відео зйомку поверхневих перетворень у динамічному режимі.

Для планування експерименту, проведення статистичної обробки результатів досліджень та оптимізації математичної моделі обрано методи математичної теорії планування експерименту та обробки результатів досліджень з використанням комп'ютерної техніки.

Припрацювання пар тертя перед дослідження проводилося при навантаженнях 2÷5 МПа впродовж 5 годин. Випробування проводили у ванночках з досліджуваною оливою, при повному зануренні робочих поверхонь в мастильні матеріали. Після припрацювання та роботі за заданих навантажень зразки знімали, промивали в бензині та просушували. На зразках - кільцях за допомогою світлового мікроскопа вимірювали довжину та ширину площі контакту, що утворилася під час тертя.

Для визначення порівняльних триботехнічних характеристик оливи пари тертя досліджували при ступінчастому підвищенні тиску: з 10 до 60 МПа через 5 МПа, і з 60 до 140 МПа через 10 МПа – впродовж 5 годин на кожному із етапів випробування. Гранично допустимий тиск для кожної з досліджуваних олив, визначали щодо підвищення значень коефіцієнтів тертя, підвищення зносу або по появі вібрацій.

Зразки для досліджень були вирізані з матеріалу реальних деталей. Як критерій зносостійкості була прийнята інтенсивність зношування:

$$I = \frac{h}{L},$$

де: h - величина зношеного шару шлях тертя L .

2.3. Дослідження властивостей захисних металовмісних плівок на поверхнях тертя зразків

Фізико-хімічний стан зони тертя рухомих є одним з основних факторів, що визначають експлуатаційні характеристики трибоспряджень машин та обладнання. При терті поверхонь, які складаються з безлічі виступів і западин, на виступах мікронерівностей виникають напруження. Внаслідок такої взаємодії мікровиступів має місце інтенсивне їх руйнування, а також пластичне деформування тонкого поверхневого шару.

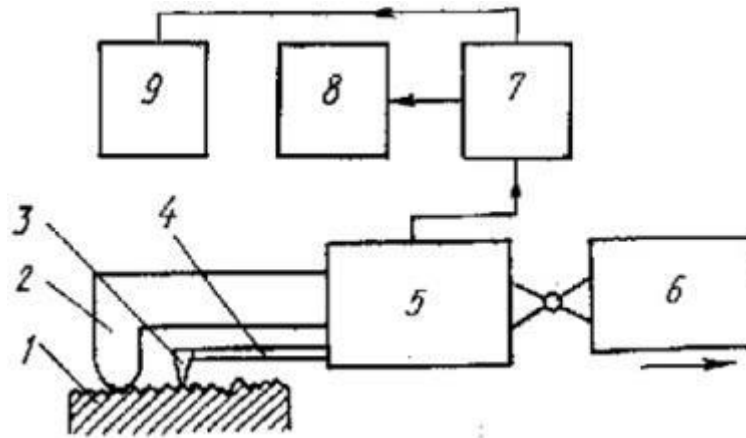
У процесі тертя контактуючих поверхонь відбувається формування нових поверхневих мікронерівностей, відмінних від початкових. Поверхнево-активні речовини мастильного матеріалу взаємодіють із металом і формують захисні плівки. Наявність у мастильному матеріалі антифрикційного металу веде до формування на поверхнях тертя трибоспряжень металовмісних плівок, які заповнюють мікронерівності поверхневого шару, що призводить до підвищення якості поверхні і зміни характеристик взаємодії трибоспряження.

Результати дослідження впливу деяких умов тертя на величину припрацьованої шорсткості дослідних зразків вказують на те, що швидкість ковзання, твердість зразків також практично не здійснюють впливу на рівновісну шорсткість. Найбільший вплив на характеристики припрацьованої шорсткості здійснює навантаження.

2.4 Вимірювання шорсткості за допомогою профілометра

У роботі було виконано дослідження щодо впливу мастильних матеріалів на зміну характеристик мікрогеометрії зони тертя зразків із використанням профілографа-профілометра TL-90.

Профілометр – прилад, який призначається для вимірювання шорсткості контактним методом. Контактний метод означає, що по досліджуваній поверхні переміщається спеціальна алмазна голка, що коливається від нерівностей поверхні. Такі коливання голки передаються на датчик, де перетворюються на малі електричні струми, які, своєю чергою, посилюються гальванометром і реєструються. Покази виводяться на дисплей приладу і дають уявлення про характер нерівностей досліджуваної поверхні – їх висоту та глибину. Схема виміру представлена на рисунку 2.8.



1 – деталь, 2 – опора, 3 – алмазна голка, 4 – важіль, 5- механотронний перетворювач електричних сигналів, 6 – блок керування перміщенням голки, 7 – підсилювач сигналів, 8 – індикатор, 9 – записуючий пристрій

Рисунок 2.8 – Схема вимірювання параметрів шорсткості за допомогою профілометра

У процесі вимірювання поверхня деталі 1 обмацується алмазною голкою 3, закріпленої на важелі 4, коливання якого за допомогою індуктивного або механотронного перетворювача 5 перетворюються на електричні. У вимірювальній схемі 7 ці сигнали посилюються, інтегруються по переміщенню і передаються на індикатор 8, градуйований у значеннях R_a або (без інтегрування) на записуючий пристрій 9. Переміщення, що необхідно для вимірювання, задаються механізмом 6. При цьому корпус перетворювача, шарнірно пов'язаний з цим механізмом переміщення, пристрій додатково спирається на поверхню деталі за допомогою опори 2, ширина якої достатня, щоб не реагувати на мікронерівність деталі.

Радіус огинання мікронерівностей голкою – від 2 до 12 мкм. При скануванні можливі відскоки голки та пластичні деформації мікронерівностей. Все це призводить до більших похибок при вимірах (в середньому $\pm 10\%$). Чим менше R_a тим менш достовірна інформація про реальний профіль, одержувана за допомогою щупового приладу.

2.5 Фрактографічні методи дослідження

Фрактографія нині займає важливе місце у науці металів, вона використовується як науковий метод оцінки енергоємності процесу руйнації.

Фрактографія – засіб діагностики зруйнованих ф зношених деталей.

Значення фрактографії для матеріалознавства визначається тим, що вона, по-перше, є ефективним засобом аналізу причин експлуатаційних пошкоджень, у тому числі при проведенні автомеханічної експертизи, а по-друге, забезпечує отримання інформації щодо мікромеханізмів руйнування та внутрішніх та зовнішніх особливостей структури матеріалу.

Фрактографічний метод є одним з небагатьох, здатних відповісти на питання про причини та механізм порушення суцільності матеріалу.

Фрактографічний метод дослідження передбачає знаходження зв'язку будови матеріалу з умовами деформування, руйнування та встановлення зв'язку будови дослідно часитини і метало-графічної структури металу. Обидва ці підходи взаємно доповнюють один одного і дозволяють за допомогою методу фрактографії вирішувати важливі завдання, пов'язані із встановленням характеру та причин руйнування при експлуатації, оцінкою якості та структури матеріалу, вивченням закономірностей процесу зношування, впливом конструктивних, технологічних, структурних та інших факторів на руйнування.

Фрактографічний метод дослідження передбачає отримання якісної та кількісної інформації про структуру досліджуваних поверхонь шляхом візуального їх розгляду, а також за допомогою світлових та електронних мікроскопів [2, 4, 9-11]. Дослідження зламів неозброєним оком або за невеликих збільшеннях (до 60–120 крат) дозволяє отримати загальну картину процесу руйнування (макрофрактографія). Можливість більш детального та повного вивчення рельєфу поверхні тертя або шліфа, поперечного перерізу досліджуваного об'єкта при використанні більш значних збільшень до кількох тисяч і десятків тисяч кратів (мікрофрактографія).

Мікроскопічний фрактографічний аналіз здійснюється із застосуванням світлових, що просвічують (ПЕМ) та растрових (РЕМ) мікроскопів.

Електронні мікроскопи. Світлова фрактографія досліджуваної поверхні передбачає використання світлових мікроскопів зі збільшенням від 100 до 1500 разів. При використанні ПЕМ зображення поверхні зламів одержують за допомогою реплік. РЕМ дозволяє безпосередньо вивчати поверхні тертя без зняття реплік.

Основні типи рельєфу поверхні тертя, що становлять предмет фрактографії як науки: скол, задир, знос, ямки, викришування, схоплення, зміна рельєфу, хімічних або термічний вплив.

Залежно від технічних можливостей та завдань дослідження аналіз поверхонь тертя може бути проведений на макро- та мікрорівні або із залученням всього діапазону збільшення.

Корисність фрактограм визначається тією інформацією, яка може бути отримана під час її вивчення. За фрактограмою можна судити про умови навантаження, вплив температури та зовнішньої середовища, осередку руйнування та процесів утворення тріщини до остаточного руйнування.

Фрактографію застосовують також щодо механізму і кінетики руйнування. У цьому випадку поверхню тертя насамперед пов'язують з умовами навантаження та параметрами зношування: характером напружено-деформованого стану, швидкістю ковзання або кочення, видом та схемою використаних навантажень тощо.

Враховуючи вплив зовнішніх факторів навантаження на поверхні тертя, слід також брати до уваги стан та властивості матеріалу. Особливо доцільним є дослідження пар тертя для встановлення зв'язку структури матеріалу і з середовищем мастильного матеріалу. Для цих досліджень доцільно використовувати електронні та оптичні мікроскопи.

При вивченні кінетики процесів тертя, спостереження за зонами тертя доцільно доповнити фрактографічними дослідженнями хоча б тому, що характеристики процесів тертя та зношування (швидкість, характер

зношування) на поверхні та в приповерхневих шарах досліджуваних зразків можуть істотно відрізнятись.

При візуальному огляді встановлюють макроорієнтованість поверхні руйнування, тобто зв'язок її з дією нормальних або дотичних напружень.

Оптична фрактографія передбачає використання оптичних мікроскопів зі збільшенням від 100 до 1500 крат.

Електронний мікроскоп із значно більшою глибиною різкості зображення, ніж оптичний, високою роздільною здатністю, можливістю широкого діапазону збільшення є досконалий інструмент для вивчення поверхонь руйнування. Електронний мікроскоп – прилад, що дозволяє отримувати зображення об'єктів, використовуючи їх освітлення електрон. Ці переваги електронних мікроскопів сприяли поширенню електронної фрактографії останніми роками.

Для електронно-фрактографічних досліджень найбільш широко використовується інтервал збільшень від 2000 до 15000. 2000 до 5000 зазвичай застосовують при оглядовому аналізі поверхні шліфа, великі збільшення – при більш тонкому дослідженні.

Крім хімічного складу поверхневих плівок, що сформувалися в процесі взаємодії тріади тертя, великий інтерес представляють дослідження органічних сполук, так званих самоорганізуючих плівок (СОП), що знаходяться в зоні тертя рухомих сполучень. Метод дозволяє вивчати пошарово елементний склад та хімічний стан аморфних та кристалічних матеріалів. Аналіз електронного становища ліній ЕСХА, залежить від валентного стану відповідного атома, дає інформацію про характері хімічного зв'язку в молекулах.

При вивченні розподілу елементів за глибиною зразків, зношених в моторному маслі МС-20 з присадкою Ремол-2,

Висновки до розділу 2

На основі огляду літератури та аналізу класифікації методів дослідження спряжених пар тертя необхідно враховувати різні фактори. Зокрема контактне навантаження, швидкість ковзання, кочення або їх поєднання.

Будь-які трибологические дослідження неможливі без використання випробувальної техніки. Надійність машин тертя, їх простота конструкції, зручність в обслуговуванні і зняття необхідних експериментальних параметрів, а так само можливість якісного проведення експерименту, сприяє отриманню точних досліджуваних параметрів. У зв'язку з цим одним з варіантів поліпшення якості лабораторних досліджень є модернізація існуючих машин тертя.

При дослідження необхідно враховувати прояв втомного викришування матеріалів під дією циклічного навантаження на пару тертя. В роботі було запропоновано адаптацію існуючої установки УМТ-3Т для дослідження контактної втоми зразків за умови відповідного використання матеріалів зразків.

Схема натурального випробування реалізовано на приладі тертя ПТ-4Ц установки дозволяє виконувати натурні випробування оригінальних матеріалів для дослідження триботехнічних характеристик як мастильних матеріалів так і матеріалів металів, що входять до складу трибоспряження.

ГЛАВА 3

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ МОТОРНИХ ОЛИВ

3.1 Дослідження процесів тертя та зношування рухомих сполучень у моторних маслах

Вплив питомого навантаження на процеси тертя та зношування металевих пар у мастильних матеріалах.

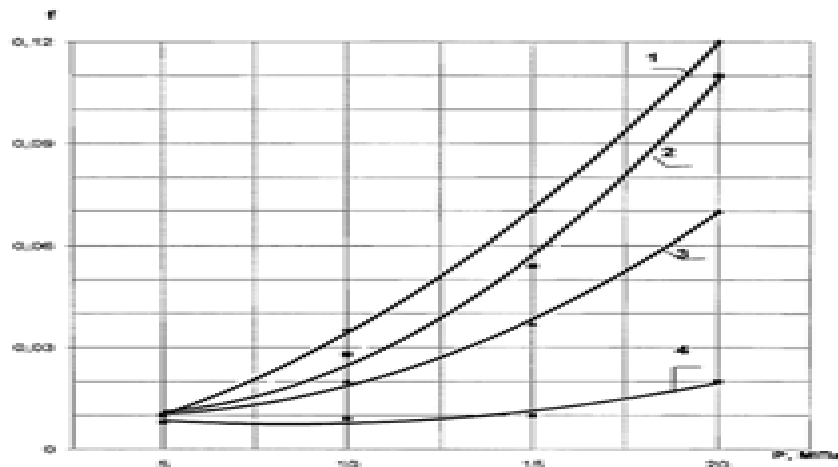
Навантажувально-швидкісний режим при зношуванні трибосполучень надає важливий вплив на характер та інтенсивність протікання механо-фізико-хімічних процесів на контакті. У зв'язку з дискретністю контакту основним параметром умов тертя та зношування рухомих сполучень є питомий тиск. Збільшення питомого тиску веде до зростання глибини поверхневого шару матеріалу, який бере участь у процесі тертя, що важливий вплив на триботехнічні характеристики трибосполучень.

Вплив моторних масел на тертя та зношування пари алюмінієвий сплав-сталь від питомого навантаження оцінювали на шляху тертя 2000 м, при швидкості ковзання 1 м/с, в діапазоні 5÷60 МПа. Як об'єкти досліджень були взяті такі мастильні матеріали: масло моторне МС-20; масло моторне МС-20 з присадкою Ремол-2, основу якої складають дрібнодисперсні частинки міді, і яке, відповідно до рекомендацій, представлених у роботі , вводили в кількості 0,1% від обсягу; олива «Shell Helix Ultra», а також олива МС-20 з оловомісткою мастильною композицією.

Попередніми методичними експериментами було встановлено, що оптимальний вміст оловомісткої присадки в моторній оливі МС-20 становить 2 ÷ 4% від загального об'єму. В експериментальних дослідженнях оловомістку мастильну композицію вводили в моторну оливу в кількості 2,5% від об'єму.

На рис. 3.1 представлені дані щодо впливу питомого навантаження на коефіцієнт тертя пари алюмінієвий сплав (АК8М, $R_a = 0,30$ мкм) - сталь (50ХФА, $R_a = 0,60$ мкм, HRC 55) у моторних оліях. Слід зазначити, що при питомому навантаженні 5 МПа та швидкості ковзання 1м/с на шляху тертя

3000 м. у всіх досліджених у роботі мастильних матеріалах коефіцієнт тертя становив близько 0,01.



