

**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

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**  
**ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ**  
**«МАГІСТР»**

**Тема: «Підвищення ефективності припрацювання зубчастих коліс  
редукторів повітряних суден»**

**Виконав:** \_\_\_\_\_ **І.В. Щербак**

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

**Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:**

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

**охорона навколишнього**

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

**Нормоконтролер:** \_\_\_\_\_

**Київ 2022**

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Аерокосмічний факультет

Кафедра підтримання льотної придатності повітряних суден

Освітній 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

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

## **ЗАВДАННЯ**

### **на виконання кваліфікаційної роботи ЩЕРБАКА ІГОРЯ ВАСИЛЬОВИЧА**

1. Тема роботи: **«Підвищення ефективності припрацювання зубчастих коліс редукторів повітряних суден»** затверджено наказом ректора від 29 вересня 2022 року № 1785/ст.
2. Термін виконання роботи: з 26 вересня 2022 року по 30 листопада 2022 року.
3. Вихідні дані до роботи: статистичні данні про результатів припрацювання редукторів, мастильних матеріалів з різною концентрацією антифрикційних матеріалів, методи дослідження припрацювання зубчастих передач, дослідження впливу антифрикційних добавок на процеси припрацювання.
4. Зміст пояснювальної записки: аналіз існуючих методів, що використовуються для виконання припрацювання редукторів і зубчастих передач, аналіз факторів, що впливають на працездатність і пропрацьованість редукторів, розробка методики припрацювання редукторів і зубчастих передач щодо підвищення експлуатаційних характеристик, розробка заходів по охороні праці та навколишнього середовища.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: класифікація факторів, що впливають на ефективність припрацювання редукторів, класифікація мастильних матеріалів за призначенням, вимоги, що висуваються процедур підвищення працездатності редукторів, методи випробування мастильних матеріалів в процесі припрацювання, універсальна машина тертя для дослідження мастильних матеріалів, результати дослідження прорядження 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  
лен

Завдання	Строк виконання	Відмітка про виконання
Аналіз існуючих методів, що використовуються для дослідження експлуатаційних характеристик редукторів	26.09.22-30.09.22	
Аналіз змащувальних матеріалів, що використовуються в редукторах	01.10.22 –15.10.22	
Постановка задач дослідження. Вибір методики дослідження припрацювання редукторів	16.10.22 –20.10.22	
Розробка плану експериментів дослідження припрацювання редукторів	21.10.22 –27.10.22	
Проведення досліджень та аналіз отриманих результатів	28.10.22 –10.11.22	
Розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності припрацювання редукторів	11.11.22 –14.11.22	
Виконання окремих розділів роботи : охорона праці, охорона навколишнього середовища	15.11.22 –18.11.22	
Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу	19.11.22 –22.11.22	
Попередній захист кваліфікаційної роботи	22.11.22 –24.11.22	

7. Консультанти по окремими розділам

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

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

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ Р.Г. Мнацаканов

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ І.В. Щербак

## Реферат

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: «Підвищення ефективності припрацювання зубчастих коліс редукторів повітряних суден»:

108 с., 16 рис., 5 табл., 47 посил.

Об'єкт досліджень – способи і режими припрацювання зубчастих передач.

Предмет досліджень – мастильні матеріали МС-20, AeroShell Grease 33 та антифрикційні добавки на основі графіт.

Мета кваліфікаційної роботи – обґрунтування показників і оцінка ефективності обкатки і антикорозійної обробки редукторів.

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 полягає у встановленні особливостей припрацювання зубчастих передач, вплив зовнішніх факторів тертя в сталих і несталих умовах роботи. Визначені показники, що характеризують ефективність припрацювання і антикорозійну обробку редукторів.

Розроблені автором рекомендації можуть бути запропоновані для підвищення ефективності припрацювання і антикорозійної обробки редукторів.

**АНТИКОРОЗІЙНА ОБРОБКА, ЗМАЩУВАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ,  
ЗУБЧАСТА ПЕРЕДАЧА, ПРИПРАЦЮВАННЯ, РЕЖИМИ РОБОТИ,  
РЕДУКТОР**

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ ТА ІНДЕКСІВ.....	9
ВСТУП .....	11
1 АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ФАКТОРІВ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИПРАЦЮВАННЯ І АНТИКОРОЗІЙНОЇ ОБРОБКИ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ РЕДУКТОРІВ .....	15
1.1 Особливості процесу припрацювання поверхонь тертя .....	15
1.2 Особливості припрацювання зубчастих зачеплень.....	18
1.3 Методи припрацювання редукторів.....	19
1.4 Порівняльний аналіз методів припрацювання поверхонь тертя....	24
1.6 Навантажувальний фактор.....	27
1.7 Фактор вихідної шорсткості .....	28
1.8 Механічні властивості матеріалів припрацьованих зубчастих передач .....	29
1.9 Фактор змащувального матеріалу .....	30
1.10 Антикорозійні властивості змащувальних матеріалів .....	31
Висновки до розділу 1 .....	34
2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ І ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ПРИПРАЦЮВАННЯ.....	35
2.1 Мета випробувань на тертя і зношування .....	35
2.2 Показники, що характеризують ефективність процесу припрацювання .....	38
2.3 Умови дослідження та вимірювання товщини змащувального шару .....	39
2.3.1 Умови дослідження.....	41
2.3.2 Вимірювання товщини змащувального шару .....	42
2.4 Інтерференційний метод вимірювання товщини змащувального шару в контакті тертя .....	44
Висновки до розділу 2 .....	47

3 МЕТОДИКА ПРИПРАЦЮВАННЯ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ	
РЕДУКТОРІВ АВІАЦІЙНИХ АПАРАТІВ .....	48
3.1 Припрацювання зубчастих передач в умовах сталих режимів .....	48
3.2 Припрацювання зубчастих передач при несталих режимах роботи.....	53
3.2.1 Вплив несталих режимів припрацювання на надійність та довговічність зубчастих передач.....	53
3.2.2 Експериментальні аспекти якості зубчастих передач при частих пусках і зупинках .....	56
3.3 Пропонований спосіб припрацювання редукторів.....	61
Висновки до розділу 3 .....	69
4 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	71
4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів, що діють при ремонті літального апарату.....	71
4.1.1 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори.....	71
4.1.2 Фізична безпека та шкідливі виробничі фактори .....	72
4.1.3 Хімічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори .....	73
4.1.4 Психофізіологічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори ....	75
4.2 Заходи щодо зменшення впливу шкідливих та небезпечних виробничих факторів .....	75
4.2.1 Способи захисту працівників від шкідливих виробничих факторів.....	75
4.2.2 Усунення небезпечних та шкідливих факторів .....	76
4.2.3 Шум та його вплив на людину .....	77
4.2.4 Вплив вібрації та її усунення .....	77
4.2.5 Захист працівників від небезпечних речовин .....	79
4.2.6 Заходи безпеки .....	80
4.3 Інструкція з охорони праці.....	81
Висновки до розділу 4 .....	84
5 ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА .....	85

5.1	Аналіз впливу літальних апаратів на навколишнє середовище при експлуатації.....	85
5.1.1	Генерування вуглекислого газу в авіації.....	85
5.2	Основні типи забруднювачів навколишнього середовища та їх характеристики.....	88
5.2.1	Шкідливі газові викиди.....	91
5.2.2	Існують і інші забруднення, що впливають на видимість.....	94
5.3	Методи зниження викидів токсичних речовин в атмосферу.....	96
5.4	Утилізація масел.....	99
	Висновки до розділу 5.....	102
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	103
	СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	104

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ ТА ІНДЕКСІВ

АТ	– авіаційна техніка
ВПН	– вимір падіння напруження;
ДСК	– дисперсно-зміцнені композиції;
ЕГД	– еластогідродинаміка;
КПМ	– керуючий програмний механізм
КСК	– комплексної мастильної композиції;
ЛА	– літальний апарат;
НТР	– нормальний тліючий розряд;
ПАР	– поверхнево-активні речовини;
СОП	– самогенеруюча органічна плівка;
ТО	– технічне обслуговування
$h_{\text{опт.}}$	– оптична товщина змащувального шару;
$P_{\text{max}}$	– тиск в контакті;
$a$	– радіус герцевського контакту;
$F$	– навантаження в контакті;
$f$	– коефіцієнта тертя
$h_1$	– товщина змащувального шару;
$n_o$	– рефрактивний індекс при атмосферному тиску;
$n_p$	– рефрактивний індекс при тиску;
$r$	– радіус відповідного інтерференційного кільця;
$R$	– радіус кривизни лінзи і застосувати рівняння Герца;
$Ra$	– шорсткість поверхні;
$V$	– швидкість обертання, коливання;
$\gamma$	– кінематичний тиск;
$\rho_1$	– щільність мастила при тиску;
$\rho_o$	– щільність мастила при атмосферному тиску;
$\tau_1$	– час;
$\sigma_1$	– середньоквадратичне відхилення в момент часу $\tau_1$



- $E$  – інтегральна характеристика
- $E'$  – приведений модуль пружності;
- $I$  – інтенсивність зношування;
- $M_2$  – момент на веденому валу редуктора;
- $H$  – мікротвердість.

## ВСТУП

Забезпечення безпеки польотів і ресурсу конструкцій авіаційної техніки є однією з актуальних проблем створення літальних апаратів. Задані статична міцність, ресурс і надійність авіаційної техніки закладаються при проектуванні та конструюванні, забезпечуються в процесі виробництва та досягаються під час експлуатації [1].

Проектування сучасної авіаційної техніки за принципом припустимості пошкоджень є комплексною науково-технічною проблемою, яка вирішується на основі інтеграції наукових досліджень фахівців авіаційної промисловості і наукових центрів.

Головними чинниками, які призводять до порушення характеристик працездатності або відмов деталей, вузлів і агрегатів авіаційної техніки, є: втома, корозія, знос, фретинг-корозія, людський чинник. Ці чинники значною мірою залежать від стану поверхні, її фізичних і хімічних властивостей. Керуючи властивостями поверхні, вдається поліпшити втомні, триботехнічні та корозійні характеристики авіаційних конструкцій.

Руйнування конструктивних елементів від втоми є результатом дії циклічних, динамічних навантажень і додаткових чинників (конструктивних, експлуатаційних, виробничих, навколишнього середовища, якості матеріалу, покриттів, технологічності виробництва, контролю стану конструкції впродовж забезпечення її життєвого циклу) [2].

Ресурс і надійність машин багато в чому обумовлені явищами тертя і зношування, які відбуваються між поверхнями деталей основних трибосопряжень. При цьому порушується герметичність вузлів, втрачається точність взаємного розташування деталей і переміщень, виникають заклинювання, удари, вібрації [3]. Тертя призводить до зниження ресурсу, втрат енергії, перегріву механізмів, зниження контактних зусиль, підвищеної витраті паливно-мастильних матеріалів.

Досягти підвищення ресурсу та надійності відновлених агрегатів можливо шляхом поліпшення процесу припрацювання поверхонь тертя деталей його основних сполучень. В процесі припрацювання спочатку здійснюється макроприпрацювання, а потім відбувається мікроприпрацювання з остаточним формуванням мікрогеометрії поверхні. Чим більші первинні макрогеометричні відхилення, тим складніше забезпечити високу якість припрацювання сполучень деталей. Компенсувати неточності взаємного розташування зубчастих коліс основних трибосопряжень редукторів можна в процесі обкатки. Під час обкатки відбувається припрацювання поверхонь тертя і підготовка їх до сприйняття експлуатаційних навантажень.

Припрацювання редукторів здійснюється за рахунок тривалої стендової обкатки з подальшою обкаткою в експлуатаційних умовах, що призводить до великих витрат часу і коштів. Більшість технологічних прийомів, спрямованих на прискорення припрацювання, мають свої недоліки і виявляються недостатньо ефективними при макроприпрацюванні основних сполучень деталей. Перш за все, слід відзначити їх спільний недолік – те, що застосування більшості з цих способів викликано, перш за все, прагненням прискорити припрацювання, а не перенести умови структурної пристосованості на початковий період. Так як зовнішні фактори впливу при припрацюванні виключаються, дійсне припрацювання досягається через сотні годин. Крім того, застосування будь-якого роду покриттів, в тому числі і плівок, як, наприклад, графіту, міді змінює внутрішню структуру основного матеріалу і негативно позначається на подальшій експлуатації. Використання присадок до мастильних матеріалів, що містять металоорганічні сполуки алюмінію або хрому, сприяє утворенню абразивних продуктів зносу. Як відомо, електроерозійний вплив призводить до максимального зміцнення поверхні, що особливо неприпустимо для основних пар взаємодії в редукторах. Разом з тим, застосування того чи іншого способу припрацювання призводить до скорочення процесу припрацювання.

Дослідження процесів припрацювання (обкатки) спряжених поверхонь присвячується багато вітчизняної та закордонної літератури, в якій міститься великий обсяг інформації по різноманітним аспектам проблеми, що розглядається. Значний вклад внесли роботи вчених Костецького Б.І., Райно М.В., Дмитриченка М.Ф., Мнацаканов Р.Г., Аулін В.В., та ін [4]. В результаті цих досліджень визначені основні впливаючі фактори та оптимальні шорсткості поверхонь, що труться, намічені шляхи і способи скорочення тривалості припрацювання, виявлена роль змащувального матеріалу та присадок і т.д [5]. Однак при оцінці можливостей і розробці технології припрацювання, взагалі не створені способи і обладнання для придання зубчастим колесам редукторів певних позитивних властивостей – механічних показників, хімічну і фізико-хімічну активність поверхневих шарів і т.д. Ці властивості можуть бути досягнуті тільки в процесі припрацювання редукторів в строго визначеному режимі. Відмова від припрацювання або неповне припрацювання призводить до того, що споживач змушений на протязі тривалого часу (50-100 год.) експлуатації навантажувати редуктор або застосовувати редуктор більшого типорозміру [6]. Слід зазначити значну роль корозійного зносу в процесі експлуатації зубчастих редукторів. Тому роль антикорозійної обробки редукторів в процесі припрацювання значно зростає.

Крім того численними дослідженнями встановлено, що визначальну роль у забезпеченні експлуатаційних характеристик грає стан поверхневого шару і поверхонь тертя в трибосопряжень. Важлива роль у вирішенні цих питань відводиться обкатці і припрацюванню, яка є одним з методів загальної технології і триботехнології.

Припрацюванню в процесі виробництва і експлуатації піддаються практично всі машини і механізми. При цьому режими дуже різні навіть для подібних виробів, але випускаються різними підприємствами. Режими припрацювання зубчастих передач редукторів не є, як правило, науково обґрунтованими і встановлюються на підприємствах з економічних або кон'юнктурних міркувань [7].

У технологічному обладнанні масового застосування має місце застосування редукторів оригінальної конструкції, при цьому в період припрацювання відзначені випадки схоплювання і заїдання зубів коліс, що призводить редуктора в неробочий стан. В результаті зношеності в період припрацювання впливає на довговічність зубчастих коліс і на працездатність всього агрегата.

Тому актуальними є дослідження щодо вдосконалення технології припрацювання на стадії виготовлення зубчастих коліс і створення умов їх експлуатації в режимі виборчого перенесення.

Все це призводить до економічних втрат, значно більших, ніж витрати на припрацювання. Досягнутий в процесі припрацювання і антикорозійної обробки ефект, направлений на забезпечення достатньої довговічності навантажувальної здатності та надійності зубчастих редукторів важливий, і тому питання удосконалення припрацювання привертають постійну увагу.

## РОЗДІЛ 1

# АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ФАКТОРІВ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИПРАЦЮВАННЯ І АНТИКОРОЗІЙНОЇ ОБРОБКИ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ РЕДУКТОРІВ

### 1.1 Особливості процесу припрацювання поверхонь тертя

Припрацювання поверхонь, що труться є прикладом трибологічних переходів, що характеризують зміни в характері тертя і зносу в залежності від часу, кількості циклів або шляху тертя. Трибологічні зміни можуть відбуватися в процесі мащення або в безпосередньому контакті [8]. Фізичні основи процесів самоорганізації в трибологічних системах детально розглядаються різними авторами А.Г. Кузьменка, О.В. Дихи, В.А. Войтова, Р.Г. Мнацаканова, О.О. Мікосянчик та інш. [9, 10, 11, 12]. Простежити за протіканням процесу припрацювання можна трьома основними способами. По-перше, зміни в процесі тертя добре фіксуються за графіком потенціометра машини тертя, який дозволяє виміряти момент тертя. По-друге, по часу, який потрібен трибосистемі для переходу до стабільного стану. І, по-третє, за характеристиками короткострокових змін сили тертя [13].

Коли настає гідродинамічний режим мащення, то безпосередній контакт тіл, що труться мінімальний, а коефіцієнт тертя зменшується і стабілізується. Однак існує величезна кількість випадків в інженерній практиці, коли не відбувається стабілізації моменту тертя. Це залежить від характеру відбуваються моментальних змін в зоні безпосереднього контакту. Очевидно, поверхні, що труться знаходяться в постійних змінних умовах. Процес припрацювання буде залежати від цілого ряду початкових умов: зміни сил в безпосередньому контакті, швидкості і напрямку взаємного переміщення, зростання температури тертя, взаємодії поверхонь з різними мастилами тощо. Інші зміни відбуваються при старінні мастил і поверхонь, що беруть участь в терті.

Найбільше значення мають умови контакту твердих тіл, чистота поверхонь, шорсткість, електрохімічна взаємодія поверхонь, що труться між собою в мастильному середовищі і руйнування підповерхневих шарів матеріалу пари третя (рис.1.1). Одним із наслідків вищесказаного є процес трибологічних змін властивостей трибоконтакта в результаті старіння. Роботи по вивченню процесів припрацювання поверхонь третя мають різнобічний характер, і багато вчених внесли значний вклад в розкриття механізму процесу припрацювання [8, 14].

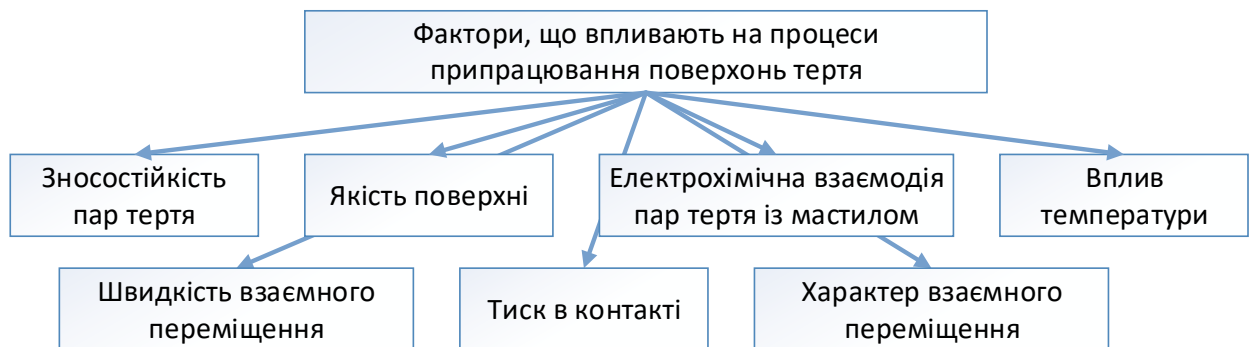


Рисунок 1.1 – Фактори, що впливають на процес припрацювання

Поверхневі плівки також роблять значний вплив на зміну коефіцієнта третя при припрацюванні [10, 11]. Характер процесів, що протікають може змінюватися кардинально і це легко пояснюється тим, що процеси третя надають максимальний вплив безпосередньо на поверхню деталі [15].

Процеси припрацювання сильно залежать від розміру плями площі контакту, який визначається розмірами контактуючих деталей, їх взаємним геометричним положенням і нормальними навантаженнями в контакті. Тому, вивчення процесів припрацювання можливо в контексті вивчення всього комплексу процесів, що відбуваються при треті, і тільки всередині трибосистем, з урахуванням властивих їм особливостей [15].

Припрацювання – це процес зміни геометрії поверхні третя і фізико-механічних властивостей поверхневих шарів матеріалу в початковий період третя, що виявляється при постійних зовнішніх умовах в зменшенні сили третя, температури і інтенсивності зношування [8]. Поняття "геометрія

поверхні тертя" включають в себе мікроспорсткість поверхні і форму (макрогеометрії) деталі [8].

Найбільш повно вивчені закономірності процесу припрацювання тертьових типів сполучень в залежності від шорсткості поверхні [4]. Загальним висновком є положення про оптимальну мікрогеометрію припрацьованих поверхонь. Під час припрацювання відбуваються докорінні зміни характеристик мікрорельєфу поверхні і структурно-фазового стану поверхневого шару (йде процес структурного пристосування). Після закінчення припрацювання виникає "рівноважна шорсткість поверхні". Шорсткість поверхні деталі (висота, форма і напрямок мікронерівностей) впливає на зносостійкість тільки в період припрацювання. Від шорсткості залежить також тривалість цього періоду. Оптимальною слід вважати шорсткість, близьку до "рівноважної" [5]. Але Валетов В. А. вказує на те, що говорити про реальну оптимізацію мікрогеометрії поверхні можна тільки в тому випадку, якщо заданого значення критеріїв (критерію) її оцінки може відповідати тільки один мікрорельєф поверхні з можливими несуттєвими відхиленнями [8]. Для досить повного параметричного опису мікрогеометрії реальних поверхонь може знадобитися від 3 до 25 критеріїв [10]. Стандартизовані ж параметри шорсткості такого опису не дають, і пропонується непараметричний підхід до оцінки і контролю мікрогеометрії поверхні [12].

На жаль, макрогеометрії вузлів тертя значно відрізняється від правильної. У багатьох випадках порушена еквідистантність поверхонь. Шорсткість після механічної обробки часто не відповідає оптимальним значенням. Це призводить до підвищення питомого тиску в зоні контакту, безпосередньому контактування металевих поверхонь і, як наслідок цього, до задирів, схоплювання і підвищеного зношування прапрацьованих поверхонь.



## 1.2 Особливості припрацювання зубчастих зачеплень

В даний час післяремонтний ресурс агрегатів і вузлів з зубчастими передачами значно відрізняється від планованого, обумовленого в технічних умовах. Це пов'язано з відсутністю вимог технічних процесів, низькою якістю обкатки і запасних частин, що надходять в ремонтне виробництво. У машинах і приладах застосовують різні зубчасті передачі (циліндричні, конічні і гвинтові), а, отже, і різні зубчасті колеса.

Причинами поломок зубів можуть виявитися виникли в процесі експлуатації перевантаження окремих ділянок зубів. Це відбувається через нерівномірність розподілу навантаження окремих ділянок зубів, внаслідок нерівномірності розподілу навантаження по ширині зубчастого вінця, низької якості припрацювання тертьових поверхонь, через перекіс осей зубчастих коліс, викликаного збільшенням люфтів в підшипниках і шліцьових з'єднаннях, а також різного роду виробничих дефектів (раковини при литті, тріщини при термообробці і т.п.) [16].

