

**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: «Дослідження трибологічних характеристик мастил при високих  
питомих навантаженнях»**

Виконав: \_\_\_\_\_ О.І. Чабан

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**

**ЧАБАНА ОРЕСТА ІВАНОВИЧА**

1. Тема роботи: «**Дослідження трибологічних характеристик мастил при високих питомих навантаженнях**» затверджено наказом ректора від 29 вересня 2022 року № 1786/ст.
2. Термін виконання роботи: з 26 вересня 2022 року по 30 листопада 2022 року.
3. Вихідні дані до роботи: статистичні данні щодо виконання випробування мастил при різних питомих навантаження, мастильні матеріали для авіаційних пар тертя.
4. Зміст пояснювальної записки: аналіз існуючих методів, що використовуються для дослідження триботехнічних характеристик властивостей змащувальних матеріалів; аналіз змащувальних матеріалів, що використовуються в авіаційній техніці; розробка рекомендацій щодо підвищення експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів, розробка заходів по охороні праці та навколишнього середовища.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: класифікація мастильних матеріалів, моніторинг відповідності мастильних матеріалів стандартам якості, лабораторні машини тертя, методика та умови випробування, дослідження мастильної здатності мастильних матеріалів

Графічний (ілюстративний) матеріал виконано за допомогою Microsoft Office Excel, Power Point, САПР КОМПАС та AutoCad та представлено у вигляді презентації.

## 6. Календарний план–графік

| Завдання   | Строк виконання          | Відмітка про виконання |
|--|--------------------------|------------------------|
| Аналіз методів дослідження експлуатаційних властивостей змащувальних матеріалів                  | 26.09.2022-30.09.2022    |                        |
| Аналіз використовуваних авіаційних змащувальних матеріалів                                       | 01.10.2022 – 15.10.2022  |                        |
| Постановка задач дослідження.<br>Вибір методики дослідження властивостей змащувальних матеріалів | 16.10.2022 – 20.10.2022  |                        |
| Розробка плану експериментів дослідження змащувальних процесів                                   | 21.10.2022 – 27.10.2022  |                        |
| Проведення досліджень та аналіз отриманих результатів  | 28.10.2022 – 10.11.2022  |                        |
| Розробка рекомендацій щодо підвищення експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів         | 11.11.2022 – 14.11.2022  |                        |
| Виконання окремих розділів роботи : охорона праці, охорона навколишнього середовища              | 15.11.2022 – 18.11.2022  |                        |
| Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу                                     | 19.11.2022 – 22.11.2022  |                        |
| Попередній захист кваліфікаційної роботи   | 22.11.2022 – 24. 11.2022 |                        |

## 7. Консультанти по окремих розділах

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

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

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

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ О.І. Чабан

## Реферат

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: «Дослідження трибологічних характеристик мастил при високих питомих навантаженнях»:

108 с., 12 рис., 5 табл., 40 посил.

Об'єкт досліджень – процеси, які відбуваються в мастильних матеріалах при високих питомих навантаженнях.

Предмет досліджень – мастильні матеріали ВНІНП-286М, Aero Shell Grease 33.

Мета кваліфікаційної роботи – дослідження трибологічних характеристик мастил при різних питомих навантаженнях, і розробка рекомендацій про їх використання в триботехнічних парах авіаційної техніки.

Методи дослідження.

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

Практичне значення роботи полягає в підвищенні експлуатаційних та фізико-хімічних характеристик мастильних матеріалів, які дозволять збільшити ресурс важко навантажених пар тертя.

Розроблені автором рекомендації можуть бути запропоновані для підвищення антифрикційних властивосте мастильних матеріалів для важко навантажених пар тертя.

**ЗНОС, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, ЗУБЧАСТІ ПЕРЕДАЧІ,  
МАСТИЛЬНИЙ МАТЕРІАЛ, КОЕФІЦІЄНТ ТЕРТЯ, ПИТОМА РОБОТА  
ТЕРТЯ, ТОВЩИНА ГРАНИЧНИХ ШАРІВ**

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| 1_АНАЛІЗ СТРУКТУРИ, СКЛАДУ І ВЛАСТИВОСТЕЙ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ .....                                     | 15 |
| 1.1 Нафтові мастильні матеріали.....  | 17 |
| 1.1.1 Характеристика мастильних матеріалів за призначенням .....  | 19 |
| 1.1.2 Масла авіаційного призначення .....   | 26 |
| 1.3 Синтетичні мастильні матеріали .....  | 32 |
| 1.4 Пластичні мастила .....   | 34 |
| 1.5 Зубчасті передачі.....  | 34 |
| Висновки до розділу 1 .....   | 42 |
| 2 МЕТОДИ АНАЛІЗУ МАСЛА ТА МОНІТОРИНГУ МАСТИЛА.....  | 43 |
| 2.1 Моніторинг відповідності мастильних матеріалів стандартам якості .....                                | 43 |
| 2.1.1 Вода та домішки.....  | 44 |
| 2.2 Загальна будова лабораторних машин тертя .....  | 51 |
| 2.3 Визначення товщини шару мастильного матеріалу.....  | 56 |
| Висновки до розділу 2 .....   | 59 |
| 3 ТРИБОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАСТИЛ ПРИ ВИСОКИХ ПИТОМИХ НАВАНТАЖЕННЯХ .....                              | 60 |
| 3.1 Особливості зношування в лінійному контакті при високих питомих навантаженнях.....                    | 60 |
| 3.2 Дослідження мастильної здатності мастильних матеріалів при питомих навантаженнях в трибоконткті ..... | 62 |
| 3.3 Вплив пусків і зупинок на формування змащувальних шарів пластичними і напіврідкими мастилами .....    | 68 |
| Висновки до розділу 3 .....   | 72 |
| 4 ОХОРОНА ПРАЦІ .....   | 73 |
| 4.1 Перелік небезпечних і шкідливих виробничих чинників діючих при ремонті літального апарату .....       | 73 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 4.2   | Організаційні, конструктивно–технологічні заходи щодо зменшення небезпечних і шкідливих виробничих факторів..... | 74  |
| 4.3.1 | Пожежна й вибухова безпека.....  | 76  |
| 4.3.2 | Мікроклімат виробничих приміщень.....  | 77  |
| 4.3.3 | Вентиляція виробничих приміщень.....   | 78  |
| 4.3.4 | Виробниче освітлення.....  | 79  |
| 4.4   | Основні заходи захисту від ураження електричним струмом.....   | 82  |
|       | Висновки до розділу 4.....   | 87  |
| 5     | ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....  | 88  |
| 5.1   | Вплив авіації на навколишнє середовище.....  | 88  |
| 5.2   | Джерела і фізико-хімічні характеристики забруднень атмосферного повітря.....                                     | 89  |
| 5.3   | Джерела і фізико-хімічні характеристики забруднень ґрунтів та водоймищ.....                                      | 90  |
| 5.4   | Утилізація масел.....  | 96  |
|       | Висновки до розділу 5.....   | 103 |
|       | ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....   | 104 |
|       | СПИСОК БІБЛЮГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....  | 106 |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ПОЗНАЧЕНЬ ТА ІНДЕКСІВ

|                  |   |
|------------------|---|
| АТ               | – авіаційна техніка                                       |
| ДСУ              | – допоміжна силова установка;                             |
| ASTM             | – American Society for Testing and Materials;             |
| SAE              | – Society of Automotive Engineers;                        |
| ІГП              | – індустриальне гідравлічне;                              |
| ІРП              | – індустриальне редукторне;                               |
| ГТД              | – газотурбінний двигун;                                   |
| ВПН              | – вимірювання падіння напруги;                            |
| НТР              | – нормальний тліючий розряд;                              |
| СОП              | – самогенеруючі органічні плівки;                         |
| ЦА               | – цивільна авіація;                                       |
| НПС              | – навколишнє природне середовище;                         |
| ГДК              | – гранично допустимих концентрацій;                       |
| КОН              | – кислотне число;   |
| ПММ              | – паливно-мастильні матеріали;                            |
| ММ               | – мастильні матеріали;                                    |
| СМ               | – синтетичні матеріали;                                   |
| ЛА               | – літальний апарат;                                       |
| НМ               | – нафтових масел;   |
| НПС              | – навколишнє природне середовище;                         |
| $\omega_{дв}$    | – кутова швидкість двигуна;                               |
| $\omega_{ро}$    | – кутова швидкість робочого органу;                       |
| $\phi$           | – коефіцієнт втрат одноступінчатої циліндричної передачі; |
| $n_w$            | – число сателітів;  |
| $\Delta U_{заг}$ | – сумарне падіння напруги;                                |
| $\Delta U_c$     | – падіння напруги на змащувальному шарі;                  |
| $\Delta U_{вн}$  | – падіння напруги на внутрішніх ділянках ланцюга;         |
| $I$              | – знос деталі;  |

|                 |  |
|-----------------|--|
| $\sigma_{\max}$ | – КОНТАКТНЕ НАВАНТАЖЕННЯ;  |
| $f$             | – КОЕФІЦІЄНТ ТЕРТЯ;  |
| $A_{тр}$        | – ПИТОМА РОБОТА ТЕРТЯ;   |
| $L_{лін}$       | – ЛІНІЙНИЙ ЗНОС;   |
| $\tau$          | – ЧАС ЗНОШУВАННЯ;  |
| $\psi$          | – ЗМІНА ВІДНОСНОЇ ТРИВАЛОСТІ НАРОСТАННЯ ТОВЩИНИ<br>ЗМАЩУВАЛЬНОГО ШАРУ; |



## ВСТУП

Розробка і використання нових видів авіаційної техніки, що експлуатуються в складних умовах при зростаючих навантаженнях, швидкостях і температурах вимагає створення мастильних матеріалів, що забезпечують роботу в цих умовах. Раціональне застосування та створення ефективних мастильних матеріалів, багато в чому визначають працездатність і довговічність машин і механізмів, є актуальним завданням сучасного машинобудування [1, 2, 3].

Згідно зі статистичними даними щорічно на капітальний ремонт витрачається більше 20 млрд. доларів США. Більше 40 млрд. доларів США складають амортизаційні відрахування. На ремонт авіаційної техніки і виготовлення до неї запасних частин витрачається майже в п'ять разів більше виробничих потужностей, ніж на випуск нової.

Навіть в найбільш розвинених країнах з високою культурою технічного обслуговування техніки та обладнання – США, Англії, Німеччини використання на практиці досягнень трибології дозволяє економити десятки мільярдів доларів і євро [4].