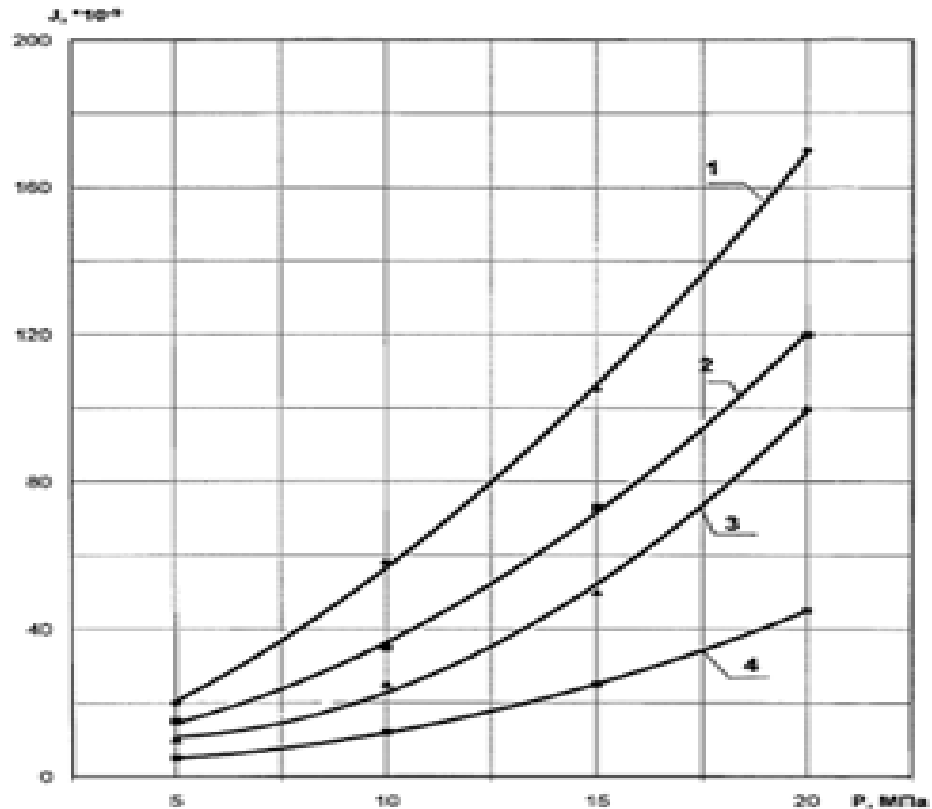
- 1 – МС-20; 2 – МС-20+0,1% з присадкою Ремол-2; 3 –Shell Helix Ultra;
4 – МС-20+2,5% оловомісткої присадки

Рисунок 3.1 – Графік залежності коефіцієнта тертя пари від питомого навантаження

При зношуванні пари вал – втулка у моторному маслі МС-20 підвищення питомої навантаження від 5 до 20 МПа веде до значного збільшення коефіцієнта тертя. Якщо при питомому навантаженні 10 МПа коефіцієнт тертя пари алюмінієвий сплав-сталь мав значення 0,04 то при питомому навантаженні 20 МПа його величина підвищилася в 3 рази. Як видно з представлених даних введення в моторне масло МС-20 0,1 % від об'єму присадки, що містить мідь, забезпечує зниження коефіцієнта тертя пари алюмінієвий сплав-сталь в $1,3 \div 1,4$ рази в діапазоні питомих навантажень $10 \div 20$ МПа в порівнянні з роботою вузла тертя в базовій моторній олії. Коефіцієнт тертя пари вал – втулка, що працювали в моторній оліві «Shell Helix Ultra», в діапазоні питомих навантажень $10 \div 20$ МПа має більш низькі величини в порівнянні зі значеннями, що отримані при зношуванні зразків, як у базовій моторній оліві, так і в оліві з присадкою Ремол-2. При зношуванні пари алюмінієвий сплав-сталь в моторному маслі МС-20 з 2,5 % оловомісткою присадки в діапазоні питомих навантажень $5 \div 15$ МПа коефіцієнт тертя має

величину 0,009. Подальше підвищення питомої навантаження до 20 МПа веде до збільшення коефіцієнта тертя до 0,02.

Результати досліджень інтенсивності зношування пари алюмінієвий сплав-сталь у моторних оливах представлені на рис. 3.2.



- 1 – МС-20; 2 – МС-20+0, 1% з присадкою Ремол-2; 3 –Shell Helix Ultra;
4 – МС-20+2,5% оловомісткої присадки

Рисунок 3.2 – Графік залежності інтенсивності зношування досліджуваної пари від питомого навантаження у моторних оливах

Аналіз отриманих даних свідчить про те, що підвищення питомого навантаження від 5 до 20 МПа у всіх досліджених мастильних матеріалах веде до збільшення інтенсивності зношування пари вал – втулка. Виконані експерименти показали, що найбільшою інтенсивністю зношування характеризується пара алюмінієвий сплав, що працювала в базовій моторній олії МС-20 масло моторне МС-20 + 2,5 % оловомісткою присадки.

Наявність в моторній оливі присадки міді призводить до зниження інтенсивності зношування пари вал – втулка в 1,4 і більше рази в дослідженому діапазоні зміни питомих навантажень.

Інтенсивність зношування пари алюмінієвий сплав-сталь в маслі «Shell Helix Ultra» має більш низькі значення в порівнянні з величинами, отриманими при роботі пари вал – втулка у базовому моторному маслі МС-20 і в маслі з присадкою, що містить мідь.

З даних, поданих на рис. 3.2 видно, що введення в моторне масло оловомісткої присадки сприяє підвищенню зносостійкості пари алюмінієвий сплав-сталь. Інтенсивність зношування пари вал – втулка в маслі МС-20 з 2,5 % оловомісткої присадки в діапазоні питомих навантажень 5 ÷ 20 МПа значно нижче, ніж в інших мастильних матеріалах.

3.2 Вплив швидкості ковзання на триботехнічних характеристик металевих пар тертя

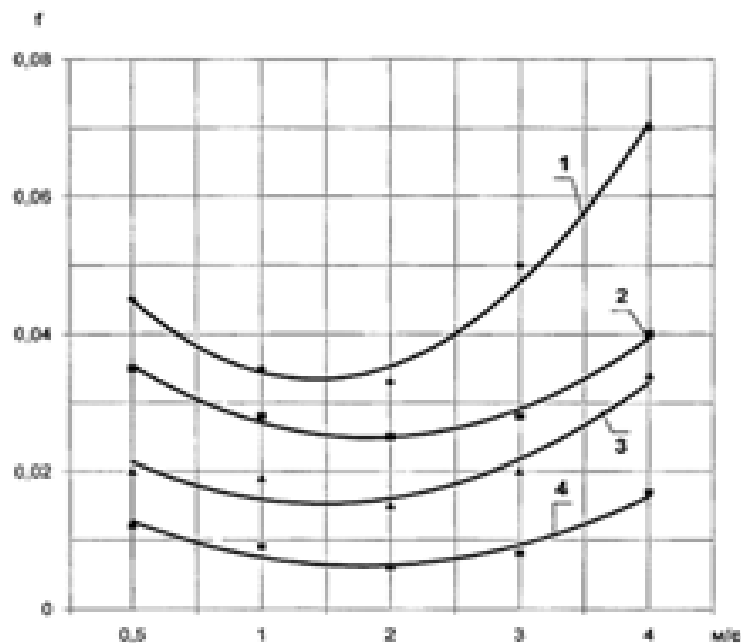
У роботі проведено дослідження щодо впливу швидкості ковзання на коефіцієнт тертя та інтенсивність зношування пари алюмінієвий сплав-сталь при питомому навантаженні 10 МПа. При дослідженні було встановлено, що у всіх досліджених мастильних матеріалах було виявлено три характерні зони:

- зона, де із підвищенням швидкості ковзання з 2 ÷ 3 м/с триботехнічні характеристики пари практично не змінюються;
- зона, де із збільшення швидкості ковзання з 2 ÷ 3 м/с також збільшувалися інтенсивності зношування і коефіцієнт тертя;
- зона зниження інтенсивності зношування і коефіцієнта тертя.

На рис. 3.3 представлені дані щодо впливу швидкості ковзання на коефіцієнт тертя пари алюмінієвий сплав (АК8М, Ra = 0,30 мкм) - сталь (50ХФА, Ra = 0,60 мкм, HRC 55) в моторних оливах. При зношуванні пари вал – втулка в моторному маслі МС-20 підвищення швидкості ковзання від 0,5 до 4 м/с веде до значного збільшення коефіцієнта тертя. Слід зазначити, що при швидкості ковзання 0,5 м/с коефіцієнт тертя пари алюмінієвий сплав-сталь

складав 0,045, то при значеннях швидкості ковзання 4 м/с його величина підвищилася у 1,5 рази.

Як видно з представлених даних, введення в моторне масло МС-20 0,1 % присадки Ремол-2, дозволяє знизити коефіцієнт тертя пари алюмінієвий сплав-сталь в 1,5 ÷ 1,6 рази, у порівнянні з роботою вузла тертя на базовій оливі, в діапазоні швидкостей ковзання 0,5 ÷ 4 м/с. Коефіцієнт тертя пари вал-втулка при роботі в моторній оливі «Shell Helix Ultra», для діапазону швидкостей ковзання 0,5 ÷ 4 м/с, має значно нижчі значення в порівнянні з тими, що отримані при дослідженні зразків у базовій оливі оливі з присадкою так і в маслі з присадкою Ремол-2. Робота пари алюмінієвий сплав-сталь в моторній оливі МС-20 з 2,5 % оловомісткої присадки в діапазоні швидкостей ковзання 0,5 ÷ 3 м/с вказувало на коефіцієнт тертя, який відповідає величині 0,009, а при збільшенні швидкості ковзання до 4 м/с, також збільшувався і коефіцієнт тертя до 0,017. Результати досліджень інтенсивності зношування пари алюмінієвий сплав-сталь у моторних оливах представлено на рис. 3.4.

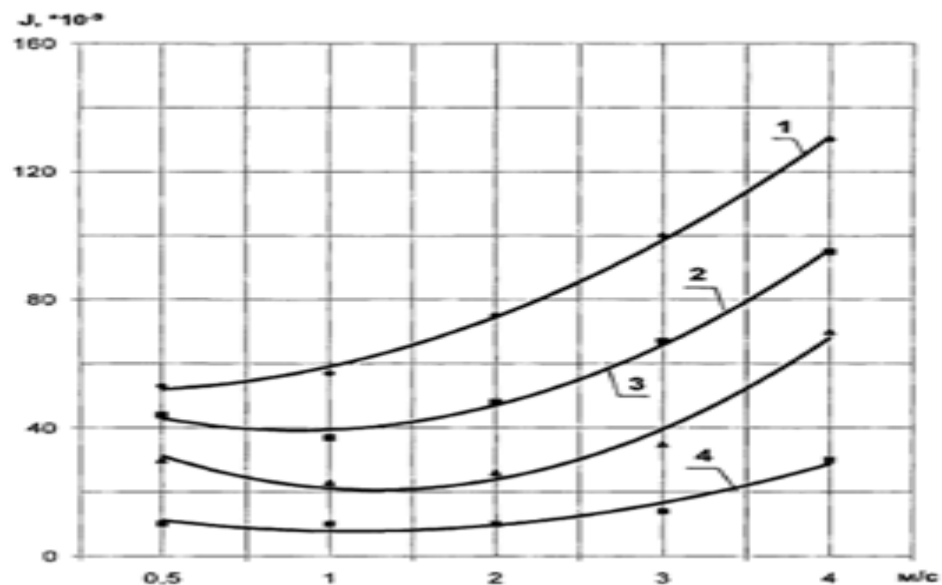


1 – МС-20; 2 – МС-20+0,1% з присадкою Ремол-2; 3 – Shell Helix Ultra;
4 – МС-20+2,5% оловомісткої присадки

Рисунок 3.4 – Графік залежності коефіцієнта тертя досліджуваної пари від швидкості ковзання

Аналіз отриманих даних свідчить про те, що із збільшенням швидкості ковзання від 0,5 до 4 м/с збільшується інтенсивність зношування пари вал – втулка незалежно від типу досліджуваного мастильного матеріалу. Виконані дослідження показали, що пара тертя алюмінієвий сплав – сталь мила найбільшу інтенсивність зношування в базовій моторній оливі МС-20.

Пара алюмінієвий сплав-сталь в оливі «Shell Helix Ultra» має інтенсивність зношування має нижчі значення порівняно з результатами інтенсивності зношування даної пари тертя в базові оливі МС-20 і в оливі з додаванням присадки Ремол-2. На рисунку 3.4 видно, що введення в моторну оливу оловомісткої присадки дозволяє підвищити зносостійкість пари алюмінієвий сплав-сталь. За результатами випробувань, інтенсивність зношування пари вал – втулка в оливі МС-20 з 2,5% оловомісткої присадки, що працювала в діапазоні швидкостей ковзання 0,5 ÷ 4 м/с. показала значно нижчі значення порівняно з іншими оливами.



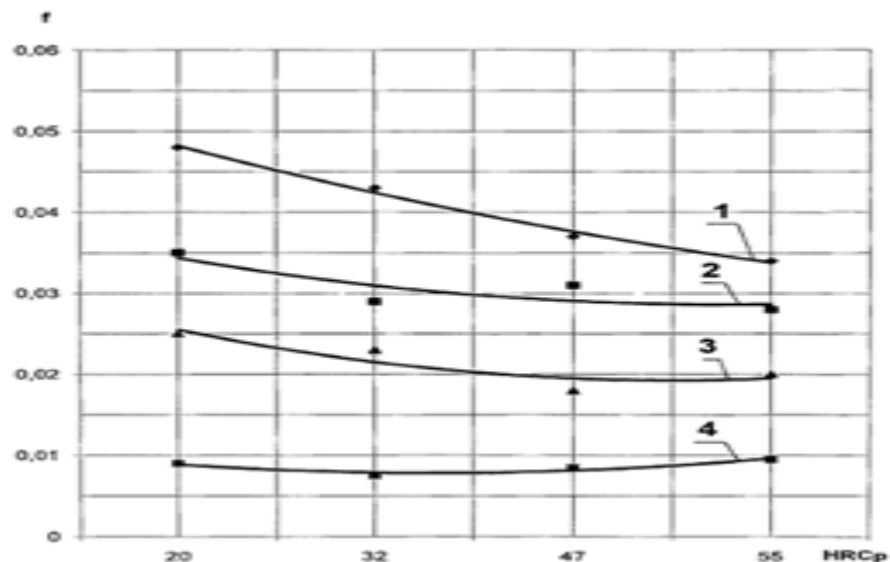
1 – МС-20; 2 – МС-20+0,1% з присадкою Ремол-2; 3 – Shell Helix Ultra;
4 – МС-20+2,5% оловомісткої присадки

Рисунок 3.4 – Графік залежності інтенсивності зношування досліджуваної пари від швидкості ковзання

3.3 Вплив твердості сталевго зразка на процеси тертя та зношування пари алюмінієвий сплав-сталь у моторних оліях

Дослідження, як твердості сталевго зразка впливає на процеси тертя виконувалися за тією ж методикою, що і вплив присадок. Дослідження виконувались на приборі тертя ПТ-4Ц за схемою вал – втулка. Для дослідження було використано ролики, які були піддані відповідній термічній для отримання відповідної твердості 20, 32, 47, 55HRC.

На рис. 3.7 представлений графік залежності коефіцієнта тертя від твердості сталевго зразка при роботі в моторних оливах при взаємодії з алюмінієвим сплавом (АК8М, $R_a = 0,30$ мкм - сталь 50ХФА, $R_a = 0,60$ мкм) Експерименти проводилися при питомому навантаженні 10 МПа, шлях ковзання склав 3000 м при швидкості ковзання 1м/с.