Одним із способів підвищення згинальної міцності є збільшення точності виготовлення і монтажу передачі, проведення якісного процесу припрацювання поверхонь тертя, що істотно зменшує динамічні навантаження. В процесі згладжування робочих поверхонь зубів знос зменшується і може стабілізуватися. Тривалість припрацьованого зносу за часом залежить від твердості робочих поверхонь зубів. Для передач з високою твердістю цей процес може бути дуже тривалим. Очевидно, що наявність припрацьованого зносу ще не характеризує вихід з ладу передачі [17].

Значні похибки зубів виправити притиранням не можна, а при їх похибці більше 0,03 мм шліфування економічніше за притирання. Збільшення тривалості притирання, понад оптимальної, призводить до спотворення профілю зубів.

Режим тертя, характер контактної взаємодії, фактичні контактні напруження, вид зношування і контактна міцність поверхонь зубчастих передач в значній мірі визначаються товщиною мастильного шару в контакті.

Переважним видом зносу робочих поверхонь шестерень слід вважати абразивне зношування. Про це свідчать характерні риси на поверхнях зношування. Знос евольвентного профілю зубів слід віднести до механічного стирання, шліци провідної шестерні піддаються механічному стиранню і зминанню.

Порушення нормальної роботи передач може бути також викликано похибками, допущеними при виготовленні окремих деталей. Ці похибки призводять до концентрації навантаження. Багато рекомендацій щодо підвищення здатності навантаження зубчастих коліс можуть бути ефективними, якщо вали, підшипники і корпус будуть досить жорсткими і буде гарантовано точне виготовлення та встановлення коліс. З огляду та аналізу пошкоджень редукторів повітряних суден видно, що основною причиною пошкоджень є концентрація навантаження, обумовлена неточностями виготовлення та деформаціями деталей передачі під навантаженням.

Припрацювання зубчастої пари при високих окружних швидкостях коліс із застосуванням надмірно густої абразивної пасти може привести до заїдання зубів, а при використанні недостатньо профільтрованого абразиву можливе утворення місцевих пошкоджень на зубах.

### **1.3 Методи припрацювання редукторів**

Низька точність обробки деталей і збірки механізмів викликає необхідність включати в технологічний процес виготовлення і особливо ремонту редукторів їх обкатку, при якій відбувається припрацювання поверхонь тертя. В процесі припрацювання досягається зміна геометрії компенсуючих ланок-поверхонь тертя [18]. Поряд з цим, під час припрацювання відбуваються переходи від незношених стану поверхонь до експлуатаційного, пов'язані зі зміною шорсткості поверхні, стану мікроструктури, поверхні матеріалу і режиму тертя [5].

Припрацювання поверхонь є одним з процесів в терті ковзання, при якому відбувається трансформація режимів тертя [5]. У звичайних умовах припрацювання займає тривалий час. Забезпечення повного припрацювання з мінімально можливим зносом за короткий час збільшує тривалість нормальної роботи сполучених деталей [11]. Велике значення в процесі припрацювання має використання раціональних навантажувально-швидкісних режимів, які визначають не тільки якість припрацювання, але і подальшу довговічність двигунів.

Аналіз згаданих вище робіт показує, що шляхи інтенсифікації процесів припрацювання відбувається в трьох основних напрямках: конструктивному, технологічному, експлуатаційному. В результаті багаторічного досвіду склалися два основних етапи:

- обкатка на заводах-виробниках і ремонтних підприємствах;
- експлуатаційна обкатка.

На першому етапі частково припрацьовуються поверхні тертя деталей, відбувається короткочасне випробування редукторів крутного моменту, а також з метою перевірки працездатності редуктора в цілому.

Стендова обкатка завершується обкаткою під навантаженням. За стендової виконується другий основний етап – експлуатаційна обкатка. Інструкції заводів-виготовлювачів редукторів передбачає до 60 годин роботи з постійним збільшенням навантаження, починаючи приблизно з 60 - 70 % потужності і закінчуючи повною.

Така тривалість викликана повільним перебігом процесу макроприпрацювання [18]. Існуючі технології не забезпечують повного припрацювання в тому обсязі, який необхідний. Ведеться, часто неправильно, обкатка в експлуатаційних умовах, зі значним періодом часу, знижує коефіцієнт використання редуктора в цілому.

Прискорення припрацювання редукторів особливо важливо на ремонтних підприємствах. Доведення її до близької до повної, не тільки дозволить знизити до мінімуму матеріальні та трудові витрати, а й значно

збільшить ресурс нового або капітально відремонтованого двигуна, тим самим підвищиться коефіцієнт використання.

Стендова обкатка завершується обкаткою під навантаженням. За стендовою відбувається експлуатаційна. В умовах ремонтного виробництва тривалість обкатки більше, ніж на заводах, що вимовляють редуктори, в 1,2 ... 2,8 рази, а навантаження на останніх етапах становлять не більше 80 ... 90% від номінальних [17]. Скорочення часу обкатки дозволить знизити витрати на ремонт редукторів.

Для прискорення процесу обкатки редукторів використовується ряд технологічних прийомів, таких як підбір раціональних навантажувально-швидкісних режимів і режимів мастила [18], нанесення припрацювальних покриттів або проведення хіміко-термічної обробки контактних поверхонь, що важко припрацьовуються, використання припрацювальних присадок до мастильного матеріалу [8]. Існуючі методи припрацювання поверхонь тертя представлені на рис. 1.2.

Малов'язкі мастильні матеріали мають високі характеристики тепловідводу і текучості, легко проникають в зазори між поверхнями тертя і вимивають чужорідні частинки (забруднення) і продукти зношування. При використанні малов'язких мастильних матеріалів прискорюється процес припрацювання, однак виникають передумови для задирів поверхонь тертя через малу несучу здатності і низьких змащувальних властивості.

Свинцеві покриття покращують припрацювання і збільшують опір до задиру, але порівняно швидко окислюються.

Фосфатні покриття значно сприяють підвищенню стійкості до заїдання, але в початковий період знос з'єднань з таким покриттям різко зростає, так як зазвичай поверхні мають досить велику шорсткість ( $Ra = 6$  мкм) [8].

Нанесення припрацювальних покриттів і хіміко-термічне припрацювання –вельми ефективні, але складні наукомісткі і трудомісткі процеси, тому вони не застосовуються для ремонтного виробництва [16].



Рисунок 1.2 – Методи припрацювання поверхонь тертя редукторів

Використання мастил у вигляді графіту і дисульфиду підвищує антифрикційні властивості, однак є ряд недоліків: зі зростанням навантаження і температури істотно зростає коефіцієнт тертя. Дисульфід молібдену має високу хімічну активність і легко вступає в реакцію з водою і киснем [19].

Для підвищення протизносних властивостей мастильних матеріалів використовуються поверхнево- і хімічно активні присадки. До них відносяться жирні кислоти, ефіри органічних кислот і спиртів, жирні аміни і ін. Дія поверхнево-активних присадок пов'язана з підвищенням міцності мастильної плівки [11]. Здатність цих присадок знижувати тертя в більшій мірі, ніж це може залежати від в'язкості масел. У той же час відомі слабкі сторони

активних присадок – при високих температурах, вони знижують термоокислювальну стабільність мастильних матеріалів, мають недостатню розчинність і є дуже рідкісним і дорогими. Ці недоліки не прийнятні для сучасних підприємств.

До хімічно активних присадок відносяться різні сполуки хлору, фосфору та ін. Як відомо, фосфор сприяє підвищеному зносу пар тертя, особливо в початковий період припрацювання, скорочуючи час нормальної роботи деталей [12].

Дані робіт Р.Г. Мнацаканова [5, 11] з додаванням в мастильні матеріали хімічно активних присадок продемонстрували зменшення мікротвердості поверхонь тертя в процесі припрацювання з подальшою стабілізацією на експлуатаційному рівні. У серійному експлуатаційному маслі мікротвердість поверхні спочатку зростала в 1,5 – 2 рази в порівнянні з початковою, потім знижувалася, стабілізуючись на вихідному рівні мікротвердості. Мнацаканов Р.Г. відзначає, що поверхнево-активні присадки до масла в значній мірі інтенсифікують процес припрацювання, при цьому знижуються критичні питомі навантаження на поверхнях тертя в результаті чого знижується небезпека схоплювання і заклинювання зубчастих передач.

З метою прискорення припрацювання І. А. Жигалов і С. П. Андронов [8] винайшли спосіб обкатки вузла тертя. Він полягає в тому, що деталі вузла тертя занурюються в ванну зі складом для травлення (2,24 % розчин фосфорної кислоти) і збуджують в ній ультразвукові коливання з частотою 0,02 – 1 МГц ультразвуковим генератором протягом 30 – 50 секунд. Потім деталі виймають з ванни, змивають і нейтралізують залишки кислоти в 0,3 – 0,5% -ому розчині каустичної соди при температурі 25 – 30 °С протягом 30 – 50 секунд.

Після цього робочі поверхні деталей вузла тертя занурюють у ванну з мастилом, яка призначена для змащення вузла в експлуатаційних умовах, збуджують в ньому ультразвукові коливання з частотою 0,02 – 1 МГц і витримують 10 – 40 хвилин. Коли час обробки закінчиться, деталь виймають з ванни. Пропонований спосіб, при попередній зносостійкості вузла, тертя

знижує час припрацювання в 14,4 – 54,5 рази [6]. Недоліком даного способу є те, що більша поверхня тертя при обробці ультразвуком потребує надзвичайно високо-потужного джерела електроенергії і великих енерговитрат. Зазначені недоліки вплинули на описаний спосіб припрацювання, і він не знайшов широкого застосування.

Спосіб формування сервовитної плівки на поверхнях тертя [12] полягає в тому, що з певної кількості природного кварцу, попередньо витертого, і органічного пов'язаного, утворюють склад для формування сервовитної плівки, що містить 0,1 – 0,5 масових часток природного витертого кварцу, решта – синтетичний солідол. Дисперсність кварцу 0,1 – 0,5 мкм. Суміш піддають механоактивації на вібропристроях з інтенсивністю віброактивності до 1,5 – 2 м/с тривалістю 10 хвилин. Готову суміш подають в зону тертя на контактуючі поверхні і проводять припрацювання в режимі  $P = 3$  МПа,  $V = 0,1$  м/с. В процесі припрацювання на поверхнях, що труться формуються сервовитні плівки. Вони дозволяють підвищити довговічність і зменшити коефіцієнт тертя в місцях зіткнення поверхонь..

#### **1.4 Порівняльний аналіз методів припрацювання поверхонь тертя**

Існуючі методи припрацювання поверхонь тертя можна розділити на дев'ять основних видів (рис. 1.2). Першим з них є підбір раціональних навантажувально-швидкісних режимів і режимів мащення, при яких змінюється динаміка контактної взаємодії і поділ труться малов'язкими маслами. Такий підхід дозволяє прискорювати припрацювання, але висока ймовірність появи задирок. Нанесення припрацювальних покриттів, проведення хіміко-термічної обробки, застосування присадок до мастильного матеріала (другий, третій і четвертий вид) призводить до утворення третього тіла між поверхнями тертя і зниження коефіцієнта тертя, що іноді ускладнює макроприпрацювання. Поява абразиву роботі редуктора з деякими присадками прискорює припрацювання, але збільшують знос припрацювання.

Решта видів можна віднести до поєднаних процесів, при яких вплив на припрацювання поверхні відбувається за рахунок взаємодії фізичних і хімічних чинників, що значно інтенсифікує процес припрацювання і підвищує його якість.

Поряд з перевагами кожен метод має свої недоліки. Висновки про ефективність застосування того чи іншого методу можна зробити на основі їх аналізу. Порівняльний аналіз методів припрацювання поверхонь тертя наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Аналіз методів припрацювання поверхонь тертя

Найменування методу припрацювання	Переваги	Недоліки
<b>1. Підбір раціональних навантажувально-швидкісних режимів і режимів мащення</b>	Малов'язкі масла мають високу охолоджуючою здатність і текучість, легко проникають в зазори між поверхнями тертя і вимивають чужорідні частинки забруднень і продукти зношування, що потрапляють в цей простір. При використанні малов'язких масел прискорюється процес припрацювання	Через малу несучу здатності і відносно низьку змащувальну властивість масляного шару виникають передумови для задирів поверхонь тертя
<b>2. Нанесення припрацювальних покриттів</b>	<b>свинцеві покриття</b> покращують прирабативаемість і підвищують опірність задиру	порівняно швидко окислюються
	<b>використання твердих мастил</b> у вигляді графіту і дисульфиду молібдену підвищує антифрикційні властивості	зі збільшенням навантаження і температури коефіцієнт тертя зростає, а дисульфід молібдену має високу хімічну активність і легко вступає в реакцію з водою і киснем
	<b>фосфатні покриття</b> значно підвищують стійкість до заїдання	в початковий період знос деталей з покриттями різко зростає, т. к. поверхні мають більшу шорсткість
<b>3. Проведення хіміко-термічної обробки поверхонь</b>	вельми ефективні і широко використовуються в промисловості [8]	складні і трудомісткі процеси, тому вони не знайшли належного застосування в ремонтному виробництві [8]. Вимагають застосування спеціального обладнання та оснащення для проведення процесу.



## Продовження таблиці 1.2

Найменування методу підробітки	переваги	недоліки
<b>4. Використання присадок до мастильного матеріала</b>	впливають на процеси тертя і зношування в редукторах	остаточне припрацювання поверхонь тертя відбувається після дії присадки
інактивні (колоїдний графіт, дисульфід молібдену, дрібнодисперсний порошок каоліну, порошок олово і ін.)	призводить до скорочення процесу підробітки	НЕ надають активного дії на формування необхідних фізико-механічних властивостей поверхневих шарів деталей, що труться, тому після зміни масла виникають додаткові припрацювальні явища [17]
поверхнево-активні (жирні кислоти, ефіри органічних кислот і спиртів, жирні аміни і ін.)	механізм дії присадок пов'язаний з підвищенням міцності мастильної плівки [16] Ці присадки здатні знижувати тертя в більшій мірі, ніж це може залежати від в'язкості мастильних матеріалів. Відзначається, що поверхнево-активні присадки до масла значно інтенсифікують процес припрацювання деталей	вони мають слабкі протизадірні властивості при високих температурах, знижують термоокислювальну стабільність мастильних матеріалів, мають недостатню розчинність і є дефіцитними і дорогими.
хімічно активні (сполуки хлору, фосфору та ін.)	можуть прискорювати процес припрацювання поверхонь тертя[8]	фосфор може сприяти підвищенню зносу спряжень в початковий період часу [15], при цьому знижуються критичні питомі навантаження на поверхнях, що труться, в результаті чого зростає небезпека схоплювання і заклинювання деталей редукторів; сполуки хлору є хімічно активними і можуть вступати в реакцію з металами деталей машин, що викликає корозійні процеси.
<b>5. Хіміко- механічне вирівнювання поверхонь</b>	підвищується продуктивність процесу	вирівнювання поверхні відбувається за схемою інструмент-деталь, підвищений тиск на поверхню призводить до сколювання, вирівнювання поверхні недостатнє
<b>6. Зміна електромагнітного стану деталей (електро- ерозійний спосіб припрацювання)</b>	призводить до скорочення процесу підробітки [8]	електроерозійний вплив на поверхні призводить до максимального зміцнення поверхні, наявність абразивних частинок призводить до шаржування поверхонь і підсилює знос

Найменування методу підробітки	переваги	недоліки
<b>7. Використання електрохімічної розмірної обробки (ЕХРО)</b>	- вплив на матеріал виконується накладенням струму на середу і деталі і відбувається на тонкому рівні, в результаті чого продукти знімання знаходяться в середовищі у вигляді атомів, молекул	необхідно враховувати пасиваційні явища [17].
<b>8. Використання електрохімічного шліфування (полірування)</b>	при електрохімічному шліфуванні відбувається зниження сил різання при обробці сталей в 3-5 разів, твердих сплавів в 1,2 - 2,7 рази. Знижується температура різання, що виключає появу мікротріщин в поверхневому шарі, зростає продуктивність металознімання [16].	неможлива спільна приробітку, що труться, обробка відбувається за схемою інструмент-деталь.

З метою об'єктивної оцінки існуючих способів припрацювання проведемо багатокритеріальну оцінку, результати якої представлені в табл. 1.1. В якості критеріїв оцінки були обрані найбільш важливі для формування зносостійких поверхонь і дозволяють ефективно сприяти припрацюванню пар тертя редукторів. Одним з таких показників для оцінки ефективності способу припрацювання є відсутність абразиву (критерій 1).

Інтенсифікація припрацювання з додаванням або формуванням абразивних частинок, хоча і прискорює процес, але значно підвищує припрацювальний знос, а також сприяє шаржуванню м'яких поверхонь тертя і їх подальшого швидкого зносу.

### 1.6 Навантажувальний фактор

На якість припрацювання поверхонь і тривалість обкатки значний вплив має навантаження. Пластична деформація в тонкому поверхневому шарі збільшується в момент припрацювання із збільшенням навантаження. Це призводить до збільшення кількості тепла, що виділяється і поглинання енергії. Значні механічні напруження, пов'язані із збільшенням тиску на

площах контакту, збільшують дефектність структури поверхні тертя, що збільшують активацію металу [9].

Експериментальні дослідження [20] показують, що із збільшенням тиску до величини, що не перевищує певного критичного значення, якість припрацьованої поверхні покращується. В роботах [12, 13] встановлений зв'язок між шорсткістю і контурним тиском, механічними властивостями, зсувним опором і коефіцієнтом гістерезисних втрат.

Існуючі в теперішній час методи оцінки припрацювання пар тертя, як правило, базуються на завчасно регламентованих режимах зростання навантаження. Оптимізація процесу припрацювання залежить від режимного фактору – навантаження, швидкість. Цей фактор повинен мати максимальне значення, що межує з допустимим, при якому пружні деформації переходять в пластичні [21]. Оскільки в процесі припрацювання спостерігається зміна мікронерівностей по висоті, радіусу заокруглення і відповідне їм зниження контактного напруження, для збереження заданого рівня швидкості зносу необхідно періодично підвищувати зовнішнє навантаження.

В роботі [14, 15] пропонують і обґрунтовують критерії і методи оцінки припрацювання по допустимій швидкості зростання навантаження в процесі припрацювання. Оптимальне в процесі припрацювання є підтримання навантаження в будь-який момент на такому рівні, щоб значення навантаження дорівнювало несучій здатності, тобто забезпечувати режим на межі заїдання.

### **1.7 Фактор вихідної шорсткості**

Технологія виготовлення зубчастих коліс визначає вихідну шорсткість, яка впливає на зносостійкість спряжених поверхонь. Цей вплив відбувається в основному через припрацювання.

На першому етапі припрацювання, внаслідок незначної фактичної площі контакту, і як наслідок, високих контактних напружень, відбувається

інтенсивне руйнування нерівностей, їх подрібненням і пластичне деформування, що супроводжується наклепом тонкого поверхневого шару [7].

В результаті припрацювання відбувається майже повне знищення початкових і встановлення нових форм і розмірів нерівностей [22].

Найважливішою закономірністю припрацювання є незалежність рівновісної шорсткості від вихідної. В роботах [8, 12] експериментально показано, що по закінченню припрацювання встановлюється шорсткість, що залежить тільки від умов зношування – матеріалу пари тертя, контактного напруження, температури, типу змащувального матеріалу, умов його подачі і т.д. Рівновісна шорсткість є оптимальною для даних умов припрацювання. Параметри шорсткості після припрацювання можуть бути як більше так і менше початкових.

### **1.8 Механічні властивості матеріалів припрацьованих зубчастих передач**

На механічні характеристики припрацювання зубчастих передач впливає багато різноманітних, найчастіше конкуруючих процесів. Зміна цих характеристик по глибині в залежності від виду обробки представити в наш час важко. Наведені рекомендації для вибір величини оптимальних механічних властивостей справедливі лише для конкретних спряжень, що досліджуються із зазначеними умовами експлуатації цих зубчастих пар.

Так в роботі [3] досліджено вплив різноманітних факторів на припрацювання чавунних направляючих метелорізальних верстатів встановлено, що зміна твердості матеріалу в 2 рази здійснює досить незначний вплив на величину рівновісної шорсткості.

Результати дослідження впливу деяких умов тертя на величину припрацьованої шорсткості сталених зразків наведені в роботі [18]. Автори показали, що швидкість ковзання, твердість зразків також практично не здійснюють впливу на рівновісну шорсткість. Найбільший вплив на характеристики припрацьованої шорсткості здійснює навантаження.

Вплив температури, що виникає при технологічній обробці в процесі припрацювання і експлуатації на властивості міцності поверхневих шарів зубчастих коліс різняться.

Багаточисленні експериментальні дослідження [18, 19] показали, що збільшення відстані від поверхні веде до збільшення мікротвердості, досягає максимуму на деякій глибині і потім монотонно знижується до значення об'ємної мікротвердості.

Існує і інша думка, що максимуму не існує [20], так як мікротвердість монотонно зменшується.

Пластична деформація матеріалу поверхневого шару в процесі припрацювання призводить до збільшення концентрації дефектів в ньому. Це збільшення дефектів може як зменшувати міцність, так і збільшувати міцність поверхневих шарів припрацьованих зубчастих передач.

### **1.9 Фактор змащувального матеріалу**

Змащувальні матеріали (масла, змазки), що використовуються в процесі припрацювання, викликають підвищену пластичну деформацію ділянок, до яких застосовуються високі контактні навантаження із-за високої шорсткості поверхонь, що виникли при виготовленні, в результаті чого збільшується несуча поверхня тертя зубців зубчастих передач.

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 зміни мікрорельєфа [23].

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 забезпечують короткий період і високу швидкість припрацювання [11]. Слід зазначити, що механізм дії припрацювання мастил 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 етапі припрацювання забезпечити достатній темп зношування спряжених поверхонь, а в умовах експлуатації – звести його до мінімуму. Стає ясно, що з'єднати ці дві протилежні властивості в одному мастильному матеріалі достатньо складно і на сьогоднішній день проблема ця залишається відкритою.

В роботі [21] 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.

### **1.10 Антикоровійні властивості змащувальних матеріалів**

В теперішній час при оцінці загального зносу зубчастих передач все більшу увагу приділяють корозійним процесам. В загальний знос зубчастих передач 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.

Характер і інтенсивність зносу зубчастих передач та підшипників сучасних радіаторів в значній мірі залежить від антикорозійних властивостей змащувальних матеріалів. Особливо шкідливий вплив на знос редукторів надає наявність в змащувальному середовищі води. Наявність води в картері редуктора може досягати значної концентрації до 3 – 5 % (маси). Вода, електроліт, значно інтенсифікує хімічно-електрохімічну корозію підшипників і поверхонь тертя. Вона стимулює інтенсифікацію корозійно-механічних видів зносу (корозійне розтріскування, пітинг, фретинг-корозію). Поєднання різних видів корозійних та процесів зношування забезпечує синергетичний ефект, який значно знижує надійність та довговічність редукторів [22].

Антикорозійні властивості чистих мінеральних мастил, як правило, не забезпечують надійний захист зубчастих передач і корпусу редуктора від атмосферної 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 атмосферної корозії, в той час як мастило глибокого очищення позбавлені таких властивостей.