Сьогодні експлуатується приблизно тридцять тисяч авіалайнерів, що використовуються як для пасажирських, так і для вантажних перевезень. Ця кількість включає сотні тисяч окремих малих літаків [4]. Сьогодні вся ця кількість швидко зростають, оскільки потреба у авіаперевезеннях зростає. Аналіз паливно-мастильних матеріалів широко використовується в авіаційній промисловості і застосовується протягом багатьох років, оскільки необхідність добре зрозумілі. Великі літаки, менші літаки і вертольоти мають велику кількість агрегатів різні типи мастильних матеріалів, і ці матеріали мають вирішальне значення для авіаційної техніки. Одним з таких агрегатів є двигун. Типи двигунів мають різні конструкції, такі як турбовентиляторні, турбореактивні двигуни, турбогвинтові, навіть поршневі двигуни. Більшість із них мають подібні мастила, але різні мастила використовуються залежно від конкретного застосування. Інші типи агрегатів і компонентів, що

використовують мастильні матеріали, в літаку складаються з гідравлічних систем, редукторних систем та ДСУ (допоміжних силових установок) [5]. Існує також багато типів наземного допоміжного обладнання, що використовується для обслуговування літак до того, як він підніметься в повітря, включаючи генератори, системи обробки повітря або системи передачі палива.

Однією з ключових проблем аерокосмічної галузі є підтримка високих показників безпеки авіаційної техніки. Вуглецеві викиди та тиск на зменшення споживання нафти постійно викликають занепокоєння, а також зменшення вартості. Аналіз мастильного матеріалу, протягом багатьох років, використовується для виявлення проблем зношування, а також проблем надійності [4, 6]. Аналіз мастильних матеріалів на місці розглядається зараз як ніколи, оскільки він може допомогти у кожній із раніше згаданих областей. Однією з причин є те, що аналіз мастильних матеріалів на місці можна зробити за лічені хвилини, а не години. Сьогодні використовуються технології, що дуже чутливі до надзвичайно малих змін складі або тенденції зміни характеристик мастильних матеріалів. Це критично через специфіку використання авіації та увагу до мінімальних змін контрольованих параметрів, які можуть використовувати про ранні попередження відмови агрегатів .

Ефективність мастильного матеріалу залежить від безлічі факторів, які в сукупності визначають характер впливу мастильного матеріалу на знос і тертя змащуваних поверхонь [7]. Ці фактори залежать від властивостей, якостей мастильного матеріалу і труться, в тому числі від їх змін в процесі експлуатації, а так само від характеру взаємодії між компонентами мастильного матеріалу, що труться поверхнями і покривають їх окисними (та іншими) плівками. Ще один важливий фактор, що впливає на мастильну композицію – швидкості, навантаження, температури і інші параметри режиму тертя.

Аналіз мастильних матеріалів [8] давно практикується для авіаційних двигунів та інших повітряних масляних систем, таких як гідравлічні системи

та редуктори у вертольотах. Військові організації, мабуть, користувачі номер один для тестування аналізів мастильних матеріалів, а комерційна авіація також має давню історію аналізу мастильних матеріалів. Ряд авіакомпаній по всьому світу проводять власний аналіз мастильних матеріалів, але в багатьох випадках вони надсилають зразки в комерційні нафтові лабораторії. Виробники двигунів також проводять аналіз масла в рамках розробки та тестування двигунів.

Літаки повинні виправдовувати надзвичайно високі очікування щодо готовності та надійності при роботі в екстремальних температурах, тиску та вологості [9]. Через ці вимоги двигуни повинні підтримувати найвищу продуктивність, що зумовлює необхідність раннього виявлення та виправлення аномалій двигуна та мастила. Це ускладнює той факт, що літаки часто перебувають у певному місці протягом обмеженого періоду часу, перш ніж бути спрямовані до наступного пункту призначення. Тому механіки потребують дуже чутливих вимірювань стану мастила та компонентів з результатами, доступними за лічені хвилини, щоб вони могли вжити належних заходів, поки літак ще знаходиться в ангарі.

Склад мастильних матеріалів – це те, що слід враховувати при аналізі авіаційного масла. Авіаційні мастила унікальні тим, що його керівним органом є не стільки ASTM, скільки SAE або Товариство автомобільних інженерів [9, 10]. Їхні технічні комітети об'єднують виробників двигунів, виробників літаків, нафтові компанії та авіаційні органи, щоб узгодити певні стандарти безпеки та надійності. Одним з основних захисних стандартів є SAE AS5780. Це широко використовуваний стандарт для турбовентиляторних і турбодвигунів. Це стосується мастильних матеріалів, яким часто заважають складні ефіри або повністю синтетичні рідини. Багато з них також використовуються для редукторів. Існує два різних робочих цикли.

Типовий робочий цикл називається стандартними робочими характеристиками, і в міру того, як галузь рухається до більш високих вимог до продуктивності, вони шукають більш високих показників, ніж здатність;

який, по суті, забезпечення високої температури та високої  $I_r$  стійкості до окислення. Інші міжнародні стандарти, яких дотримуються на цьому ринку – це стандарт Великобританії DEF 9191, російські стандарти ГОСТ та японські стандарти [11]. Настанови щодо складу мастил та відповідність стандартам є маркування, як і паливо, що використовується в авіаційній галузі .

Одним з параметрів визначення працездатності агрегатів – це наявність стружки в мастильному матеріалі. Промисловість усвідомлює, що спектроскопія має обмеження, і типи зношування, що трапляються, можуть бути не виявлені за дуже дрібної стружки. У такій ситуації, як правило, виявляється все, що перевищує п'ять мікрон. Існує безліч методів аналізу стружки в парах тертя, що зношується. Він часто відомий як аналіз стружки у фільтрі і може бути вимірний за допомогою рентгенівської флуоресцентної спектроскопії, мікроскопії (оптичної або скануючої електронної мікроскопії) та прямого зображення частинок[4]. Випробування визначають рівень зношеності підшипників, тому іноді існують певні умови зношування, коли відбувається невелике скупчення частинок. В інших випадках великий сплеск частинок відбувається одразу. Втоmlений знос – це приклад події утворення сплесків частинок, за якою майже не спостерігається стружка перед вилученням з експлуатації.

### **Актуальність роботи**

Ефективність мастильного матеріалу залежить від безлічі факторів, які в сукупності визначають характер впливу мастильного матеріалу на зношування і тертя змащувальних поверхонь. Ці фактори залежать від властивостей, якостей мастильного матеріалу і поверхонь тертя, в тому числі від їх змін в процесі експлуатації, а так само від характеру взаємодії між компонентами мастильного матеріалу, поверхнями тертя і окисними (та іншими) плівками, що їх покривають. Ще один важливий фактор, що впливає на мастильну композицію – швидкості, навантаження, температури і інші параметри режиму тертя.

Основна проблема в даний час полягає в зменшенні довговічності змащувальних вузлів тертя в результаті зменшення несучої здатності мастильного шару в умовах збільшення навантажень і швидкостей в сучасній авіаційній техніці. Розроблено багато полярно-активних і хімічно активних речовин для підвищення несучої здатності мастильного шару, проте вони часто піддаються десорбції і призводять до корозійно-механічних руйнувань поверхонь тертя, тому ще одним рішенням даної проблеми стало цілеспрямоване введення антифрикційних, протизносних і відновлювальних дисперсних компонентів.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ СТРУКТУРИ, СКЛАДУ І ВЛАСТИВОСТЕЙ

#### МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розвиток авіаційного транспорту характеризується вдосконаленням технічного рівня всіх видів авіаційної техніки, значним підвищенням потужності агрегатів і компонентів авіаційної техніки, зростанням швидкостей рухомих елементів, збільшенням навантажень в зубчастих зачепленнях і тривалості роботи вузлів тертя без повної заміни мастила. Авіаремонтні заводи та підприємства по виготовленню запасних частин постійно забезпечуються більш досконалим технологічним обладнанням. Довговічна і безпечна експлуатація авіаційної техніки, машин і механізмів у великій мірі залежить від типу мастила і режиму мащення [3, 5, 8].

Авіаційний транспорт щорічно споживає сотні тисяч тон різних мастильних матеріалів [7]. При цьому постійно поліпшується якість мастильних матеріалів, синтезуються нові більш ефективні присадки, оновлюється і вдосконалюється асортимент мастильних матеріалів і робочих рідин.

Необхідний технічний стан обладнання можна забезпечити шляхом раціональної організації технічного обслуговування і ремонту, а також змащування обладнання. Дані експлуатації на авіаційних підприємствах показують, що основною причиною виходу з ладу машин і механізмів є зношування рухомих деталей, яке в 80 % випадків відбувається внаслідок несвоєчасного або неякісного змазування [4].

Витрати на відновлення машин і обладнання, а також транспортних засобів складають близько 40 мільярдів доларів США на рік, близько 10 мільйонів працівників в усьому світі зайняті ремонтом і виготовленням запасних частин. Не варто забувати про обмеженість паливно-енергетичних

ресурсів і сучасної екологічного становища. Відпрацьовані нафтопродукти необхідно використовувати ширше.

Робота в таких напрямках, як організація та вдосконалення служб мастильного господарства на підприємстві, впровадження системи регламентованого технічного обслуговування, впровадження нових перспективних мастильних матеріалів – металоплакуючих (до складу яких входять металомісткі присадки), твердих, магнітних і самозмащувальних, уніфікація скорочення витрат і номенклатури застосовуваних мастильних матеріалів, механізація і автоматизація мастильних робіт, широке використання засобів очищення і експрес-методів контролю експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів, збір і повторне використання відпрацьованих масел, навчання фахівців, які працюють з мастильними матеріалами може допомогти вирішити перераховані проблеми.

Мастильні матеріали застосовуються для зменшення тертя, що виникає між парами тертя машин і механізмів, зниження зношування деталей, що труться і запобігання їх заїданню, так як без цього не можна підвищити надійність і довговічність вузлів тертя будь-яких механізмів [12]. Чим краще підібрано масло для кожного конкретного типу двигуна та інших деталей, що труться, тим менше зношення, і більше термін їх служби. Масло добре охолоджує деталі, захищає від корозії, у багатьох випадках, виступає в якості ущільнювача, перешкоджає прориву робочої суміші, що стискається, і продуктів згоряння.

Основними функціями мастильних матеріалів є [9]:

- забезпечення чистоти і мінімального зношення вузлів в процесі експлуатації виробу в широкому інтервалі температур;
- запобігання корозії і забруднення поверхонь тертя деталей в процесі експлуатації;
- відведення теплоти вузлів тертя і видалення із зони тертя продуктів зношування.