1 – МС-20; 2 – МС-20+0, 1% з присадкою Ремол-2; 3 –Shell Helix Ultra;
4 – МС-20+2,5% оловомісткої присадки

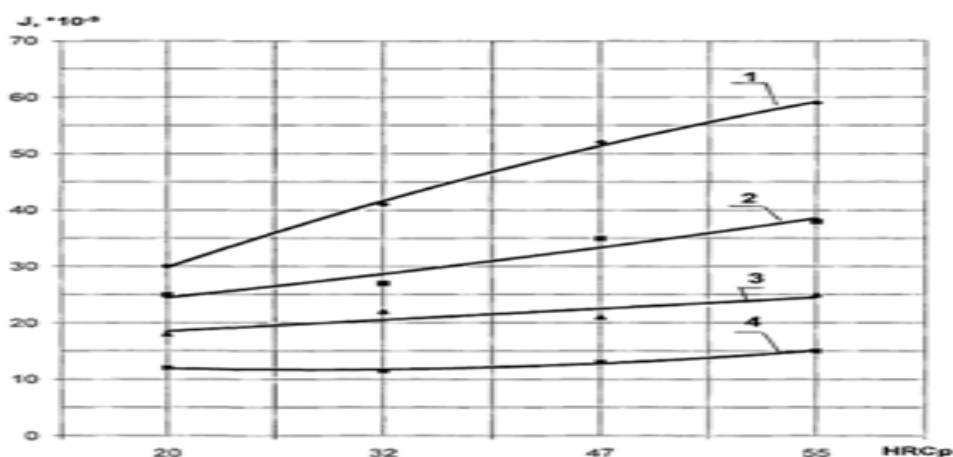
Рисунок 3.7 – Графік залежності коефіцієнта тертя досліджуваної пари від твердості сталевго зразка

При дослідженні в моторній оливі МС-20 і підвищенні твердості сталевго зразка від 20 до 55 HRC призводить до зменшення коефіцієнта тертя. Так, при твердості сталевго зразка 20 HRC, коефіцієнт тертя пари

алюмінієвий сплав-сталь демонстрував значення 0,048, а сталевий зразок із твердістю 55 HRC значення коефіцієнта тертя знизилося до 0,034.

Виконані дослідження проведені в моторній оливі МС-20 0,1% з мідевмісною присадкою, продемонструвало зниження коефіцієнта тертя зі значення 0,035 до 0,028 для пари алюмінієвий сплав-сталь і зміни твердості сталевий зразок з 20 до 32 HRC і з 47 до 55 HRC в порівнянні з роботою пари в базовій оливі. Коефіцієнт тертя пари вал – втулка, що працювали в моторному маслі «Shell Helix Ultra», в діапазоні твердості сталевий зразок 20÷55 HRC має нижчі значення коефіцієнта тертя в порівнянні з тим, що було отримано при дослідженні цих зразків в базовій оливі, і в оливі з мідевмісною присадкою. При дослідженні пари алюмінієвий сплав-сталь в моторній оливі МС-20 з 2,5% оловомісткою присадки в усьому діапазоні твердості сталевий зразок, коефіцієнт тертя суттєво не змінювався і мав значення близьке до 0,009.

Результати дослідження впливу зміни твердості сталевий зразок від 20 до 55HRC у всіх досліджених моторних оливах на інтенсивність зношування пари алюмінієвий сплав-сталь наведено на рис. 3.8. Аналіз даних вказує на збільшення інтенсивності зношування пари вал – втулка при збільшенні твердості сталевий зразок.



- 1 – МС-20; 2 – МС-20+0, 1% з присадкою Ремол-2; 3 – Shell Helix Ultra;
4 – МС-20+2,5% оловомісткою присадки

Рисунок 3.8 – Графік залежності інтенсивності зношування досліджуваної пари від твердості сталевий зразок

При виконанні досліджень було встановлено, що збільшенні твердості сталевого зразка, найбільше значення інтенсивності зношування було зафіксовано в парі алюмінієвий сплав – сталь для базової моторної оливи, що працювала в базовій моторній олії МС-20. За даних умов при дослідженні в оліві «Shell Helix Ultra», інтенсивність зношування пари алюмінієвий сплав – сталь мала більш низькі значення в порівнянні з величинами, що отримані при дослідженні пари вал – втулка в базовому моторному маслі МС-20 і мідєвмісною присадкою.

З даних, що подано на рис. 3.8 можна відзначити, що додавання в моторну оливу оловомісткої присадки призводить до зростання зносостійкості пари алюмінієвий сплав-сталь.

В цілому, інтенсивність зношування пари вал – втулка в базовій оліві МС-20 з додаванням 2,5 % оловомісткої присадки, для досліджуваного набору твердостей 20, 32, 47, 55HRC, демонструвало значно нижчі значення, ніж інтенсивність зношування в інших оливах. Окрім того, при дослідженні пари алюмінієвий сплав-сталь в моторній оліві із оловомісткою присадкою, показало, що в даних умовах зміна твердості сталевого зразка мало впливає на триботехнічні характеристики трибоспряження.

3.4 Вплив фізико-хімічних властивостей мастильних матеріалів на контактну витривалість тіл кочення

Зношування кулачків і штовхачів призводить до скорочення фаз газорозподілу, через це знижуються потужність та економічні показники авіаційного двигуна внутрішнього згорання. Втомне викришування поверхневого шару деталей відбувається, коли вони працюють в умовах високих контактних навантажень.

У роботі [73] показано, що за рахунок модифікації поверхневих шарів трібоспряжень різними сполуками, а також м'якими металами, можна досягти отриманий модифікацію поверхневого шару робочої поверхні матеріалу. За таких умов, шар, що наноситься, міцно з'єднується з основним матеріалом деталі і при цьому забезпечує високі протизносні та антифрикційні

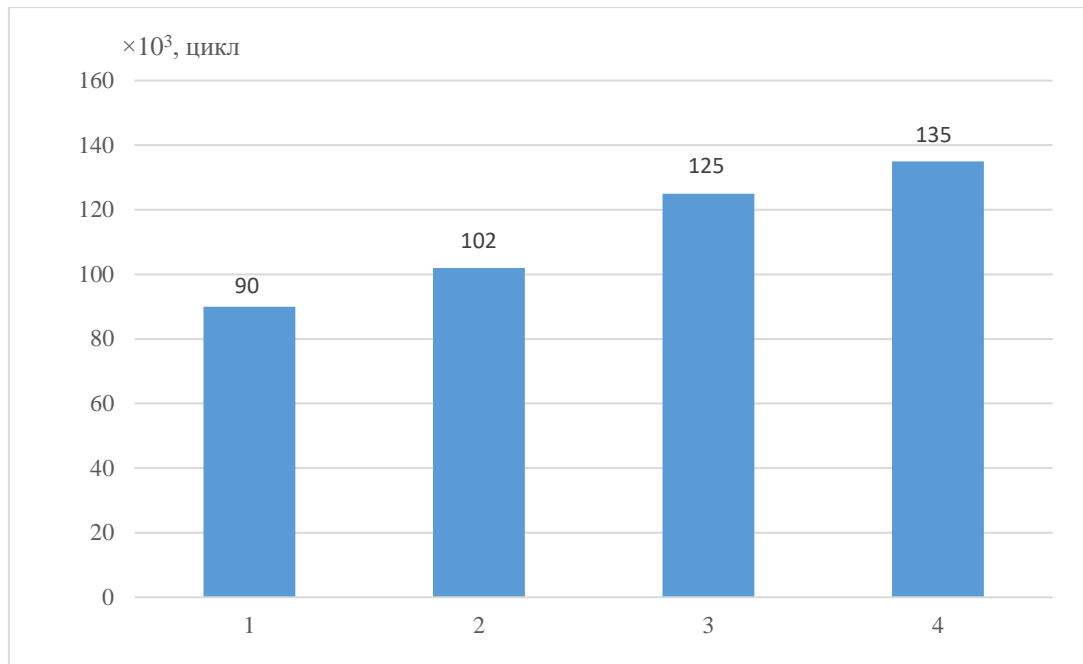
властивості. Дослідження впливу мастильних матеріалів на контактну втому трибоспряження, в основному, виконуються із використанням на 4-х кулькових машинах тертя, вони забезпечують високі контактні навантаження при проведенні експериментів.

Модифікована машина тертя УМТ-3Т була використана для дослідження контактної витривалості трибоспряження в моторних оливах за схемою 4-х кулькової машини тертя. Дослідження проводилися моторних олив МС-20, що є базовою оливою для авіаційних двигунів внутрішнього зограння, так і в середовищі моторної оливи «Shell Helix Ultra», триботехнічні характеристики якої схожі до оливи МС-20. Також для дослідження було використано моторну оливу МС-20 з додаванням олововаксової мастильної композиції, основу якої становить ефір C_6 , з'єднання олова та інші компоненти.

Експерименти проводили при навантаженні на ліву кульку 4000 Н, частоті обертання верхньої кулі 10×10^3 об/хв. Контактну витривалість оцінювали за кількістю циклів до появи пітингу на доріжках кочення. В якості зразків було використано стандартні кульки для даних випробувань зі сталі ШХ-15 і діаметром 12,7 мм. Час настання втомного руйнування фіксувався на електричному обладнанні і машина тертя автоматично вимикалася.

На рис. 3.9 представлені результати дослідження впливу мастильних матеріалів на контактну витривалість кульок. Слід відзначити, що при проведених дослідженнях було встановлено, що найменшою контактною витривалістю характеризуються тіла кочення які працювали в базовій моторній оливі МС-20. Введення в масло МС-20 присадки Ремол-2 в кількості 0,1 % сприяє підвищенню числа циклів навантажень до прояву втомного руйнування на доріжці кочення верхньої кулі з 90×10^3 циклів до 102×10^3 циклів. Дослідженнями було встановлено, що олива «Shell Helix Ultra» демонструє більш високі значення контактної витривалості куль зі сталі ШХ-15 в порівнянні з моторною оливою МС-20 з додаванням присадки Ремол-2. При

дослідженні олива «Shell Helix Ultra» циклів навантажень до контактного втомного руйнування складо $125 \cdot 10^3$ циклів.



1 – МС-20; 2 – МС-20+0, 1% з присадкою Ремол-2; 3 –Shell Helix Ultra;
4 – МС-20 + 2,5% оловомісткої присадки

Рисунок 3.9 – Гістограма дослідженні моторних олив на контактну витривалість тіл кочення.

За результатами дослідження, що подано на рис. 3.9 видно, що при введенні в моторну оливу МС-20 2,5% олововмістної присадки гарантує підвищення контактної витривалості трибоспряження в 1,4 рази в порівнянні з витривалістю вузла тертя в базовому моторному маслі.

3.5 Вплив мастильних матеріалів на зміну мікрогеометрії поверхневого шару пари вал-втулка

У процесі взаємодії пар тертя на поверхнях, що контактують, відбуваються складні механо-фізико-хімічні процеси. Контактна взаємодія рухомих сполучень визначає фактичну площу тертя, контактну жорсткість, адгезію мастильних матеріалів, які мають значний вплив на процеси тертя та зношування рухомих трибоспряжень. При цьому рівень контактної взаємодії істотно впливає мікрогеометрія поверхонь пар тертя.

При ковзанні рухомих спряжень, на початку має місце процес припарцювання, який супроводжується суттєвою зміною характеристик мікрогеометрії поверхневого шару трибоспряжень. У процесі припрацювання змінюються фізико-механічні властивості поверхневих шарів за рахунок пластичної деформації, що відбувається в зоні тертя.

Великий вплив на працездатність трибосполучень має шорсткість поверхневого шару. Поверхні, що мають високу початкову шорсткість, в продовж короткого періоду припрацювання вигладжуються і отримують експлуатаційну шорсткість.

Поверхні з мінімальною шорсткістю, в процесі припрацювання отримують підвищену експлуатаційну шорсткість, але рівень її, за інших рівних умов, ця шорсткість може бути нижчою, ніж експлуатаційна шорсткість, яку отримали високої початковій шорсткості [73].

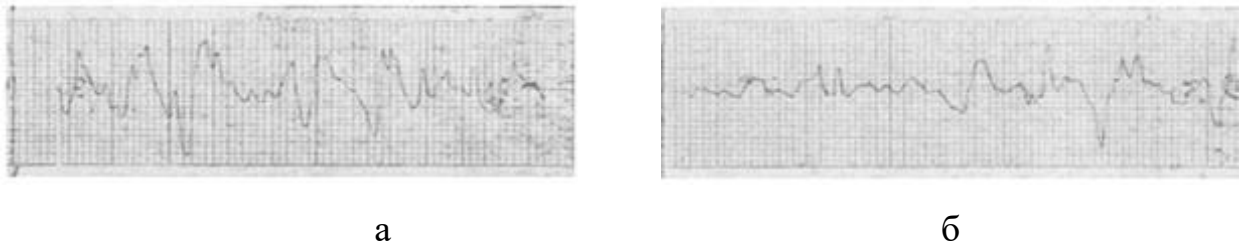
В цілому, триботехнічні характеристики рухомих спряжень будуть визначатися фізико-механічними властивостями матеріалу, показниками мікрогеометрії контактуючих поверхонь, властивостями мастильного матеріалу, а також параметрами навантаження та швидкостями переміщення.

В даній роботі оцінювалася мікрогеометрія поверхневого шару металевих пар тертя при роботі в середовищі моторних олів. Дослідження, що стосувалися вивчення особливостей фізико-хімічних процесів, які відбувалися в мастильних матеріалах за умови тертя ковзання на зразках: ролик із сталі 50ХФА та втулки із алюмінієвого сплаву АК8М.

Порівняльні дані про зміну мікрогеометрії робочих поверхонь пари вал-втулка на шляху тертя 3000 м, при швидкості ковзання 1м/с та питомому навантаженні 10 МПа в різних мастильних матеріалах були отримані з використанням профілактографа-профілометра TL-90.

На рис. 3.10 представлені профілограми з поверхневого шару пари вал-втулка до роботи. Поверхневий шар втулки із алюмінієвого сплаву АК8М характеризується величиною середнього арифметичного відхилення

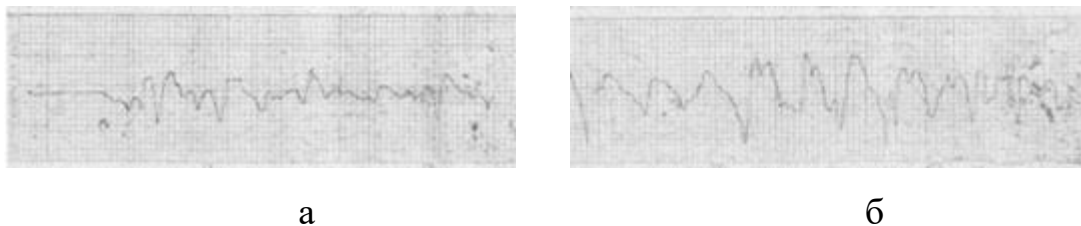
нерівностей профілю $R_a = 0,30$ мкм, а поверхневий шар ролика зі сталі 50ХФА – $R_a = 0,60$ мкм.



а – втулка з алюмінієвого сплаву АК8М; б – ролик зі сталі 50ХФА

Рисунок 3.10 – Фотографії профілаграми з втулки (а) і ролика (б) до початку випробувань ($B_3 \times 10000$, $\Gamma_3 \times 200$)

Після випробування зразків в моторній оливі МС-20 величина даного параметра мікрогеометрії зменшилася і становила для зразка втулки $R_a = 0,26$ мкм, а для ролика $R_a 0,54$ мкм (рис. 3.11).