На заводах виробників редукторів після припрацювання виконується антикорозійна обробка (консервація) редукторів. Сутність способу полягає в тому, що в припрацювальне індустріальне мастило додається 15 % присадка АКОР-1. При припрацюванні виникає інтенсивне розбризкування мастила, забезпечуючи тим самим консервацію зубчастих коліс і корпусу редуктора на протязі п'яти років [23].

Присадка АКОР-1 відноситься до комбінованих інгібіторів корозії першого покоління. Володіючи недостатнім антикорозійним ефектом, вона додається в мастило підвищеної концентрації 10 – 20 % (мас). Через високу зольність цієї присадки вона збільшує корозійні процеси в кислих середовищах, корозійне розтріскування, втомний знос і фретинг-корозію.

Теоретичні принципи отримання комбінованих антикорозійних присадок другого покоління базуються на наступних функціональних мастилорозчинних ПАР [24]:

- 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 1.2 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 <sup>2</sup> : сталь мідь свинець	0-0,5 4-20 15-40	0-0,1 2-10 5-10
6	Температура початку розкладення на дериватографі, °С	230-240	250-280



## Висновки до розділу 1

На основі літератури про використання мастильних матеріалів, що працюють в різних умовах, можна зробити наступні висновки:

В даний час для широкого використання зубчастих передач необхідно, щоб вони задовольняли технічним характеристикам та зберігали працездатність досить тривалий час, тому необхідно вдосконалити існуючі типи зубчастих передач, способи їх виготовлення та матеріали, з яких вони були зроблені.

Більшість технологічних прийомів, спрямованих на прискорення припрацювання, мають свої недоліки і виявляються недостатньо ефективними при макроприпрацюванні деталей редукторів. Перш за все, слід відзначити їх спільний недолік - те, що застосування більшості з цих способів викликано, перш за все, прагненням прискорити припрацювання, а не перенести умови структурної пристосованості на початковий період і саме тому, що зовнішні фактори впливу при припрацюванні виключаються, дійсна приробітку досягається через сотні годин. Крім того, застосування будь-якого роду покриттів, в тому числі і плівок, як, наприклад, графіту, міді змінює внутрішню структуру основного матеріалу і негативно позначається на подальшій експлуатації.

Під час припрацювання відбуваються докорінні зміни характеристик мікрорельєфу поверхні і структурно фазового стану поверхневого шару. Після закінчення припрацювання виникає "рівноважна шорсткість поверхні", однак остаточне припрацювання на мікрорівні можливе тільки після макроприпрацювання з'єднань.

У звичайних умовах припрацювання займає тривалий час. Забезпечення повного припрацювання з мінімально можливим зносом за короткий час збільшує ресурс спряжених деталей. Більшість з існуючих технологічних прийомів прискорення припрацювання не дуже добре впливають на макроприпрацювання деталей.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ І ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ПРИПРАЦЮВАННЯ

#### 2.1 Мета випробувань на тертя і зношування

Зовнішнє тертя твердих тіл представляє опір відносному переміщенню, що виникає між двома тілами в зонах дотику поверхонь по дотичній до них, що супроводжується дисипацією енергії.

Основними факторами, що впливають на тертя і зношування, є:

- матеріали деталей, що труться і їх мікроструктура;
- стан поверхні (хвилястість, шорсткість);
- твердість, пружність, теплопровідність фрикційної пари;
- види мастила, методи змащування;
- характеристики навколишнього середовища;
- кінематика і динамічні умови руху деталей.

При випробуваннях для конкретних пар тертя визначають:

- характеристики тертя, припрацьовуваність, здатність до поглинання твердих часток;
- зносостійкість (властивість матеріалу чинити опір зношування в певних умовах тертя, що оцінюється величиною інтенсивності зношування);
- знос за заданий період випробувань або в момент виходу випробуваного об'єкта з ладу; він може виражатися в одиницях довжини, об'єму, маси та ін. в ряді випадків вивчається геометрія зносу;
- вплив мастила на умови тертя і зношування;
- вплив навколишнього середовища на умови тертя і зношування.

Випробування на зношування проводяться з метою отримання даних для вдосконалення методів розрахунку і моделювання процесів тертя і зношування, визначення конструктивних параметрів пар тертя, порівняння різних конструкцій з метою вибору оптимальних варіантів, а також для

уточнення оптимальних умов експлуатації, строків і обсягу ремонтних робіт [25].

На практиці проводять випробування на зношування матеріалів (зразків), кінематичних пар тертя, окремих вузлів машин, а також фрикційних пар машин в процесі їх експлуатації в звичайних або спеціально створених стендових умовах.

Імітація матеріалів на зразках проводиться в лабораторних умовах, що не імітують або імітують умови їх використання – вони призначені для вивчення самого процесу тертя і зношування, визначення класів зносостійкості (таблиця 2.1), характеристик матеріалів пар тертя, використаного мастильного або абразивного середовища [26].

Таблиця 2.1 – Шкала класів зносостійкості

Клас	Швидкість зношування $V$ , мкм/с	Зносостійкість ( $l/h$ )
3	$10^0 - 10^{-1}$	$10^{-4} - 10^{-3}$
4	$10^{-1} - 10^0$	$10^{-3} - 10^{-4}$
5	$10^{-2} - 10^{-1}$	$10^{-6} - 10^{-5}$
6	$10^{-3} - 10^{-2}$	$10^{-7} - 10^{-6}$
7	$10^{-4} - 10^{-3}$	$10^{-8} - 10^{-7}$
8	$10^{-5} - 10^{-4}$	$10^{-9} - 10^{-8}$
9	$10^{-6} - 10^{-5}$	$10^{-10} - 10^{-9}$
10	$10^{-7} - 10^{-6}$	$10^{-11} - 10^{-10}$
11	$10^{-8} - 10^{-7}$	$10^{-12} - 10^{-11}$
12	$10^{-9} - 10^{-8}$	$10^{-13} - 10^{-12}$

Нерідко проводяться випробування кінематичних пар або вузлів тертя (наприклад, кулькових і роликів підшипників) на спеціально створених установках. Ці випробування дозволяють більш детально вивчити види зношування і дають близькі результати до експлуатаційних випробувань, наприклад, дозволяють виявити умови виникнення відшарування або викришування матеріалу. Однак вони не враховують динамічні і теплові умови роботи вузла в машині.

Цей недолік усувається при застосуванні установок, побудованих з використанням критеріїв подібності і відтворюють за допомогою цих критеріїв більш звичні умови випробувань.

Для відтворення динамічних умов роботи вузла в машині вимірюються пружні властивості і моменти інерції багатомасової системи стенду. При цьому отримують дані, суттєво наближені до умови стендових випробувань машини. Випробування машин в лабораторних умовах дорогі і не завжди можливі (особливо для великих за розмірами машин) В цих випадках їх замінюють експлуатаційними випробуваннями. При спеціально створених умовах і заздалегідь заданих режимах ці випробування дають більш однорідні дані, ніж чисто експлуатаційні, де умови роботи часто важко регламентувати і точно зафіксувати.

При оцінці впливу терміну служби по зносу машин слід враховувати випадковість зміни зусиль навантаження триботехнічних деталей і їх несучої здатності. Зміна цих параметрів, пов'язана з умовами експлуатації і якістю виготовлення і складання деталей, може значно зменшити термін служби і ускладнити отримання об'єктивної інформації в ремонтних підрозділах організацій з обслуговування авіаційної техніки. Тому випробування триботехнічних вузлів в спеціально створених умовах, що відповідають умовам їх роботи в машині, має велике значення для оцінки раціональної області їх застосування.

Прискорені випробування на зношування дозволяють в короткі терміни отримати дані, необхідні для проектування вузлів тертя і дають можливість знизити вартість експерименту.

Прискорені випробувань найбільш часто досягається двома способами:

1) управлінням циклом випробувань з виключенням ділянок зниженого зносу, що зазвичай забезпечується застосуванням багаторазового повторюваного циклу пуск-зупинка;

2) інтенсифікацією режимів: швидкості і навантажень (тисків). Під критичним (граничним) навантаженням розуміється навантаження, при якому зберігається вид зносу, характерний для звичайних умов експлуатації.

Прискорені випробування мастильних матеріалів за критеріями навантаження заїдання і величини зносу проводяться за допомогою математичної моделі руйнування адсорбційних шарів, що значно зменшує тривалість випробувань. Для проведення прискорених випробувань застосовують фізичні методи.

## **2.2 Показники, що характеризують ефективність процесу припрацювання**

В теперішній час існує багато способів припрацювання і параметрів, що їх оцінює. Однак порівняння їх ефективності, а відповідно даних для вибору оптимальних варіантів припрацювання немає. В основному приводяться порівняльні результати для декількох способів при досить визначеному режимі припрацювання. Існуючі тут труднощі носять об'єктивний характер, оскільки кожен із способів припрацювання і показники, що їх оцінюють ефективні в певних умовах, для певних спряжених пар тертя. Відповідно, говорити про ефективність способу припрацювання і інформативності оціночних показників в порівнянні з іншими способами можна лише для конкретно оговорених режимів, матеріалів пар тертя і мастильних матеріалів.

В якості оціночних параметрів передбачається використовувати наступні показники:

- стає значення величини падіння електричної напруги на змащувальному шарі (товщини змащувального шару);
- стає значення товщини змащувального шару, визначене інтерференційним методом;
- стає значення величини коефіцієнта тертя;
- стає значення температури змащувального матеріалу;

- час виходу на сталий режим тертя (стабілізація товщини змащувального шару, моменту тертя, температури);
- відстань до межі мащення;
- розподіл тиску і товщини змащувального шару в контакті тертя.

### **2.3 Умови дослідження та вимірювання товщини змащувального шару**

Універсальна машина П5018 (рис. 2.1) призначена для випробування на тертя і зношування металів і сплавів, жорстких конструкційних пластмас і композитів.



Рисунок 2.1 – Універсальна машина П5018 для випробування на тертя та зношування

Привід машини – електромеханічний з плавним регулюванням швидкості. Вимірювач моменту тертя на обертовому валу нижнього зразка -

електромеханічний, з безконтактним струмознімання. Притиск зразків - пружинний з електричним вимірюванням сили.

Забезпечуються випробування за схемами:

Диск - диск. При різних коефіцієнтах прослизання, в т. Ч. При 0% (технічно чисте кочення) і 100% (верхній диск нерухомий).

Диск - колодка. Моделювання гальм.

Вал - втулка.

Випробування з мастилом проводяться в спеціальній камері.

В процесі випробувань вимірюється момент тертя, товщина мастильного шару, сила притиску, температура, частота обертання, шлях тертя. Машина встановлюється на віброопорах, спеціальний фундамент не потрібно.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики універсальної машини П5018

Діапазони вимірювання сили притиску зразків, <i>H</i> :	
діапазон 1	от 100 до 2000
діапазон 2	от 500 до 5000
Діапазони вимірювання частоти обертання валу нижнього зразка, хв-1	
діапазон А	от 50 до 750
діапазон Б	от 200 до 2000
Коефіцієнти прослизання зразків "диск-диск" (при однакових діаметрах), %	0; 10; 15; 20, 48
Діапазони вимірювання моменту тертя, <i>H·м</i> :	
діапазон 1	от 0,5 до 5
діапазон 2	от 1 до 10
діапазон 3	от 2 до 20
Максимальна потужність, кВт	3 (3N, 380В, 50Гц)
Габаритні розміри, мм	
установка випробувальна	1400x700x1300
приладова стійка	600x650x1100
Маса машини, кг	
установка випробувальна	550
приладова стійка	120

### 2.3.1 Умови дослідження

Експерименти виконувалися на універсальній машині тертя – П5018. Для встановлення необхідних величин навантаження використовувалося навантажувальне пристрій, встановлений на машині. Зважаючи на важливість правильного зміни навантаження при постійному її зміні відповідно до встановленої програми. Пристрій для вимірювання величини моменту тертя, яким оснащена машин П5018 незважаючи на простоту пристрою, виявилось досить чутливим для відображення змін, що відбуваються при заробляння на різних щаблях навантаження. Відбувалися припрацювальні коливання  $\Delta U$ , тобто товщини шару мастила, знаходили відображення у величині коефіцієнта тертя.

У дослідах на припрацювання з продувкою газами і повітрям і в дослідах на припрацювання зі зниженими температурами, використовувалося спеціальне обладнання для забезпечення необхідної інтенсивності продувки і необхідної температури.

Вплив продувки аргоном, азотом і повітрям на стан змащувального масла – його насичення киснем, що визначає інтенсивність окислювальних процесів - перевірялося хроматографічним методом. Було встановлено, що при прийнятих кількостях продувається газу вміст кисню значно змінюється. Так, під час продування аргоном виявити присутність кисню в маслі не вдавалося, а під час продування повітрям вміст кисню в маслі зростала вдвічі, втричі в порівнянні зі звичайними умовами мастила зануренням.

Зразками при випробуваннях служили ролики, виготовлені зі сталі 45, з твердістю робочих поверхонь 250-280 НВ. Вихідна шорсткість цих поверхонь становила  $Ra = 0,33\text{мкм}$ .

Різна ширина роликів / використовувалися ролики шириною 10 і 5 мм / дозволила отримати досить широкий діапазон діючих контактних напружень - від 190 до 763 МПа.



Швидкості кочення при заробляння під ступінчастого зростаючого навантаженням були встановлені такі ж, як і при припрацюванні під постійним навантаженням.

При припрацюванні зі ступінчастою змінною швидкості використовувався весь доступний для машини П5018 діапазон швидкостей. У цих випробуваннях зміна швидкості починали від найменшої до найбільшої і в зворотному порядку - від максимальної до мінімальної.

Швидкість ковзання робочих поверхонь зразків залежить від частот обертання їх валів і коефіцієнта, ковзання. У дослідях і зі зміною навантаження, і зі зміною швидкості в продовження припрацювання величина коефіцієнта ковзання не змінювалася. Використовувалися коефіцієнти ковзання, рівні 0,20 та 48 %. Необхідна величина коефіцієнта ковзання досягалася застосуванням роликів різного діаметра і використанням змінних шестерень з різними числами зубів в приводі верхнього ролика.

Як змащувальні матеріали використовувалися мінеральні масла МС-20 і мастила ВНІНП -254, «Ера» та AeroShell Grease 33 . Масло МС-20, на відміну від МС-20, має, по-перше, значно меншу в'язкість, по-друге, значно інтенсивніше утворює плівки СОП на поверхнях тертя [12].

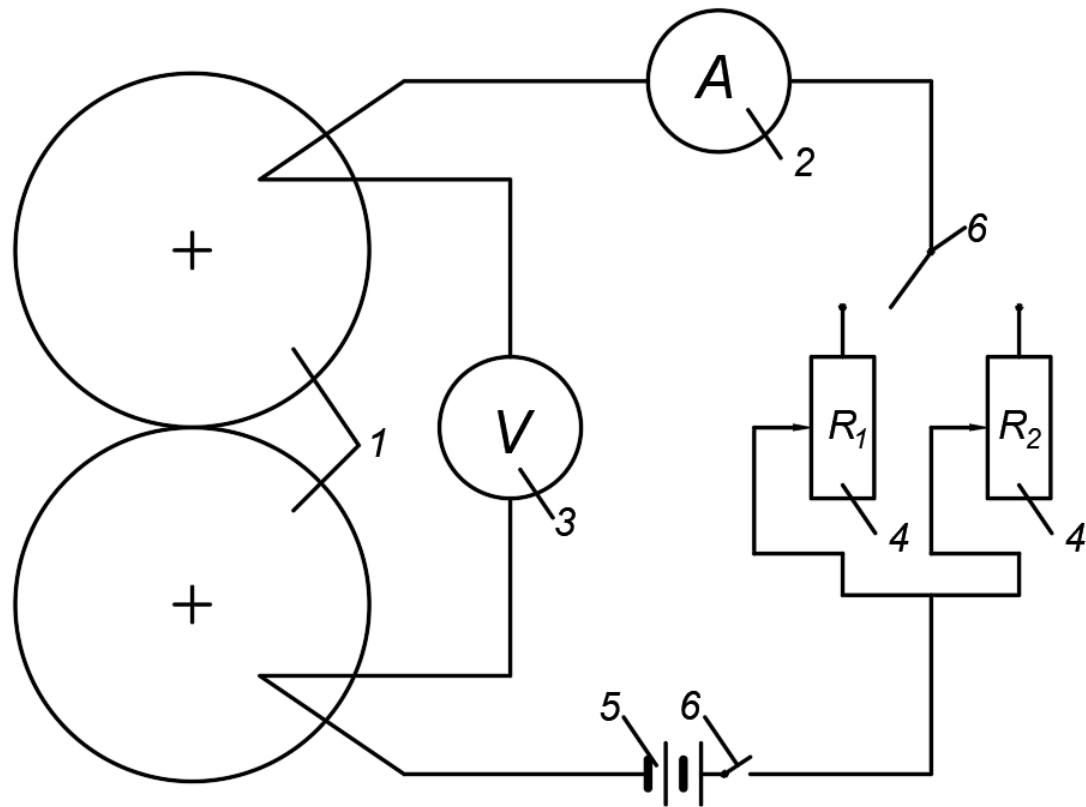
Температура мастильного матеріалу, під час дослідження змінювалася від плюс 10 °С до мінус 90 °С.

Для оцінки результатів досліджень застосовували методи математичної статистики. Експериментальні залежності обробляли з використанням регресійного аналізу

### **2.3.2 Вимірювання товщини змащувального шару**

Товщина змащувального шару між спряженими поверхнями пар тертя визначалась методом вимірювання падіння електричної напруги (ВПН) на мастильному шарі в режимі нормального тліючого розряду (НТР) [27]. Лінійна залежність падіння електричної напруги від сили струму в елементах електричного ланцюга відповідають встановленому НТР в мастильному шарі.

При зміні сили струму змінюється лише щільність струму, а падіння напруги залишається сталою. На рис. 2.2 показана електрична схема вимірювання падіння напруги на змащувальному шарі на моделюючій установці між роликками, що імітують окремі ділянки зачеплення зубчастої пари.



1 – роликові зразки; 2 – амперметр; 3 – вольтметр; 4 – регулювальні реостати;  
5 – акумулятора батарея; 6 – перемикачі

Рисунок 2.2 – Електрична схема вимірювання товщини змащувального шару на роликовій аналогії методом ВПН

Дослідами Р.Г. Мнацканова [11] та ін. встановлено, що характер вольт-амперної характеристики залишається незмінною при гідродинамічному та граничному мащенні, а також при існуванні твердоподібної плівки самоорганізуючої плівки (СОП).

Перерахунок падіння напруги в мілівольтах в товщину мастильного шару в мікрометрах здійснюється по тарувальним графікам і емпіричним

залежностям, які будуються окремо для кожного змащувального матеріалу [28].

При вимірюванні товщини мастильного шару дотримуються наступної послідовності операцій:

- а) вимірюють падіння напруги на внутрішніх ділянках ланцюга при силах струму 2 А та 4 А на сухих роликах;
- б) вимірюють загальне падіння напруги на змащувальному шарі;
- в) по різниці між загальним падінням напруги і падінням на внутрішніх ділянках ланцюга визначають власне падіння напруги на змащувальному шарі;
- г) по тарувальним залежностям визначають значення товщини змащувального шару в мікрометрах.

Електрична схема вимірювання товщини змащувального шару на роликівій аналогії методом ВПН.

#### **2.4 Інтерференційний метод вимірювання товщини змащувального шару в контактї тертя**

Інтерференційний метод вимірювання товщини мастильних шарів використовувався нами на окремих етапах дослідження. Сутність методу полягає в послабленні або посиленні проникних світлових хвиль. Якщо різниця фаз хвиль, що складаються складає  $2k\pi$ , де  $k = 1, 2, 3 \dots$ , тоді спостерігається максимальне посилення інтерферуючих хвиль, а максимальне ослаблення (погашення) виникає при різниці фаз  $(2k + 1)\pi$ ...де  $k=0, 1, 2, \dots$ , тобто виникає система світлих і темних кілець [29]. Для отримання оптичної товщини змащувального шару можна використовувати рівняння [30]

$$h_{\text{опт.}} = \frac{r^2}{2R},$$

де  $r$  – радіус відповідного інтерференційного кільця;

$R$  – радіус кривизни лінзи і застосувати рівняння Герца [31]

$$h_{\text{опт.}} = \frac{a p_{\text{max}}}{E^I} \left\{ - \left( 2 - \frac{r^2}{a^2} \right) \cos^{-1} \frac{a}{r} + \left( \frac{r^2}{a^2} - 1 \right)^{\frac{1}{2}} \right\},$$

де  $P_{max} = \frac{3F}{2\pi a^2}$  – тиск в контактi;

$a$  – радіус герцевського контакту;

$F$  – навантаження в контактi;

$E'$  – приведений модуль пружності.

Дійсна товщина змащувального шару в контактi тертя визначається виходячи з оптичної товщини  $h_{opt.}$  і рефрактивного індексу  $n(p, T)$

$$h = \frac{h_{opt.}}{n(p, T)},$$

де  $n(p, T)$  – рефрактивний індекс мастила при відповідній температурі  $T$  та тиску  $P$  в контактi.

Рефрактивний індекс зазвичай збільшується із збільшенням тиску и зменшується з підвищенням температури. Зміна рефрактивного індексу від тиску добре описується рівнянням Х.А. Лоренца і Л.В. Лоренца

$$n_p = \frac{(1+2A)^{\frac{1}{2}}}{(1-A)},$$

де  $A = \frac{\rho_p}{\rho_0} \left( \frac{n_0^2 - 1}{n_0^2 + 2} \right)$ ,

$n_p$  – рефрактивний індекс при тиску;

$n_0$  – рефрактивний індекс при атмосферному тиску (визначається за допомогою рефрактометра Аббе або Пульфриха);

$\rho_1$  – щільність мастила при тиску;

$\rho_0$  – щільність мастила при атмосферному тиску;

Відношення щільностей  $\frac{\rho_p}{\rho_0}$  можна визначити за допомогою рівняння

Хартунга [31]

$$\frac{\rho_p}{\rho_0} = 1 + b(p - p_0),$$

де  $b = \frac{42.8 \times 10^{-6}}{0,0386 \quad 0,25}$ ;

$\gamma$  – кінематичний тиск;

$P$  – тиск.

Слід зазначити, що дослідження Камерона та ін. [30] показали, що збільшення тиску в контактi тертя від 0 до 1 ГПа оказує незначний вплив на

зміну рефрактивного індексу (менше ніж на 10 %). Результати приведені Нагарая [32] показують, що рефрактивний індекс змінюється в межах 1,5 % при збільшенні температури мастила від 38 до 100 °С. таким чином, для визначення товщини змащувального шару в контактї тертя допускається використання значень рефрактивного індексу, отриманого при атмосферному тиску та температурі.

Перевага інтерференційного методу над іншими полягає в тому, що це єдиний метод в світовій практиці, котрий дозволяє при проведенні еластогідродинамічних дослідженнях спостерігати поведінку тертя в трьохвимірному контактї, тим самим досліджувати досить детально режим масляного голодування та рясного змащування.