В даний час промисловістю випускаються масла на синтетичній і синтетично-нафтовій основі. Найбільш поширеними є нафтові мастильні матеріали.

### **1.1 Нафтові мастильні матеріали**

Основними мастильними матеріалами, виробленими нафтохімічною промисловістю, є мінеральні масла і мастила, одержувані з нафтової сировини. Нафта – масляниста рідина органічного походження, яка складається в основному з двох елементів - вуглецю (84 – 87 %) і водню (12 – 14 %). У хімії це називається вуглеводнями. Крім цього в нафті міститься 0,1 – 1,4 % кисню, 0,5 – 5 % сірки та інших елементів. Нафта за своїм складом є складною рідиною [13].

Область застосування і призначення нафтових масел дуже широкі. Крім основної функції вони служать робочими рідинами в гідравлічних передачах, створюють електричну ізоляцію в трансформаторах, конденсаторах і масляних вимикачах, знижують вібрацію і шум. Нафтові масла є основами при виготовленні пластичних мастил, мастильно-охолоджуючих технологічних середовищ, сировиною для виробництва присадок [4].

Відмінною особливістю сучасного виробництва нафтових масел є різноманіття сировинних джерел – нафти, яка відрізняється за фізико-хімічними властивостями. Нафта різних родовищ і навіть одного родовища з різних свердловин відрізняється один від одного [13]. Саме склад нафти визначає схему її переробки і якість одержуваних нафтопродуктів, в тому числі і масел. Масла однієї марки, отримані з нафти різних родовищ, розрізняються по вуглеводневому складу, що має великий вплив як на експлуатаційні властивості самих масел, так і на якість товарів, одержуваних на їх основі.

Зазвичай при експлуатації масло виконує одну йди дві будь-яких функції в залежності від його призначення. Тому в промисловості виробляють масла, що мають певне призначення і забезпечують в цій області найбільший ефект.



Для правильного вибору масла існує їх класифікація за різними принципами.

**За способом отримання.** При сучасному технічному рівні розвитку з нафти отримують безліч найрізноманітніших продуктів: спирт, жирні кислоти, каучук ацетон, бензол, гліцерин, вибухові речовини, фарби, ліки, парфуми, миючі засоби, парафін, нафталін і багато іншого [6, 11]. Однак 95 – 97 % видобутої нафти переробляють для отримання різних видів палив і мастильних матеріалів. Первинна переробка нафти заснована на поділі (разгонці) нафти на фракції. При цьому способі переробки не відбувається зміна структури вуглеводнів, а тільки із загальної суміші виділяються окремі групи – фракції. Поділ на фракції заснований на тому, що вуглеводні, що входять до складу нафти мають різну температуру кипіння.

При розгоні і атмосферному тиску з нафти відганяються бензинові, лігроїнові, гасові і газойлеві фракції; залишок від перегонки називається мазутом, який служить сировиною для отримання масла. Мазут після підігріву переганяється в трубчастих вакуумних установках [14]. При цьому пари мазуту в ректифікаційній колоні також поділяються на фракції, але тільки з тією різницею, що тут колона працює під вакуумом, а не під атмосферним тиском. При нагріванні мазуту і конденсації пари в колоні на початку отримують веретенний дистилят, потім машинний, автоловий і циліндровий. Після перегонки мазуту в залишку виходить важкий масляний концентрат – гудрон і напівгудрон. Вони є напівфабрикатами для отримання остаточних масел. Отримані при вакуумній перегонці масляні дистиляти – це ще не масла, а лише напівпродукти, які містять, крім вуглеводнів, різні асфальтосмолисті речовини, нафтеніві кислоти та інші шкідливі домішки, що погіршують якість масла.

Отже, масла за способом отримання поділяються на [5, 6, 14]:

- дистиляти, отримані очищенням масляних фракцій вакуумної перегонки мазуту;
- залишкові, отримані з гудрону;

- компаундують, отримані шляхом змішування різних масел;
- загущені масла, приготовлені з базових масел введенням полімерних присадок.

**За способом очищення.** Залежно від використовуваних реагентів масла можуть бути кислотно-лужний, кислотно-контактної, селективної, адсорбційної очисток і масла гідрогенізаційних процесів (гідроочищення, гідрокрекінгу і гідроізомераці).

При кислотною очищення масло обробляють сірчаною кислотою, при цьому асфальтосмолисті і інші шкідливі речовини, вступаючи в хімічну реакцію із сірчаною кислотою, утворюють смолисту густу масу, звану кислим гудроном, яка осідає на дно мішалки, а потім віддається.

Селективна очистка масел полягає в обробці масла спеціальними розчинниками (пропаном, фенолом, форфуролом), які мають властивість витягувати шкідливі домішки, не знищуючи цінних складових частин масла.

Після очищення, в результаті якої видаляються шкідливі домішки, готовому маслу надають потрібні експлуатаційні властивості.

### 1.1.1 Характеристика мастильних матеріалів за призначенням

Виділяють кілька груп масел в залежності від їх функціонального призначення – мастильні, консерваційні, електроізоляційні, гідравлічні, технологічні, вакуумні (табл. 1.1), медичні та парфумерні (білі) [6, 15].

Таблиця 1.1 – Класифікація нафтових мастильних матеріалів

| Мастильні матеріали  |                         |                                 |                              |                          |              |            |               |            |                   |   |
|----------------------|-------------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------|------------|---------------|------------|-------------------|---|
| За агрегатним станом |                         |                                 |                              | За цільовим призначенням |              |            |               |            |                   |   |
| Рідкі – оливи        | Тверді – тверді мастила | Мазеподібні – пластичні мастила | Газоподібні – газові мастила | Моторні                  | Газотурбінні | Трансмійні | Індустріальні | Холодильні | Електроізоляційні | Спеціальні (компресорні, трансформаторні, холодильні) |

Деякі з цих груп діляться ще на підгрупи по більш вузьким областям застосування. Для кожної групи або підгрупи в залежності від призначення і умов застосування є свої характерні показники якості. Так, для електроізоляційних масел найважливішими експлуатаційними властивостями є газостійкості і діелектричні втрати, які не грають ролі при експлуатації моторних масел. Для них одним з основних показників є миючі властивості. Для гідравлічних масел, що контактують з гумовими ущільнювачами, дуже важлива хороша сумісність з ними, тобто вони не повинні викликати розчинення або набрякання гум. Найбільший обсяг з виробництва серед масел займають мастильні, які в свою чергу на моторні, індустріальні і приладові. У кожній групі або підгрупі є безліч марок масел, які визначаються показниками якості, способами отримання, наявністю присадок і так далі.

Якість базових масел має величезне значення [15]. Саме вони визначають такі важливі характеристики товарних масел, як випаровуваність, високотемпературні властивості, рухливість при низькій температурі і так далі.

Базові масла класифікують:

- за фізико-хімічними властивостями;
- сировинної природі масла (олії парафінового і нафтового підстави);
- способу виробництва.

Для додання базовим маслам певних експлуатаційних властивостей їх легують (розбавляють) присадками, які поділяють на такі основні типи:

- антиокислювальні, що підвищують антиокислювальну стійкість масел;
- антикорозійні, що захищають металеві поверхні від корозійного впливу кисневого і сірковмісних продуктів, і вологи;
- мийно-диспергуючі, що сприяють зниженню відкладень продуктів окислення на металевих поверхнях;
- покращують мастильні властивості (протизносні, антифрикційні);
- депресорні, що знижують температуру застигання масел;

- в'язкі або загущаючі, що покращують в'язкісно-температурні властивості масел;
- антипінні, що запобігають спіненою масел.

По областях застосування масла діляться на: моторні – для авіаційних, газотурбінних, карбюраторних і дизельних двигунів; спеціальні – турбінні, компресорні, циліндрові і ізоляційні; трансмісійні, в тому числі для гідропередач, гідродинамічних і гідро об'ємних приводів; машинні; різного призначення.

**Моторні масла.** У групі мастил вони займають найбільший обсяг, до 60 %. Вона включає масла, застосовувані в різних двигунах внутрішнього згоряння – автомобільних, сільськогосподарських та будівельних машин, річкових суден, авіаційних. Класифікація аналогічна зарубіжній *API* і *SAE*. Вона ділить масла по їх в'язкості з урахуванням умов застосування [11, 15].

Моторні масла застосовують для змащення поршневих двигунів внутрішнього згоряння. За способом отримання вони можуть бути дистилятів, залишковими, компаундують і загущених. Найчастіше ці масла селективного очищення, більшість містить присадки. Для приготування моторних масел використовують базові масла селективного очищення (від М-6 до М-20), високоіндексні масла з сірчистої нафти (АСВ -6, АСВ -10). Моторні масла містять цілий комплекс присадок – мийно-диспергуючі, антиокислювальні, депресорні.

Масло має забезпечувати надійне змащення всіх вузлів тертя і агрегатів двигуна при температурах від – 50 °С до 150 °С і навіть вище.

**Індустріальні масла.** Це велика група масел, які призначені для змазування машин і механізмів різного промислового устаткування [12]. Їх виробництво становить до 30 % від загального обсягу випущених масел. В даний час у світі немає будь-якої технічно обґрунтованої і загальноприйнятої класифікації індустріальних масел. В даний час їх ділять по областям застосування – масла загального і спеціального призначення, незалежно від

вихідної сировини і методів отримання. До цього індустріальні масла ділили по в'язкості, по вихідній сировині і за способом очищення.

**Індустріальні масла загального призначення.** Вони служать для змащування різноманітних пар тертя різних високошвидкісних і важко навантажених механізмів, що працюють при середніх температурах (металорізальні, деревообробні, циліндри, редуктори, преси і так далі). В'язкість масел змінюється в широкому діапазоні (від 3,4 до 190 мм<sup>2</sup>/с при 50 °С), вони можуть містити присадки, їх можна отримати з сірчистої або малосірчаної нафти.

Ці масла поділяються на кілька груп відповідно до галузі їх застосування. Це масла загального призначення *без присадок*. До них не пред'являється особливих експлуатаційних вимог, вони забезпечуються природною мінеральною природою масел і можуть бути дистилатів, залишковими або їх сумішшю. Прийнята єдина маркування масел, наприклад, I-20A або I-50A [12].

Окрему групу становлять масла, отримані *лужним очищенням*. У нашій країні випускаються дві марки вилужених масел з в'язкістю при 50 °С 20 і 45 мм<sup>2</sup>/с.