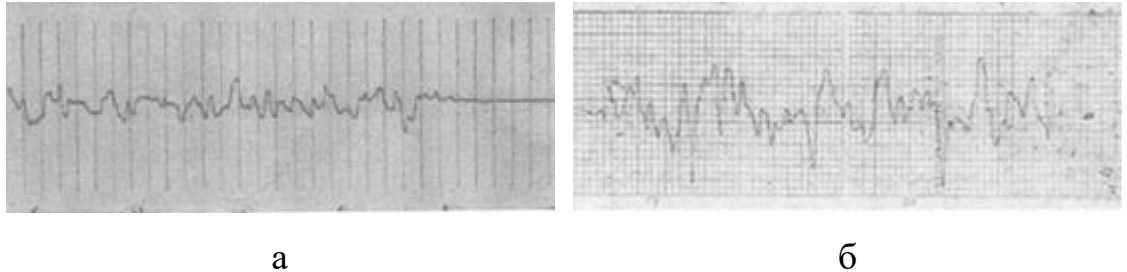


а – втулка з алюмінієвого сплаву АК8М; б – ролик зі сталі 50ХФА

Рисунок 3.11 – Профілограми поверхонь тертя втулки і вала після роботи в базовій моторній оливі МС-20 ($B_3 \times 10000$, $\Gamma_3 \times 200$)

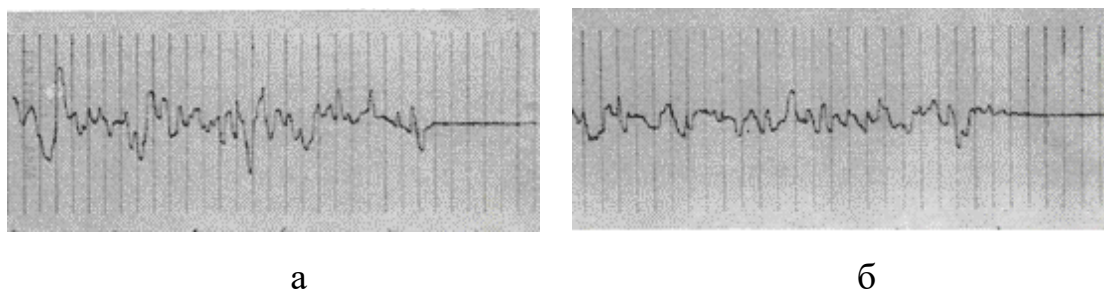
Додавання присадки Ремол-2 в моторне масло МС-20 призвело до зменшення середнього арифметичного значення відхилення нерівностей профілю в порівнянні із величинами, що були отримані для зразків втулки і ролика, як до початку дослідження, так і роботи в базовій моторній оливі МС-20. Профілограми ділянок тертя втулки і ролика (рис. 3.12), що працювали в моторній оливі МС-20 з присадкою Ремол-2 були отримані з поверхні зразків після виконання повного циклу випробування. База випробувань складала 3000 м та зі швидкістю ковзання 1м/с і при питомому навантаженні 10 МПа. Слід зазначити, що після дослідження пари сталь - алюмінієвий сплав з використанням базової моторної оливи МС-20, шорсткість поверхневого тертя

втулки мала величину $R_a = 0,26$ мкм, а поверхня тертя ролика мала значення $R_a = 0,54$ мкм, то після випробування пари сталь - алюмінієвий сплав в середовищі базової оливи присадкою Ремол-2, на поверхні сформувалася нова мікрогеометрія, шорсткістю $R_a = 0,22$ мкм на поверхні втулки і $R_a = 0,47$ мкм на робочій поверхневий ролика.



а – втулка з алюмінієвого сплаву АК8М; б – ролик зі сталі 50ХФА
Рисунок 3.12 – Профілеграми робочих поверхонь тертя втулки і ролика в мастильному середовищі базової оливи з присадкою Ремол-2 ($B3 \times 10000$, $Г3 \times 200$)

На рис. 3.13 представлені результати оцінки шорсткості поверхонь тертя зразків втулки і ролика після дослідження зразків на приладі тертя ПТ-4Ц в моторній оливі МС-20 з додаванням оловомісткої присадки. В результатя дослідження було встановлено, шорсткість поверхні втулки стала дорівнювати $R_a = 0,20$ мкм, а шорсткість поверхні ролика змінилася до величини $R_a = 0,40$ мкм.



а – втулка з алюмінієвого сплаву АК8М; б – ролик зі сталі 50ХФА
Рисунок 3.13 – результати вимірювання шорсткості робочих поверхонь зразків втулки і ролика після випробування в моторній оливі МС-20 з оловосвмісної присадки ($B3 \times 10000$, $Г3 \times 200$)

В таблиці 3.1 представлені результати зміни мікрогеометрії робочих поверхонь тертя пари сталь-алюмінієвий сплав (50ХФА-АК8М)

Таблиця 3.1 – Вплив мастильних матеріалів на зміну мікрогеометрії поверхонь тертя вал-втулка

№	Робоче середовище	ролик Ra, мкм	колодка Re, мкм
1.	Перед випробуваннями	0,60	0,30
2.	В середовищі базової оливи МС-20	0,54	0,26
3.	Базова олива МС-20 + присадка Ремол-2	0,47	0,22
4.	Базова олива МС-20 + оловомістка присадка	0,40	0,20

Зменшення шорсткості на робочих поверхнях зразків втулки і вала при роботі в середовищі базової оливи з додаванням оловомісткої присадки пов'язано з утворенням на їх поверхнях захисних самогенеруючих плівок. Вплив захисних самогенеруючих плівок на триботехнічні характеристик матеріалів досліджувано пари тертя потребують додатково дослідження.

Висновки до розділу 3

Виконано дослідження і аналіз роботи пари тертя по схемі «вал-втулка». Визначено вплив питомого навантаження, швидкості ковзання в трибоспряженні і твердості сталевого зразка на процеси тертя та зношування характерної пари тертя алюмінієвий сплав-сплав-сталь показали, що введення в моторне масло оловомісткою присадки веде до значного зниження коефіцієнта тертя і інтенсивності іншими дослідженими мастильними матеріалами. Крім того, наявність в моторному маслі оловомісткою присадки веде до підвищення контактної витривалості тіл кочення.

Низькі триботехнічні характеристики рухомих сполучень в моторному маслі з оловомісткою мастильною композицією забезпечуються за рахунок формування на поверхнях тертя металовмісної антифрикційної та протизносної плівки.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

Сьогодні в авіації використовується велика кількість мастильних матеріалів. Виробники даних матеріалів дотримуються загальноприйнятих стандартів. Дослідження характеристик мастильних матеріалів в конкретних модельних умовах є дуже важливим елементом.

Завданням є встановлення відповідності лабораторного приміщення умовам для проведення випробувань і якісної оцінки триботехнічних характеристик мастильних матеріалів на лабораторному устаткуванні

4.1. Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих виробничих факторів

4.1.1. Аналіз параметрів мікроклімату

Істотний вплив на стан організму людини, його працездатність має мікроклімат (метеорологічні умови) у виробничих приміщеннях, під яким розуміють клімат внутрішнього середовища цих приміщень. Мікроклімат визначається поєднаннями температури, відносної вологості, швидкості руху повітря і теплового випромінювання нагрітих поверхонь, що діють на організм людини.

Мікроклімат виробничих приміщень в основному впливає на тепловий стан організму людини та його теплообмін із навколишнім середовищем.

Незважаючи на те, що параметри мікроклімату виробничих приміщень можуть значно коливатися, температура тіла людини залишається постійною (36,6 °C). Властивість людського організму підтримувати тепловий баланс називається терморегуляцією. Нормальне перебіг фізіологічних процесів в організмі можливе лише тоді, коли тепло, що виділяється організмом, безперервно відводиться в навколишнє середовище. Кількість тепла, що виділяється людиною, головним чином залежить від ступеня тяжкості роботи та температурного режиму в приміщенні.

Віддача теплоти організмом людини у зовнішнє середовище відбувається трьома основними способами (шляхами): конвекцією, випромінюванням та випаровуванням.

Параметри мікроклімату мають також значний вплив на продуктивність праці та травматизм.

Зазначені параметри нормуються для робочої зони – простору, обмеженого за висотою 2 метрами над рівнем підлоги чи майданчика, де знаходяться робочі місця постійного чи тимчасового перебування працівників.

В основу принципів нормування параметрів мікроклімату покладено диференціальну оцінку оптимальних та допустимих метеорологічних умов у робочій зоні залежно від теплової характеристики виробничого приміщення, категорії робіт за ступенем тяжкості праці та періоду року.

Оптимальними (комфортними) вважаються такі умови, за яких мають місце найвища працездатність та гарне самопочуття.

Допустимі мікрокліматичні умови передбачають напружену роботу механізму терморегуляції, яка не виходить за межі можливостей організму, а також дискомфортних відчуттів.

Основні параметри мікроклімату – температура, вологість, швидкість руху повітря та барометричний тиск. Види вологості – абсолютна, максимальна та відносна. Абсолютна вологість (A) - вміст водяної пари в грамах в 1 м^3 повітря при даній температурі. Максимальна вологість (F) – кількість водяної пари в грамах, що насичує 1 м^3 повітря за даної температури. Відносна вологість – відношення абсолютної вологості повітря до максимальної, виражене у відсотках.

4.1.2. Аналіз природного та штучного освітлення

Світло – це збудник зорової сенсорної системи, що забезпечує нас інформацією про довкілля. Світло забезпечує нормальну життєдіяльність організму людини, визначає життєвий тонус та ритм. Такі функції організму як дихання, кровообіг, робота ендокринної системи, ферментні системи чітко змінюють інтенсивність діяльності під впливом світла. Світло є сильним

емоційним чинником, впливаючи на психіку людини. Тривале світлове голодування призводить до зниження імунітету, функціональним порушенням діяльності центральної нервової системи.

З покращенням освітлення підвищується працездатність, якість роботи, знижується стомлюваність, ймовірність помилкових дій, травматизму, аварійності. Недостатнє освітлення веде до перенапруги очей, загальної втоми людини. В результаті знижується увага, погіршується координація рухів, яка може призвести за конкретної фізичної роботи до нещасного випадку. Згідно зі статистичними даними до 5% травм можна пояснити недостатнім або нераціональним освітленням, а в 20% воно сприяло виникненню травм. Робота при низькій освітленості сприяє розвитку короткозорості та інших захворювань. Підвищена освітленість теж несприятливо впливає на загальне самопочуття і зір, викликаючи сліпучий ефект. Нерівномірність освітлення та неоднакова яскравість навколишніх предметів призводить до частого преадаптації очей і, як наслідок, до швидкої втоми органів зору.

Розрізняють такі види освітлення: природне, штучне та поєднане.

Природне освітлення здійснюється за рахунок прямого та відбитого світла піднебіння. Природне освітлення поділяється на бічне (одне - або двостороннє), що здійснюється через світлові прорізи (вікна) у зовнішніх стінах; верхнє, що здійснюється через ліхтарі та світлові прорізи в дахах та перекриттях; комбіноване - з'єднання верхнього та бічного освітлення.

Штучне освітлення здійснюється електричними лампами чи прожекторами. Воно може бути загальним, місцевим чи комбінованим. Загальне для освітлення всього виробничого приміщення. Місцеве за необхідності доповнює загальне та концентрує додатковий світловий потік на робочих місцях. З'єднання місцевого та загального освітлення називають комбінованим.

Якщо у світлий час досі рівень природного освітлення не відповідає нормам, його доповнюють штучним. Такий вид освітлення називають поєднаним.

Найкращі умови для роботи зорового аналізатора дає природне освітлення, потім штучне, що наближається до спектру природного світла, і поєднане освітлення.

Коефіцієнт природного освітлення — це відношення (у відсотках) освітлення на горизонтальній поверхні усередині приміщення до освітлення на горизонтальній поверхні під відкритим небом:

$$\text{КПО} = e_{\text{факт}} = \frac{E_y}{E_3} \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

де E_y — освітлення у середині приміщення, лк; E_3 — освітлення зовні, лк.

Нормування КПО залежить від виду природного освітлення та ряду супутніх факторів.

$$e_N = e_{\text{норм}} \cdot m\%, \quad (4.2)$$

де $e_{\text{норм}}$ — нормоване значення КПО, яке залежить від характеру зорової роботи (розряду);

m — коефіцієнт світлового клімату.

При боковому освітленні нормується мінімальне значення КПО — $e_{\text{мін}}$. У випадку однобічного — в точці на відстані 1 м від стіни, що найбільш віддалена від світлових отворів, але не більш ніж 12 м від них (рис. 3).

Норми природної освітленості (КПО) (e_N) для будівель, що розташовані у різних районах України наведені в будівельних нормах ДБН В.2.5-28-2018.

Для оцінки рівня природного освітлення необхідно порівняти фактичні та нормативне значення КПО та зробити висновок про його достатність.

Також можливе використання розрахункового методу оцінки достатності природного освітлення, за яким визначається

Нормований рівень природної освітленості визначається площею світлових отворів у зовнішніх огородженнях на основі розрахунків при проектуванні приміщення.

Попередній розрахунок площі світлових прорізів проводиться:

а) при боковому освітленні приміщень за формулою:

$$100 \frac{S_B}{S_{\Pi}} = \frac{e_N \cdot K_3 \cdot \eta_B}{\tau_0 \cdot r_1} \cdot K_{\text{буд}}, \quad (4.3)$$

б) при верхньому освітленні за формулою:

$$100 \frac{S_{\text{л}}}{S_{\text{п}}} = \frac{e_{\text{н}} \cdot K_{\text{з}} \cdot \eta_{\text{л}}}{\tau_0 \cdot r_2 \cdot K_{\text{л}}}, \quad (4.4)$$

де $S_{\text{л}}$ – площа світлових прорізів (в світлі) при боковому освітленні;

$S_{\text{п}}$ – площа підлоги приміщення;

$e_{\text{н}}$ – нормоване значення КПО;

$K_{\text{з}}$ – коефіцієнт запасу;

$\eta_{\text{л}}$ – світлова характеристика вікон.

Визначаючи цей коефіцієнт, вимірюють люксометром освітлення у середині приміщення на дослідній поверхні, потім зовні, на відкритому повітрі, перший результат ділять на другий і множать на 100, щоб виразити у відсотках. Для житлових приміщень нормою КПО вважається 0,5 – 1,5 %.

Цим способом визначають КПО у разі вимірювання рівня природного освітлення у приміщеннях з боковим освітленням, причому вимірювання проводять у найбільш затемнених точках. У приміщеннях з поверхневим або боковим освітленням визначають середнє значення КПО ($E_{\text{с}}$) за таким рівнянням:

$$E_{\text{с}} = \frac{2^{n_1+n_2+n_3+n_4+\dots+n_n}}{n-1},$$

Де n_2, n_3, n_4 – значення КПО в окремих точках приміщення, що знаходяться на рівних відстанях одна від одної; n — кількість точок (не менш 5), у яких визначається КПО. У разі такого визначення перша і остання точки повинні знаходитися на відстані 1 м від стін.

Освітлення вимірюють за допомогою об'єктивних люксометрів типу Ю-16, а також Ю-116.

Люксометр Ю-16 складається з фотоелемента і гальванометра. У разі падання світлових променів на фотоелемент у його активному шарі – селені – виникає потік електронів, що створює фотострум у зовнішньому колі, який відхиляє стрілку гальванометра на кут, величина якого буде відповідати інтенсивності освітлення. Гальванометр приладу має 3 шкали: до 25 лк (ціна поділки 0,5 лк), до 100 лк (ціна поділки 2 лк), до 500 лк (ціна поділки 10 лк).

Люксом називається одиниця освітленості. 1 люкс (лк) дорівнює освітленню такої поверхні, на кожний метр якої рівномірно падає світловий потік у 1 люмен. 1 люмен дорівнює світловому потоку, який випромінюється точковим джерелом з силою світла в одну канделу (кд) у середині кута в 1 стеридіан (ср). Крім того, до приладу додається насадка, якою користуються у разі значної інтенсивності освітлення, покриваючи нею частину фотоелемента, яка сприймає потік світла. Показання гальванометра у разі застосування насадки збільшують у 100 разів і одержують шукане освітлення.

Цим приладом можна користуватися для вимірювання освітлення, що створюється лампами розжарювання. Тому для вимірювання освітленості від інших джерел світла до показань приладу треба вводити відповідні поправки.

Для люмінесцентного освітлення лампами денного світла (ЛД) поправочний коефіцієнт дорівнює 0,9, для ламп білого світла (ЛБ) – 1,1, для дугових ртутних ламп (ДРЛ) – 1,2, для природного освітлення – 0,8.

4.1.3. Аналіз шуму та вібрації

У різних галузях економіки є джерела шуму – це механічне устаткування, людські потоки, муніципальний транспорт.