## Висновки до розділу 2

На основі огляду літератури та аналізу класифікацій фрикційних машин відомих трибологів показано, що при лінійному контакті краще забезпечуються оптимальні умови для визначення трьох технічних властивостей мастильних матеріалів, що свідчить про правильність трибовіпробування на фрикційних пристроях за цим принципом.

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.

Запропоновано простий і ефективний спосіб отримання сигналу оптичного інтерферометра при вимірюванні товщини змащувальних шарів на випробувальних зразках, який дозволяє в кілька разів підвищити точність вимірювань, а також використовувати сучасні програмні засоби метрологічного забезпечення технологічних процесів.

## РОЗДІЛ 3

### МЕТОДИКА ПРИПРАЦЮВАННЯ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ РЕДУКТОРІВ АВІАЦІЙНИХ АПАРАТІВ

#### 3.1 Припрацювання зубчастих передач в умовах сталих режимів

Найважливішою технологічною операцією в значному ступені, що зумовлює нормальну роботу машин і механізмів в експлуатації, особливо в початковий період є припрацювання (обкатка). Незважаючи на це режими припрацювання, що визначаються виключно дослідним шляхом, як правило не контролюють по зміні тих чи інших показників і характеристик припрацьованої пари тертя.

Досліди О.В. Закалова, Р.Г. Мнацаканова [6, 33] показали, що припрацювання спряжених поверхонь є суттєвим фактором, що впливає на навантаження, при якому відбувається заїдання. Правильно проведене припрацювання може збільшити вказане навантаження заїдання приблизно на 50% в порівнянні з її значенням для неприпрацьованих поверхонь.

Е.А. Кульгавого [34] та ін. дослідили оптимізацію припрацювання антифрикційних матеріалів з метою їх стандартизації. Припрацювання спряжених поверхонь, на їхню думку є несталим процесом зміни геометричних розмірів і фізико-хімічних властивостей поверхонь, що характеризуються поступовою зміною різноманітних параметрів тертя і зносу.

Оптимальне припрацювання поверхонь тертя деталей – один з ефективних шляхів підвищення довговічності машин [10]. В процесі припрацювання повинні забезпечуватись оптимальна мікрогеометрія, склад, структура і фізико-механічні властивості спряжених поверхонь. Слід зазначити, що далеко не кожен режим припрацювання дозволяє отримати потрібний ефект.

За даними М.В. Кіндрачука, Е.А. Кльгавого, Ю.Л. Хлевної [35] основною задачею припрацювання є забезпечення найбільш швидкого

переходу спряжених поверхонь тертя – робочому стану, яке характеризується оптимальною площею контакту і ступеню шорсткості.

Автори дослідили різноманітні рідини на водній основі, в котрі входили хімічні розчинники і ПАР, що сприяють пришвидшенню процесу припрацювання. Застосування таких припрацьовуючих рідин дозволило скоротити час припрацювання в 15-20 разів.

А.І. Кравець та ін. в якості критеріїв закінчення припрацювання приймали коефіцієнт тертя в контактi деталей машин, закономірності змін параметрів шорсткості поверхонь тертя і мікротвердість поверхневого шару.

В роботі [8] описаний механізм припрацьованої дії трибopolімероутворюючих присадок до мастил в процесі тертя під навантаженням спряжених поверхонь.

Мороз С.А. і Якуліс А.А. для визначення оптимальних режимів обробки при дослідженні фіксували потужність, що споживається припрацьовуючим компресором, його продуктивність і температуру мастила. Вони встановили, що додавання в змащувальне мастило спеціальної присадки (1 % по масі) скорочує час припрацювання приблизно в 2 рази.

Припрацювання по А.С. №304075 полягає в тому, що відбувається безступінчасте поступове збільшення навантаження до номінальної величини. Збільшення навантаження здійснюється таким чином, щоб в контактi підтримувалась оптимальна товщина змащувального шару, з точки зору прогнозованого темпу зносу.

В процесі припрацювання по А.С. 814607 відбувалось ступінчасте, через певні інтервали часу збільшення навантаження. Одночасно вимірювалась товщина змащувального шару в контактi тертя і концентрація заліза в мастильній ванні редуктора, що визначається за допомогою методу спектрального аналізу проб мастила. Зміна товщини змащувальних шарів в процесі припрацювання показало, що на всіх навантажувальних етапах спостерігалось формування змащувальних шарів, інтенсивність котрих зменшувалась із збільшенням часу припрацювання і навантаження.



Припрацювання зубчастих передач за А.с. 718233 передбачають насичення змащувального матеріалу інертним газом – аргоном. Умови початку припрацювання вибираються так, щоб мастило виключало появу схоплювання. Інтенсивність змащувальної дії контролюється по товщині змащувального шару. З початку і до кінця припрацювання через мастило продувається інертний газ. Час припрацювання значно скорочується, підвищується якість поверхонь. Інтенсивність припрацювання така, що її можна здійснювати в постійному режимі, без обтяження умов праці.

Характерною особливістю припрацювання в умовах сталих режимів є взаємний приріст товщини змащувального шару і зносу. На рис. 3.1, а і б показані залежності приросту товщини змащувального шару  $h$  та зносу  $I$  від часу припрацювання зубчастих передач.

Як вже зазначалось, в якості основної характеристики якості припрацювання нами використовується товщина змащувального шару в контакті тертя.

В найбільш загальному вигляді функцію зміни товщини змащувального шару в контакті тертя можна записати у вигляді

$$\frac{dh}{dt} = c + kh + k_1 h^2 + \dots + k_{n-1} h^n,$$

де  $c, k, k_1, k_{n-1}$  – коефіцієнти.

Побудуємо математичну модель зміни товщини змащувального шару за час припрацювання від  $\tau_1$  до  $\tau_2$

$$\tau_2 - \tau_1 = \frac{1}{k} \ln \frac{c+kh_2}{c+kh_1},$$

де  $h_1$  і  $h_2$  – товщина змащувального шару відповідно в момент часу  $\tau_1$  та  $\tau_2$ .

Після переходу до десяткових логарифмів отримаємо

$$\tau_2 - \tau_1 = \frac{1}{k \lg c} \lg \frac{\frac{c}{k} + h_2}{\frac{c}{k} + h_1}$$

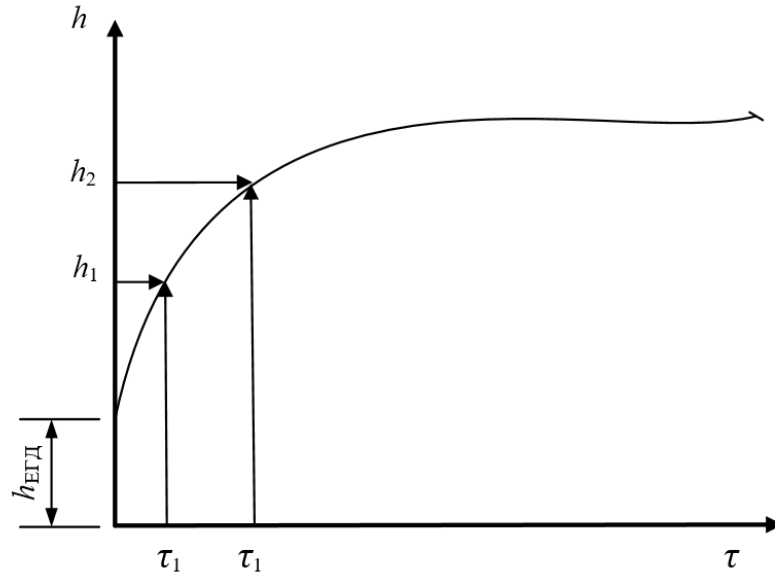
Побудуємо математичну модель зміни товщини змащувального шару за час припрацювання від  $\tau_1$  до  $\tau_2$

$$\tau_2 - \tau_1 = \frac{1}{k} \ln \frac{c+kh_2}{c+kh_1},$$

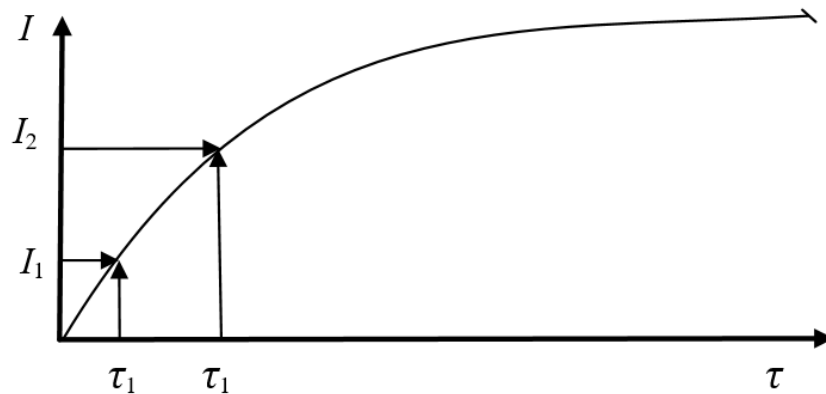
де  $h_1$  і  $h_2$  – товщина змащувального шару відповідно в момент часу  $\tau_1$  та  $\tau_2$ .

Після переходу до десяткових логарифмів отримаємо

$$\tau_2 - \tau_1 = \frac{1}{k \lg c} \lg \frac{\frac{c}{k} + h_2}{\frac{c}{k} + h_1}$$



а



б

а – залежність приросту товщини змащувального шару  $h$ , б – залежність приросту зносу  $I$

Рисунок 3.1 – Зміна товщини змащувального шару ( $h$ ) та зносу ( $I$ ) в процесі припрацювання в сталому режимі

Після незначних перетворень отримаємо

$$h_2 = (h_1 + t_\beta \sigma_1 + h_{\text{Е.Г.Д.}}) 10^{\frac{\tau_2 - \tau_1}{A}} - h_{\text{Е.Г.Д.}},$$

де  $t_{\beta}$  – коефіцієнт Стюдента (залежить від прийнятого рівня довірчої ймовірності);

$h_{E.G.D.}$  – товщина еластогідродимачної складової сумарного змащувального шару (визначається теоретично за формулою Даусона-Хемрока або експериментально);

$\sigma_1$  – середньоквадратичне відхилення в момент часу  $\tau_1$ ;

$$A = \frac{\tau_2 - \tau_1}{\lg \frac{\sigma_2}{\sigma_1}} - \text{коефіцієнт}$$

Таким чином, за допомогою запропонованої методики можна прогнозувати зміну товщини змащувального шару в процесі припрацювання зубчастих передач в сталому режимі.

Проведений аналіз ефективності припрацювання зубчастих передач в сталих режимах дозволив встановити ряд закономірностей, що підвищує її якість, економічність та зробити наступні висновки:

1. Припрацювання слід проводити в оптимальному режимі змащувальної дії, навантажувальних, температурних і швидкісних факторів та газового середовища з позиції скорочення часу, підвищеної довговічності і навантажувальної здатності зубчастих редукторів.

Способами реалізації цього може служити:

- оптимізація параметрів тертя в процесі припрацювання;
- оптимізація газового середовища з позиції змащувальної дії;
- оптимізація змащувального середовища шляхом додавання присадок хімічно-активних речовин (ХАР) і поверхнево-активних речовин (ПАР) і комбінованих присадок.

2. Припрацювання з додаванням присадок ПАР і ХАР призводить до зниження довговічності зубчастих передач в процесі їх подальшої експлуатації цими присадками. Тому після припрацювання слід замінити мастило припрацювання на експлуатаційне.

3. Новий підхід до теоретичних і прикладних питань припрацювань відкриває можливість використання нестационарного режиму припрацювання зубчастих передач.

### **3.2 Припрацювання зубчастих передач при несталих режимах роботи**

Несталі режими роботи істотно впливають на надійність і довговічність спряжених пар вузлів тертя [20]. Внаслідок незадовільної змащувальної дії для цих режимів роботи характерний значний знос поверхонь тертя. Основними факторами, що визначають інтенсивність зносу є фактор змащувального матеріалу на швидкісному і навантаженому режимах. Знос при несталих режимах в значній мірі визначається початковою міцністю та швидкістю утворення нової змащувальної плівки. В цих умовах режим змащування може змінюватись від еластогідродинамічного до граничного.

#### **3.2.1 Вплив несталих режимів припрацювання на надійність та довговічність зубчастих передач**

Втомна міцність та знос зубців значно залежать від характеру їх навантаження, особливо в початковий період експлуатації припрацювання. Це пояснюється тим, що швидкість проходження різних стадій руйнування визначається не тільки властивостями матеріалу, але і умовами навантаження [4]. Тому, правильно вибрана послідовність навантаження може значно підвищити надійність зубчастих передач.

При нестационарних режимах навантаження, додавання пошкоджень визначається по залежності [5]

$$\sum \left( \frac{n_i}{N_i} \right) = a,$$

де  $n_i$  – фактичні числа циклів навантаження;

$N_i$  – число циклів до руйнування для різноманітних рівнів існуючих напруг.

$a$  – величина, що характеризує опір деталі перевантаженням.

При одноступеневій зміні навантажень може бути місце різним сполученням початкових  $\sigma_H$  і кінцевих  $\sigma_K$  рівнів напруги і чисел циклів їх дії  $n_H$  і  $n_K$ . При короткотривалому початковому навантаженні виникає зміцнення матеріалу та підвищується надійність зубчастої передачі.

Стаціонарний режим навантаження знижує згинальну і контактну витривалість матеріалу в порівнянні з нестаціонарним режимом [16]. Інтенсивне зношування зубців із змінанням спостерігається при  $\sigma_K > 2\sigma_{TK}$  ( $\sigma_K$  – кінцеве значення напруги,  $\sigma_{TK}$  – межа контактної витривалості), а накоплення контактної втомлюваності в матеріалі відбувається якщо напруга перевищує  $0,8 \sigma_{TK}$  [16].

Паузи під час припрацювання зубчастої передачі з навантаженнями, що створюють напругу вище межі текучості, збільшують межу витривалості, протизадирну стійкість і покращують припрацюванню зубців. Однак з ростом навантаження виникає небезпека заїдання, що пояснюється зменшенням товщини змащувального шару і виникненням металічних зв'язків на контактуючих поверхнях внаслідок інтенсивної пластичної деформації [28].

В умовах нестаціонарних режимів припрацювання зубчастих передач зміна навантаження суттєвим чином позначається на товщині змащувального шару, а відповідно і на величині зносу.

Відомо, що щільність розподілення тиску

$$f(P) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} l^{-\frac{(P-\bar{P})^2}{2\sigma^2}},$$

де  $P$  – середній тиск;

$\bar{P}$  – тиск;

$\sigma$  – середньоквадратичне відхилення

і враховуючи коливання навантаження від  $P_{\min}$  до  $P_{\max}$  отримаємо, що товщина змащувального шару описується рівнянням:

$$h_{\text{н.р.}} = \int_{P_{\min}}^{P_{\max}} h(P)f(P)dP$$

враховуючи, що

$$h(P) = cP^{-\gamma},$$

тоді

$$h_{\text{н.р.}} = cP^{-\gamma} \int^{\infty} \frac{(1+2\sigma)^{\gamma}}{\sqrt{2\pi}} l^{-\frac{\alpha^2}{2}},$$

де  $\alpha = \frac{(P-P)}{\sigma}$  - нормоване відношення

$\frac{(1+2\sigma)^{\gamma}}{\sqrt{2\pi}}$  – коефіцієнт варіації.

На основі викладеного можна зробити висновок, що інтенсивність росту товщини змащувального шару в умовах нестационарних режимів завжди менше, і відповідно, інтенсивність зношування в цих умовах буде значно вище, ніж при стаціонарному режимі припрацювання.

Пуски та зупинки під навантаженням підвищують контактну витривалість зубчастих передач, що припрацьовуються. Це пояснюється існуванням граничного режиму тертя і частим розривом змащувального шару, що веде до інтенсивного припрацьованого зносу поверхонь тертя.

Зміна в процесі припрацювання колових швидкостей змінює відповідно динамічні навантаження при зчепленні, а також товщину змащувального шару, температуру в контакті, коефіцієнт тертя і т.і. в свою чергу це викликає перерозподілення напруження, зміну швидкості інтенсивності зростання товщини змащувального шару і величини зносу [16]. Слід зазначити, що збільшення колових швидкостей до певних значень, при яких ще не виникає критична температура, що складається з температури спалаху і температури спряжених пар тертя, знижує чутливість до заїдання.

При подальшому підвищенні окружної швидкості виникає швидкість ковзання і зменшується товщина змащувального шару, а це може викликати заїдання [28].

Таким чином умови припрацювання і зокрема, навантажувальний і швидкісний режими, суттєво впливають на товщину змащувального шару в контакті тертя, межу контактної витривалості, інтенсивність зносу,

протизадирні властивості зубчастих передач, тобто в кінцевому випадку впливають на їх надійність і довговічність.

### 3.2.2 Експериментальні аспекти якості зубчастих передач при частих пусках і зупинках

В якості основного параметру, що характеризує ефективність і якість припрацювання використовувалась товщина змащувального шару і динаміка її зміни в процесі припрацювання [20]. На окремих етапах дослідження визначались величини питомої роботи тертя, коефіцієнт тертя і величина лінійного зношування.

На рис. 3.2. представлена схема зміни сумарної швидкості кочення  $V_{\Sigma}$ , моменту тертя  $M$  і товщини змащувального шару  $h$  за один цикл (пуск – зупинка).

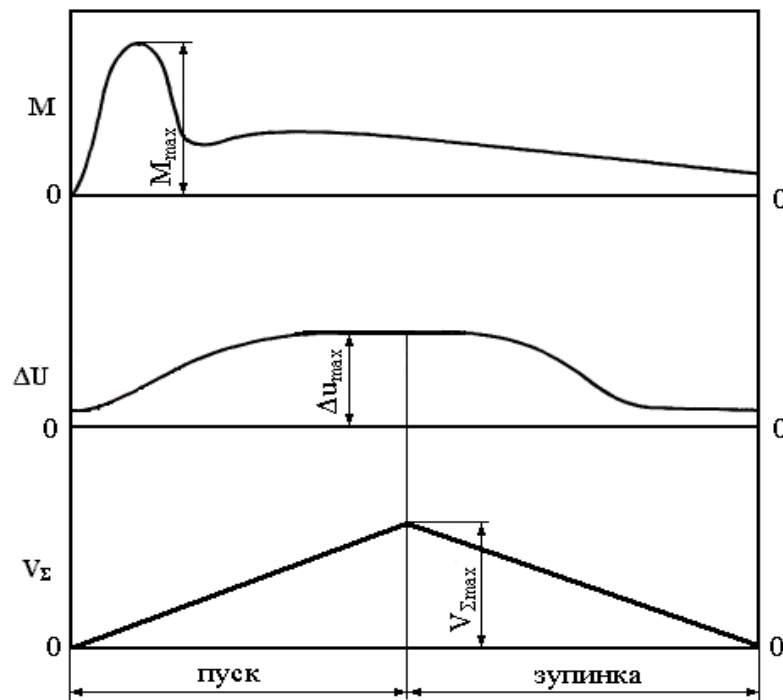
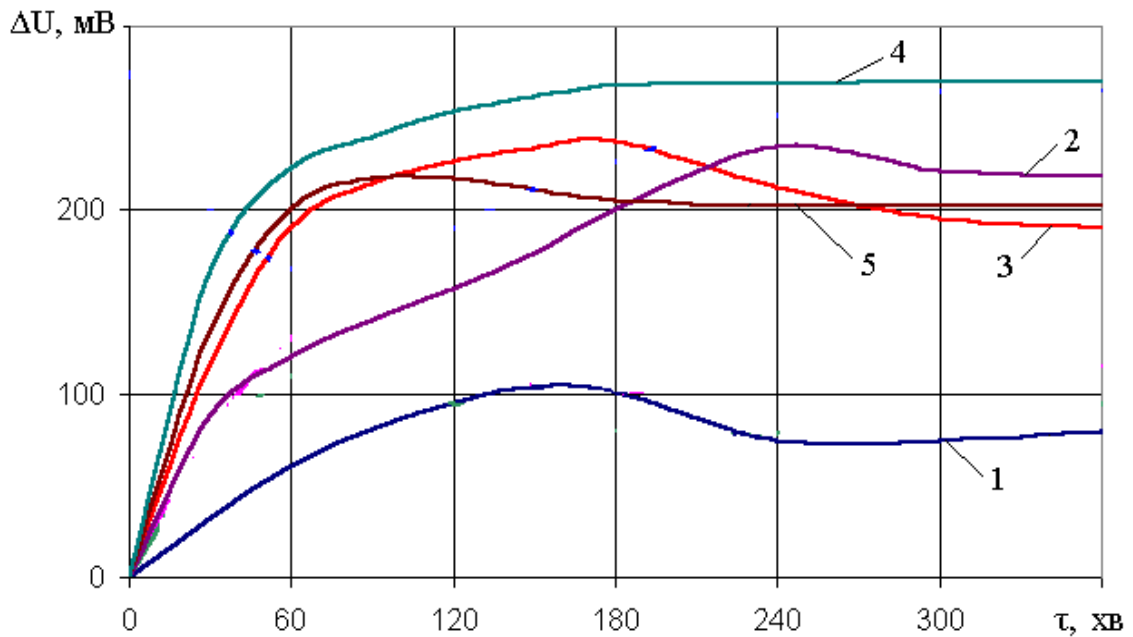


Рисунок 3.2 – Зміна моменту тертя  $M$ , падіння електричної напруги на змащувальному шарі  $\Delta U$  і сумарною швидкістю кочення  $V_{\Sigma}$  за один цикл пуск – зупинка

На рис. 3.3 і 3.4. показано те, що відбувається із збільшенням часу роботи  $\tau$  зміни найбільших за цикл, відповідно, падіння електричної напруги на змащувальному шарі  $\Delta U$  і коефіцієнта тертя  $f$ .



1 – мастило МС-20; 2 – мастило МС-20; 3 – мастило ВНИИНП-254; 4 – мастило «Ера»; 5 – мастило AeroShell Grease 33

Рисунок 3.3 – Зміна падіння електричної напруги на змащувальному шарі в процесі припрацювання

Те, що спостерігається на всіх режимах на початку роботи, зниження коефіцієнта тертя  $f$  і збільшення товщини змащувального шару є наслідком процесу припрацювання, що відбувається – згладжування поверхонь і формування на них змащувального шару [27]. В стаціонарних умовах припрацювання, досягнуті в кінці припрацювання значення товщини змащувального шару і коефіцієнта тертя зберігається в подальшому, свідчить про незмінність стану поверхні і мастила. При змінних режимах після закінчення першого етапу наступає другий етап – на деякий час зростає коефіцієнт тертя і знижується товщина змащувального шару. Другий етап небезпечний виникненням заїдання.