Особливістю експлуатації індустріальних масел в сучасних вузлах є жорсткість умов по робочим температур (раніше 40 – 60 °С, тепер до 100 °С), підвищення питомих навантажень, стійкість до окислення протягом декількох тисяч годин роботи. Масла без присадок ці умови не витримують.

У зв'язку з цим останнім часом освоєно виробництво досить великого асортименту індустріальних легованих масел з поліпшеними експлуатаційними властивостями [4, 6]. У них в основному використовують присадки антиокис- лительного-ионол і фенілнафтіламін, протикорозійні – сульфонати кальцію, протизносні – сірку, хлор і містять фосфор.

В асортименті легованих масел є масла вузькоспеціалізованого призначення. Маркування масел прийнята по буквеним індексам, що позначає

область їх застосування (ІГП – індустріальне гідравлічне, ІРП – індустріальне редукторне, ІЛП – індустріальне для ланцюгів і т.д.).

До індустріальних також відносять масла для прокатних верстатів, обладнаних циркуляційними системами змащення.

**Масла спеціального призначення.** Вони включають також кілька груп. Циліндрові масла призначені для змащування гарячих частин парових машин [4, 6, 15]. Масла повинні добре розпорозуватися, не утворювати нагару, тобто бути стійкими до окислення. Цей показник залежить від хімічного складу масел – природи вихідної сировини і способу його переробки. Циліндрові масла ділять на дві групи:

- для машин, що працюють насиченою парою;
- для машин, що працюють перегрітою парою.

Вакуумні масла застосовують як робочі рідини вакуумних насосів. Ці масла відрізняються вузьким фракційним складом, високим ступенем очищення, так як їх отримують розгонкою товарних масел.

Індустріальні масла спеціального призначення включають також нафтові і синтетичні масла з присадками, призначені для використання у вузьких областях або специфічних умови. Масла для змащування ланцюгів підвісних конвеєрів, для змащення масляним туманом (ІМТ–200).

Асортимент індустріальних масел не обмежується перерахованими марками, так як в якості індустріальних можуть використовуватися також масла, віднесені за основним призначенням до моторних та іншим групам.

**Трансмійні масла.** Ці масла призначені для змащування зубчастих передач різних типів (циліндричних, конічних, черв'ячних) [14]. На їх частку припадає близько 5 % від загального обсягу виробництва масел. Робота масла в вузлах трансмісій має свою специфіку. Умови тертя тут більш напружені, ніж в інших механізмах, так як переважає граничний режим тертя. Масло має забезпечувати тривалу роботу в інтервалі температур від мінус 50 до плюс 150 °С і виконувати цілий ряд інших функцій, часто суперечливих.

У нашій країні випускають близько 15 марок трансмісійних масел, які умовно можна поділити на три групи [6, 15]:

- без присадок або з хімічно малоактивними, протизадирними і протизношувальними присадками (ЕФО, ДФ–11);
- з протизадирними і протизношувальними присадками середньої активності (ЛЗ / 23к, ЛЗ–6/9, СТП);
- з високоактивними протизношувальними присадками (хлорэф–40).

Залежно від кліматичних умов розрізняють зимові та літні, арктичні і всесезонні трансмісійні масла. Більшу частину трансмісійних масел готують змішуванням екстрактів від фенольної очистки деасфальтізаторів або залишкових масел з дистилятів маслами. Деасфальтізація – процес видалення високомолекулярних смолисто-асфальтенових речовин з залишкових продуктів нафтопереробки. До трансмісійним відноситься також нігрол – неочищений залишок прямої перегонки нафти, який містить багато смол, асфальтенів (найбільш високомолекулярні компоненти нафти) та інших продуктів, схильних до окислення.

В даний час з метою уніфікації трансмісійних масел для жаркого і помірного клімату випускається єдине всесезонне масло. Для його приготування використовують суміші екстрактів фенольного очищення з індустриального масла або високоякісного базового масла ТС–14,5 і ТБ–20 (суміші дистилятів і залишкових масел селективного очищення).

**Турбінні масла.** Самостійна група масел зі специфічними вимогами. Їх призначення – мастило та охолодження парових, газових і гідротурбін [13]. Зміна масла в таких агрегатах є трудомісткою і дорогою. Тому ці масла повинні забезпечити тривалу роботу агрегату. Масла не повинні старіти, тобто повинні мати гарну стабільність до окислення, що не утворювати опадів і стійких емульсій з водою, попереджати знос. Масла не повинні насичуватися повітрям і пінитися при циркуляції, так як це порушує мастило і викликає старіння масел. Перераховані якості досягаються при використанні масел з високоякісної нафти – сірчистих парафіністих і малосірчаних парафіністих

або безпарафіністих, отриманих глибокої і ретельної кислотно-контактної або селективної очищенням і введенням композицій присадок, що поліпшують хімічну стабільність, деемульгіруемість, протизносні та антикорозійні властивості. Величезне значення має якість базових масел. Турбінні масла іноді використовують як індустріальні, але не рекомендується використання індустріальних масел в якості турбінних.

**Компресорні масла.** Ці масла призначені для змащення циліндрів і клапанів компресорів. Особливістю їх роботи є контакт з різними високотемпературними середовищами і холодоагентами. Холодильний агент (холодоагент) – робоча речовина (може бути рідиною, газом і навіть бути в твердому агрегатному стані) холодильної машини, яка при кипінні (випаровуванні, плавленні або навіть сублимації) забирає теплоту від охолоджуваного об'єкта і потім після стиснення передає її охолоджуючій середовищі за рахунок конденсації чи іншого фазового переходу [7, 12]. Тому до масел висуваються жорсткі вимоги щодо термічної і хімічної стабільності, нагарообформуванню і емульгіруемість (здатність масла до утворення стабільної емульсії з водою). Компресорні масла отримують з високоякісної сірчистої і малосірчаної нафти досить глибокої кислотно-земельної або селективної очищенням. Компресорні масла можуть бути з присадками і без. Масла без присадок призначені для експлуатації в звичайних умовах (без агресивних середовищ і тисків стиснення до 4 Мпа. Цінними базовими маслами для них є високов'язкі, нізкозастиваючі масла – залишкові або компаундують високоочищені продукти (марки К-12, К-19, К-28) . Компресорні масла для важких умов роботи отримують глибокого селективного очищенням і додаванням присадок – антиокислювальних, антикорозійних і протизносних.

**Приладові масла.** Вони призначені для змащення приладів і апаратів. Умовно їх поділяють на три підгрупи: загального призначення, спеціального призначення і часові.



Приладові масла відрізняються високим ступенем очищення і хорошими низькотемпературними властивостями [13]. Більшість з цих масел містять присадки – антиокислювальні, протизносні та інші. З масел загального призначення найбільший випуск має масло сірчаноокислотного очищення, що виробляється з нізкозастигаючої нафти. До 70 % його використовується у виробництві пластичних мастил. Масла спеціального призначення виробляють на синтетичній основі.

### **1.1.2 Масла авіаційного призначення**

Залежно від виду техніки авіаційні масла умовно ділять по областям застосування на олії для поршневих і газотурбінних двигунів літаків і різних агрегатів вертольотів [16].

В авіації є два типи газотурбінних двигунів – турбореактивні і турбогвинтові.

У турбореактивних двигунах використовують малов'язкі масла, а в турбогвинтових – більш в'язкі, що обумовлено застосуванням у цих двигунах редуктора повітряного гвинта, для якого потрібні масла з підвищеною несучою здатністю.

**Масла для поршневих двигунів.** У поршневих двигунах масла працюють у важких умовах, створюваних високими температурами в зоні поршневих кілець, внутрішньої частини поршнів, клапанів та інших деталей.

Для забезпечення змащування двигуна в умовах високих температур, тисків і навантажень застосовують високов'язкі масла, піддані спеціальному очищенню [7]. Такі масла повинні мати високу мастильну здатність, не бути агресивними до металів, сплавів та інших конструкційних матеріалів і мати достатню стабільністю до окислення при високих температурах і в умовах зберігання.

**Масла для турбореактивних двигунів.** У зв'язку з конструктивними особливостями газотурбінних двигунів (ГТД) умови роботи мастил в них суттєво відрізняються від умов роботи масел в поршневих двигунах [6]. На

відміну від поршневого двигуна мастило в ГТД ізольоване від камери згорання (зони горіння палива); крім того, в найбільш відповідальних вузлах тертя реалізується в основному тертя кочення, а не ковзання, як в поршневих двигунах (коефіцієнт тертя кочення на порядок нижче коефіцієнта тертя ковзання). Вал турбокомпресора в ГТД добре збалансований і при великій частоті обертання і великих осьових і радіальних навантаженнях працює без різких змінних навантажень.

**Масла для авіаційних двигунів.** Сучасні газотурбінні двигуни характеризуються жорсткими умовами роботи: високі температури – до 300 °С і вище, великі частоти обертання турбін – 12000 – 20000 об/хв [14, 15]. Напруженість роботи масла в таких умовах експлуатації ГТД визначається кількістю тепла, яке необхідно відвести від поверхонь тертя деталей, і при інших рівних умовах характеризується швидкістю похитування масла через двигун.

Температура масла на вході в ГТД коливається від 20 до 50 °С, а на виході залежить від потужності двигуна. У двигунах літаків, що літають з дозвуковими швидкостями, вона не перевищує 125 °С, а при швидкості польоту з числом  $M^* < 2$  вона досягає 200 °С.

Підведення масла до вузлів тертя у ГТД здійснюється не тільки для змащення поверхонь тертя, але і для відводу тепла від цих вузлів. Для запобігання перегріву вузлів тертя масло безперервно підводиться до наступних елементів двигуна: підшипників, зубчастих коліс, контактним ущільнювачам і шліцьовим з'єднанням. Найбільш високий рівень тепловиділення – в радіально-упорних шарикопідшипниках роторів ГТД, що сприймають осьове навантаження, тому до них підводять масла більше, ніж до інших елементів с; 1

Масла для реактивних двигунів літальних апаратів проходять ретельну перевірку. При оцінці якості масла враховують можливі умови експлуатації і напруженість роботи його в двигуні.

Мастила для турбореактивних двигунів повинні відповідати наступним вимогам:

- надійне змащування всіх вузлів і агрегатів двигуна з мінімальним зносом в межах робочих температур від мінус 50 до плюс 200 °С;
- полого в'язкісно-температурна крива і хороша прокачиваність при низьких температурах (пускові властивості масла повинні забезпечувати надійний запуск двигуна без підігріву до температури мінус 50 °С);
- однорідний і стабільний фракційний склад, що обумовлює мінімальну випаровуваність фракцій і зберігає в'язкі характеристики масла протягом всього часу роботи двигуна (доцільно застосовувати мастила вузького фракційного складу);
- високі антиокислювальні властивості і мінімальне окислення в двигуні при робочих температурах 150 – 200 °С і вище;
- мінімальна піноутворюваність, висока температура самозаймання;
- неагресивність по відношенню до металів, сплавів, гумовотехнічним виробам, покриттям, клеїв та інших матеріалів.