Шум – це сукупність аперіодичних звуків різної інтенсивності та частоти (шелест, деренчання, скрип, вереск тощо). З фізіологічної погляду шум - це всякий несприятливо сприймається звук. Звук - коливання частинок повітряного середовища, які сприймаються органами слуху людини, у напрямі їхнього поширення. Виробничий шум характеризується спектром, що складається із звукових хвиль різних частот. зазвичай чутний діапазон 16 Гц – 20 кГц. Ультразвуковий діапазон – понад 20 кГц, інфразвук – менше 20 Гц, стійкий чутний звук – 1000 Гц -3000Гц

Шкідливий вплив шуму:

- серцево-судинну систему;
- нервову систему;
- органи слуху (барабанна перетинка)

Фізичні характеристики шуму:

- Інтенсивність звуку J , [Вт/м²];
- Звуковий тиск P . [Па];
- Частота f , [Гц].

Тривала дія шуму на людину може призвести до такого професійного захворювання, як «шумова хвороба».

За фізичною сутністю шум – це хвилеподібний рух частинок пружного середовища (газового, рідкого або твердого) і тому характеризується амплітудою коливання (м), частотою (Гц), швидкістю поширення (м/с) і довжиною хвилі (м). Гучність шуму визначається суб'єктивним сприйняттям слухового апарату людини. Поріг слухового сприйняття залежить і від діапазону частот. Так, вухо менш чутливе до звуків низьких частот.

Вплив шуму на організм людини викликає негативні зміни, перш за все в органах слуху, нервової та серцево-судинної системи. Ступінь вираження цих змін залежить від параметрів шуму, стажу роботи в умовах впливу шуму, тривалості впливу шуму протягом робочого дня, індивідуальної чутливості організму. Дія шуму на організм людини обтяжується вимушеним становищем тіла, підвищеною увагою, нервово-емоційною напругою, несприятливим мікрокліматом.

Для боротьби з шумом у приміщеннях проводяться заходи як технічного, і медичного характеру. Основними з них є:

- усунення причини шуму, тобто заміна шумного устаткування, механізмів. Більш сучасне устаткування створює менше шуму;
- ізоляція джерела шуму від навколишнього середовища (застосування глушників, екранів, звукопоглинаючих будівельних матеріалів);
- огороження шумних виробництв зонами зелених насаджень;
- застосування раціонального планування приміщень;
- використання дистанційного керування при експлуатації шумного обладнання та машин;
- використання засобів автоматизації для управління та контролю технологічними виробничими процесами;

- використання індивідуальних засобів захисту (беруші, навушники, ватяні тампони);
- проведення періодичних медичних оглядів з проходженням аудіометрії;
- дотримання режиму праці та відпочинку;
- проведення профілактичних заходів, спрямованих на відновлення здоров'я.

Під вібрацією розуміють зворотно-поступальний рух твердого тіла. Це широко поширене під час роботи різних механізмів і машин. Джерела вібрації: транспортери сипких вантажів, перфоратори, установки для випробування та ін. Основні параметри вібрації: частота (Гц), амплітуда коливання (м), період коливання (с), віброшвидкість (м/с), віброприскорення (м/с²). Залежно від характеру контакту працівника з обладнанням, що вібрує, розрізняють локальну та загальну вібрацію. вібрація передається в основному через кінцівки рук і ніг Існує ще й змішана вібрація, яка впливає і на кінцівки, і на весь корпус людини, у виробничих та випробувальних цехах важкого машинобудування, ліфтах і т.д., де вібрують підлогу, стіни або основи обладнання.

Для зниження впливу вібруючих машин та обладнання на організм людини застосовуються такі заходи та засоби:

- заміна інструменту або обладнання з вібруючими робочими органами на невібруючі в процесах, де це можливо (наприклад, заміна електромеханічних касових машин на електронні);
- застосування віброізоляції вібруючих машин (наприклад, застосування ресор, гумових прокладок, пружин, амортизаторів);
- використання автоматики в технологічних процесах, де працюють вібруючі машини (наприклад, управління за заданою програмою);
- використання дистанційного керування в технологічних процесах (наприклад, використання телекомунікацій для керування віботранспортером із сусіднього приміщення);

- використання ручного інструменту з віброзахисними рукоятками, спеціального взуття та рукавичок.

4.2. Розробка заходів з поліпшення умов праці щодо освітлення при виконанні аналізу лабораторних досліджень

Зазначимо, що в робочому приміщенні лабораторії триботехнічних досліджень мастильних матеріалів можна запланувати виконання зорової діяльності середньої точності, що відповідає III розряду зорової роботи.

Джерелом природнього освітлення на місці є 2 вікна розміром 2 м × 2,5 м. Приміщення знаходиться у м. Києві. Його площа – 25 м². Напрямок розміщення вікон – південний.

Хід розрахунку

Розрахуємо природнє освітлення лабораторного приміщення.

1. Розраховуємо нормоване значення коефіцієнту природнього освітлення для заданих умов враховуючи формулу 4.2.

$$e_N = e_{\text{норм}} \cdot m\% = \text{КПО}_N = \text{КПО}_{\text{норм}} \cdot m_N \quad (4.5)$$

Але для використання даної формули необхідно здійснити ряд попередніх розрахунків для отримання складових компонентів.

1.1. Визначимо спочатку, яку роботу можна виконати у виробничому приміщенні з боковим одностороннім освітленням при заданих параметрах. Кількість вікон – 2 одиниці. Розмір вікон – 2 м × 2,5 м.

1.1.1. Визначаємо сумарну площу вікон: $S_B = 2 \cdot (2 \cdot 2,5) = 10 \text{ м}^2$;

1.1.2. Визначаємо площу підлоги: $S_{\Pi} = 5 \cdot 5 = 25 \text{ м}^2$;

1.1.3. Вираховуємо відносну площу світлових прорізів α :

$$\alpha = \frac{S_B}{S_{\Pi}} \cdot 100 = \frac{10}{25} \cdot 100 = 40 \%$$

По таблиці «Рекомендовані значення відносної площі світлових прорізів для виробничих приміщень» визначимо, що в цьому приміщенні можна запланувати виконання зорової роботи високої точності, що відповідає III розряду зорової роботи. По таблиці встановлюємо, що найменший розмір об'єкта розрізнення для цього розряду ставить менше 0,3 мм.

Нормоване значення коефіцієнта природнього освітлення для III розряду зорової роботи $KPO_{\text{норм.}}=3,0\%$.

Для м. Київ коефіцієнт світлового клімату становить $m_N=0,9$.

Наразі можемо вирахувати нормоване значення коефіцієнту природнього освітлення KPO_N по формулі (4.5), приведеній на початку розрахунків:

$$KPO_N = KPO_{\text{норм.}} \cdot m_N = 3,0 \cdot 0,9 = 2,7 \%$$

2. Виконаємо перевірочний розрахунок бокового природнього освітлення методом світлового коефіцієнта за формулою 4.3, врахувавши, що $K_{\text{буд}}$ коефіцієнт, що враховує затінення вікон будівлями, розташованими навпроти, τ_0 – загальний коефіцієнт світло пропускання світлових прорізів; r_1 – коефіцієнт, що враховує підвищення КПО завдяки світлу, яке відбивається від поверхонь приміщення.

Для того, щоб виконати розрахунок, нам спочатку необхідно знайти певні величини, а саме – K_3 , η_v , $K_{\text{буд}}$, τ_0 та r_1 . Значення KPO_N вже вираховано.

2.1 Враховуючи клас приміщення за ДБН В.2.5-28:2018 і прирівнюючи його до класу «Цехи інструментальні, складальні, механічні, механоскладальні», приймаємо, що в нормальних умовах $K_3 = 1,3$.

2.2 Тепер знаходимо наступну величину – світлову характеристику вікон η_v .

Для того, щоб знайти це значення, нам знадобляться геометричні параметри приміщення:

L – довжина приміщення (5 м);

B – глибина приміщення (5 м);

h – висота від рівня робочої поверхні до верхнього краю вікна:

$$h = 0,8 + 2,5 - 0,9 = 2,4 \text{ м,}$$

де: 0,8 м – висота підвіконня;

0,9 м – висота умовної робочої поверхні;

2,5 м – висота вікон.

Використовуючи ці значення, знаходимо наступні відношення:

$$\frac{L}{B} = \frac{5}{5} = 1;$$

$$\frac{B}{h} = \frac{5}{2,4} \approx 2,1;$$

Отже, враховуючи значення світлової характеристики вікон (η_v) при боковому освітленні, приймаємо $\eta_v = 16$.

2.3 Визначаємо коефіцієнт $K_{\text{буд}}$, що враховує затінення вікон будівлями. $K_{\text{буд}} = 1,0$.

2.4 Розрахуємо далі загальний коефіцієнт світлопропускання світлових прорізів τ_0 . Він визначається по формулі

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3, \quad (4.6)$$

де τ_1 – коефіцієнт світлопропускання матеріалу вікон;

τ_2 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у віконній рамі;

τ_3 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у сонцезахисних пристроях

Вікна виконано з металопластикового профіля, в яких встановлене віконне листове потрійне скло, затінення може виконуватися за допомогою вертикальних штор.

Маємо такі значення: $\tau_1 = 0,73$; $\tau_2 = 0,75$; $\tau_3 = 1,0$.

Тоді:

$$\tau_0 = 0,73 \cdot 0,75 \cdot 1,0 = 0,5475.$$

2.5 Враховуючи рекомендації ДБН В.2.5-28:2018, припустимо, що r_1 , враховує підвищення КПО завдяки світлу, яке відбивається від поверхонь приміщення. Він залежить від:

- геометричних параметрів приміщення;
- середнього коефіцієнта відбиття внутрішніх поверхонь приміщення.

Спершу додатково знайдемо відношення b/B , де $b = 1,5$ м – відстань від розрахункової точки М робочої поверхні до зовнішньої стіни приміщення;

$$\frac{b}{B} = \frac{1,5}{5} = 0,3$$

Середнє значення коефіцієнту відбиття вираховується по наступній формулі:

$$p_{\text{сер}} = \frac{p_{\text{стел}} \cdot S_{\text{стел}} + p_{\text{стін}} \cdot S_{\text{стін}} + p_{\text{п}} \cdot S_{\text{п}}}{S_{\text{стел}} + S_{\text{стін}} + S_{\text{п}}} \quad (4.7)$$

$$p_{\text{сер}} = (p_{\text{стелі}} \cdot S_{\text{стелі}} + p_{\text{стін}} \cdot S_{\text{стін}} + p_{\text{підл.}} \cdot S_{\text{підл.}}) / (S_{\text{стелі}} + S_{\text{стін}} + S_{\text{підл.}}). \quad (5.4)$$

де $S_{\text{стелі}}$, $S_{\text{стін}}$, $S_{\text{п}}$ – відповідні площі стелі, стін і підлоги;

$p_{\text{стелі}}$, $p_{\text{стін}}$, $p_{\text{п}}$ – відповідні коефіцієнти відбиття, що враховуються для конкретних умов. Отже, маємо такі значення:

$$p_{\text{стелі}} = 0,4; p_{\text{стін}} = 0,65; p_{\text{п}} = 0,1.$$

Далі нам потрібно розрахувати площі поверхонь:

$$S_{\text{стелі}} = S_{\text{п}} = 25 \text{ м}^2;$$

Висота приміщення $h_{\text{прим}} = 3,5 \text{ м}$.

$$S_{\text{стін}} = S_{\text{бокові}} + S_{\text{протилежна}} = 2 \cdot h_{\text{прим}} \cdot B + h_{\text{прим}} \cdot L = 2 \cdot 3,5 \cdot 5 + 3,5 \cdot 5 = 21 + 16,5 = 37,5 \text{ м}^2.$$

Тепер можемо вирахувати $p_{\text{сер}}$ (4.7):

$$p_{\text{сер}} = \frac{0,4 \cdot 25 + 0,65 \cdot 37,5 + 0,1 \cdot 25}{25 + 37,5 + 25} = \frac{36,875}{87,5} = 0,42$$

Отримавши всі вище обчислені значення і враховуючи рекомендації ДБН В.2.5-28:2018, знаходимо $r_1 = 1,15$.

2.6 Розрахувати необхідну площу вікон для забезпечення бокового природнього освітлення приміщення

Визначимо спочатку необхідні для розрахунку значення.

1. Нормоване значення КПО_N = 2,7%;
2. Для нормальних умов середовища приймаємо, що коефіцієнт запасу $K_3 = 1,3$;
3. Світлова характеристика вікон $\eta_B = 16$ та значення коефіцієнта $r_1 = 1,15$;
4. Коефіцієнт $K_{\text{буд}} = 1,0$.

Необхідна розрахункова площа вікон визначається за такою формулою:

$$S_{\text{в роз}} = \frac{\text{КПО}_N \cdot K_3 \cdot \eta_B \cdot S_{\text{п}}}{\tau_0 \cdot r_1 \cdot 100} \cdot K_{\text{буд}} \quad (4.8)$$

Маємо:

$$S_{\text{в роз}} = \frac{2,7 \cdot 1,3 \cdot 16 \cdot 25}{0,5475 \cdot 1,15 \cdot 100} \cdot 1,0 = \frac{1404}{62,96} = 22,3 \text{ м}^2$$

Оскільки розрахункова площа вікон перевищує фактичну площу для даного приміщення (10 м^2) більше як на 10 %, то можна зробити висновок, що для запропонованих умов потрібне значення КПО = 3% не може бути забезпечене, природне освітлення для заданого розряду зорової роботи і є недостатнім. Можна запропонувати виконання суміщеного освітлення або виконувати у приміщенні зорові роботи іншого розряду.

3. З урахуванням реальних умов та характеристик приміщення обрахувати фактичний коефіцієнт природного освітлення та встановити, якої точності зорову роботу допустимо виконувати в цьому приміщенні.

Визначимо фактичний коефіцієнт природного освітлення КПО_ф

$$\text{КПО}_{\text{ф}} = \frac{S_{\text{в}} \cdot \tau_0 \cdot r_1 \cdot 100}{K_3 \cdot \text{КПО}_N \cdot \eta_{\text{в}} \cdot K_{\text{буд}} \cdot S_{\text{п}}} = \frac{10 \cdot 0,5475 \cdot 1,15 \cdot 100}{1,3 \cdot 2,7 \cdot 16 \cdot 1,0 \cdot 25} = \frac{1212,9}{1404} = 0,86$$

Попередній розрахунок за методом відносної площі світлових прорізів засвідчив, що в заданому приміщенні можна виконувати зорову роботу III розряду.

Для проведення робіт в даному приміщенні потрібно використовувати додаткове освітлення.

4.3. Пожежна безпека

Вогонь здавна супроводжує людину, дає тепло, допомагає зберігати від псування продукти харчування, очищати поля від бур'янів, отримувати метал. Вміння користуватися вогнем дало людині почуття незалежності від циклічної зміни тепла та холоду, світла і темряви. Вогонь є важливим емоційним символом, соціальним згуртовуючим чинником. Однак вогонь, що вийшов з-під контролю, здатний спричинити значні руйнівні і навіть смертоносні наслідки.

Пожежа – процес неконтрольованого горіння поза визначеним для цього місцем, що поширюється у часі і просторі.

Пожежа знищує матеріальні цінності, загрожує життю та здоров'ю людей, довкіллю. Проблема пожеж стає глобальною за своїми масштабами, торкаючись не тільки національних, а й міжнародних інтересів. Про це свідчать катастрофа на Чорнобильській АЕС, тривалі пожежі на нафтових об'єктах Іраку як наслідок війни у Перській затоці, горіння великих лісових масивів. Щорічно на Землі виникає 7 млн пожеж. Згідно зі статистичними прогнозами, у світі протягом року може загинути на пожежах 225 тис. осіб, 2 млн 250 тис. – отримати каліцтво, 4,5 млн – тяжкі опікові травми.

Пожежна безпека – стан об'єкта, за якого з регламентованою ймовірністю унеможливаються виникнення і розвиток пожежі та вплив на людей її небезпечних чинників, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

Основними напрямками забезпечення пожежної безпеки є усунення умов виникнення пожежі та мінімізація її наслідків. Пожежа виникає за одночасної наявності горючої речовини, джерела займання та окисника (кисню, повітря), що разом утворюють горюче середовище. Якщо вилучити або заблокувати будь-який із цих чинників, то пожежі не буде. На цьому ґрунтуються основні напрями попередження пожеж та способи пожежогасіння.