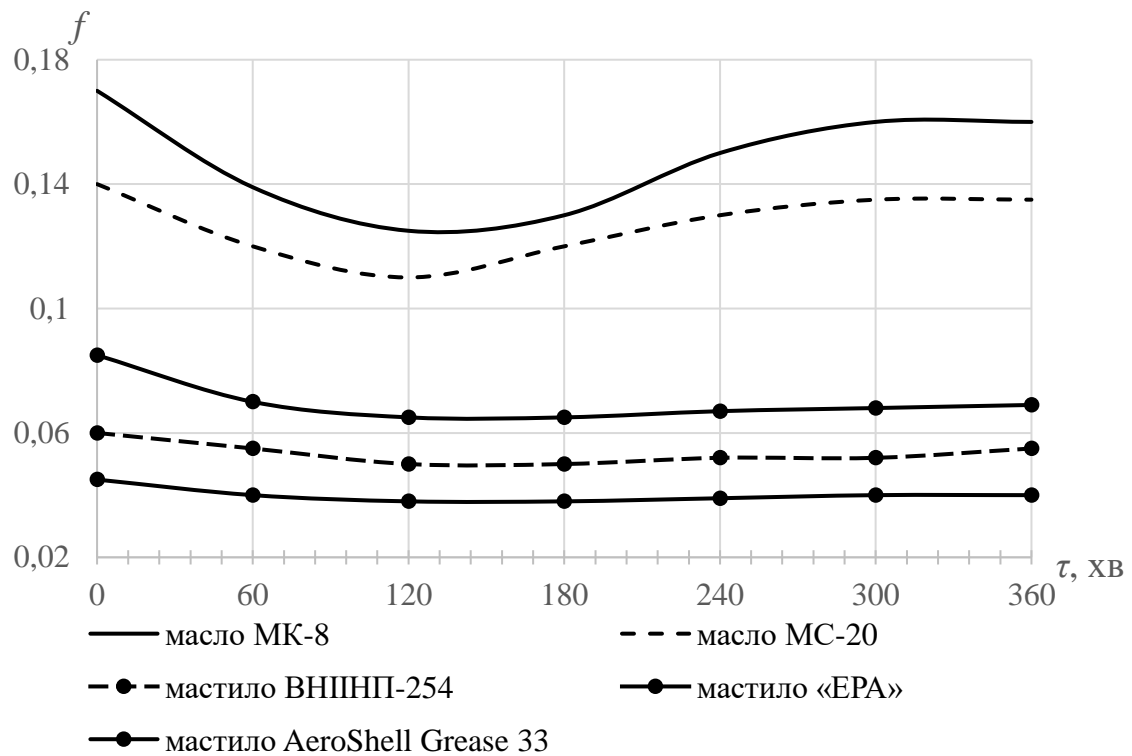


Рисунок 3.4 – Зміна коефіцієнта тертя в процесі припрацювання

Характерним режимом мастила для процесу пуску і зупинки є режим граничного змащування. Те, що із збільшенням товщини змащувального шару, мінімум коефіцієнта тертя досягається при найбільшій товщині змащувального шару, і те, що коефіцієнт тертя менший при змащуванні більш в'язким мастилом, свідчить про переважно граничний характер змащувальної дії.

На рис. 3.5. показана зміна питомої роботи тертя  $E$  при пусках – зупинках. Отримання значення питомої роботи є середнім, оскільки нормальний тиск по ширині площини контакту розподіляється нерівномірно. Величина  $E$  є інтегральною характеристикою, що визначається середнім значенням моменту тертя в розрахункових період і дозволяє більш точно оцінювати енерговитрати, нагрів і схильність спряжених пар тертя до схоплювання при пусках – зупинках.

Типова картина зміни товщини змащувального шару при пуску для мастил і мастильних матеріалів показана на рис. 3.6. Пластичне мастило вже через нетривалий час припрацювання при страгуванні майже миттєво утворює

змащувальний шар, товщина якого складає 90 % від усталеної в процесі пуску товщини змащувального шару. Таке явище не було виявлено в мастилах. Цей ефект слід віднести до суттєвої переваги пластичних і напіврідких мастил.

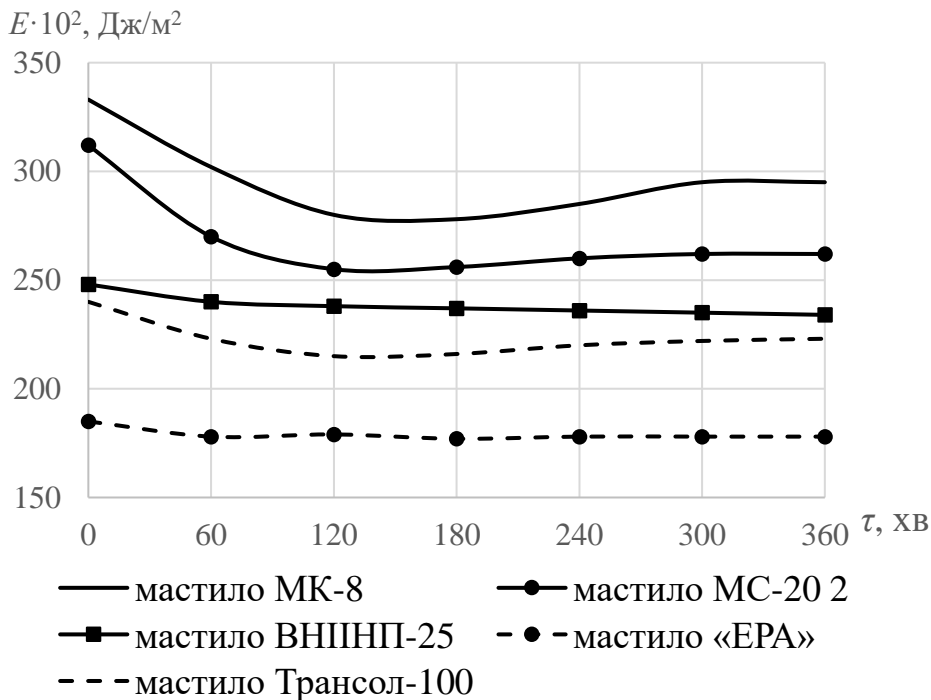
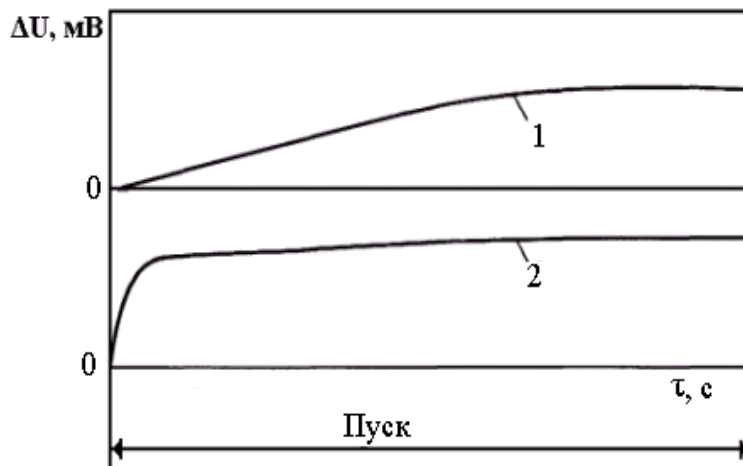


Рисунок 3.5 – Зміна питомої роботи тертя в процесі припрацювання

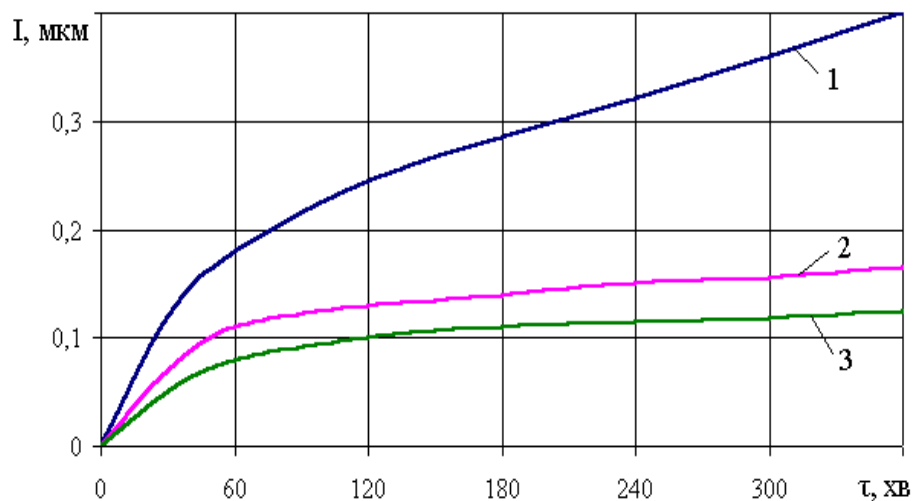


1 –масло; 2 – мастило

Рисунок 3.6 – Зміна падіння електричної напруги при пуску для масел та мастил

На рис. 3.7. показана зміна лінійного зносу за час припрацювання. Зміна зносу за час припрацювання підпорядковується відомій закономірності – інтенсивний початковий період з затухаючим темпом зносу змінюється

періодом усталення, з постійною швидкістю зношення. Знос в період пуску є результатом поганої змащувальної дії, яка обумовлює інтенсивну механічну взаємодію поверхонь, що труться, про що свідчить утворення на них при пуску пускових задирів, які припрацьовуються на протязі певного часу [36]. При частому повторенні циклів пуск – зупинка виникає більш швидке припрацювання пускових задирів, які неминучі при пусках. В роботі [30] показано, що пуски, які виконувалися при наявності на поверхнях тертя неприпрацьованих мікрозадирів призводять до інтенсивного зносу, який в 5-11 разів перевищує нормальний.



1 – мастило МС-20; 2 – мастило «Ера»; 3 – мастило AeroShell Grease 33

Рисунок 3.7 – Зміна величини лінійного зносу при припрацюванні в режимі пусків та зупинок

Збільшення тривалості стоянки між циклами пуск – зупинка знижує ефективність змащувальної дії і збільшує знос. Однак для мастил вплив паузи не настільки значний, як для масла. Таке відношення зносу пов'язано з тим, що змащувальний матеріал при стоянці не стікає з робочої поверхні, а це має місце на маслах, тим самим покращуючи змащувальну дію в момент пуску в роботі [31] показано, що цей факт сприятливий з точки зору попередження корозії поверхні тертя.

Процеси пуску і зупинки, які відносяться до важких умов тертя, можна розглядати як один із ефективних способів припрацювання зубчастих передач.

### 3.3 Пропонований спосіб припрацювання редукторів

На основі проведеного аналізу, запропоновано спосіб припрацювання шляхом ступінчастого навантаження зубчастих редукторів, і встановлено, що такий спосіб припрацювання є неоптимальним.

Нами пропонується новий спосіб припрацювання і антикорозійної обробки зубчастих редукторів, заснований на безперервному управлінні процесами припрацювання зубчастих коліс – тертя шляхом зміни в часі частоти обертання, а відповідно, і моменту тертя, в умовах граничного режиму змащування, що забезпечує достатньо високу інтенсивність зношування.

Незважаючи на явний недолік – загасання темпу припрацювання в продовженні кожного етапу - цей спосіб залишається самим поширеним завдяки простоті виконання. Ускладнення умов припрацювання завжди досягається шляхом збільшення навантаження. Решта умов залишаються незмінними. Тільки в деяких випадках, коли зі зміною навантаження відбувається і зміна швидкості, при переході з режиму, на режим змінюється ще один параметр.

Результатом припрацювання є підвищення швидкості і якості припрацювання редукторів при використанні адаптивних властивостей комплексної мастильної композиції (КСК) в подальшому періоді усталеного рівноважного режиму з поліпшення триботехнічних показників.

Зазначений результат досягається тим, що в способі припрацювання редукторів, що полягає в проведенні його в масляній ванні з додаванням в мастильний матеріал дрібнодисперсної порошкової присадки. Припрацювання проводять в ступінчастому режимі підвищення моменту веденого валу редуктора на  $10 \text{ Н} \cdot \text{м}$  через кожні 15 хв до величини сумарного моменту, що визначається сталим рівноважним процесом граничного тертя, який характеризується постійним мінімальним коефіцієнтом тертя ковзання або стабільним максимальним значенням товщини мастильного шару в зубчатому зчепленні редуктора при використанні дрібнодисперсного абразивного порошку присадки у вигляді графіту з осадженням його на

поверхню, де розміри частинок до 5 мкм складають не менш 90%, решта допускаються до 10 мкм, що вноситься в кількості 0,75 мас. % в базове масло МС-20 в поєднанні з 7 мас. % металоплакуючої присадки маслорозчинних солей вищих жирних граничних і ненасичених кислот загальної формули стеаратів (RCOO) 2 Me, де Me - Cu, Sn, Ni, Co.

Технічний результат досягається за рахунок того, що дрібнодисперсна порошкова присадка, потрапляючи в зону контакту поверхонь, під дією тиску і високої температури руйнується, при цьому частки вступають в хімічні реакції. Штучний серпентин, вступає в реакцію з окисними плівками заліза і утворює залізомагнієві силікати, твердість яких перевищує твердість загартованої сталі. Утворені силікати мають властивості абразивних частинок, які виконують тонку механічну обробку поверхонь тертя. Якісне підвищення припрацювання пари тертя при використанні графіту на його поверхню штучним серпентином у порівнянні з роздільним введенням тієї ж кількості графіту і серпентину пояснюється тим, що колоїдний графіт з покриттям штучного серпентину збільшує поверхневу енергію отриманої частки, так як композитна система має додаткову міжфазну енергією. Відзначимо, що колоїдний графіт адсорбується на металі, заповнюючи западини шорсткості поверхонь тертя, що впливає не тільки на антифрикційні властивості, але і на зносостійкість сталевих пари в сталому режимі граничного тертя.

Велику роль в швидкому і якісному припрацюванні і подальшій роботі редуктора в усталеному режимі тертя виконують металоплакуючі маслорозчинні присадки, що мають активні властивості організовувати вторинні структури з продуктами зношування і наявного мастильного середовища для регулювання (зменшення) тертя в зоні контакту, а також вирівнювання геометричного зносу контактуючих поверхонь. В процесі припрацювання м'які метали Cu і Sn, мають високу різницю потенціалів по відношенню до заліза: відповідно - 0,78 В та - 0,3 В, за рахунок електрохімічної взаємодії в першу чергу утворюють на ювенільних поверхнях тертя антифрикційні плівки, що оберігають від захоплення. Стеарати Ni і Co за

рахунок механохімічного синтезу утворюють структури у вигляді оксидних феромагнетиків  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ ,  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ , які проникають в первинні антифрикційні плівки, підвищуючи зносостійкість і задиростійкість, так як утворюються дисперсно-зміцнені композиції (ДСК) на сталевих поверхнях тертя. Магнітна енергія феромагнетиків ефективно впливає на утворення ДСК.

КСК характеризується застосуванням як в період припрацювання, так і роботи редуктора в усталеному експлуатаційному режимі. Тим самим виключається змивання мастильного матеріалу після припрацювання і заміна іншим маслом для подальшої експлуатації редуктора.

На рис. 3.8 показано графік зміни коефіцієнта тертя ковзання –  $f$  в дослідній парі із застосуванням КСК в залежності від контактного навантаження –  $F$  на універсальній машині тертя П5018; на рис. 3.9 представлені фотографії морфології сталевих поверхонь тертя; на рис. 3.10 показано закономірність зміни мікротвердості –  $H$  на сталевій поверхні після випробувань в залежності від навантаження –  $F$  при використанні КСК; на рис. 3.11 представлено залежність коефіцієнта тертя ковзання сталевій пари редуктора в КСК –  $f$  від величини моменту на веденому валу редуктора –  $M_2$ ; на рис. 3.12 представлено закономірності зміни товщини мастильного шару  $\Delta U$  від величини крутного моменту на веденому валу редуктора –  $M_2$  в парах тертя: сталь 45 – сталь 45; сталь 45 – бронза БрОЦС 5-5-5 при використанні КСК.

Спосіб припрацювання полягає в наступному: готову комплексну мастильну композицію додають в мінеральне масло, перемішують і виливають мастильний матеріал в картер редуктора до рівня  $1/3$  діаметра встановленого зубчатого колеса, потім прикладають поступово навантаження – моменту опору на веденому валу редуктора із зростанням в рівних величинах через певні проміжки часу до навантаження усталеного рівноважного режиму, який визначають за показниками сталості мінімальних коефіцієнтів тертя і товщини мастильного шару в зубчатому зачепленні.

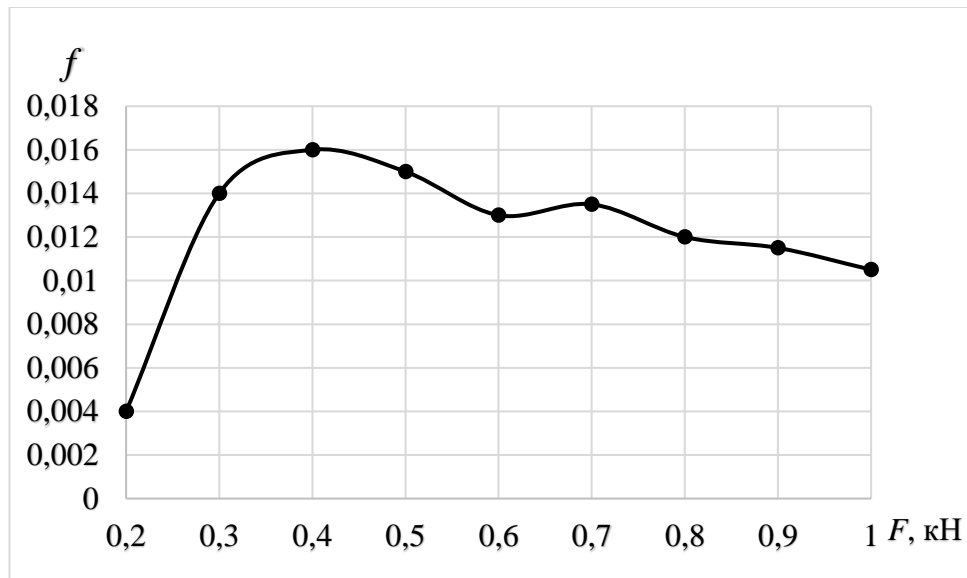


Рисунок 3.8 – Графік зміни коефіцієнта тертя ковзання –  $f$  в дослідній парі із застосуванням КСК в залежності від контактного навантаження –  $F$

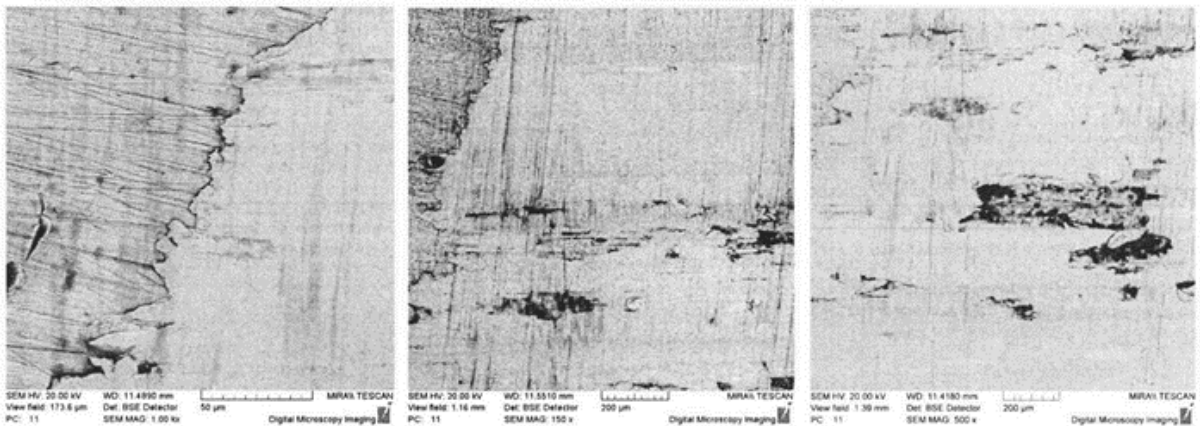


Рисунок 3.9 – Морфологія сталевих поверхонь тертя

Використовувалися наступні матеріали : масло селективної очистки МС-20; колоїдний графіт; дрібнодисперсна абразивна порошкова присадка у вигляді колоїдного графіту С-2 із штучним серпентином і металоплакуюча присадка в вигляді маслорозчинних солей стеаратів граничних і ненасичених кислот загальної формули  $(RCOO)_2 Me$ , де  $Me$  –  $Cu$ ,  $Sn$ ,  $Ni$ ,  $Co$ .

Для отримання порошкової присадки в якості сировинних компонентів використовували:

- 1) етилсилікат ЕТС-40;
- 2) шестиводний нітрат магнію  $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ;
- 3) колоїдний графіт С-2;

4) ізопропиловий спирт.