**Масла для турбогвинтових двигунів.** Особливості конструкції турбогвинтових двигунів пов'язані з наявністю в них багатоступеневих зубчастих передач (редукторів), які призначені для передачі великих зусиль і працюють при великих частотах обертання [13]. Витримати такі навантаження, як показує досвід експлуатації, можуть масла з підвищеною в'язкістю. Тому для турбогвинтових двигунів застосовують масла з більш високою в'язкістю, ніж для турбореактивних.

Вимоги, що пред'являються до масел для турбогвинтових двигунів, такі:

- полого в'язкісно-температурна крива і хороша прокачуваність при низьких температурах;
- високі протизносні і протизадирні властивості;
- стійкість до окислення в умовах високих температур (150 175 ° С) і контакту з повітрям і різними авіаційними матеріалами;

- інертність по відношенню до металів, сплавів, гуми покриттів, клеїв і інших конструкційних матеріалів;
- мінімальні піноутворюваність і випаровуваність.

Для змащування цих двигунів застосовують нафтові і синтетичні масла. Основними мастильними матеріалами є маслосуміші, одержувані змішанням на місцях споживання авіаційних масел МС-8п і МС-20 в таких пропорціях (масова частка, м%): 75:25; 50:50; 25:75. Допускається застосування масла МС-8РК в складі маслосуміші. Завдяки застосуванню високоякісного масла МС-8п якість маслосуміші значно підвищується.

**Масла для вертольотів.** У вертольотах маслами змащують двигуни, редуктори трансмісії і шарніри втулок гвинтів [13, 14]. У двигунах вертольотів Мі-6 і Мі-10 використовують масла МС-8п і МС-8РК, в вертольотах Мі-2 і Мі-8 – синтетичне масло Б-3В, в турбокомпресорній частини силової установки вертольота Мі-26 застосовують синтетичне ізопарафінових масло ІПМ -10. У двигуні і редукторі перспективних і нових спроектованих вертольотів рекомендовано використовувати синтетичне масло ПТС-225.

Для змазування редукторів трансмісії вертольотів використовують широкий асортимент масел різного призначення, якість яких невисока. Так як малов'язкі моторні масла мають недостатню мастильну здатність, а високов'язкі нафтові масла володіють незадовільними низькотемпературними властивостями, то для змащування редукторів трансмісій широко застосовують суміші масел.

## **1.2 Фізико–хімічні властивості мастильних матеріалів**

Про якість масел як при виробництві, так і в умовах експлуатації можна судити за показниками їх фізико-хімічних властивостей, таких як щільність, в'язкість, молекулярна маса, температура застигання і спалаху, випаровуваність, діелектричні і оптичні властивості [6-8, 15, 17].

Експлуатаційні властивості, такі, як стабільність до окислення, мастильна здатність, в'язкісно-температурні, захисні і корозійні визначаються

фізико-хімічними властивостями. Залежно від призначення і умов застосування масел вимоги до цих властивостей можуть бути різними.

Щільність безпосередньо не визначає експлуатаційних властивостей масел, вона дає певне уявлення про хімічний склад сировини, з якого отримано масло, і про ступінь його очищення. При рівній в'язкості масла з парафінистої нафти мають найменшу щільність, а масла з ароматичної нафти – найбільшу. Зі збільшенням ступеня очищення масел, тобто в міру віддалення з них смолистих речовин і поліциклічних аренів, їх щільність зменшується. Загальним для масляних фракцій їх будь нафти є збільшення щільності з ростом температури кипіння.

В'язкість – найважливіший показник фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей масел [15]. Вона визначає надійність режиму змащення в умовах гідродинамічного (рідинного) тертя і істотно впливає на охолоджуючу здатність масел, їх витік через ущільнення і пускові властивості. В'язкість масел залежить головним чином від їх вуглеводневого складу, вона зростає зі збільшенням молекулярної маси вуглеводнів, що складають масла, їх циклічності і ступеня розгалуженості. Загальним для масел з будь-якої нафти є зростання в'язкості масляних фракцій з температурою кипіння і збільшенням вмісту в них аренів або смолисто-асфальтенових речовин.

За рівнем в'язкості нафтові масла змінюються в широких межах, від 4 – 6 мм<sup>2</sup>/с при 50 °С до 60 – 70 мм<sup>2</sup>/с при 100 °С.

Значимість показника в'язкості при підборі масел настільки велика, що її абсолютне значення покладено в основу класифікації моторних масел і маркування масел інших типів.

В умовах застосування масел температурний режим може значно коливатися, а в залежності від цього змінюватися і їх в'язкість. При високих температурах масла розріджується, а при охолодженні загущуються або взагалі втрачають рухливість. У першому випадку зменшується несуча здатність тонкого шару масла, що розділяє поверхні, що труться, в другому зменшується або взагалі припиняється подача масла до вузлів тертя. Тому при

оцінці якості масел велике значення надають залежності його в'язкості від температури. Для її чисельної характеристики використовується система індексів в'язкості (ІВ) – це відношення в'язкості даного масла до в'язкості еталонного при певній температурі. Ця система дозволяє порівнювати різні масла між собою [6, 11].

В даний час є кілька систем індексів в'язкості, найбільше поширення в світовій практиці отримала система Діна і Девіса. У нашій країні індекс в'язкості масел визначається за таблицями стандартів, мір і вимірювальних приладів.

Незважаючи на широке поширення характеристики масел за індексом в'язкості практична і теоретична цінність обмежені. Це пов'язано з залежністю в'язкості від температури в досить вузькому діапазоні: індекс в'язкості Діна і Девіса в інтервалі від 37,8 °С до 98,9 °С, у вітчизняних стандартах від 50 °С до 100 °С. Цей температурний інтервал не може характеризувати стан і поведінку масел за його межами. Особливо це відноситься до області негативних температур, коли може виявитися, що масла з високими індексами в'язкості втратять рухливість в результаті утворення колоїдної системи з сольватованих маслом кристалів парафіну, а масла з низьким індексом в'язкості можуть її зберегти. У той же час при високих температурах незалежно від значення ІВ масла мало різняться по в'язкості [15]. У цих умовах експлуатації визначальну роль грає, очевидно, не в'язкість, а змащувальну здатність масла, так як замщування може здійснюватися мономолекулярні шаром. Тому індекс в'язкості швидше за все є показником ступеня очищення масел і не може з достатньою достовірністю характеризувати його в'язкісно-температурні властивості. Індекс в'язкості так само, як і в'язкість масел, залежить від їх вуглеводневого складу.

Температурою спалаху називається мінімальна температура, при якій пари досліджуваного масла утворюють з повітрям суміш, здатну загорятися при внесенні до неї полум'я. Температура спалаху знаходиться зазвичай на нижній межі вибуховості масел. Цей показник дуже важливий для визначення

наявності в оліях домішки легких фракцій. З точки зору експлуатаційних властивостей температура спалаху лімітує верхню межу працездатності масел і використовується для класифікації виробництв, в яких застосовують масла в якості сировинних компонентів (виробництво пластичних мастил, присадок), по мірі пожежонебезпеки. Температура спалаху знаходиться в тісній залежності від інших термічних характеристик масел, таких, як температура кипіння, тиск пари та випаровуваність.

Температура застигання не є фізичною характеристикою масел, так як у них немає певної температурної точки переходу з рідкого стану в твердий. Рухливість нафтових масел змінюється з температурою і зменшується при її зниженні. Температура застигання – така температура, при якій масло досягає умовно заданої межі рухливості.

Застигання нафтових масел може бути викликано двома причинами – виділенням при охолодженні однієї з його складових частин, найчастіше парафінів або церезинів (структурний застигання) або різким збільшенням в'язкості містяться в оліях смолисто-асфальтенових речовин і високоціклических аренов (в'язкостной застигання). Наявність двох форм застигання свідчить про тісний зв'язок температури застигання з вуглеводневим складом нафтових масел [4, 6, 13-18]].

Молекулярна маса є найважливішою фізико-хімічною характеристикою масел. Це скоріше якісна, ніж кількісна характеристика масел.

### **1.3 Синтетичні мастильні матеріали**

Синтетичні масла, рідини, що застосовуються головним чином в якості мастильних матеріалів, теплоносіїв, гідравлічних рідин [3, 15]. На основі мастильних матеріалів готують деякі пластичні мастила. Як мастильні матеріали використовують синтетичні вуглеводні, ефіри (зокрема, ефіри фосфорної кислоти), поліорганосилоксани, галогеніди вуглецю, поліалкіленгліколю і ін.

Синтетичні вуглеводні отримують полімеризацією олефінів (етилену, пропілену та ін.) або алкилюванням ароматичних вуглеводнів (бензолу, ксилолу та ін.). Область застосування в основному та ж, що і масел нафтових.

Ефіри отримують головним чином взаємодією одно- і двоосновних кислот з одно- і багатоатомних спиртами. Найбільш часто використовують ефіри складні типу діоктилсебаціната або пентаерітритові ефіри одноосновних кислот. Вони мають високі в'язкісно-температурні характеристики, низьку випаровуваність, підвищену, у порівнянні з маслами нафтовими, термічна і хімічна стабільність. Застосовуються в авіаційних двигунах, як трансмісійних масел і гідравлічних рідин. Особливо стійкі до високих температур (до 300 – 400 °С) і радіації поліфенілові ефіри і ефіри адігідроперфторспіртів. Як негорючих гідравлічних рідин використовують ефіри фосфорної кислоти. Всі ефіри мають хороші протизносні властивості.

Поліорганосилоксани – різновид кремнійорганічних полімерів – відрізняються малою випаровуваністю і досить високою термічною стабільністю. За в'язкісно-температурною характеристикою вони перевершують всі інші мастильні матеріали, але поступаються їм по замщувальній здатності. Найбільш термічно стабільні поліфенілсілоксани витримують нагрівання вище 250 °С. Поліметилсілоксан не застигають при температурах до мінус 100 °С і нижче. Поліорганосилоксани застосовують для змащення малонавантажених вузлів тертя механізмів і приладів, що працюють в широкому діапазоні температур. Вони використовуються також в амортизаторах, гальмівних і демпферних пристроях, чому сприяє висока стисливість поліорганосилоксанов [14].