У приблизно 90 % випадків до пожеж призводять: необережне поводження з вогнем; порушення правил монтажу та експлуатації електроустаткування і побутових електроприладів; порушення правил монтажу та експлуатації приладів опалення і теплогенеруючих установок; підпали; пустоці дітей із вогнем; несправність виробничого устаткування.

Отже, забезпечення пожежної безпеки є обов'язковою складовою виробничої та іншої діяльності посадових осіб, працівників підприємств, установ, організацій і підприємців. Органи державного пожежного нагляду контролюють стан пожежної безпеки, вдаючись до різних санкцій (відмова у виданні дозволу на початок роботи або оренду приміщень, штрафи, призупинення експлуатації приміщень, споруд, устаткування, об'єктів тощо).

Відповідно до Правил пожежної безпеки в Україні до основних організаційних заходів із її забезпечення належать:

- визначення обов'язків посадових осіб щодо гарантування пожежної безпеки;
- призначення відповідальних за пожежну безпеку окремих будівель, споруд, приміщень, діляниць тощо, технологічного та інженерного устаткування, а також за утримання та експлуатацію наявних технічних засобів протипожежного захисту;
- встановлення на кожному підприємстві (установі, організації) відповідного протипожежного режиму;
- розроблення і затвердження загальнооб'єктової інструкції про заходи пожежної безпеки та відповідних інструкцій для всіх вибухопожежонебезпечних та пожежонебезпечних приміщень, організація вивчення цих інструкцій працівниками;
- розроблення планів (схем) евакуації людей на випадок пожежі;
- встановлення порядку (системи) оповіщення людей про пожежу, ознайомлення з ним усіх працівників;
- визначення категорій будівель та приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою відповідно до вимог чинних нормативних документів, встановлення класів зон за Правилами улаштування електроустановок;
- забезпечення територій, будівель та приміщень відповідними знаками пожежної безпеки, табличками із зазначенням номера телефону та порядку виклику пожежної охорони;
- створення та організація роботи пожежно-технічних комісій, добровільних пожежних дружин і команд.

Комплексна реалізація цих заходів дає змогу запровадити протипожежний режим.

Протипожежний режим – комплекс загальнообов'язкових норм поведінки, правил виконання робіт та експлуатації об'єкта (виробу), спрямованих на гарантування його пожежної безпеки.

Основою системи пожежної безпеки є комплекс організаційних заходів і технічних засобів, спрямованих на запобігання пожежі та збиткам від неї. Пожежобезпека об'єкта – стан об'єкта, за якого з регламентованою ймовірністю виключається можливість виникнення і розвитку пожежі, а також забезпечується захист матеріальних цінностей. Рівень забезпечення пожежної безпеки – кількісна оцінка попереджених збитків у разі можливої пожежі.

Ймовірність виникнення пожежі (вибуху) в пожежо- небезпечному об'єкті визначають на етапах його проектування, будівництва й експлуатації. Для оцінювання ймовірності виникнення пожежі (вибуху) на діючих підприємствах або об'єктах, що споруджуються, у будівлях необхідно мати статистичні дані про різні пожежовибухонебезпечні події. Ймовірність виникнення пожежі (вибуху) у проєктованих об'єктах визначають на підставі показників надійності елементів (складових) об'єкта, що дає змогу обчислити ймовірність ситуацій, які можуть призвести до реалізації пожежовибухонебезпечних подій.

Аналіз пожежної безпеки полягає у визначенні наявності горючих речовин і можливих джерел запалювання, ймовірних шляхів поширення пожежі та необхідних засобів пожежогасіння.

Теплові джерела запалювання різноманітні, наприклад, навіть звичайний графин із водою, залишений на підвіконні, може стати оптичною лінзою і запалити порт'єру. Однак до основних джерел запалювання належать: відкритий вогонь; розжарені продукти горіння та нагріті ними поверхні; теплові прояви електричної, механічної, сонячної та ядерної енергій, а також хімічних реакцій; інші джерела запалювання.

У побуті відкритий вогонь використовують для опалення, нагрівання, приготування їжі та, в окремих випадках, для освітлення, на промислових підприємствах – згідно з умовами технологічного процесу (вогневі печі та топки, факели для спалювання газів, паяльні лампи, газові різакі та ін.). Відкритий вогонь має достатню температуру та запас теплової енергії, що

можуть спричинити горіння всіх видів горючих речовин і матеріалів. Тому основним захистом від нього є ізоляція від зіткнення з ним горючих речовин.

Багато пожеж виникає внаслідок несправностей та порушень правил експлуатації електротехнічних, електронагрівальних приладів, пристроїв і устаткування, від коротких замикань в електричних ланцюгах; перегрівання та займання речовин і матеріалів, розташованих близько до нагрітого електроустаткування; струмових перевантажень проводів та електричних машин; великих перехідних опорів тощо.

Пожежонебезпечне підвищення температури внаслідок перетворення механічної енергії на теплову спостерігається у разі ударів твердих тіл (з виникненням іскор або без них); поверхневого тертя тіл під час їх взаємного переміщення; стиснення газів та пресування пластмас; механічного оброблення твердих матеріалів різальними інструментами.

Перебіг хімічних реакцій із значним виділенням теплової енергії супроводжується потенційною небезпекою пожежі або вибуху, оскільки виникає неконтрольоване розігрівання реагуючих, новоутворюваних чи тих, що перебувають поряд, горючих речовин. Різні хімічні сполуки в контакт з повітрям, водою чи в разі взаємодії можуть стати причиною пожежі. Трапляються випадки, коли сонячні промені, що концентруються за допомогою оптичних приладів, утворюють досить потужні теплові джерела, здатні спричинити займання груп горючих речовин і матеріалів.

Залежно від агрегатного стану та ступеня подрібненості речовин, горюче середовище можуть утворювати тверді речовини, легкозаймисті та горючі рідини, горючий пил і газів. Тверді горючі речовини можуть горіти безпосередньо у будівлях, приміщеннях, машинах та апаратах (паперові книжкові фабрики, деревообробні комбінати, швацькі підприємства, склади та квартири).

Отже, аналіз пожежної небезпеки будівель, приміщень, технологічного устаткування тощо повинен дати відповіді на питання: де, за яких умов і в який спосіб може виникнути пожежа, як вона розвиватиметься, до чого це призведе.

Кінцевою метою такого аналізу має бути максимально можливе виключення потенційних джерел запалювання, зведення до мінімуму горючого середовища, встановлення такого рівня протипожежного режиму, за якого ймовірність виникнення пожежі та масштаби її наслідків будуть найменшими.

Методика аналізу пожежної небезпеки зводиться до виявлення та оцінювання:

- потенційних та наявних джерел запалювання;
- умов формування горючого середовища;
- умов виникнення контакту джерел запалювання та горючого середовища;
- умов і причин поширення вогню в разі виникнення пожежі;
- наявності та масштабів імовірної пожежі, загрози життю і здоров'ю людей, навколишньому середовищу та матеріальним цінностям;
- рівня працездатності систем протипожежного захисту та протипожежної стійкості кожної ділянки і об'єкта загалом;
- порушень протипожежного режиму, норм і правил пожежної безпеки.

Для здійснення обґрунтованих прогнозів щодо виникнення та поширення пожеж необхідно спиратися на статистичний аналіз пожеж, особливо тих, які виникають на споріднених об'єктах. Він свідчить, що пожежі трапляються, як правило, у разі таких порушень протипожежного режиму:

- 1) несправність технологічного устаткування (передчасний вихід з ладу, неякісний повсякденний огляд, несправність контрольно-вимірювальних приладів та несвоєчасність проведення планово-профілактичних ремонтів);
- 2) недотримання правил облаштування та експлуатації електроустановок, строків їх ремонту та замірів опору ізоляції електропроводів;
- 3) недотримання правил експлуатації вентиляційних систем (наявність пошкоджень, несвоєчасність очищення та ремонту);

4) недотримання технологічного регламенту з вини обслуговуючого персоналу, через поломки контрольно-вимірювальних приладів або неякісний догляд;

5) недотримання правил пожежної безпеки під час ремонту технологічного устаткування (неповне зливання легкозаймистих та горючих рідин, непродування і непропарювання ємностей інертним газом та парою, використання сталевих інструментів, здатних до іскро-вискікання, тощо);

6) застосування відкритого вогню (під час використання факелів, паяльних ламп, розведення багать, куріння та ін.);

7) недотримання режиму проведення вогневих робіт (електрогазозварювальних, фарбувальних, малярних, при розігріванні бітуму, смол, мастик);

8) підтікання та розливання легкозаймистих і горючих рідин, вихід газів за несправностей тари, апаратів, трубопроводів та газопроводів);

9) недотримання строків очищення виробничого устаткування, фарбувальних камер;

10) недотримання режиму збирання сміття та інших горючих відходів;

11) недотримання правил експлуатації систем опалення і вентиляції;

12) неналежне утримання шляхів евакуації та під'їздів до будівель і споруд, засобів оповіщення про пожежу;

13) порушення протипожежних відстаней;

14) недотримання правил зберігання пожежовибухонебезпечних речовин і матеріалів;

15) несправність або відсутність систем протипожежного захисту та первинних засобів пожежогасіння, зовнішнього і внутрішнього протипожежного водопостачання;

16) невідповідність вимогам норм шляхів евакуації.

Аналіз пожежної небезпеки є основою для розроблення всіх видів протипожежних заходів. Тому повнота, своєчасність та якість його проведення

істотно впливають на загальний протипожежний стан і організацію пожежно-профілактичної роботи.

Оскільки повністю виключити імовірність виникнення пожежі неможливо, то необхідно використовувати стратегію обмеження її наслідків, вдаючись до таких заходів:

- забезпечення вогнестійкості будівель та споруд;
- своєчасна евакуація людей та відповідність чинним нормам шляхів евакуації;
- створення умов для ефективного гасіння пожежі;
- обмеження поширення пожежі;
- ліквідація горіння.

Вказані заходи реалізують через систему забезпечення протипожежного захисту.

Комплекс організаційно-технічних, економічних заходів, норм пожежної безпеки повинен забезпечувати впровадження сучасних ефективних заходів та засобів, а також підтримання пожежної безпеки на необхідному рівні. Цей комплекс передбачає:

- організацію пожежної охорони відповідного виду (згідно із Законом України "Про пожежну безпеку" діють чотири види пожежної охорони: державна, відомча, місцева та добровільна);
- облік та аналіз даних про пожежі та збитки від них;
- паспортизацію речовин, матеріалів, виробів, технологічних процесів, будівель та споруд об'єктів в напрямі забезпечення пожежної безпеки;
- збирання, систематизацію та аналіз даних (вітчизняних та закордонних) про досвід і перспективні вирішення питань щодо забезпечення пожежної безпеки;
- організацію навчання правилам пожежної безпеки працівників за місцем роботи та населення за місцем проживання;

- розроблення та реалізацію норм і правил пожежної безпеки, інструкцій про заходи поводження з пожежонебезпечними речовинами та матеріалами, дотримання протипожежного режиму і порядок дій у разі пожежі;
- облік та аналіз витрат на забезпечення пожежної безпеки, фінансування відповідних заходів; матеріально- технічне забезпечення систем запобігання пожежам та протипожежного захисту;
- розроблення прогнозів і планів забезпечення пожежної безпеки, контроль та координування їх виконання;
- виготовлення і застосування наочних засобів протипожежної пропаганди щодо забезпечення пожежної безпеки;
- нормування кількості людей на об'єкті за умовами їх безпеки у разі пожежі;
- встановлення порядку зберігання речовин та матеріалів, методи гасіння яких залежать від їх фізико- хімічних та пожежонебезпечних властивостей;
- розроблення заходів, дій адміністрацій об'єктів, робітників, службовців та населення у разі пожежі та організації евакуації;
- забезпечення необхідної кількості, розміщення та обслуговування пожежної техніки, яка має сприяти ефективному гасінню пожежі та бути безпечною для природи і людей;
- залучення громадськості та широких верств населення до питань забезпечення пожежної безпеки.

Гарантування пожежної безпеки є складником виробничої та іншої діяльності посадових осіб, працівників підприємств, установ, організацій та підприємців. Це відображають у трудових договорах (контрактах) та статутах підприємств, установ та організацій.

Висновки до розділу 4

У результаті проведеного аналізу небезпечних та шкідливих виробничих факторів у приміщенні для лабораторних досліджень встановлено небезпечну дію шумо-віброційних факторів, і недостатньої освітленості в робочій зоні факторів. Для зменшення несприятливого впливу на персонал, який виконує роботи з дослідження триботехнічних характеристик мастильних матеріалів та при подальшій експлуатації лабораторного приміщення, де розташовані зазначені робочі місця розроблені заходи з пожежобезпеки та рекомендовано використання додаткового освітлення.

Також проведено проектний розрахунок з поліпшення умов праці щодо освітлення при виконанні аналізу лабораторних досліджень

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

1. Про охорону праці: Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ (2015). (Редакція станом на 05.04.2015 р. Режим доступу: zakon.rada.gov.ua.
2. Буріченко Л.А., Гулевець В.Д. Охорона праці в авіації: Підручник / За ред. Л.А. Буріченка. - К.: НАУ, 2003. - 448 с.
3. ГОСТ 12.0.003-74 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація
4. Охорона праці : навч. посіб. [Електронний ресурс] / З. М. Яремко, С. В. Тимошук, О. І. Третяк, Р. М. Ковтун ; за ред. З. М. Яремка. – Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2010. – 69 с. – Режим доступу : www.franko.lviv.ua/faculty/.../ohorona%20praci_chastyna%20I.pdf 8.
5. Виноградов О. В. Охорона праці. Аналіз стану охорони праці в Україні / О. В. Виноградов // Статистика України. - 2011. - №3. - С. 31-35.
6. library.tntu.edu. ua/exhibitions/novi-nadhodzhennja/2012.../berezen
6. Законом України "Про пожежну безпеку"

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Негативний вплив відпрацьованих мастильних матеріалів на навколишнє середовище

В останні роки у світі збільшився парк енергетичних установок з використанням двигунів внутрішнього згорання для експлуатації яких застосовуються не лише традиційні сорти важких палив, але й альтернативні види палива, що посилює вимоги до властивостей мастильних матеріалів, які насичуються різними присадками, що здорожує виробництво. У світі щорічно утворюється мільйони тон відпрацьованих мастильних матеріалів (ВММ). Дрібні споживачі обмежуються похованням на звалищах, каналізації, або зливом у недозволених місцях. Дані різних джерел про кількість ВММ суперечливі, що пояснюється труднощами обліку. Кількість нафтопродуктів, що надходить до Балтійського моря з 14 країн, становить близько 66 000 т/рік. Основний забруднювач - Росія [1].

Одним із шляхів економії ММ є їхнє повторне використання після відповідної переробки. Приблизно половина від загального виробництва олив може бути повернена на утилізацію. Екологами встановлено [1], що відпрацьовані ММ становлять щонайменше 50% від загальних забруднень нафтопродуктами. Розробка методів утилізації та/або повторного використання ММ може істотно вплинути на зниження екологічного тиску на навколишнє середовище.

Збір відпрацьованих ММ впав з 1,9 млн. т 1990 р. до 0,05 млн. т 1993 р. [2]. На економіку промислової регенерації впливає вибір способу переробки ВММ, якість вихідної сировини, ступінь освоєння та техніко-економічні показники процесів, розміщення нафтопереробних заводи вимоги до охорони навколишнього середовища. Ці фактори впливають на

експлуатаційні витрати виробництва регенованого ММ, зокрема зростає частка витрат на електричну та теплову енергію, каталізатори та реагенти, утримання та експлуатацію обладнання. У колишньому СРСР накопичено значний досвід у питаннях розробки методів та засобів регенерації, а також застосування ВММ для різноманітних технологічних потреб.