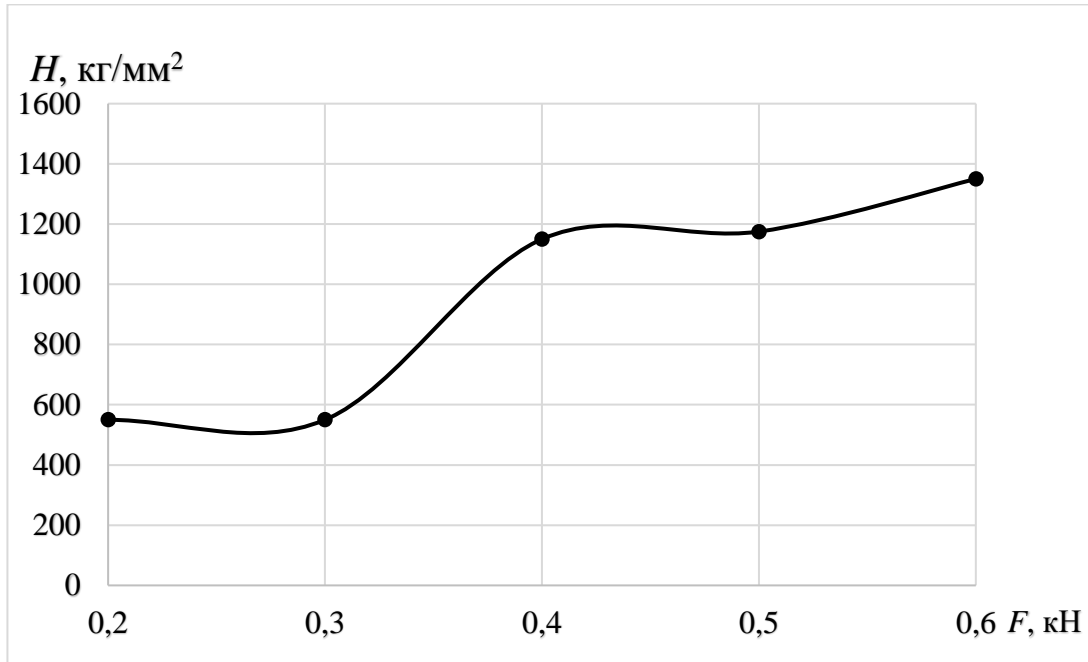


Рисунок 3.10 – Закономірність зміни мікротвердості –  $H$  на сталевій поверхні після випробувань в залежності від навантаження –  $F$  при використанні КСК

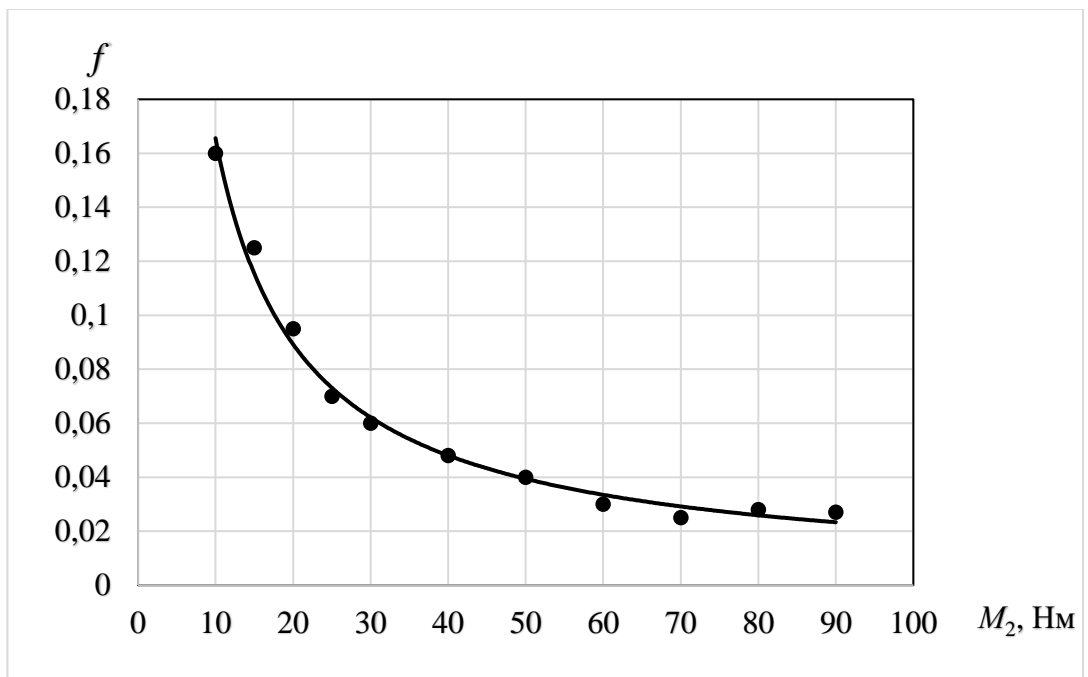


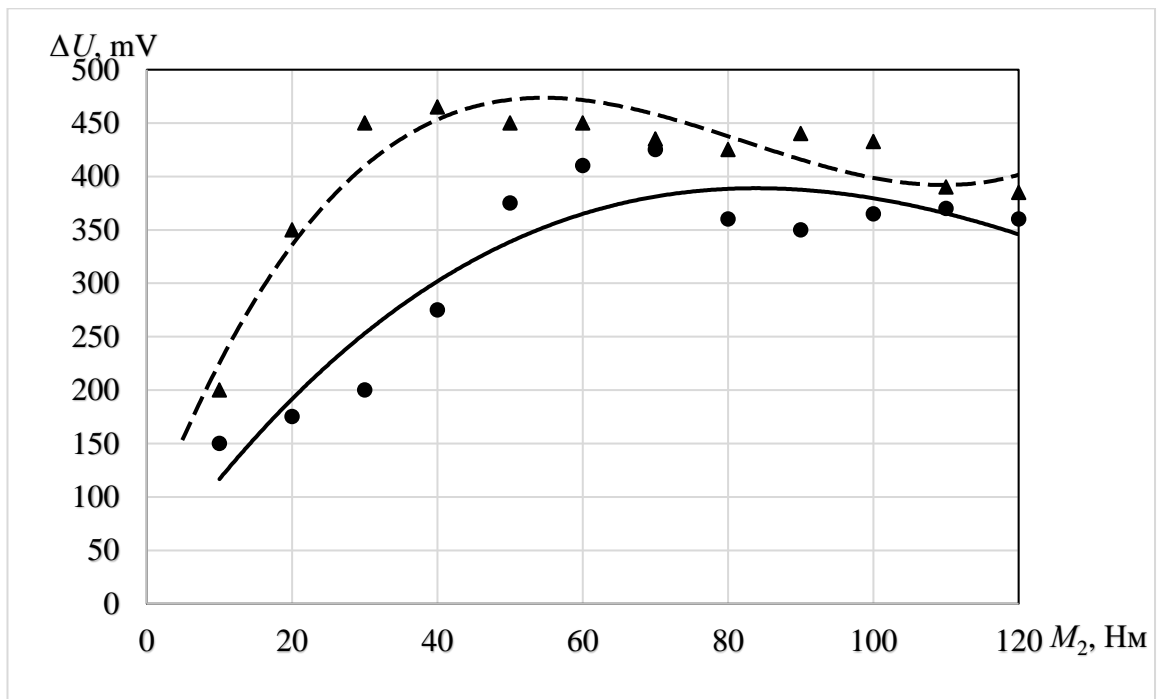
Рисунок 3.11 – Залежність коефіцієнта тертя ковзання сталевій пари редуктора в КСК –  $f$  від величини моменту на веденому валу редуктора –  $M_2$

Для отримання металоплакуючої присадки в якості сировинних компонентів використовували :

1) стеаринову кислоту;



- 2) рослинну олію;
- 3) їдкий натр NaOH;
- 4) сірчаноокислу мідь  $\text{CuSO}_4$ ;
- 5) сірчаноокислий нікель  $\text{NiSO}_4$ ;
- 6) сірчаноокислий кобальт  $\text{CoSO}_4$ ;
- 7) хлористе олово  $\text{SnCl}_2$ ;
- 8) триетаноламін  $\text{N}(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3$ ;
- 9) оцтова кислота ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ).



—●— сталь 45 – сталь 45; - - ▲ - сталь 45 – бронза БрОЦС 5-5-5

Рисунок 3.12 – Закономірності зміни падіння напруги від величини крутного моменту на веденому валу редуктора –  $M_2$  в парах тертя при використанні КСК

Критерієм відомостей, що підтверджують можливість здійснення такого припрацювання, є оцінка антифрикційних і протизносних властивостей, шорсткості і морфології поверхонь тертя, мікротвердості, падіння напруги  $\Delta U$ , як на фізичній моделі, так і в зубчатому зачепленні редуктора. В дослідженні було застосовано комплексну мастильну композицію, оптимальний склад якої визначений методом наукового симплекс планування, що полягає в

проведенні експериментів і розрахунку конкретних даних. Найменші коефіцієнти тертя визначають оптимальний відсотковий вміст кожного з компонентів у складі КСК: дрібнодисперсна абразивна порошкова присадка – 0,75 мас. %; металоплакуюча присадка – 7 мас. %; 1,5 мас. % CuSt; 1,5 мас. % SnSt, 3 мас. % NiSt і 1 мас. % CoSt ; масло МС-20 - 92,25 мас. %. Основна частка дрібнодисперсних частинок порошкової присадки ( $\geq 90\%$ ) знаходиться до 5 мкм, решта до 10 мкм.

Для оцінки результатів досліджень застосовували методи математичної статистики. Експериментальні залежності обробляли з використанням регресійного аналізу.

Припрацювання редукторів проводять подібно прототипу на універсальній машині тертя П5018 при швидкості ковзання  $V_S = 1$  м/с. Встановлюють випробовувані зразки на машину тертя так, щоб зразок занурювався на  $1/3$  діаметра у ванну із мастильним матеріалом, що складалося з масла МС-20 і з КСК. Потім виконують припрацювання сталевих зразків в наступному порядку :

1) встановлюють швидкість обертання диска  $V_S = 1$  м / с, що становить  $n = 478$  об / хв при діаметрі диска  $d = 50$  мм;

2) прикладають первісне навантаження  $F = 0,2$  кН і обкатують зразки в протягом 15 хв; в цей період часу на реєструючому пристрої машини тертя фіксують величини коефіцієнтів тертя  $f$ ;

3) навантаження збільшують на  $F = 0,1$  кН, яке в цілому складає  $F = 0,3$  кН і також обкатують зразки в продовж 15 хв із записом  $f$  і т.д.

В цьому режимі виконують припрацювання зразків з фіксацією коефіцієнтів тертя і товщини мастильного шару  $\Delta U$  на випробовуваних зразках до моменту зменшення і стабілізації  $f$  ( стабілізацію  $f$  визначають по 4 подальшим навантаженням, де відхилення від  $f_{cp}$  становить  $\leq 8\%$ ).

На рис. 1 представлено отримані закономірності зміни коефіцієнта тертя ковзання  $f$  в сталевій парі: сталь 45 - сталь 45 із застосуванням КСК в залежності від контактної навантаження  $F$  на машині тертя П5018. При

збільшенні навантаження  $F > 0,6$  кН на досліджувані зразки, коефіцієнт тертя стабілізується і в середньому становить  $f_{cp} = 0,0132$  при постійній температурі КСК –  $t = 60 - 70$  °С. Середня шорсткість після припрацювання поверхонь зразків при терті з  $F = 0,6$  кН і  $V_S = 1$  м/с дорівнює  $R_a = 0,130$  мкм. Це вказує на повне припрацювання сталевих зразків.

Припрацювання характеризується результатами трансформації і руйнування поверхонь тертя, тому зразки було досліджено на зношування. При шляху тертя в 50 км і  $F = 0,6$  кН зношування верхнього ролика (сталь 45) дорівнює  $i_h = 0,00039$  г/км, у нижнього ролика (сталь 45) приріст  $J_h = 0,0006$  г/км. На нижньому ролику за рахунок динаміки утворюється приріст. Вторинні структури на поверхнях тертя добре видно на фотографіях, рис. 3.9. На фотографіях чітко видно граничні переходи від однієї структури поверхні тертя до іншої структури.

Мікротвердість поверхонь тертя становить : верхнього ролика –  $H = 1435$  кг/мм<sup>2</sup>, нижнього ролика –  $H = 1283-1984$  кг/мм<sup>2</sup>. Збільшення мікротвердості після припрацювання підтверджує наявність на поверхнях вторинних структур. Причому мікротвердість  $H = f(F)$  змінюється в залежності від величини контактної навантаження  $F$ , рис. 3.10

На рис. 3.11 представлена залежність коефіцієнта тертя в зачепленні редуктора  $f$  від величини моменту на відомому валу редуктора  $M_2$  при використанні мастильного матеріалу з КСК. Видно, що при навантаженні  $M_2 > 60$  Нм  $f$  зменшується і стабілізується, тобто. з цього моменту припрацювання переходить в рівноважний стаціонарний режим тертя, тому товщина мастильного шару редуктора також стабілізується (рис. 3.12).

Характерною особливістю припрацювання в умовах сталих режимів є взаємне прирощування товщини змащувального шару і зносу.

Запропонований спосіб дозволяє забезпечити найбільш вигідний режим припрацювання і антикорозійної обробки при збереженні високої якості припрацьовуючих поверхонь зубців, зубчастих коліс, а також підвищеної довговічності і навантажувальної здатності редукторів.

### Висновки до розділу 3

Експериментальні дослідження дозволили встановити, що на початку процесу підробітки коливання, як за швидкістю зношування, так і за коефіцієнтом тертя, відсутні. Після переходу з другого режиму на третій, з'являються коливання тільки у коефіцієнта тертя, що відповідає висновкам за результатами моделювання, викладеним вище.

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблена і обґрунтована структура програми підробітки трибосистем, яка складається з двох режимів. На першому режимі задається максимальне навантаження, нижче навантаження "заїдання" при мінімальній швидкості ковзання. Такий режим дозволяє за рахунок інтенсивної деформації мікроступів сформувати рівноважну шорсткість поверхонь тертя і змінити структуру тонких поверхневих шарів. Перший режим можна назвати адаптацією трибосистеми до зовнішніх умов. На другому режимі задається мінімальне навантаження і максимальна швидкість ковзання. Такий режим дозволяє зменшити час перебудови структури матеріалу поверхневих шарів і завершити утворення вторинних структур і окисних плівок. Другий режим можна назвати навчання і тренування трибосистеми.

Отримано перехідні характеристики підробітки трибосистем, які дозволяють встановити взаємозв'язок між конструкцією трибосистеми, раціональними режимами навантаження, часом підробітки і зносом за приработку. Практичною значущістю роботи є мінімізація часу підробітки і зносу за період підробітки.

Результати експериментальних досліджень підтвердили висновки, отримані за допомогою математичного моделювання. Математична модель, яка розроблена в роботі, дозволяє обґрунтувати режими підробітки для кожної конкретної трибосистеми. Отже, для кожної конструкції трибосистеми, шляхом оделірование, буде отримана індивідуальна програма підробітки, яка буде складатися з двох режимів.

Після вивчення анізотропії були побудовані криві мінімального і максимального значень коефіцієнта тертя в умовах експерименту. Крива мінімальних значень відповідає кривим, отриманим на умовно-ізотропних поверхнях, що дозволяє припустити, що індентор рухається вздовж напрямку обробки. Максимальна крива показує зменшення коефіцієнта тертя зі збільшенням добавки дисульфиду молібдену до 10 %, що не узгоджується з отриманими раніше даними. Це пов'язано з тим, що навантаження в цій області мінімальне, тому можна знизити коефіцієнт тертя.

На підставі проведених трибологічних випробувань можна стверджувати, що оптимальна концентрація досліджуваних антифрикційних присадок знаходиться в діапазоні від 5 до 8 %. Встановлено, що зниження коефіцієнта тертя відбувається в 1,75-2 рази по відношенню до масла МС-20.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ

#### **4.1 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів, що діють при ремонті літального апарату**

Процес відновлення та ремонту повітряних суден на даному етапі розвитку інформаційних технологій здійснюється із застосуванням комп'ютерних технологій, що пов'язано зі шкідливим впливом на організм людини, що знаходиться в безпосередній близькості від комп'ютера.

В процесі виконання робіт на інженера можуть впливати такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори згідно зі стандартом ГОСТ 12.0.003-74 «Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація» [37].

Ці фактори є:

- небезпечний рівень напруги в електричному ланцюзі, коротке замикання якого може відбуватися через організм людини підвищеним рівнем електромагнітного випромінювання;
- підвищений рівень статичної електрики;
- підвищений рівень шуму;
- нераціональна організація робочого місця;
- недостатня освітленість робочої зони.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори за характером дії поділяються на наступні групи:

- фізичні;
- хімічні;
- психофізіологічні.

##### **4.1.1 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори**

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори за природою поділяються на наступні групи:

- фактори, що породжуються фізичними властивостями та характеристиками стану матеріальних об'єктів виробничого середовища;
- фактори, що генеруються хімічними та фізико-хімічними властивостями речовин та матеріалів, що використовуються або знаходяться в робочій зоні;
- фактори, породжені біологічними властивостями мікроорганізмів, що знаходяться в біологічних об'єктах та (або) забруднюючих матеріал об'єктах виробничого середовища;
- фактори, що породжуються поведінковими реакціями та захисними механізмами живих істот (укуси, укуси, виділення отруйних або інших захисних речовин тощо);
- фактори, породжені соціально-економічними, організаційними та управлінськими умовами зайнятості (погана організація праці, низька культура безпеки тощо);
- фактори, породжені психічними та фізіологічними властивостями та характеристиками людського тіла та особистості працівника (погане самопочуття працівника, знаходження працівника в стані алкогольного, наркотичного чи токсичного сп'яніння або утримання, втрата концентрації уваги працівниками тощо).

#### **4.1.2 Фізична небезпека та шкідливі виробничі фактори**

Шкідливі виробничі фактори мають негативний вплив на виробничі процеси при ремонті [37]:

- підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони;
- підвищена або знижена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- підвищена або знижена температура повітря робочої зони;
- підвищений шум на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;

Фактори, що належать до фізичного шкідливого впливу та є небезпечні:

- рівень напруги в електричному ланцюзі;
  - коротке замикання якого може відбуватися через організм людини;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання;
- підвищений рівень статичної електрики;
  - знижена іонізація повітря;
  - підвищений рівень шуму;
  - нераціональна організація робочого місця;
  - недостатня освітленість робочої зони.

#### **4.1.3 Хімічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори**

Небезпечними та шкідливими виробничими факторами, що мають властивості хімічного впливу на організм працюючої людини, звані короткі хімічні речовини, є фізичні об'єкти (або їх складові компоненти) живої та неживої природи, що перебувають у певному агрегатному стані і володіють такими хімічними властивостями, що коли взаємодія з організмом людини в рамках біохімічних процесів його функціонування призводить до пошкодження цілісності тканин організму та (або) порушення його нормального функціонування [38].

Хімічними речовинами можуть бути :

- тверді;
- пастоподібний;
- порошкоподібний;
- рідина;
- пароподібний;
- газоподібний;
- аерозольні стани;
- включаючи нанорозмірні частки.

1. Ступінь небезпеки хімічних речовин пов'язана із шляхами їх потрапляння в організм людини, які поділяються на такі групи проникнення:

- через дихальну систему (вдихання);



- через шлунково-кишковий тракт (перорально);
- через шкіру та слизові оболонки (шкірний шлях);
- через відкриті рани;
- з проникаючими ранами;
- при внутрішньом'язових, підшкірних, внутрішньовенних ін'єкціях.

2. За характером хімічного впливу, що виникає на організм людини, хімічні речовини поділяються на:

- токсичний (отруйний);
- надокучливий;
- сенсibiliзуючий;
- канцерогенний;
- мутагенний;
- впливає на репродуктивну функцію.

3. За складом хімічні речовини поділяються на:

- окремі речовини;
- суміші.

4. За критерієм небезпечного перетворення хімічні речовини поділяються на:

- використовується у виробничій діяльності без подальшої трансформації хімічних властивостей;
- використовуються у виробничій діяльності для навмисних технологічно детермінованих хімічних реакцій, що спричиняють появу нових речовин з різними хімічними властивостями;
- нові хімічні речовини з різними хімічними властивостями, що виникають ненавмисно під час виробничих та трудових операцій.

5. За критерієм небезпечного та (або) шкідливого впливу на організм працівника хімічні речовини поділяються на:

- безпосередньо діючи на організм робітника як небезпечні та шкідливі виробничі фактори хімічної природи дії;

- опосередковано діючи на організм працівника як небезпечні та шкідливі виробничі фактори фізичного характеру дії, завдяки властивостям цих хімічних речовин запалюватися, горіти, тліти, вибухати тощо.

#### **4.1.4 Психофізіологічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори**

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що мають властивості психофізіологічного впливу на організм людини, поділяються на:

- Фізичні перевантаження, пов'язані з важкістю трудового процесу;
- Нейропсихічні перевантаження, пов'язані з напругою трудового процесу.

Фактори, що належать до психофізіологічного шкідливого фактора:

- підвищений нервовий стрес;
- психоемоційний стрес;
- перевтома.

## **4.2 Заходи щодо зменшення впливу шкідливих та небезпечних виробничих факторів**

### **4.2.1 Способи захисту працівників від шкідливих виробничих факторів**

Всі засоби захисту можна розділити на:

- колективні;
- індивідуальні.

Колективні фонди передбачають одночасний захист великої кількості робітників. Вони поділяються на кілька класів:

- нормалізувати повітряне середовище. до них належать вентиляційні системи, кондиціонери;
- для нормалізації освітлення на робочих місцях: різні світильники, світильники, здатні забезпечити хороше освітлення;
- для захисту від шкідливих та небезпечних факторів.

Якщо на підприємстві високий рівень шуму, то стіни покривають матеріалами, що поглинають звук, на робочі механізми надягають спеціальні чохли, а вушні пробки дають робітникам.

Щоб запобігти травмуванню обладнання, усі небезпечні зони огорожені з усіх боків. Кнопки блокування встановлені на дверях і заслінках, що не дозволить відкрити його, поки механізм повністю не перестане працювати.

Працівники, які займаються електрикою, повинні бути забезпечені гумовими рукавичками, черевиками або калошами. Обладнання оснащено попереджувальними вогнями та знаками безпеки.

Якщо колективні методи не здатні забезпечити якісний захист, то кожному працівникові, що працює на небезпечному виробництві, надаються індивідуальні засоби. Сюди входять халати, рукавички, респіратори, бандажі, захисні костюми тощо.

#### **4.2.2 Усунення небезпечних та шкідливих факторів**

На багатьох підприємствах виробничий цикл нерозривно пов'язаний із впливом шкідливих речовин на людину. Керівництво та керівництво повинні докласти максимум зусиль, щоб спробувати повністю усунути або зменшити цей вплив.

Якщо підходити до деяких процесів свідомо, виявляється, що іноді токсичні речовини можна замінити більш безпечними. Багато менеджерів не погоджуються на це з меркантильних причин.

Таким чином, вони економить на здоров'ї своїх підлеглих. Якщо заміна неможлива, тоді слід зробити все, щоб працівник якомога менше піддавався дії шкідливих та небезпечних факторів.

Для запобігання негативного впливу слід застосовувати такі заходи:

- місцеве очищення повітря;
- обприскування повітрям;
- носіння робочого одягу;

- обладнані бази відпочинку;
- точне дотримання робочого часу;
- перерва надається через рівні проміжки часу;
- працівникам надаються довші оплачувані відпустки.

Якщо всі заходи вживати своєчасно і використовувати їх комплексно, то можна стверджувати, що керівництво намагається забезпечити свій персонал безпечними умовами праці.

### **4.2.3 Шум та його вплив на людину**

На підприємствах, де машини та інше обладнання розташовані в цехах, як правило, шуму недостатньо. Постійно діюча техніка видає гучні звуки, які можуть змінюватися за інтенсивністю.

Якщо людину змусять регулярно піддаватися такому впливу, то це негативно позначиться на її здоров'ї. Від сильного шуму починає боліти голова, підвищується тиск, знижується гострота слуху.

Зрештою, за таких умов продуктивність знижується, з'являється втома, знижується увага, і це вже може призвести до нещасного випадку.

Керівники таких підприємств повинні подбати про своїх працівників, щоб хоч трохи спробувати зменшити негативний вплив шуму на організм. Для цього підприємства усувають ці фактори наступним чином :

- шумоглушники;
- засоби індивідуального захисту, такі як навушники, вушні пробки, шоломи;
- забезпечується звукоізоляція місць з підвищеним рівнем шуму за допомогою захисних чохлів, обладнання кабінки;
- оздоблення приміщень звукопоглинальними матеріалами.

### **4.2.4 Вплив вібрації та її усунення**

Вібрація включена до переліку шкідливих виробничих факторів. Його можна класифікувати на кілька категорій:

- за способом передачі: загальний та місцевий.

- за напрямком: вертикальний і горизонтальний.
- за часом проявлення: тимчасовий та постійний.

В результаті постійного впливу цього фактора починає страждати не тільки нервова система, а й опорно-руховий апарат та система аналізатора. Працівники, які змушені працювати в таких умовах, часто скаржаться на головний біль, запаморочення, остереохондроз [46].

Якщо додати також вплив пов'язаних факторів, таких як вологість, висока температура, шум, то це лише посилює шкідливий вплив вібрації.

Для захисту від вібрації можна запропонувати такі заходи:

- заміна обладнання на більш технологічне.
- встановлення м'яких покриттів на віброуючі частині пристроїв або обладнання.
- встановлення обладнання на жорсткі основи.