Галогеніди вуглецю – вуглеводні, в молекулах яких атоми водню заміщені на фтор або фтор і хлор. Відрізняються особливою стійкістю до  $O_2$ ,  $HNO_3$ ,  $H_2O_2$  та ін. Хімічно активним з'єднанням. Мають погану в'язкісно-температурну характеристику, високу випаровуваність. Найбільш цінні характеристики мають перфторалкілполіефіри (стабілізовані полімери окису перфторпропілена). Використовують такі мастильні матеріали в ядерній і



ракетній техніці, в хімічній промисловості, при експлуатації в умовах високих температур або в контакті з агресивними середовищами.

Поліалкіленгліколю – продукти взаємодії окису етилену або окису пропілену (і їх сумішей) з водою, спиртом, етиленгліколь. Відрізняються хорошими в'язкістю -температурними властивостями; не дають відкладень на деталях після розкладання при нагріванні. Використовують як високотемпературних мастильних матеріалів і теплоносіїв в паперовій, керамічній, скляній та інших галузях промисловості. У зв'язку з досить високою вартістю, недостатністю і особливостями властивостей споживання мастильні матеріали становить лише частки відсотка від масел нафтових. З розвитком техніки і ускладненням умов змащення застосування мастильні матеріали розширюється.

#### **1.4 Пластичні мастила**

Пластичні мастила займають проміжне положення між твердими мастильними матеріалами і маслами. У найпростішому випадку мастила можна розглядати як двокомпонентні системи, що складаються з масла (дисперсійного середовища) і згущувача (дисперсионної фази) [19 – 20]. В якості дисперсійного середовища, 75 – 95 % об'єму мастила, використовують різні мастильні рідини. Понад 95 % мастил готують на нафтових маслах. В окремих випадках при експлуатації різних машин і механізмів в екстремальних умовах для змазування їх вузлів тертя використовують мастила, приготовані на полісілоксанов, складних ефірах, полігліколи, синтетичних вуглецевих маслах і інших мастильних рідинах. Дисперсною фазою можуть бути солі вищих жирних кислот (мила), тверді вуглеводні та інші органічні і неорганічні продукти. Дисперсна фаза утворює в мастилах тривимірний структурний каркас, в осередках якого утримується масло. Тому при невеликих навантаженнях мастила поведуться як тверді тіла, а при критичних, що перевищують міцність структурного каркаса, вони течуть подібно маслам. Після зняття навантаження мастила знову набувають

властивості твердого тіла. Завдяки цьому застосування мастил дозволяє спростити конструкцію вузла тертя.

Дисперсійна середа і дисперсна фаза визначають основні реологічні і експлуатаційні властивості мастил. Крім цих двох компонентів в мастилах завжди присутній третій. Як його в складі мастил може перебувати речовина, без якого або структурована система не може існувати, або присутній в ній як технологічний компонент [11]. Такою речовиною, наприклад, в солідолах є води – стабілізатор їх структури, а в мастилах на природних жирах – гліцерин або високомолекулярні спирти, які утворюються в результаті розщеплення гліцеридів або високомолекулярних ефірів (восків) при їх обмиленні в процесі приготування мастил. У мильних мастилах практично завжди присутні вільні кислоти і луги. Для регулювання процесів структуроутворення, а частіше з метою поліпшення експлуатаційних характеристик мастил в їх склад вводять присадки різного функціонального призначення і тверді добавки – наповнювачі. Внаслідок цього пластичні мастила слід розглядати як складні багатокомпонентні системи.

До основних переваг мастил в порівнянні з маслами можна віднести:

- здатність утримуватися на похилих і вертикальних поверхнях, випливати і не видавлюватиметься з вузлів тертя під дією значних навантажень;
- кращі мастильні властивості (протизносні, протизадирні);
- здатність краще захищати металеві поверхні від корозії;
- здатність забезпечувати кращу герметизацію вузлів тертя і охороняти їх від забруднення;
- значно менша, ніж у масел залежність їх в'язкості від температури, що дозволяє застосовувати їх при роботі вузлів тертя в широкому інтервалі температур від мінус 60 до плюс 200 °С;
- більш ефективна робота в жорстких умовах експлуатації (при одночасному впливі високих температур, тисків, ударних навантажень, при змінному режимі швидкостей тощо);

➤ економічність за рахунок великого ресурсу працездатності і меншого витрати.

Зазвичай пластичні мастила прийнято класифікувати за природою загустителя, так як саме цим найбільше визначаються їх властивості та можливі області застосування. По застосовуваних загусників мастила ділять на чотири основні групи [19]:

- мильні;
- вуглеводневі;
- неорганічні;
- органічні.

Найбільш поширені мильні мастила, загущені кальцієвими, літієвими, натрієвими, алюмінієвими і іншими милами вищих жирних кислот. На їх частку припадає близько 80 % обсягу випуску всіх мастил [20]. Мильні мастила бувають звичайні і комплексні. Температура застосування звичайних мильних мастил нижче комплексних. Звичайні кальцієві застосовують до 60 – 80 °С, комплексні кальцієві – до 140 – 200 °С, звичайні літієві – до 120 – 130 °С, комплексні літієві – до 150 – 170 °С, звичайні алюмінієві – до 60 – 70 °С, а комплексні алюмінієві – до 160 – 180 °С. На частку вуглеводневих мастил, загущених парафінами або церезину, припадає 10 – 12 %. Вони працездатні до 50 – 60 °С і застосовуються в основному для консервації машин, механізмів і металевих виробів.

У більшості випадків змащення використовують для зменшення тертя і зношування деталей, що труться, тобто в якості антифрикційних мастильних матеріалів. Тільки 14 % мастил витрачається для консервації і 2 % для герметизації.

У розробленій і введеної в дію класифікації, яка приведена в таблиці 1.1, в якості основної класифікаційної ознаки прийнято поділ мастил по областям застосування. [21, 22]

Таблиця 1.1 – Класифікація пластичних мастил по ГОСТ 23258 - 78

| Основне призначення                                      | Підгрупа   | Застосування   |
|--|--|--|
| Зниження зношування і тертя ковзанням сполучених деталей | Загального призначення для звичайних температур  | Вузли тертя з робочою температурою до 70 °С  |
|  | Загального призначення для підвищених температур | Вузли тертя з робочою температурою до 110 °С   |
|  | Багатоцільові                                    | Вузли тертя з робочою температурою від мінус 30 до плюс 130 °С в умовах підвищеної вологості середовища У досить потужних механізмах забезпечують працездатність до -40 °С і нижче |
|  | Термостійкі                                      | Вузли тертя з робочою температурою 150 °С і вище   |
|  | Морозостійкі                                     | Вузли тертя з робочою температурою мінус 40 °С і нижче   |
|  | Протизадирні і протизносні                       | Підшипники кочення при контактних напругах 250 кПа і підшипники ковзання при питомих навантаженнях вище 15 кПа. Містять протизадирні і протизносні присадки або тверді добавки     |
|  | Хімічно стійкі                                   | Вузли тертя, що мають контакт з агресивними середовищами   |
|  | Приладові  | Вузли тертя приладів і точних механізмів   |

Загальний обсяг виробництва і споживання пластичних мастил за останні роки стабілізувався. Стабілізація і можливе зниження обсягів виробництва і споживання мастил досягнуті завдяки збільшенню вироблення нових прогресивних видів мастил, раціональним вибором тари, поліпшенням конструкцій вузлів тертя сучасних машин і механізмів, а також скороченням питомих норм витрачання мастил.

Відповідно до сучасних уявлень існує класифікація пластичних мастил на кшталт згущувача, наведена в таблиці 1.2 [15].

Таблиця 1.2 – Загальна характеристика мастил за типом загущувача

| Тип загущувача                                      | Концентрація загущувача, % | Водостій Кість | Захисні властивості | Температурний діапазон застосування, °С | Характеристики                                       |
|---|----------------------------|----------------|---------------------|---|--|
| Мильні мастила                                      |                            |                |                     |   |  |
| Гідратовані кальцієві мила (солідоли)               | 12 – 18                    | хороша         | хороші              | Від -30 до 80                           | Дешеві великотоннажні мастила загального призначення |
| Комплексні кальцієві мила                           | 7 – 12                     | Середня        | Середні             | Від -50 до 200                          | Багатоцільові, низько- і високотемпературні          |
| Літієві мила стеаринової, олеїнової, і інших кислот | 8 – 20                     | хороша         | Середні             | Від -60 до 120                          | Низько- і високотемпературні, авіаційні              |
| Натрієві і натрієво-кальцієві мила                  | 15 – 30                    | низька         | низькі              | Від -40 до 110                          | Дешеві мастила для підвищених температур             |
| Літієві мила оксистеаринової кислоти                | 6 – 12                     | хороша         | Середні             | Від -50 до 140                          | Багатоцільові, високотемпературні                    |
| Комплексні натрієві мила                            | 15 - 25                    | низька         | низькі              | до 200                                  | Високотемпературні, приладові, багатоцільові         |
| Барієві і комплексні барієві мила                   | 20 - 30                    | хороша         | хороші              | >> 150                                  | Багатоцільові  |
| Алюмінієві і комплексні алюмінієві мила             | 6 - 10                     |                |                     | >> 220                                  | Багатоцільові  |
| Вуглеводневі органічні і неорганічні мастила        |                            |                |                     |   |  |
| Тверді вугілля<br>Водень                            | 15 - 30                    | Дуже добра     | Дуже добре          | Від -30 до 60                           | Консерваційні, оптичні                               |
| Силікагель  | 6 - 10                     | хороша         | Середні і низькі    | Від -50 до 250                          | багатоцільові  |
| Дисульфід молібдену або графіт                      | 50 - 90                    |                | Середні і низькі    | до 300                                  | Для тихохідних підшипників і різьбових з'єднань      |
| Пігменти  | 20 - 50                    |                | Середні             | більше 300                              | Високо- температурних                                |

Забезпечення безпеки при експлуатації авіаційної техніки пред'являє високі вимоги до надійності і довговічності підшипників. Як правило, вузли тертя з невеликою частотою обертання заповнюють мастилом повніше, ніж швидкохідні вузли, так як зайва кількість мастила видаляється з зон з високими швидкостями взаємного переміщення поверхонь тертя внаслідок різкого падіння значень ефективної в'язкості мастила. У найбільш відповідальних випадках кількість мастила у вузлу тертя визначається дослідним шляхом [6].