Екологічно небезпечними компонентами ММ є поліциклічні ароматичні вуглеводні, що спочатку присутні в нафті, полігалогендифеніли, в основному поліхлордифеніли, сірковмісні і хлорсодержащіе присадки, ряд біоцидів, органічні сполуки металів (свинцю, барію, сурми, цинку), нітрити [2]. Маючи низький ступінь біорозкладності (до 30%) і накопичуючись у навколишньому середовищі, можуть викликати зсув екологічної рівноваги довкілля через мутацію та посилене розмноження мікроорганізмів, що засвоюють нафтопродукти. Спалювання ММ призводить до утворення токсичних сполук – поліхлордибензодіоксинів та поліхлордибензофуранів [1, 3]. Забруднення біосфери ВММ відбувається шляхом просочування в ґрунт і потрапляння в поверхневі та ґрунтові води при протоках та витоках [2]. У ній вони частково піддаються окисленню та біорозкладу під дією кисню та мікроорганізмів. На поверхні води оливи утворюють розводи та плівки, які емульгуються, окислюються киснем повітря та частково розкладаються. Забруднення ґрунтової води – одне з основних джерел забруднення ґрунтових вод. Потрапляючи у довкілля, ароматичні вуглеводні (включаючи поліциклічні ПАУ) шкідливо впливають на життєдіяльність водних рослин, риб та інших біоресурсів. Порівняно з аліфатичними вуглеводнями вони краще розчиняються у воді і повільніше виводяться з організмів, що їх накопичують. Токсичність ММ визначається розкладанням оливи під час експлуатації. Токсичні забруднення, такі як свинцеві антидетонатори, продукти неповного згоряння палива в ММ, металеві домішки (продукти зносу), присадки, що розклалися, бактерії, грибки виникають при окисленні і термічному розкладанні. Токсичність нафтових олив підвищується зі зростанням їх

молекулярної маси і кислотного числа, зі збільшенням у складі частки аренів, смол, сірчистих сполук.

Джерелами стійкого забруднення ґрунту, водойм та атмосфери є не тільки відпрацьовані ММ, а й відходи від їх переробки, які найчастіше не утилізуються і є ще більшою небезпекою. Доведено присутність діоксинів та фуранів у відпрацьованих та регенерованих ММ [4].

Шляхи енергоресурсозбереження, способи регенерації відпрацьованих моторних масел та їх апаратне оформлення

Шляхи енергоресурсозбереження мастильних матеріалів

Основні витрати енергетичних ресурсів припадають на енергоспоживання, тому економія нафтопродуктів у цій галузі є найважливішим резервом підвищення ефективності роботи підприємств морського флоту. Загальні тенденції розвитку світової енергетики та значний досвід розвинутих країн щодо раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) дають можливість визначити основні напрямки раціонального споживання нафтопродуктів у різних галузях промисловості:

1. Підвищення паливної економічності повітряних суден;
2. Удосконалення організації зберігання та обліку нафтопродуктів;
3. Впровадження енергозберігаючих технологій;
4. Використання альтернативних видів палива та відновлюваних джерел енергії.

Вищеперелічені напрями економії нафтопродуктів можна здійснити, реалізуючи конструктивні, хімотологічні, експлуатаційні та утилізаційні заходи (рис. 5.1). Причому економія мастил здійснюється як при створенні техніки, масел, присадок, так і при експлуатації АТ та використанні мастильних матеріалів, а також їх регенерації. Удосконалення АТ ведеться у двох напрямках:

1. Розробка конструкцій енергетичних установок з підвищеною паливною економічністю;
2. Створення літальних апаратів, що споживають менше енергії під час експлуатації. При вдосконаленні авіаційних

енергетичних установок актуальним залишається питання створення економічних двигунів та механізмів передачі енергії на двигуни.



Рисунок 5.1 – Способи економії мастил

За допомогою реалізації конструктивних заходів економія ММ складає стадії вдосконалення конструкції двигунів, машин і агрегатів; при розробці нових видів випробувань двигунів та інших агрегатів; шляхом скорочення часу опрацювання та обкатки; також за рахунок створення необхідного (оптимального) теплового режиму при пуску та в умовах експлуатації [6]. Впровадження конструктивних заходів дає економію мастил від 6 до 15%. Хімотологічні заходи, спрямовані на економію мастильних матеріалів та правильне вирішення питань раціонального та економного використання моторних масел безпосередньо пов'язані з характером та глибиною зміни початкових властивостей оливи при роботі двигуна.

Утилізаційні заходи передбачають збирання та повторне використання ВММ після відповідної обробки [1]. При цьому повторне використання можливе за прямим призначенням, за непрямим призначенням та не за призначенням. Відомі шляхи раціонального використання відпрацьованих мастил, ВММ обробляються шляхом очищення, регенерації та вторинної переробки [2]. Очищення передбачає видалення з ВММ одного із забруднювачів, наприклад, механічних домішок або води. Методів очищення розроблено досить велику кількість, причому ці методи опрацьовані конструктивно та апаратно. При цьому виникає проблема ліквідації неутилізованих відходів, найчастіше екологічно небезпечніших, ніж самі ВММ.

Процеси регенерації дозволяють економити цінну нафтову сировину та знижують забруднення навколишнього середовища. При проведенні регенерації можливе використання як відомих методів та їх комбінацій, так і розробка та застосування більш сучасних та ефективних технологій. Регенерація дозволяє здійснювати переробку невеликих обсягів ВММ, зібраних за сортами та марками безпосередньо у споживачів з використанням малогабаритних, стаціонарних, пересувних чи мобільних установок. Промислове використання ВММ для одержання теплової енергії спалюванням є вимушеним заходом утилізації.

5.2 Способи регенерації відпрацьованих мастильних матеріалів та їх апаратне оформлення

При регенерації відпрацьованих мастил (ВММ) використовуються фізичні способи очищення, а при необхідності застосовують фізико-хімічні та хімічні способи, пов'язані із застосуванням більш складного обладнання та великими витратами [3]. Чим вище вимоги до якості свіжої олії і що далі зайшов процес старіння, тим паче енергійні заходи потрібні його відновлення. За допомогою фізичних способів регенерації, не торкаючись хімічної основи масел, що видаляються, видаляють механічні домішки, воду, асфальто-смолисті сполуки, коксоподібні речовини. Для створення малогабаритної

регенераційної установки найбільш прийнятними фізичними способами є гравітаційне очищення в динамічних відстійниках; відцентрове очищення у фільтрах-сепараторах з коагулюючою перегородкою; магнітне очищення з постійним магнітом; вібраційне очищення з гідродинамічним випромінювачем; зневоднення; вакуумування з використанням вакуумних дистиляторів. Хімічні способи регенерації (рис. 5.2, 5.3) [1] використовуються для видалення асфальто-смолистих, кислотних, гетероорганічних сполук та води [3]. Для використання в малотоннажному виробництві застосовується лужна обробка. Всі інші способи застосовуються в промислових стаціонарних установках. Вони екологічно небезпечні, т.к. мають відходи, які потребують додаткової нейтралізації чи утилізації [5]. З використанням фізико-хімічних способів регенерації (рис. 3) видаляються асфально-смолисті та кислотні сполуки, емульгована та розчинена вода.

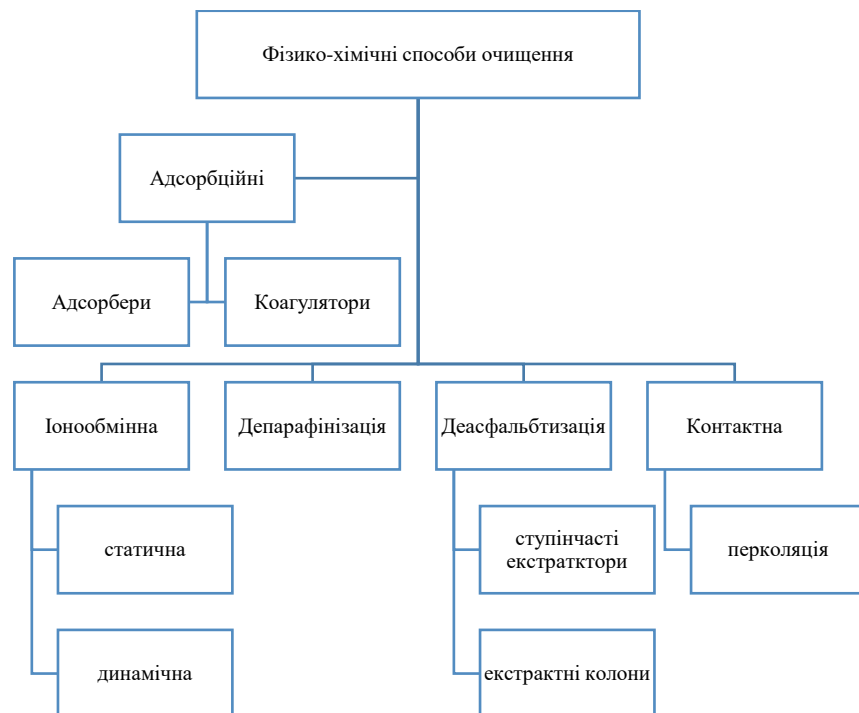


Рисунок 5.2 – Фізико-хімічні способи регенерації

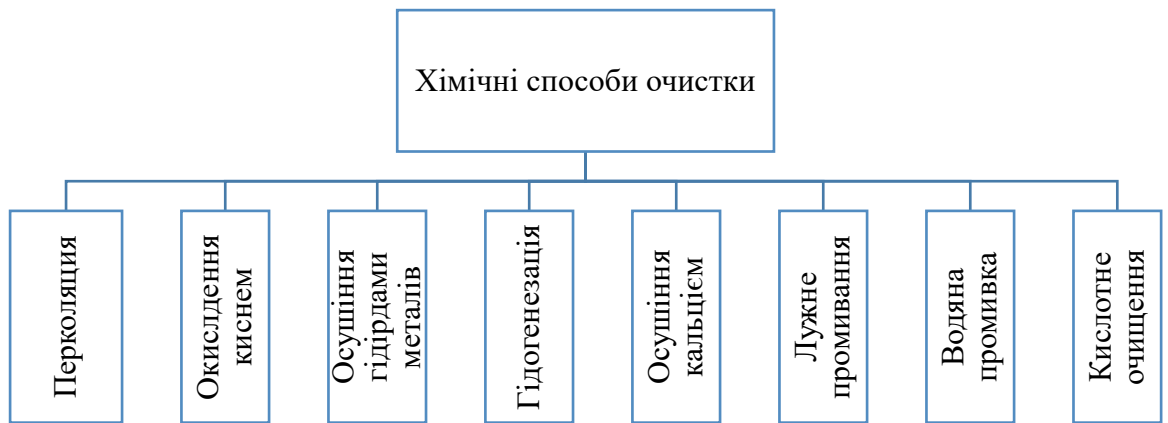


Рисунок 5.3 – Фізико-хімічні та хімічні способи регенерації

5.3 Розрахунок викидів речовин та парникових газів, що забруднюють атмосферу при спалюванні відпрацьованих паливно-мастильних матеріалів

Для визначення даних про викиди, що забруднюють атмосферу, як правило, застосовується комбінація двох основних методів:

- проведення вимірювань концентрацій речовин, що забруднюють навколишнє середовище у димових газах енергетичних установок;
- розрахункових методів за даними про витрати та склад використаного палива і характеристики енергетичних та газоочисних установок.

Коефіцієнти викидів визначаються респондентом на підставі нормативно-правових документів, визначених Міністерством екології та природних ресурсів, яке відповідно до Положення про Міністерство екології та природних ресурсів України, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 21 січня 2015р. № 32, веде державний кадастр викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, забезпечує нормативно-правове регулювання у сфері охорони атмосферного повітря, зокрема з питань визначення показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин, методик розрахунку антропогенних викидів джерелами.

З метою підготовки до складання екологічного звітів для розрахунку податку на викиди в атмосферу як суб'єктом господарювання, що не отримали дозволу на викиди речовин, що забруднюють атмосферу або не перебувають на державному обліку за обсягами потенційних викидів забруднюючих речовин та парникових газів у атмосферу. Дані підприємства можуть використовувати непромислові установки для спалювання паливно-мастильних матеріалів з метою обігрівання приміщень. З цією метою та враховуючи рекомендації [6], запропоновано використання спрощеної формули розрахунку зведених викидів j -ї забруднюючої речовини M_j (т), що надходить в атмосферу з димовими газами енергетичної установки за розглянутий період:

$$M_j = 10^{-6} k_j V_i Q_i^r;$$

де M_j – зведений викид j -ї забруднюючої речовини під час спалювання i -го палива за звітний період, т;

k_j – показник емісії j -ї забруднюючої речовини для i -го палива (г/ГДж);

V_i – витрата i -го палива за період (т);

Q_i^r – нижча робоча теплота згорання i -го палива (МДж/кг).

Для обчислення обсягів викидів, що забруднюють атмосферу при спалюванні паливно-мастильних матеріалів пропонується використовувати показники емісії забруднюючих речовин.

Вихідні дані для проведення розрахунку обсягів та складу викидів речовин та парникових газів, що забруднюють атмосферу при спалюванні паливно-мастильних матеріалів (ПММ):

- Кількість ПММ, що спалюється, V (т) при роботі котлів становлять: $V = 3$ т;
- нижча робоча теплота згорання ПММ – $Q_{\text{ПММ}} = 40,6$ МДж/кг.

Показники емісії забруднюючих речовин наведені в таблиці 5.1 [7].

Зведений викид оксиду вуглецю:

$$M_{\text{CO}} = 10^{-6} k_{\text{CO}} Q_{\text{ВММ}} V = 10^{-6} \times 318,4 \times 40,6 \times 3 = 0,0388 \text{ т.}$$

Зведений викид оксидів азоту:

$$M_{\text{NO}_x} = 10^{-6} k_{\text{NO}_x} Q_{\text{ВММ}} V = 10^{-6} \times 64,311 \times 40,6 \times 3 = 0,0078 \text{ т.}$$

Зведений викид оксиду азоту:

$$M_{\text{N}_2\text{O}} = 10^{-6} k_{\text{N}_2\text{O}} Q_{\text{ВММ}} V = 10^{-6} \times 0,6 \times 40,6 \times 3 = 0,0001 \text{ т.}$$

Зведений викид діоксиду вуглецю:

$$M_{\text{CO}_2} = 10^{-6} k_{\text{CO}_2} Q_{\text{ВММ}} V = 10^{-6} \times 76662,63 \times 40,6 \times 3 = 0,9338 \text{ т.}$$

Таблиця 5.1. – Показники емісії забруднюючих речовин

Назва показника емісії	Умовне позначення	Значення показника, г/ГДж
Оксиди азоту	k_{NO_x}	64,311
Оксид вуглецю	k_{CO}	318,4
Діоксид вуглецю	k_{CO_2}	76 66,26
Оксид азоту	$k_{\text{N}_2\text{O}}$	0,6
Метан	k_{CH_4}	3,0
Неметанові леткі органічні речовини (НМЛОР)	$k_{\text{НМЛОР}}$	10,0
Суспендовані тверді частинки (сажа)	$k_{\text{сажі}}$	405,81
Сірчистий ангідрид	k_{SO_2}	500,26

Зведений викид речовин у вигляді суспендованих твердих частинок

(сажа): $M_{\text{сажі}} = 10^{-6} k_{\text{сажі}} Q_{\text{ВММ}} V = 10^{-6} \times 405,81 \times 40,6 \times 3 = 0,0494 \text{ т.}$

Зведений викид метану:

$$M_{\text{CH}_4} = 10^{-6} k_{\text{CH}_4} Q_{\text{ВММ}} V = 10^{-6} \times 3,0 \times 40,6 \times 3 = 0,0004 \text{ т.}$$

Зведений викид оксиду сірки:

$$M_{\text{SO}_2} = 10^{-6} k_{\text{SO}_2} Q_{\text{ВММ}} V = 10^{-6} \times 500,26 \times 40,6 \times 3 = 0,0609 \text{ т.}$$

Зведений викид неметанових летких органічних речовин (НМЛОР):

$$M_{\text{НМЛОР}} = 10^{-6} k_{\text{НМЛОР}} Q_{\text{ВММ}} V = 10^{-6} \times 10 \times 40,6 \times 3 = 0,0012 \text{ т.}$$

5.4 Визначення еколого-економічних втрат від спалювання відпрацьованих паливно-мастильних матеріалів

Розглянемо виробництво, що займається утилізацією відпрацьованих паливно-мастильних матеріалів шляхом спалювання. Дане підприємство

використовує котлоагрегати середньої потужності і енергія від спалювання направляється на забезпечення теплоносієм власні приміщення по виробництву літальних апаратів нескладної конструкції. За рік підприємство спалює в такий спосіб близько 3 т мастильних матеріалів. Визначити збитки від спалювання даних матеріалів.