Постановка задачі: Визначити кількість заземлювачів і довжину сполучної смуги контурного заземлювального пристрою для дослідження матеріалів на тертя та зношування від статичної електрики. Опір контуру  $R_n \leq 100$  Ом. Одиночний заземлювач – сталевий стрижень, ширина сполучної смуги  $b = 0,04$  м, глибина закладання  $H = 2,1$  м (грунт – пісок). Відстань між кутками  $a = 2,7$  (відношення  $a/l = 1$ ).

Вхідні дані:

$K_{сез} = 2$  – коефіцієнт збільшення питомого опору ґрунту (коефіцієнт сезонності), пісок (табл. 3.3).

$l = 2,7$  м – довжина, заземлювачі – сталеві стрижні (табл. 3.4).

$d = 0,038$  м – діаметр (табл. 3.4).

$H = 2,1$  м – глибина закладення (табл. 3.4).

$b = 0,04$  м – ширина смугової сталі (табл. 3.4).

$r_n = 10$  Ом, норма опору захисного заземлення (табл. 3.4).

$= 7 \cdot 10^2$  Ом м (табл. 3.1)

1. Діаметр стрижня беруть  $d = 0,95b$ ,  $= 7 \cdot 10^2$  Ом м. Опір одиничного заземлювача зі сталевих кутків визначаємо за формулою:

2. Орієнтовно взявши кількість забитих кутиків  $n=3$ , визначаємо довжину сполучних смуг:

Глибина закладення смуги

3. Опір розтікання струму в землі від сталеві смуги

4. Опір контурного заземлювального пристрою:

Отримане значення опору контурного заземлювального пристрою менше нормованого (т.з. менше 100 Ом), тому беремо кількість заземлювачів  $n=3$ , довжина сполучних смуг  $l=8$  м.

#### **4.2.5 Захист працівників від небезпечних речовин**

Незважаючи на всі заходи, спрямовані на нейтралізацію шкідливого впливу факторів, досягти ідеальних умов праці неможливо. Це не дозволяє робити особливості технологічних процесів, виробів та сировини для її виготовлення.

Тому для менеджерів захист від шкідливих виробничих факторів є першочерговим завданням.

Необхідно керуватися такими пріоритетами:

- усунути небезпеку або зменшити ризик впливу;
- використовувати безпечні робочі практики;
- боротьба з небезпечним фактором та його джерелом;
- ефективно використовувати засоби індивідуального захисту.

Часто трапляється так, що всі вжиті заходи не можуть забезпечити повністю безпечні умови праці, у цих випадках просто неможливо обійтися без використання засобів індивідуального захисту.

Серед них можна виділити такі категорії, які є найпоширенішими у використанні:

- протівібраційними вібрації засобами можуть бути: рукавички, кишенькові комп'ютери, рукавички. Оскільки такий захист може знизити ефективність праці через незручності в роботі, слід передбачати додаткові перерви.

- навушники від шуму. Але вони можуть зменшити здатність людини орієнтуватися в просторі, спровокувати головний біль через здавлювання.
- респіратори і газо-захисні маски. Працювати в них тривалий час дуже важко і незручно, тому слід шукати альтернативні засоби захисту.

Можна зробити висновок, що засоби індивідуального захисту, з одного боку, зменшують вплив шкідливих факторів, але, з іншого боку, можуть створювати різну небезпеку для здоров'я працівника.

#### **4.2.6 Заходи безпеки**

Вони спрямовані насамперед на те, щоб шкідливі виробничі фактори не чинили свого небезпечного впливу на людину.

Для цього на будь-якому підприємстві в обов'язковому порядку слід проводити інструктаж з техніки безпеки. Дата та зміст фіксуються у спеціальному журналі з підписом усіх інструктованих та особи, яка проводила цей інструктаж.

Загалом існує кілька видів інструктажів:

- Ввідний інструктаж. Здійснюється в обов'язковому порядку з найманими особами. Тут не мають значення ні вік, ні досвід, ні посада.
- Основний. Він проводиться вже на своєму робочому місці, зазвичай це виконує майстер або керівник відділу чи майстерні.
- Повторний. Він проводиться для всіх без винятку працівників кожні півроку.
- Позаплановий.

Позапланові інструктажі проводяться, якщо:

- при зміні правил;
- при зміні технологічного процесу;
- при придбанні нового обладнання;
- у випадку порушення правил безпеки працівниками;
- у випадку тривалі перерви в роботі.

Досить часто на практиці можна зустріти ситуацію, коли працівникам просто дають підписувати журнали безпеки, не отримуючи вказівок. Це просто неприпустимо. Будь-яка аварія в цій ситуації буде повністю лежати на відповідальності таких недбалих керівників, які працюють лише задля «галочки».

### **4.3 Інструкція з охорони праці**

#### Загальні вимоги безпеки

Керівник з охорони праці інформує свого керівника про будь-який випадок, загрозу життю та здоров'ю працівників, про всі нещасні випадки на виробництві, включаючи прояв ознак гострої хвороби. Керівник з охорони праці:

- своєчасно і точно виконувати внутрішній трудовий розпорядок, розпорядження безпосереднього керівника за умови, що він навчений правилам безпечного виконання цієї роботи;
- виконувати вимоги місцевих нормативних актів про охорону праці, пожежну безпеку, виробничу санітарію, регламентуючи порядок організації робіт на об'єкті;
- дотримуватись трудової дисципліни, режиму праці та відпочинку;
- добре дбати про майно роботодавця.

#### Вимоги безпеки перед початком роботи:

- оглянути робоче місце та обладнання;
- прибрати всі непотрібні предмети;
- видалити пил з екрану дисплея персонального комп'ютера;
- регулювати висоту та кут екрану;
- відрегулювати висоту сидіння;
- перевірити справність обладнання;
- перевірити підходи до робочого місця, шляхи евакуації на відповідність вимогам охорони праці.

#### Перевірка за допомогою візуального огляду:



- відсутність тріщин і відколів на корпусах розеток і вимикачів, а також відсутність оголених контактів;
- цілісність ізоляції електричних проводів і шнурів живлення електроприладів, справність захисних пристроїв;
- достатність освітлення робочого місця;
- відсутність сторонніх предметів навколо обладнання;
- стан підлог (відсутність вибоїн, нерівностей тощо).

Вимоги безпеки під час роботи:

- використовувати справне обладнання, світильники, освітлювальні прилади, необхідні для безпечної роботи, використовувати їх лише для тих робіт, для яких вони призначені;
- контролювати роботу обладнання, періодично проводити його візуальний профілактичний огляд.

Під час роботи з ПК:

- екран повинен знаходитися на 5 градусів нижче рівня очей і розташовуватися в прямій площині або нахилитися до оператора (15 градусів);
- відстань від очей до екрану повинна бути в межах 60-80 см;
- місцеве джерело світла по відношенню до робочого місця повинно розташовуватися таким чином, щоб виключити потрапляння прямого світла в очі, і повинно забезпечувати рівномірне освітлення на поверхні 40 x 40 см, не створювати сліпучих відблисків на клавіатурі та інших частинах консолі, а також на екрані відеотерміналу в напрямку очей;
- для зменшення зорової та загальної втоми після кожної години роботи біля екрану слід користуватися регульованими перервами на 5 хвилин, під час яких ви відпочиваєте.

Вимоги безпеки після роботи:

- вимкнути обладнання під час відключення електроенергії та виходу з робочого місця після роботи;
- оглянути робоче місце та обладнання;
- прибрати всі непотрібні предмети.

➤ перевірити обладнанням візуального контролю на відсутність дефектів.

Вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях:

➤ при усуненні надзвичайної ситуації необхідно діяти відповідно до затвердженого плану реагування на надзвичайні ситуації;

➤ при виявленні несправностей обладнання, приладів та приладів, а також у разі виникнення інших умов, що загрожують життю та здоров'ю працівників, інженер-проектувальник повинен припинити роботу та повідомити про них свого безпосереднього керівника та працівника, відповідального за виконання контроль виробництва.

Коли з'являється джерело пожежі, потрібно:

- припинити роботу;
- вимкнути електрообладнання;
- організувати евакуацію людей;
- негайно починайте гасити пожежу.

Коли електрообладнання загоряється, використовуйте лише вуглекислотні або сухі порошкові вогнегасники. Якщо самостійно здійснити гасіння неможливо, інженер-конструктор повинен у встановленому порядку викликати пожежну охорону та повідомити про це безпосереднього керівника. У разі травмування або погіршення самопочуття інженер-конструктор повинен припинити роботу, повідомити керівництво та звернутися за медичною допомогою.

## **Висновки до розділу 4**

У цьому розділі розглядаються визначення та класифікації промислових шкідливих факторів, їх вплив на організм працівників, а також основні способи захисту людини від них та розглядаються правила безпеки та поведінки під час перебування в лабораторії для вивчення матеріалів на тертя та носити.

В даний час важливість цієї теми досить велика. Якщо на великих авіаремонтних підприємствах існують цілі відділи та служби, що займаються організацією охорони праці, то в малому та середньому бізнесі відповідальність за охорону праці зазвичай лягає на директора, який зазвичай слухає курс лекцій лише тоді, коли отримання довідки з обласної служби охорони праці та вимог від працівників про обов'язкове підписання журналу з охорони праці.

Як показує практика, там, де питанням охорони праці приділяється належна увага, продуктивність праці набагато вища, менше людських втрат, поліпшується здоров'я працівників, здоровий психологічний клімат у колективі і, як результат, високі фінансові результати.

## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

#### **5.1 Аналіз впливу літальних апаратів на навколишнє середовище при експлуатації**

Негативними наслідками сучасної науково-технічної революції стали пряма і побічна дія на навколишнє середовище, зменшення запасів сировинних і енергетичних ресурсів, негативний вплив на здоров'я людини тощо.

За даними наукових досліджень у 2020 році повітряний транспорт утворив 895 мільйонів тонн вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>). Це може здатися багато, але це лише близько 2 % від 42 мільярдів тонн CO<sub>2</sub>, що утворюються внаслідок людської діяльності щороку. Незважаючи на те, що кількість пасажирів зростає в середньому на 5 % щороку, авіація зуміла обмежити зростання викидів приблизно до половини цього показника. Це відбувається за рахунок масових інвестицій у нові технології та скоординованих дій щодо впровадження нових технологічних операцій та інфраструктурних змін.

Із зростанням авіації для задоволення зростаючого попиту – особливо на швидкозростаючих ринках, що швидко розвиваються – та враховуючи те, як інші галузі економіки зменшують викиди, частка авіації в загальних викидах, ймовірно, збільшиться.

Зростання вуглецевої концентрації є неприйнятним для будь-якої галузі, саме тому авіація, від виробників і до аеропортів, авіакомпаній і управління повітряним рухом, важко працюють над зменшенням викидів та обмеження викидів парникових газів.

#### **5.1.1 Генерування вуглекислого газу в авіації**

Якщо розглядати енергетичні викиди CO<sub>2</sub>, – без викидів від сільського або лісового господарства, які складають близько чверті глобальних викидів парникових газів (рис. 5.1) – найбільший внесок у викиди CO<sub>2</sub> становлять

електроенергія (44 %). Друге місце займає автомобільний транспорт – 17 %, за ними – будівництво – 10 %.

Авіація, виробляючи близько 2 % всього створеного людиною  $\text{CO}_2$ , викидає менше, ніж металургійна промисловість (5 %), виробництво цементу (4 %) та судноплавний сектор (3 %), і приблизно стільки ж, скільки сервери та передавальні кабелі інтернет.

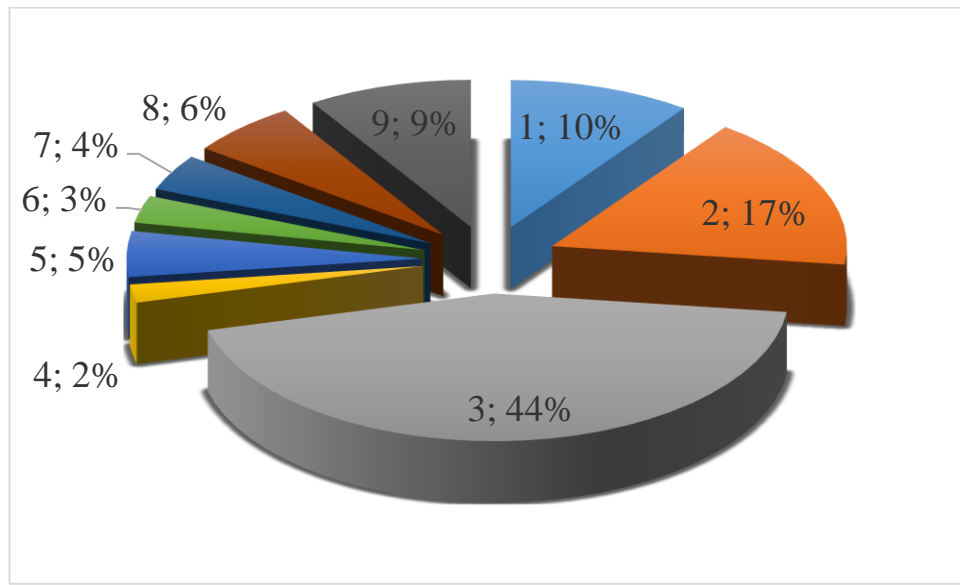


Рисунок 5.1 – Викиди  $\text{CO}_2$ , пов'язані лише з енергією. Не включаючи викиди від зміни землекористування від сільського та лісового господарства, які між ними становлять близько 25% глобальних викидів парникових газів:

1 – будівництво; 2 – автомобільний транспорт; 3 – електроенергія; 4 – авіація;  
5 – металургійна промисловість; 6 – кораблебудування; 7 – виробництво цементу; 8 – теплоелектрика; 9 – інші галузі

В роботах [39] вказується,  $\text{CO}_2$  – не єдиний шкідливий газ, який викидають літаки. Викид газів від авіаційних двигунів складається з: від 7 % до 8 %  $\text{CO}_2$  і водяної пари, близько 0,03 % оксидів азоту, незгорілих вуглеводнів, оксидів вуглецю та оксидів сірки, наявність сімейства гідроксилів та сполук азоту та невеликої кількості частинок сажі (хоча промисловість майже виключає викиди сажі за останні кілька десятиліть). Між 91,5 % та 92,5 % вихлопних газів авіаційного двигуна є нормальним атмосферним киснем та азотом.

Сліди водяної пари (контури), створені літаками, також мають вплив, але дослідження не дають остаточних результатів щодо того, чи мають вони чистий ефект зігрівання чи охолодження на землі. За певних метеорологічних умов вони можуть залишатися в атмосфері та утворювати "циррусні" хмари, що може мати вплив на зміну клімату. Наприклад, деякі дослідження показують [40], що ці хмари можуть мати різний ефект охолодження та потепління залежно від того, здійснюються польоти вдень чи вночі. Цей тип досліджень може визначити, чи є якісь потенційні вигоди від зміни експлуатаційної поведінки. У цій галузі проводиться більше роботи, а авіаційна промисловість допомагає у дослідженні наслідків негативних наслідків на зміну клімату, включаючи встановлення висотного обладнання для випробувань атмосфери на деяких пасажирських літаках.

Є багато посилань на авіацію, що має більший ефект, ніж інші галузі, через висоту викидів. Найбільш значний вуглекислий газ,  $\text{CO}_2$ , не має жодного додаткового впливу через різницю у висоті, вплив однаковий. Однак інші викиди, такі як оксид азоту та водяна пара, можуть мати більший ефект на більших висотах. Вчені називають це як «мультиплікатор».

Недавні дослідження [41] показують, що авіаційні викиди  $\text{CO}_2$  слід помножити в 1,9 рази, враховуючи додатковий вплив інших газів на висоті. Однак важливо усвідомити, що більшість інших випромінювачів також виділяють гази, що не містять  $\text{CO}_2$ , і потребують мультиплікатора для визначення загального впливу кліматичних змін. Наприклад, рівень автомобільного транспорту в 1,5 рази перевищує викиди  $\text{CO}_2$ .

Коли ці викиди НЕ- $\text{CO}_2$  і мультиплікатор беруться до уваги, то Міжурядова група експертів зі зміни клімату визначає, що на авіацію припадає близько 3% від загального виробництва вуглицю людиною. Тим НЕ менше, деякі експерти говорять [42], що з допомогою мультиплікатора розрахунку викидів окремих рейсів недоцільно, так як це інструмент для опису довгострокових наслідків. Інші сектора не схильні надавати вплив НЕ- $\text{CO}_2$  додана при розрахунку їх вуглецевих викидів.

## 5.2 Основні типи забруднювачів навколишнього середовища та їх характеристики

Атмосферне повітря є основним середовищем існування біосфери, в тому числі людини. В результаті розвитку цивілізації склалося протягом еволюції Землі постійне співвідношення між основними компонентами повітря (табл. 5.1) істотно не змінилося [43, 44].

Таблиця 5.1 Вміст постійних компонентів сухого повітря на рівні моря

Речовина	Об'ємна концентрація в чистому сухому повітрі на рівні моря, %	Загальна кількість газів в атмосфері, · 10 <sup>6</sup> т
азот N <sub>2</sub>	78,09	3900000
кисень O <sub>2</sub>	20,95	1200000
Аргон Ar	0,932	67000
Монооксид вуглецю CO	сліди	0,6
Діоксид вуглецю CO <sub>2</sub>	0,032	2600
метан CH <sub>4</sub>	2 · 10 <sup>-6</sup>	4
ксенон Xe	8,2 · 10 <sup>-8</sup>	2
Оксид діазота N <sub>2</sub> O	0,5 · 10 <sup>-6</sup>	2
Діоксид азоту NO <sub>2</sub>	<2 · 10 <sup>-8</sup>	0,013
Оксид азоту NO	сліди	0,005
Діоксид сірки SO <sub>2</sub>	<10 <sup>-6</sup>	0,002
аміак NH <sub>3</sub>	сліди	0,020

Основні гази атмосфери (азот, кисень, аргон) по суті прозорі для довгохвильової і короткохвильової радіації і розсіюють її. На екологію істотно впливають газові домішки, які за походженням можуть бути природними та антропогенними. До їх природних джерел належать вітрова ерозія, винос солей з поверхні морів і океанів, вулканічні і біологічні процеси, надходження з космосу.

Одним з основних джерел забруднення навколишнього середовища є теплові електростанції.

Останні дані фахівців з комунальної гігієни свідчать, що токсична дія хімічних речовин в поєднанні з шумом і вібрацією зростає в 2,5–3 рази. В результаті хімічної взаємодії двох токсичних речовин можуть синтезуватися нові шкідливі інгредієнти, більш небезпечні для людини. При взаємодії

канцерогенних вуглеводнів і оксидів азоту синтезуються сполуки, що діють на генний фонд людини.

До забруднюючих газових і аерозольним викидів об'єктів енергетики відносяться викиди різного характеру, що порушують рівновагу природного середовища в локальних (місцевих), регіональних і глобальних масштабах, а також умови проживання живих організмів [45]. Найбільш ймовірні забруднюючі викиди при роботі енергетичного об'єкта наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 Основні види газових і аерозольних забруднюючих викидів енергетичних об'єктів

Паливо	аерозолі		газові викиди					
	зола	сажа	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO	CO
Природний газ	-	-	+	+	+	-	+	+
мазут	+	+	+	+	+	+	+	+
вугілля	++	+	+	+	+	+	+	+
<i>У таблиці використані умовні позначення, що характеризують ймовірність появи тих чи інших викидів при спалюванні різних видів палива: «++» - дуже висока; «+» - висока; «-» - відсутня.</i>								

Розглянемо основні з них з точки зору впливу їх на навколишнє середовище.

Газові і аерозольні забруднюючі викиди і їх шкідливі впливи. При спалюванні рідкого і твердого палива відбуваються викиди у вигляді твердих частинок, які, потрапляючи в атмосферу, утворюють так звані аерозолі. Аерозолі можуть бути нетоксичними, порівняно малотоксичними і токсичними, наприклад частинки вуглецю, на поверхні яких може адсорбуватися бензопірен (C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>) – сильнодіючий канцерогенне з'єднання.

Аерозолі і тверді частинки можуть потрапити в атмосферу вже сформованими (пил, зола, сажа). Значна ж їх частина утворюється безпосередньо в атмосфері в результаті хімічних реакцій між газоподібними, рідкими і твердими речовинами, включаючи пари води. Вони утворюються в результаті природних процесів, хоча чимала їх частка має антропогенне



походження. З 1 – 3 млрд.т/рік частинок різного хімічного складу розміром менше 1 мкм, що утворюються над поверхнею Землі, приблизно 20 % – результат практичної діяльності людини (пил, насичені речовини, токсичні метали: свинець, ртуть, кадмій і ін .; пестициди ). Вуглеводні включають в себе самі різні органічні сполуки, хімічне перетворення яких в природних умовах розширює число вуглеводневих частинок, небезпечних для людини, біосфери.

Аерозолі техногенного походження, подібно  $\text{CO}_2$  , здатні впливати на клімат Землі, але тільки в протилежному напрямку. Тверді частинки розсіюють сонячне світло, так що значна частина його не досягає поверхні Землі. В результаті теплової баланс зрушиться в бік зниження температури. Отже, техногенно можливо впливати на температурний режим Землі: як нагріти (вуглекислий газ), так і охолодити (аерозоль) Землю.

У матеріальних балансах процесів горіння твердого та рідкого палива певну роль відіграють тверді продукти згорання – зола. Зольністю палива називають баласт в розрахунку на суху масу палива. Вона залежить від природи палива і якості його вироблення. Розрізняють первинну золу - залишки мінеральних домішок, які входили до складу палива при його обробці, вторинну золу – сторонні мінеральні речовини, рівномірно розподілені в горючій масі палива, і породи - мінеральні речовини, що потрапили в паливо при його видобутку. Зміст первинної золи в сухій масі палива зазвичай не перевищує 1-1,5 %, породи - 2-2,5 %. Характеристиками золи з точки зору впливу на навколишнє середовище є дисперсність, змішуваність, сипучість, щільність, абразивність і електропровідність.

Газові викиди, потрапляючи в атмосферу, роблять складне фізико-хімічне (на першій стадії) і біологічне (на наступних стадіях) вплив на живі організми (і перш за все на людину), рівень і характер якого залежать від їх концентрації в повітрі.

Зі збільшенням концентрації токсичних газів йде поступове зростання ступеня ризику (перші три фази) з подальшим різким його підвищенням на четвертій - останньої - фазі.

Концентрації, при яких відбувається трансформація ступеня ризику, залежать від виду токсичного викиду (табл. 5.3). Концентрація токсичного газу в кінці четвертої фази визначає критичну ступінь ризику – небезпечний для життя рівень при короткочасному впливі.