Підбір та застосування мастил значно залежать від умов експлуатації. Попередній підбір мастила для конкретного вузла тертя можна зробити виходячи із знань наступних факторів:

- властивості і особливості пластичних мастил;
- конструктивні особливості вузлів тертя (тип, розмір, характер руху деталей, що труться, герметизація);
- характеристики матеріалів, з якими мастило знаходиться в контакті;
- умови роботи (температура, швидкість, навантаження, наявність вібрації, радіації).

### 1.5 Зубчасті передачі

Зубчасті передачі застосовують при будь-якому взаємному розташуванні осей: при паралельних осях – циліндричні передачі, при пересічних – конічні, при тих, що схрещуються - гіпоїдні, гвинтові, спіроїдальні передачі.

Кутові швидкості двигуна  $\omega_{дв}$  і робочого органу машини  $\omega_{ро}$ , як правило, нерівні. Звичайно  $\omega_{дв} > \omega_{ро}$ ; при цьому застосовують передачі (редуктори), які понижують швидкість і збільшують момент. При  $\omega_{дв} < \omega_{ро}$  застосовують підвищуючі передачі - мультиплікатори, що використовуються, наприклад, в центрифугах [6].

Зубчасті передачі виконують в основному закритими – розміщеними всередині корпусу. При цьому забезпечується досить надійний захист від

попадання абразивних частинок і сприятливі умови змащення. Відкритими за умовами компонування виконують деякі тихохідні передачі – звичайно великих розмірів. Закриті передачі змащують звичайно рідкими маслами, а відкриті – пластичними мастилами з їх періодичною подачею.

У залежності від загального передаточного відношення передачі виконують з однією, двома і з більшим числом ступенів.

Широко використовують комбіновані передачі, що складаються з циліндричних, конічних, черв'ячних передач, а також інших видів. Поширені передачі конічно-циліндричні, циліндро-черв'ячні, циліндро-планетарні і інш.

Механічні передачі, складені із зубчастих або черв'ячних передач і різних їх поєднань (редуктори і мультиплікатори), виконують у вигляді самостійних агрегатів або вбудовують в машину. Останнє характерне для багатьох транспортних машин, металоріжучих станків приладів і т.д.

При необхідності варіювати швидкість веденого вала при постійній або мало змінній швидкості двигуна  $\omega_{дв}$ , використовують коробки швидкостей, складених із зубчастих передач.

Механічний привід із заданим режимом роботи, що характеризується навантаженням, частотою обертання, числом циклів змін напружень і загальним передаточним відношенням, може бути здійснений з використанням згаданих вище передач різних типів і їх поєднань [1].

З всіх механічних передач найменші габарити мають циліндричні зубчасті передачі. Їх застосовують в широкому діапазоні потужностей, починаючи з нікчемно малих, характерних для приладів, і закінчуючи десятками тисяч, що вимірюються кВт. Максимальні окружні швидкості в них перевищують 150 м/с. Коефіцієнт втрат одноступінчатої циліндричної передачі  $\phi = 0,01-0,02$  [6].

Конічні і гіпоїдні зубчасті передачі в порівнянні з циліндричними мають великі габаритні розміри і масу, складніші у виготовленні і монтажі (через необхідність точної осьової фіксації зубчастих коліс). Коефіцієнт втрат цих передач більше, ніж у циліндричних, приблизно в 1,5 рази. Однак ці передачі

широко використовують, оскільки за умовою компоновання часто виникає необхідність в передачах, осі яких утворюють деякий кут (звичайно рівний  $\pi/2$ ).

Черв'ячні передачі в порівнянні із зубчатими характеризуються меншими інтенсивністю шуму та віброактивністю, більшою плавністю роботи, компактністю, можливістю отримання в одній парі зчеплення передаточного числа до 80 і більше, виконанням з осями, що схрещуються [4]. Але вони мають підвищену вартість, великі (звичайно в 3-4 рази) втрати на тертя, а, отже, і великі експлуатаційні витрати, вимагають застосування бронзи, що дорого коштує.

Для зниження габаритів і металоємності приводу використовують ефект багатопоточності. Число потоків потужності у разі планетарних передач звичайно дорівнює числу сателітів  $n_w$ . Мінімальні габарити і маса в багатопоточних передачах, в тому числі і планетарних, досягається при використанні циліндричних зубчастих коліс.

Маса багатоступінчастої передачі визначається масою тихохідного рівня. Для цього рівня потрібно використати передачу з мінімальними масогабаритними показниками. У конічних передачах конічну пару потрібно використати як швидкохідний рівень.

З метою зниження габаритів, маси і числа деталей приводу, редуктор і електродвигун об'єднують в один компоновочний блок, так званий мотор-редуктор. У мотор-редукторах використовують спеціальні електродвигуни з фланцем і центруючим буртом, призначеним для кріплення електродвигуна до корпусу редуктора і забезпечення їх точного розташування. У мотор-редукторах використовують циліндричні передачі, черв'ячні, планетарні, хвильові і ін. Редуктори, виконані у вигляді самостійних агрегатів і мотор-редукторів, виготовляють спеціалізовані підприємства.



## Висновки до розділу 1

Для зниження тертя і зношування різноманітних вузлів тертя в техніці широко використовують мастильні матеріали.

Мастильні матеріали служать для відводу тепла з зони тертя, для захисту робочих поверхонь деталей від корозії, крім того, вони забезпечують герметизацію вузлів тертя, очищають деталі від забруднюючих відкладень, нагару, продуктів зношування і т. д [6].

Мастильні матеріали призначені для надійного поділу поверхонь, що труться деталей в умовах граничного, гідродинамічного і еластогідродинамічного мащення. Одночасно вони повинні знижувати силу тертя, інтенсивність зношування, а також демпфіювати удари і вібрації.

Мастильні матеріали і системи мащення повинні відповідати таким вимогам:

- гарантовано змащувати вузол тертя із заданими технічними умовами експлуатації інтервалах температури, тиску і швидкості ковзання;
- підтримувати встановлені значення функціональних показників вузла тертя в межах певного терміну експлуатації та зберігання;
- не чинити шкідливої дії на контактуючі з ними матеріали;
- бути екологічно і пожежо-, вибухо-безпечними.

Однак остаточне рішення про вибір мастила можна прийняти тільки за результатами експлуатаційних випробувань мастила в реальних вузлах тертя. Раціональний підбір і застосування пластичних мастил дозволяє збільшити довговічність роботи машин і механізмів, скоротити витрати на їх технічне обслуговування та отримати значний економічний і технічний ефект.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИ АНАЛІЗУ МАСЛА ТА МОНІТОРИНГУ МАСТИЛА

#### **2.1 Моніторинг відповідності мастильних матеріалів стандартам якості**

Програма аналізу та змащення повинна враховувати найрізноманітніші ефекти та включати методи контролю забруднення та встановлені процедури чистоти масла. Тертя, мастильний матеріал, зношення і зношені частинки взаємодіють і не можуть бути розділені [15].

Тертя в агрегатах безпосередньо призводить до втрати потужності. Витрати на мастило складають значну частину витрат на експлуатацію авіаційної техніки на будь-якому авіаційному підприємстві. Знос є однією з основних причин, що визначає кінцевий термін експлуатації машин і призводить до витрат на технічне обслуговування, заміну та зупинку виробництва або експлуатації. Ефективна програма моніторингу та аналізу мастила може підвищити ефективність використання техніки та зменшити експлуатаційні витрати. Значення цієї програми може бути реалізовано лише в тому випадку, якщо вона своєчасно зібрана та проаналізована. Аналіз масел може виявити важливу інформацію про стан машин, масел та забруднення мастильних матеріалів.

Для того, щоб зменшити експлуатаційні витрати будь-якого авіаційного підприємства, основна увага повинна бути зроблена на авіаційній техніці. Необхідно покращити доступність обладнання та зменшити пов'язані з ними експлуатаційні та технічні витрати. Надійність та доступність працюючої техніки значною мірою залежать від захисних властивостей їх мастильного масла. В даний час авіаційна промисловість використовує аналіз мастильного матеріалу для моніторингу повітряних суден, зокрема характеристик мастильного середовища, зношування підшипників та роботи зубчастих передач.

Однією з цілей моніторингу стану мастила є визначення, чи не погіршилось мастило до такої міри, що воно більше не виконує своїх функцій. Однак це не єдина мета [17]. Для моніторингу змащених мастильним матеріалом компонентів та виявлення ступеня їх руйнування та можливих пошкоджень можуть використовуватися різні методи контролю стану мастильного матеріалу. Багато рухомих елементів насправді є змащені мастильним матеріалом, такі як підшипники, зубчасті передачі або поршень/циліндр у поршневих агрегатах. В'язкість та діелектрична проникність можуть бути використані як параметри роботи для виявлення руйнування мастильних матеріалів. Стружка, як результат зношування змащених деталей машин, також можуть бути виявлені та класифіковані для визначення рівня зношування та технічного стану таких компонентів.

### **2.1.1 Вода та домішки**

Аналіз забруднення мастильного матеріалу може виявити погіршення стану або пошкодження масла, забруднення системи водою або твердим частинками та зношення змащеного обладнання [14, 21].

Воду або домішки в мастилі можна чітко побачити при візуальному огляді зразків. Воду можна розглядати або у вигляді емульгування, або як окремий шар води. Загальний рівень чистоти мастила також може бути визначений візуальним тестом зразків. Після фільтрування продуктів зношування слід візуально дослідити перед мікроскопічним дослідженням. Наявність води в мастилі також можна виявити за допомогою фільтрувального паперу, що використовується для аналізу масла. Це видно у вигляді легких круглих ділянок на фільтрувальному папері. Вода також іноді окислює залізний матеріал, і наявність іржі може свідчити про потрапляння води. Вода впливає на в'язкість мастила, значно зменшуючи дію мастила і збільшуючи швидкість зношування.

Часто зубчасті передачі в процесі змащування покриваються мінеральними плівками, такими як діоксид кремнію, нагари та полімери. Вони

утворюють дрібні абразивні частинки зношування, які зазвичай спостерігаються лише під мікроскопом. Слід уникати безконтрольної присутності мінеральних частинок, зокрема полімерів з високою твердістю, в мастильному середовищі. Полімерні частинки в мастильному середовищі діють як абразивні елементи і можуть спричинити надмірне зношування пар тертя, що призводить до зміни розміру і геометрії пар тертя та додатково прискорює процес зношування.