Оцінка шкоди Π (грн/р) для будь-якого викиду визначають за формулою

$$\Pi = \gamma \sigma f M,$$

де γ – константа, кількісне значення якої за 2021 рік [8], для оксиду азоту становить 2451,84 грн/ум.т, оксиду вуглецю – 92,37 грн/ум.т, Сірчистий ангідрид - 2451,84 грн/ум.т, сажі - 92,37 грн/ум.т; σ – показник відносної небезпеки забруднення атмосферного повітря; $f=10$ – похибка, яка враховує розсіювання сумішей в атмосфері (безрозмірна); M – зведена маса річного викиду забруднень із джерела.

Значення σ обчислюємо за табл. 6.13 [6] з урахуванням того, що ми розглядаємо промислове підприємство, $\sigma = 4$.

Висота гирла викидів знаходиться на висоті $h = 9$ м, то радіус кола зони активного забруднення (ЗАЗ) визначається як: $r_{\text{заз}}=50h$ із центром розташування в центрі джерела викидів

Враховуючи вищезазначені значення, отримуємо збитки від спалювання: $r_{\text{заз}}= 50 \times 9 = 450$ м;

$$\Pi_{\text{NO}_x} = 2451,84 \times 4 \times 10 \times 0,0078 = 764,71 \text{ (грн)};$$

$$\Pi_{\text{CO}} = 92,37 \times 4 \times 10 \times 0,0388 = 573,43 \text{ (грн)}.$$

$$\Pi_{\text{SO}_2} = 2451,84 \times 4 \times 10 \times 0,0609 = 5970,63 \text{ (грн)};$$

$$\Pi_{\text{сажі}} = 92,37 \times 4 \times 10 \times 0,0494 = 182,52 \text{ (грн)}.$$

Сумарні збитки які наносить підприємство спалюванням ПММ:

$$\sum \Pi = \Pi_{\text{NO}_x} + \Pi_{\text{CO}} + \Pi_{\text{SO}_2} + \Pi_{\text{сажі}}$$

$$\sum \Pi = 764,71 + 573,43 + 5970,63 + 182,52 = 7491,29 \text{ (грн)}.$$

Висновки до розділу 5

Аналіз умов роботи мастильних матеріалів, проведений багатьма дослідниками, дозволив виявити основні види забруднення ВММ та визначити критерії, що характеризують старіння мастила. Також встановлено, що ВММ мають підвищену токсичність і канцерогенність, тому їх не можна спалювати або зливати в землю, їх необхідно утилізувати. А регенерація є найефективнішим напрямом утилізаційних заходів, що дозволяють до 75 % ВММ повертати у виробництво, що сприяє економії нафтових сировинних ресурсів.

Питання екологічної утилізації олії стоїть досить гостро. Тому кожен користувач цих продуктів повинен піклуватися про захист екології. Відпрацьовані олії повинні утилізуватися спеціальним способом.

В даному розділі було виконано розрахунок еколого-економічного втрат від спалювання відпрацьованих паливно-мастильних матеріалів. За результатами розрахунків отримано, що за групою шкідливих викидів (оксидів азоту, оксиду вуглецю, сірчистий ангідрид та суспендовані тверді частинки (сажа)) підприємство за один рік платить екологічний податок в розмірі 7491,29 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Реалізовано модифікацію поверхневого шару рухомих спряжень циліндро-поршевої групи авіаційного поршневого двигуна внутрішнього згорання шляхо формування металовмісних захисних плівок у моторних оливах при різному поєднанні матеріалів оливи і деталей.

Виявлено, що додавання в мастильний матеріал оловомісткої присадки при зношуванні пари алюмінієвий сплав АК8К-сталь 50 ХНА на поверхнях тертя утворюється оловомістка захисна плівка.

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

Модельні випробування зносостійкості пари вал-втулка показали, що при доданні в моторну оливу оловомісткої мастильної композиції на порядок зменшується інтенсивність зношування металевих пар порівняно з їх роботою в базовому мастильному матеріалі

Розроблено практичні рекомендації щодо оптимальних експлуатаційних режимів, твердості матеріалів трибосполучення, що забезпечують формування металовмісних плівок на поверхнях тертя при роботі в моторних оливах.

Запропоновані заходи з охорони праці і навколишнього середовища, що дозволять зменшити ризик виникнення професійних захворювань та травмування на зазначеному об'єкті дослідження.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ**ДЖЕРЕЛ**

1. На основі проведеного аналізу, запропоновано спосіб припрацювання шляхом ступінчастого навантаження зубчастих редукторів, і встановлено, що такий спосіб припрацювання є неоптимальним.
2. Конструктивно-технологічні рішення забезпечення статичної міцності та ресурсу регіональних пасажирських літаків [Текст] / О. Д. Донець, О. І. Семенець, Є. Т. Василевський и др. – Киев: Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии, № 82, 2018
3. Конструктивно-технологические методы повышения усталостной долговечности элементов конструкции планера самолета в зоне функциональных отверстий [Текст] / Д.С. Кива, Г.А. Кривов, А.Г. Гребеников и др. – Киев: КВИЦ, 2015. – 188 с.
4. Управление процессами приработки основных сопряжений деталей машин при изготовлении и ремонте: Монография // Т.Н. Замота, В.В. Аулин.- Кировоград: издатель Лысенко В.Ф.; 2015.- 302 с.
5. Дмитриченко М. Ф., Мнацаканов Р. Г., Мікосянчик О. О. Триботехніка та основи надійності машин. Київ: Інформавтодор, 2006. 216 с.
6. Мнацаканов Р. Г. Моделювання інтенсивності зношування / О. О. Мікосянчик, Р. Г. Мнацаканов; М. С. Хімко // Problems of Friction & Wear. – 2015, Vol. 1. Issue 66. – P. 140–145.
7. Технология ремонта машин : учебник / В.М. Корнеев, В.С. Новиков, И.Н. Кравченко [и др.] ; под ред. В.М. Корнеева. – М. : ИНФРА-М, 2018. – 314 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). – www.dx.doi.org/10.12737/textbook_59d25702b797a5.36101100. – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/905842>.
8. Волченков А.В. Исследование и разработка триботехнически обоснованных режимов обкатки двигателей после капитального ремонта // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1-1.; URL:

<http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=18092> (дата обращения: 27.10.2020).

9. Управление процессами приработки основных сопряжений деталей машин при изготовлении и ремонте: Монография // Т.Н. Замота, В.В. Аулин.- Кировоград: издатель Лысенко В.Ф.; 2015.- 302 с.

10. Кузьменко А.Г. Дослідження взаємодії змащених поверхонь тертя. Монографія. / А.Г.Кузьменко, О.В. Диха. – Хмельницький: ХНУ, 2005. – 183 с.

11. Диха О.В. Методи контактної трибомеханіки мастильних шарів і моделі зношування при граничному терті: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня д-ра техн. наук: 05.02.04 "Тертя та зношування в машинах" – 2009. – 36 с.

12. Мнацаканов Р.Г. Триботехнические характеристики смазочных материалов в неустановившихся условиях работы: Дис. д-ра техн. наук: 05.02.04 / Киевский международный ун-т гражданской авиации / Р.Г. Мнацаканов. – К., 1998. – 491с.

13. Мікосянчик О.О. Структурно-енергетичні та реологічні показники мастильного шару в контактї тертя в умовах несталих режимів роботи: дис. докора тех. наук: 05.02.04 [Електронний ресурс] / Мікосянчик Оксана Олександрівна. - К.: -2017. - 416 с. Режим доступу: <http://er.nau.edu.ua/handle/NAU/27289/>

14. Blau P.J., "Interpretations of the Friction and Wear Break-in Behavior of Metals in Sliding Contact". Wear, Vol.71, 1989, p.29-43

15. Большаков В.В., Григорьев М.А., Федоров С.Н. Конструкция элементов ЦПГ и расход масла на угар // Автомобильная промышленность.-1999.- №12.- С.16-20.

16. Goto M., Honda F. Superlubricity of Ag Nanometer-Thick Layers under Macroscopic Sliding System in UHV Condition // Materials Science 2007.

17. Поверхностное упрочнение зубчатых колес : монография / Б. А. Ляшенко, П. В. Каплун, Ф. И. Златопольский, С. А. Довжук, Е. К. Соловых; Кировоград. нац. техн. ун-т. - Кировоград, 2015. - 183 с.

18. Кривошея А.В., Воронцов Б.С., Константиненко Д.О., Шубін Ю.Є. - «Підвищення якості поверхонь зубчастих коліс при удосконаленні методу зубохонінгування», «Машинобудування очима молодих» Прогресивні ідеї – наука – виробництво, Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції, 31 жовтня-02 листопада Краматорськ 2018 рік, Під заг. ред. В. Д. Ковальова. Краматорськ: ДДМА, 2018. - 204 с.

19. Аналіз стану питання та визначення можливих напрямків продовження ресурсу парку літальних апаратів ВПС України (шифр “Ресурс”). Підвищення надійності та довговічності трибосполучень авіаційної техніки модифікацією їхнього поверхневого шару. (Заключний). – Т. 2: Отчет о НИР / Харьковский институт ВВС Украины. – Инв. №48282. – Харьков, 2003. – 151 с

20. Дискретні покриття для підвищення зносостійкості деталей машин і механізмів [Б. А.Ляшенко, В. Є.Марчук, В. І.Калініченко, Ю. О.Градиський] // Вісник Харківського НТУСГ ім. Петра Василенка. – Харків: Вид-во Харківського НТУСГ ім. Петра Василенка, 2010. – Вип. 94. – С. 324–335.

21. Мнацаканов Р.Г. влияние неустановившихся условий работы на смазочную способность масел и смазок при качении и качении со скольжением. Диссерт. на соискание ученой степени кандидата технических наук, КНИГА, Киев, 1986, 256 с.

22. Чудаков К.П. Заводской контроль долговечности и обкатка машин. М., ЦИНТИАМ, 1964, с.39-51.

23. Карасин И.И., Силин Л.В. Оценка прирабатываемости материалов по предельным режимам нагружения. М. Экспресс-стандарт, 1972, № 20, с.10-12.

24. Лимончиков В.Д. Влияние сил трения и износа в трибосопряжениях механизмов на безопасность полетов ЛА.// Проблемы машиноведения:

трибология – машиностроению. / Труды Всероссийской научно-технической конференции. –М. ИМАШ РАН. –2012, т. 1, 110-113.

25. Шахтер Ю.Н. и др. Рабоче-консервационные смазочные материалы. М: Химия, 1979, 25

26. Чичинадзе, А.В. Трение, износ и смазка. Трибология и триботехника / под ред. А.В. Чичинадзе - М.: Машиностроение, 2003 - 575 с

27. Комбалов, В.С. Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных: справочник / под ред. К.В. Фролова, Е.А. Марченко. М.: Машиностроение, 2008 - 384 с.

28. Разработать методы повышения эксплуатационных показателей зубчатых редукторов путем совершенствования их приработки. Отчет о НИР * СИ-80 III-IV -кв. 1982, КНИГА, 93 с.

29. Райко М.В. Исследование смазочного действия нефтяных масел в условиях зубчатых передач. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, Киев, КИИГА, 1974, 369 с.

30. Александров С.Е., Гаврилов Г.А. и др. Устройство для измерения толщины пленок на вращающихся подложках. Пат. № 73728 от 12.11.2007.

31. Cameron A., Gohar R. Theoretical and Experimental studies of the Oil film in Lubrication Point Contact. Bos. Roy/ Soc., a. 291, pp 520-536, 2016.

32. Hartung H.A. Density – Temperature – Pressure Relations for Lignicl Lubricants. France. Am for Mech. Engr. s, 78, pp. 941-947 2016.

33. So B.Y.C., Klans E.E. Viscosity – Pressure Correlation of Signits A S L E. France, 24.4, pp. 409-421 2010.

34. Закалов, О.В. Триботехніка і підвищення надійності машин [Текст]: О.В. Закалов. – Тернопіль: ТДТУ, 2000. – 354 с.

35. Кульгавий, Э. А. Триботехнические характеристики и их применение [Текст] / Э. А.Кульгавий // Проблемы трибології. – 2003. – № 3. – С. 51 – 61.

36. Кіндрачук М. В. Вплив зовнішніх факторів на закономірності припрацювання антифрикційних систем / М. В. Кіндрачук, Ю. Л. Хлевна, Е.

А. Кульгавий, О. І. Духота // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2013. - № 5(7). - С. 15-19.

37. HEADQUARTERS: MS Motorservice International GmbH Wilhelm-Maybach-Straße 14–18 74196 Neuenstadt, Germany www.ms-motorservice.com.

38. ГОСТ 12.0.003-74 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

39. ГОСТ 12.3.009-76* «ССБТ. Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности».

40. <https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/aviations-impact-on-the-environment>.

41. <https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/climate-action/efficient-technology/>.

42. Green Groups Warn Deal to Lower Aviation Pollution is 'Weak Shell Game', N. Prupis, Common Dreams, 6 October 2016.

43. Milman, Oliver (6 October 2016). "First deal to curb aviation emissions agreed in landmark UN accord". The Guardian. London. Retrieved 20 October 2016.

44. ATAG (2009). Beginner's guide to aviation biofuels. Available at <http://www.atag.org/component/downloads/downloads/60.html>, last accessed on 01 Sep 2015.

45. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» від 23.05.2017р.

46. ДСанПіН 2.2.7.029-99 Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення.

47. Наказ Держкомстату від 13.11.2008 № 452 «Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів».

48. Слободян О. Положення про дипломні роботи (проекти) випускників Національного Авіаційного Університету, затв. наказом т. в. о. ректора від 14.12.2017 № 594/од., 2017, 63 с.

1. Екологічна безпека та охорона довкілля: Монографія / Д. В. Зеркалов – Електрон. дані. – К. : Основа, 2011.
2. Закон України “Про охорону навколишнього середовища”
3. Евдокимов А.Ю., Лашхи В.Л., Джамалов А.А. Отработанные смазочные материалы и вопросы экологии // Химия и технология топлив и масел. 1992. № 11. С. 26-30.
4. Краснянский М. Е. Утилизация и рекуперация отходов: учеб.пособие /М. Е.Краснянский. –2-еизд, испр.и доп.–Харьков: Бурун и К, Киев: КНТ, 2007. –288 с.
5. Постанова КМ № 1221 від 17.12.2012 Деякі питання збирання, перевезення, зберігання, оброблення (перероблення), утилізації та/або знешкодження відпрацьованих мастил (олив).
6. Екологія та охорона навколишнього середовища: Дипломне проектування: Навч. посібник для студ. вищих навч. закл. / Національний авіаційний ун-т. — К. : Книжкове вид-во НАУ, 2005. — 192с
7. Визначення обсягів викидів стаціонарними джерелами [Електронний ресурс] // Вісник. Офіційно про податки. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.visnuk.com.ua/ua/news/id/3138>.
8. Пункт 243.1 статті 243 в редакції Законів № 4235-VI від 22.12.2011, № 5503-VI від 20.11.2012, № 1166-VII від 27.03.2014, № 909-VIII від 24.12.2015, № 1791-VIII від 20.12.2016, № 2245-VIII від 07.12.2017