Таблиця 2.3 Дія деяких токсичних газоподібних речовин на людину

тривалість і характер впливу	зміст в повітрі, мг / м <sup>3</sup>		
	CO	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
кілька годин без помітного дії	115	65	15
ознаки легкого отруєння або подразнення слизових оболонок через 2-3 год	15-575	130	20
можливо серйозне отруєння через 30 хв	2300-3500	210-400	100
небезпечно для життя при короткочасних впливах	5700	1600	150

### 5.2.1 Шкідливі газові викиди

Вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>) утворюється в результаті спалювання викопних видів палива, таких як вугілля, нафта, природний газ, штучного і синтетичного палива і біомаси (деревина). Це основна компонента (з числа трехатомного газів), що веде до «парникового ефекту». В результаті неповного згоряння палива виділяється також монооксид вуглецю CO – токсичний газ, який шкідливо впливає на серцево-судинну систему людини[46].

Діоксид сірки (сірчистий ангідрид) SO<sub>2</sub> – один з найбільш токсичних газоподібних викидів енергоустановок, що становить понад 90 % викидів сірчистих сполук із димовими газами котлоагрегатів (решта - SO<sub>3</sub>). Найбільша кількість сірки містять вугілля і важкі види нафтопродуктів; легкі нафтопродукти містять меншу кількість сірки і, нарешті, бензин і природний газ практично не мають його в своєму складі.

Діоксид сірки впливає на окислення, руйнує матеріали, шкідливо впливає на здоров'я людини. Тривалість його перебування в атмосфері відносно невелика: в порівняно чистому повітрі – 15-20 діб, в присутності

великої кількості аміаку та інших речовин - кілька годин. При наявності кисню  $\text{SO}_2$  переходить в  $\text{SO}_3$  і, взаємодіючи з водою, утворює сірчану кислоту.

Кінцеві продукти зазначених реакцій розподіляються наступним чином: у вигляді опадів на поверхню літосфери – 43 %, на поверхню гідросфери – 13 %; поглинається: рослинами – 12 %, поверхнею гідросфери 13 %. Накопичення сірковмісних сполук в основному відбувається в Світовому океані. Вплив цих продуктів на людей, тварин, рослини і різні інші речовини різноманітно, залежить від їх концентрації і багатьох факторів навколишнього середовища.

Оксиди азоту ( $\text{NO}_x$ ) утворюються при спалюванні будь-якого з викопних видів палива, що містять азотні сполуки, а також і не містять за рахунок окислення азоту повітря. Азот утворює з киснем ряд з'єднань ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$  і  $\text{N}_2\text{O}_5$ ), властивості яких, активність і тривалість існування різні і слабо залежать від виду і складу палива. Сумарна кількість оксидів азоту призводять до  $\text{NO}_2$ . Їх концентрація визначається режимом і організацією процесів горіння палива.

Оксиди азоту шкідливо впливають на здоров'я людини, сприяють утворенню парникового ефекту і руйнування озонового шару. Крім того, оксиди азоту викликають «вимирання лісів», кислотні дощі і так далі.

Метан ( $\text{CH}_4$ ) утворюється в результаті розкладання органічних речовин, наприклад в сільському господарстві, при вуглевидобутку, в процесі нафтої газовидобутку, газорозподілу і спалювання біомаси. Метан також значно сприяє виникненню парникового ефекту.

З'єднання CFC. Chlorinated Flour Carbons, або фреони, відносяться до окремих малим газоподібних домішках в атмосфері. З'являються головним чином в результаті антропогенного впливу (при виробництві окремих теплоізоляційних матеріалів, пінопласту), виділяються з хладагентів холодильників і морозильників. Фреони (основні руйнівники озонового шару атмосфери) підвищують рівень ультрафіолетового опромінення Землі з космосу. Їх присутність в атмосфері сприяє утворенню парникового ефекту.

Погіршення видимості атмосфери і фотохімічний зміг. Прозорість атмосфери, яка визначається шляхом візуальних спостережень, в метеорології називають «видимістю». Дальність видимості є максимальна відстань в заданому напрямку, на якому неозброєним оком в денний час ще можна побачити і розрізнити рельєфний темний предмет, що знаходиться над лінією горизонту.

Наявність в атмосфері звичайних для промислових міст аерозолів, диоксидов вуглецю і азоту в поєднанні з підвищеною вологістю призводить до зменшення видимості, знижує на 20 – 50 % кількість сонячних днів (в порівнянні з сільськогосподарськими районами), зменшує кількість ультрафіолетових променів (наприклад в Парижі на 25 – 30 %, в Берліні на 17 – 23 % в порівнянні з прилеглими сільськогосподарськими районами). Все це призводить до порушень руху і аварій автомобільного, морського і повітряного транспорту.

Основними серед багатьох забруднювачів, що впливають на видимість атмосфери, є наступні:

- викиди, що містять пил, дим, сажу та інші тверді частинки, зазвичай позначаються як загальна кількість аерозолу (ОКА);
- $\text{SO}_2$  та інші газоподібні сполуки сірки, які з високою швидкістю реагують в атмосфері, утворюючи частинки сульфату і сірчаної кислоти, що знаходяться в вигляді аерозолу;
- $\text{NO}$  і  $\text{NO}_2$ , які реагують з утворенням нітрату і  $\text{HNO}_3$  у вигляді частинок, що входять до складу аерозолу; при певних умовах червоно-буре забарвлення  $\text{NO}_2$  може послужити причиною зміни кольору димових викидів та димки в міських районах;
- фотохімічні забруднення повітря, пов'язане з утворенням в результаті фотохімічних реакцій аерозолів з частинками субмікрометрових розмірів.

### 5.2.2 Існують і інші забруднення, що впливають на видимість

Діоксид азоту ( $\text{NO}_2$ ) при наявності в атмосфері вуглеводнів в певних погодних умовах може стати джерелом ще однієї кризової екологічної ситуації під назвою зміг, який вперше був зафіксований у вигляді лос-анджелеських туманів в 1948 - 1959 рр [43].

Природа цього явища полягає в тому, що при ультрафіолетовому опроміненні діоксиду азоту в атмосфері протікають хімічні реакції з утворенням оксиду азоту  $\text{NO}$  і озону  $\text{O}_3$ . Надлишковий вміст в повітрі оксиду азоту може ініціювати процес розкладання озону.

При наявності в атмосфері вуглеводнів ( $\text{C}_x\text{H}_y$ ) відбувається їх окислення з утворенням альдегідів, нітратів і т.д. Оксид азоту перетворюється в діоксид, з'являється озон, а також пероксіацетілнітрат (PAN). При з'єднанні  $\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_2$  і PAN утворюються фотохімічні оксиданти, які є однією з причин фотохімічного смогу.

Утворені сполуки надають токсичну дію на людину, приводячи до порушення серцево-судинної діяльності, отруєння дихальних шляхів і інші захворювання організму.

Солі сірчаної (сульфіди) і азотної (нітрати) кислот, які характеризуються високою гігроскопічністю, є додатковим джерелом генерування ядер конденсації і ядер вимивання, що може бути причиною порушення природного циклу освіти опадів.

Важливим є вплив атмосферних забруднень на хімічні процеси, що протікають при утворенні опадів. Це пов'язано із захопленням забруднювачів краплями і частинками опадів. Основний ефект полягає в зниженні величини  $pH$  опадів внаслідок накопичення кислих з'єднань.

\* $pH$  - так зване водневе число, за допомогою якого якісно і кількісно оцінюється кислотність середовища. При  $pH = 7$  середовище вважається нейтральною, при  $pH > 7$  - лужний і при  $pH < 7$  - кислотної.

Серосодержащіе газові викиди можуть призвести до накопичення в опадах як газоподібного  $\text{SO}_2$ , так і сульфатів або сірчаної кислоти у вигляді аерозолі. В результаті кислотність опадів значно зростає.

Оксиди азоту, зокрема  $\text{NO}$  і  $\text{NO}_2$ , в атмосфері окислюються в нітрати і  $\text{HNO}_3$ , в результаті накопичення яких в опадах також відбувається зменшення  $\text{pH}$ .

Шумовий вплив об'єктів теплоенергетики на навколишнє середовище. Під шумом розуміється будь-який небажаний звук або сукупність звуків з частотами і фазами, розподіленими нерегулярно в часі. Під звуком розуміють пружні хвилі, що поширюються в пружному середовищі у вигляді різних коливань і викликані будь-яким джерелом. Область середовища, в якій поширюються звукові хвилі, називається звуковим полем [45].

Звук характеризується звуковим тиском, швидкістю і напрямом поширення звукових хвиль, інтенсивністю перенесення звукової енергії. При нормальних атмосферних умовах ( $t = 20^\circ\text{C}$  і  $p = 1,013 \text{ МПа}$ ) швидкість звуку в повітрі становить 344 м/с.

Шум енергетичного обладнання характеризується не тільки кількісними характеристиками, але і часом впливу, характером спектра (розподілом звукової енергії по частотному діапазону).

Органи слуху людини сприймають звуки в діапазоні частот приблизно 20 – 20 000 Гц при найбільшій чутливості в діапазоні 1000 – 5000 Гц; нижче 20 Гц знаходяться інфразвуки, а вище 20000 Гц – ультразвуки, які людина не чує.

Шум від агрегатів в енергетиці може бути низько-, середньої високочастотним. Спектр низькочастотного шуму має максимум в області частот нижче 300 Гц, спектр середнечастотного шуму – в області частот 300 – 800 Гц і спектр високочастотного шуму - в області вище 800 Гц.

Шум від обладнання може мати різні часові характеристики, тобто існують постійний і непостійний шуми. При постійному шумі, наприклад від тягодутьєвих машин, рівень звуку змінюється в часі не більше ніж на 5 дБА, а при мінливому шумі - більш ніж на 5 дБА.

Найбільш інтенсивними джерелами шуму є турбіни (особливо газові), редуційно-охолоджувальні установки, углеразмольною обладнання, котли, компресори, різного виду насоси, Деаераційно установки, паропроводи, синхронні компенсатори, приточно-витяжна вентиляція.

Найбільш сильним джерелом шуму є скидання пари. Постійні джерела шуму, сильно впливають на навколишній район, – повітряні і газові тракти, через які випромінюється шум від газових турбін, тягодутьєвих машин або процесів горіння. Джерелами шуму є газорозподільний пункт і газопроводи після нього, корпусу тягодутьєвих машин, силові трансформатори і градирні. Шум проникає також з різних приміщень.

З огляду на великі перевищення санітарних норм, необхідно здійснювати заходи щодо зниження шуму від устаткування. Розрізняють три способи зменшення шуму: зниження шуму в самому джерелі і на шляхах його поширення; індивідуальні засоби захисту.

Для реальних об'єктів проводять комплекс заходів щодо зменшення шуму в усіх трьох напрямках. Вибір заходів здійснюється на основі техніко-економічного розрахунку.

Якщо заходи щодо шумоглушення передбачені в проекті, то витрати на них в кілька разів менше, ніж витрати в умовах працюють енергетичних підприємств.

У розвинених країнах фактор шуму стає все більш визначальним серед лімітують екологічних факторів. Прийняті законодавчі акти, що обмежують рівні шуму на виробництві, транспорті, в промисловості, будівництві і т.д. Допустимі рівні шуму в різних країнах відрізняються, залежать від політичних та економічних міркувань, встановлюються національними або регіональними органами влади.

### **5.3 Методи зниження викидів токсичних речовин в атмосферу**

Проблема забезпечення енергетичної ефективності та екологічної безпеки енергетичних об'єктів є багатоцільовий (проекування, експлуатація,

експертиза, аудит, прогнозування, моніторинг та ін.) і багатозначною. Це пов'язано з необхідністю визначення рівня ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів, технічного стану обладнання енергооб'єктів, із застосуванням природоохоронних заходів і т.п. Складність вирішення даної проблеми обумовлена широким спектром визначальних параметрів, факторів і показників екологічної безпеки.

Вже на рівні вибору показників екологічної безпеки існують деякі суперечності. Так, використання показників валових викидів шкідливих речовин  $M_i$  (Т/г або г/с) необхідно на регіональному і особливо глобальному рівнях аналізу екобезпеки. Однак цей критерій непридатний при порівнянні локальних джерел викидів різної потужності.

Застосування питомої показника у вигляді відношення  $M_i$  до викидають обсягом димових газів  $V_1$  ( $Z_i = M_i / V_1$  - концентрація конкретної домішки в димових газах) потрібно при оцінці гранично допустимих викидів і концентрацій, побудові карти забруднення екологічними викидами населеній місцевості і визначення зон екологічної безпеки (ризик) відповідно до встановлених санітарно-гігієнічним нормам гранично допустимих концентрацій (ГДК) небезпечних викидів. Однак цей показник непридатний при оцінці інших типів викидів (наприклад теплових) і не може бути об'єктом аналізу при порівнянні джерел екологічної безпеки різної потужності.

Критерій екологічної безпеки у вигляді відношення  $M_i$  до кількості підведеної теплоти  $Q_1$  або витрати палива взагалі може дати парадоксальний висновок про екологічні переваги об'єкта з більш низькою енергетичною ефективністю перетворення (використання) енергії палива.

Найбільш універсальним показником екобезпеки представляється критерій, який визначається як відношення виробленої енергії  $E$  до валового викиду шкідливої речовини  $M_i$  у вигляді  $g_i = E/M_i$  (КВт · год / год).

Можна показати, що



$$g_i = \frac{\eta_{уст}}{K} = \frac{\eta_t \prod_{j=1}^n \eta_j}{K}, \quad (5.1)$$

де  $K$  – коефіцієнт, що враховує в загальному випадку вплив паливного, технологічних

і експлуатаційних факторів;  $\eta_{уст}$  - к.к.д. енергетичної установки;  $\eta_t$  - термічний к.к.д. циклу;  $\prod_{j=1}^n \eta_j$  - твір к.к.д. всіх елементів і трактів енергетичної установки (для ПТУ - котел, пароперегрівач, турбіна, насос, паропроводи, електрогенератор і ін.), що враховує ступінь незворотності робочих процесів.

Технологічна група чинників в свою чергу підрозділяється на три підгрупи, що впливають через зміну технології спалювання палива, використання технології очищення і переробки палива або прийомів очищення димових газів. Кожен з певних факторів має свої особливості з точки зору умов забезпечення екологічної безпеки.

Термодинамічний фактор – найбільш універсальний. Він впливає на всі параметри і показники екологічної небезпеки і є самоокупним, так як витрати на його реалізацію компенсуються економією палива при незмінному рівні виробленої теплової та електричної енергії.

Паливний фактор також характеризується високою універсальністю (мало впливав лише на теплові викиди) і при певних умовах значно впливає на ряд екологічних показників. Можливості його використання залежать від наявності відповідних природних паливно-енергетичних ресурсів, економічної і політичної ситуації, що склалася в даному регіоні.

Методи зниження вмісту оксидів азоту і очищення димових газів від них при спалюванні палива в котлах. Згубність впливу оксидів азоту на навколишнє середовище і в кінцевому рахунку на людину, велика. Тривала дія навіть порівняно невеликих концентрацій  $NO_x$  в повітрі збільшує кількість гострих і хронічних респіраторних захворювань, а також негативно діє на рослинний і тваринний світ. Тому зниження їх вмісту в газових викидах паливовикористовуючих агрегатів - одна їх важливих турбот технологів. Якщо

раніше мова йшла про концентраціях  $\text{NO}_x$  у викидах продуктів згорання в сотні міліграмів на кубічний метр, то сьогодні екологічна безпека диктує необхідність зниження вмісту цих забруднювачів до десятків і навіть одиниць міліграмів на кубічний метр.

При горінні палива або вибуху реакція окислення атмосферного азоту вільним киснем формально описується рівнянням

$\text{N}_2 + \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{NO} - 180 \text{ кДж / моль}$ . Фактично ж освіту  $\text{NO}$  відбувається в результаті ряду ланцюгових реакцій.

Найбільший вплив на утворення оксиду азоту надає температура. З її зростанням від 1500 до 2200 К вихід оксиду азоту збільшується приблизно в 10 разів, у той час як п'ятикратне збільшення концентрації кисню підвищує вихід  $\text{NO}$  лише в 2 рази.

Швидкість і механізм утворення і розкладання оксиду азоту вперше були досліджені Я.Б. Зельдовичем на прикладі горіння світильного газу. На думку Я.Б. Зельдовича горіння відбувається настільки швидко, що окислення азоту починається тільки після його закінчення - в уже утворилися продуктах згорання. Дослідження, проведені С. Фенімором (США), І. Сігалом (СРСР) і ін., Показали, що, крім температури і часу реакції, на освіту «термічних»  $\text{NO}$  вирішальний вплив мають зміст радикалів і реакції в початковій зоні горіння.

#### **5.4 Утилізація масел**

Незалежно від того, чи є це вдома чи в бізнесі, важливо, щоб ви могли ефективно зберігати, обробляти або утилізувати відпрацьовані оливи – надзвичайно важливо, якщо вони класифікуються як небезпечні або „спеціальні” відходи. Оскільки відпрацьована олива містить багато забруднень, забезпечення належного їх утилізації допоможе захистити навколишнє середовище, захистити життя рослин, тварин та людей.

Тут ми розглянемо найкращі практики щодо збору відпрацьованих масел – як успішно поводитись, зберігати та утилізувати звичайні відпрацьовані оливи, що зустрічаються у повсякденному оточенні.

Оскільки існує безліч різних типів олії, всі з різними властивостями (які можуть змінитися під час використання), існують різні технічні характеристики, про які потрібно знати, коли йдеться про визначення їх як „відходи”. Однак найпоширенішими відпрацьованими оливами (які отримують з палива або мастильних матеріалів) будуть продукти нафтової олії (часто відомі як "мінеральні олії"). Інші поширені відпрацьовані олії включають матеріали на рослинній основі, що використовуються для таких завдань, як приготування їжі.

Будь-який тип олії може виявитись шкідливим для навколишнього середовища та здоров'я людини - наприклад, деякі моторні оливи можуть спричинити рак, і ними потрібно буде ретельно керувати . З огляду на це, нижче наведено ряд кроків, які слід виконати до збору відпрацьованого мастила , якщо ви маєте справу з будь-якими поширеними тут відходами нафти:

#### **5.4.1 Робота з відпрацьованими оливами**

Якщо відпрацьоване масло є мастилом (тобто з транспортного засобу), його слід помістити у надійний контейнер з кришкою - ці оливи ніколи не слід утилізувати поряд із звичайними побутовими відходами або переробкою. Натомість їх слід транспортувати до місцевого побутового сміттєпереробного заводу для спеціалізованого безпечного захоронення.

Невеликі кількості відпрацьованих кулінарних олій, як правило, можна розміщувати у збір побутових відходів - але завжди найкраще подивитися, що місцева рада заявила на своєму веб-сайті. Залежно від їхніх потреб, харчову олію може знадобитися помістити в прозору закриту ємність і позначити як “відпрацьована олива”.

· З міркувань здоров'я та безпеки важливо знати, що для збирання відпрацьованого мастила ніколи не слід змішувати різні типи олії - якщо ви утилізуєте більше одного типу, відходи слід розміщувати в окремих контейнерах. Ніколи не виливайте масло в каналізацію або в землю.

Якщо ви утилізуєте паливо, вам слід знати про ризик пожежі чи вибуху. Не намагайтесь утилізувати відходи самостійно, спалюючи або додаючи паливо в домашній бак опалення - завжди звертайтеся до фахівця з управління відходами, щоб отримати пораду щодо безпечної утилізації палива.

Якщо ви виявите, що в транспортний засіб поклали неправильний тип палива; по-перше, не включайте двигун, оскільки він має велику ймовірність спричинити пошкодження двигуна. По-друге, не намагайтесь злити паливо самостійно; як легкозаймистий, небезпечний матеріал ним повинен займатися професійна служба, така як гараж.

## Висновки до розділу 5

З початкової концепції інженери розробляють, як зробити нові літаки більш ефективними. Насправді авіація є одним з найбільш технологічно розвинених та інноваційних секторів у світі.

На відміну від наземних транспортних засобів, які не повинні бути настільки ж економічними, оскільки вони можуть часто заправлятися, літаки на великі відстані повинні нести все своє паливо на борту. Він дорогий, важкий і займає значне місце для зберігання. Його вага обмежує дальність польоту літака, і його потрібно зберігати в резервуарах, що впливає на розмір крила та зменшує максимальне навантаження.

Кожне нове покоління літаків має двозначні покращення паливної ефективності, що на 20 % ефективніше пального, ніж попереднє. Це призвело до того, що сучасні літаки виробляють на 80 % менше CO<sub>2</sub> на місце, ніж перші літаки в 1950-х. Але роботи є ще більше.

Нові технології на горизонті можуть значно зменшити викиди парникових газів від авіації, а впроваджені сьогодні рішення обіцяють подальшу економію. Навіть додаткові заощадження дають суттєві переваги в цілому.

Економія палива має вирішальне значення для майбутнього авіаційної промисловості не лише з екологічних причин, а й з фінансових. Паливо становить понад 30 % операційних витрат авіакомпанії.

Щоб офіційно оформити та доповнити ринкове вдосконалення паливної ефективності, Міжнародна організація цивільної авіації (ІСАО) у лютому 2016 року узгодила стандарт викидів CO<sub>2</sub>, який застосовуватиметься до всіх нових конструкцій літальних апаратів з 2020 року та нових побудованих існуючих моделей з 2023 року.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Припрацювання і антикорозійна обробка зубчастих редукторів визнані обов'язковими технологічними процесами, правильне здійснення яких забезпечує підвищену експлуатаційну надійність і довговічність. Цьому сприяє вирішення таких питань, як якість припрацьованих зубчастих коліс, скорочення часу припрацювання, підвищення зносостійкості та зниження корозійних процесів.

Проведений аналіз показує, що припрацювання являє собою складний процес, що полягає не тільки в покращенні якості припрацьованих зубчастих передач і формуванні змащувального шару в контакті тертя, але і в антикорозійній обробці зубчастих редукторів (включаючи підшипники опор) в цілому.

Механізми явищ при припрацюванні і антикорозійній обробці їх головні кількісні характеристики до цих пір залишаються нез'ясованими, та відповідно, не створені достатні можливості для якісного управління цими процесами з метою припрацювання.

Як правило, існуючі методи припрацювання оптимальні лише для досягнення певних цілей – мінімальної шорсткості, опору тертя припрацьовальному зношуванню, максимальної контактної міцності, які не завжди можна поєднати. Для досягнення максимального ефекту необхідно використовувати комплекс методів припрацювання і антикорозійної обробки редукторів. Одним з них може бути метод припрацювання зубчастих редукторів в умовах циклічно повторюваних розгонів і гальмування зубчастої передачі при крутному моменті, що змінюється з використанням в якості змащувального матеріалу напіврідкого мастила типу Shell з введенням одних комбінованих присадок новітнього покоління типу XADO, Liqui Moly

**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. Моделирование интенсивности износа / 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. – К. : ИНФРА-М, 2018. – 314 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). – [www.dx.doi.org/10.12737/textbook\\_59d25702b797a5.36101100](http://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. – 183с.

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 контакті 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. – 151с

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. К., Наукова думка, 1984, с.39-51.

23. Карасин И.И., Силин Л.В. Оценка прирабатываемости материалов по предельным режимам нагружения. К. Экспресс-стандарт, 1992, № 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. К: Хімія, 1989, 25

26. Чичинадзе, А.В. Трение, износ и смазка. Трибология и триботехника / под ред. А.В. Чичинадзе - Рига.: 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 \* CI-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](http://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.