### **2.1.2 Аналіз продуктів зношування**

Аналіз продуктів зношування – це техніка для аналізу стружки або частинок, що містяться в мастилі, що може свідчити про зношення, особливо механічної природи [15, 21]. Цей метод забезпечує мікроскопічне дослідження та аналіз стружки/частинок, що знаходяться в мастилі. Ці частинки складаються з металевих та неметалічних речовин. Металеві частинки зазвичай вказують на стан зношування в наслідок відокремлення металевих часток різного розміру і форми від таких компонентів, як підшипники, шестерні та, як правило, від будь-яких змащених деталей. Неметалічні частинки можуть складатися з бруду, піску або продуктів корозії металів. Аналітична ферографія є одним із методів, що застосовуються при аналізі продуктів зношування; це один з найпотужніших засобів діагностики для моніторингу стану мастильного матеріалу.

При правильному застосуванні, аналіз продуктів зношування надає дуже корисну інформацію про технічний стан пар тертя. Він все ще не використовується у всіх конструкція через його порівняно високу ціну та загальне незрозуміння його вартості [23]. Аналіз продуктів зношування також може допомогти покращити ефективність фільтрації масла та частоту очищення та заміни масла. Ефективність агрегатів може бути покращена завдяки належній фільтрації масла. Чисте мастило завжди є більш ефективним.

Процедура аналізу продуктів зношування в його всеосяжному вигляді тривала і вимагає навичок кваліфікованих аналітиків та експертів. Таким чином, існують значні витрати на комплексну процедуру аналізу продуктів зношування. Однак більшість спеціалістів з техніки сходяться на думці, що вигоди значно перевищують витрати, і вирішують автоматично застосовувати такий метод, коли виникає ненормальний процес зношування.

Найважливішим аспектом аналізу продуктів зношування є його здатність виявляти пошкодження та несправності, що розвиваються, на їх початкових стадіях. Це головна причина, чому такий дорогий і складний метод контролю стану слід використовувати замість або на додаток до більш простих і дешевих засобів контролю стану, таких як онлайн-вібраційний контроль.

Зразок масла містить частинки, утворені в різний час. Це ускладнює аналіз уламків зношування. Основними причинами зношування на парах тертя можуть бути комбінація механічних навантажень, таких як напруження або деформації, робоче середовище та хімічна взаємодія метала із мастильним матеріалом. Процес зношування може відбуватися в наслідок впливу температури, пилу та води. Хімічні перетворення змащених може бути доброякісною або піддаватися хімічному впливу, залежно від стану масла, наявності агресивного забруднення масла та інших деталей пар тертя.

### **2.1.3 Методи аналізу стружки**

Основними аспектами аналізу продуктів зношування є зносостійкість – кількісні показники та якісні факти [23]. Що стосується якісних аспектів продуктів зношування, важливий колір, форма та текстура. Як перший крок, морфологію частинок зношування повинен вивчити візуально кваліфікований фахівець. Після цього слід застосувати сканування комп'ютера та розпізнавання зображень. Досягнення комп'ютерів та розпізнавання зображень роблять можливим автоматичне оцінювання морфології частинок. Він може характеризуватися набором числових ознак, і тоді для ідентифікації частинок зношування можна використовувати відповідні методи класифікації.

**Колір і характеристики частинок.** Колір частинок та продуктів зношування є важливою особливістю аналізу продуктів зношування. Якщо форма та текстура дозволяють диференціювати частинки зношування відповідно до їх передісторії формування, колір може допомогти визначити склад продуктів зношування або інші корисні дані. Склад частинок зношування визначається матеріалами зношених поверхонь, забрудненнями та продуктами хімічних реакцій. Сталь, мідь, свинець, олово, хром і срібло часто можуть утворюватися як частинки зношування в процесі змащування. Оксиди заліза, що містяться в мастилах, зазвичай можна розділити на дві групи: оксиди червоного або чорного кольору. Дослідження кольору дозволяє визначити джерело утворення частинок та ступінь їх тяжкості.

Білі кольорові частинки, часто алюміній або хром, виглядають як яскраво-білі частинки. Вони випадковим чином наносяться на поверхню предметного скла, при цьому більші частинки збираються проти ланцюгів чорних частинок. Ланцюги частинок заліза можуть виконувати роль фільтра, збираючи забруднення, частинок міді та бабітів. Частинки міді зазвичай виглядають як яскраво-жовті частинки, але поверхня може змінитися на зелений після термічної обробки. Частинки бабітів зазвичай складаються з олова та свинцю; частинки бабітів виглядають сірими, іноді з вкрапленнями перед термічною обробкою. Після термічної обробки предметного скла ці частинки все ще виглядають здебільшого сірими, але з плямами синього та червоного кольорів на строкатій поверхні частинки. Крім того, після термічної обробки ці частинки мають тенденцію зменшуватися в розмірах. Ці кольорові частинки зазвичай випадково з'являються на предметному склі, часто не в ланцюгах із чорними частинками. Забруднювачами, як правило, є бруд (діоксид кремнію) та інші тверді частинки, які не змінюються у зовнішньому вигляді після термічної обробки. Вони можуть виглядати у вигляді білих кристалів і легко їх ідентифікувати за джерелом світла, що проходить, тобто вони можуть бути дещо прозорими [15].

Волокна, як правило, від фільтрів або зовнішніх забруднень, являють собою довгі лінії, що дозволяють пропускати світло, яке просвічує. Іноді ці частинки можуть виконувати роль фільтра, збираючи інші частинки.

Збільшена кількість заліза є загальним явищем, оскільки багато деталей пар тертя складаються із заліза (різних марок сталі), тоді як збільшення вмісту менш поширених металів, таких як срібло, часто може вказувати на те, який саме компонент ненормально зношується. Візуальне та мікроскопічне дослідження зразка є настільки ж важливим джерелом інформації, як і регулярне тестування зразків продуктів зношування. Перед фільтруванням зразка, візуальне дослідження зразка може дати корисну інформацію. За розмірами та формою зношеного матеріалу зазвичай розрізняють механізми зношування.

**Розмір і форма частинок.** Розмір – це один з важливих аспектів дослідження продуктів зношування. Важливими є три параметри – середній розмір частинок, максимальний розмір частинок та розподіл за розмірами частинок. Як приблизний показник, стан пошкодження пар тертя може бути пропорційним розміру частинок [17]. Це, безумовно, справедливо для деяких видів техніки, таких як редуктори. В якості ознак для аналізу продуктів зношування представлена наступна класифікація розмірів:

- дрібний: менше 5 мкм
- малий: менше 20 мкм
- середній: 20 – 50 мкм
- великий: більше 50 мкм.

Як дуже грубе свідчення, частинки понад 20 мкм можуть вказувати на потенційно небезпечний стан пошкодження машин. Форма частинок зношування може вказувати на механізм пошкодження, за допомогою якого ця частинка була видалена. Пластинчасті, двовимірні частинки, зазвичай утворюються шляхом ковзання металу до металу. Сферичні або тривимірні частинки утворюються внаслідок втоми підшипників або відмови мастильного матеріалу, що призводить до локального перегріву. Спіралі або подібні –

найчастіше утворюються твердішою поверхнею, яка стирається до більш м'якої. Великі частинки зазвичай утворюються за внаслідок втомного руйнування.

### **Спектрометричний аналіз мастильних матеріалів.**

Спектрометричний аналіз мастильних матеріалів (Spectrometric oil analysis – SOA) виявляє хімічний склад металевих частинок, зважених у зразках мастильного матеріалу [21]. Порівнюючи результати з відомим хімічним складом різних деталей авіаційної техніки, можна виявити ненормальне зношення деталей та розпочати технічне обслуговування техніки, тим самим іноді уникаючи подальших дорогих ремонтів або навіть катастрофічних поломок.

Він застосовувався для багатьох видів техніки, зокрема авіаційних газових турбін, малих та середніх розмірів техніки, що використовують підшипники кочення. Цей метод корисний для врахування втрат частинок зношування при використанні масла або при зливів та заміні масла. Ці фактори мають особливе значення через високу швидкість масел, що використовується в авіаційних газових турбінах двигунах або інших, та малий розмір частинок; це розмір, до якого спектрометри найбільш чутливі.

**Стружка.** Частинок зношеного в парах ковзання містяться в більшості мастильних матеріалів. Зазвичай вони є показником нормального зношування. Вони утворюються у великій кількості, коли одна металева поверхня рухається по іншій. Частинок розглядаються як тонкі асиметричні пластівці металів з сильно полірованими поверхнями. Різання абразивного зношування утворює інші типи частинок, наприклад, спіраль, петлі та нитки. Наявність декількох з цих частинок може бути несуттєвою, але, якщо їх кілька сотень, це може свідчити про серйозне абразивне зношення. Раптове різке збільшення кількості ріжучих частинок вказує на можливість відмови поломки.

**Онлайн моніторинг мастильних матеріалів.** Основною ідеєю деяких методів контролю стану мастила для виявлення несправностей є раннє виявлення хімічного старіння мастила та його добавок під впливом високих



динамічних навантажень у змащених деталях, таких як підшипники або шестерні [5]. Це може використовувати онлайн-методи і може дати надзвичайно важливі переваги. Онлайн-система діагностики вимірює деталі специфічного комплексного опору мастила. Наприклад, розбиті молекули масла, утворюючи кислоти або масляні мила, призводять до збільшення електропровідності, що безпосередньо корелює зі ступенем забруднення мастила. Для мастильних масел з добавками стадія руйнування добавок також може бути отримана внаслідок змін в онлайн-вимірах, таких як діелектрична проникність [4]. Визначення зниження якості мастила через забруднення та квазінеперервна оцінка зношування та хімічного старіння можуть поєднуватися цілісним підходом онлайн-моніторингу в режимі реального часу. Інша концепція – це онлайн-моніторинг продуктів зношування в мастилi. Онлайн-датчики можуть ефективно контролювати належні умови роботи багатьох критично важливих деталей пар тертя.

**Багатометодний моніторинг.** Якщо рівень зношених продуктів зношування високий, це може свідчити про те, що техніка не у доброму стані і може потребувати технічного обслуговування [9]. З іншого боку, вимірювання загальних частинок зношування може ввести в оману, і це може подавати неправильні сигнали про проблему. Вимірювання загальних продуктів зношування є найпоширенішим, але воно, як правило, не відображає зміни стану авіаційної техніки.

Коли використовується лише один метод або один датчик, прогнозування, як правило, не є надійним. Ключовим для належного аналізу мастильного матеріалу є використання різних незалежних методів для досягнення ранніх та надійних результатів моніторингу. Наприклад, коли одночасно використовуються три датчики та методи, такі як онлайн-моніторинг в'язкості, діелектричний датчик та аналіз продуктів зношування на місці, якість моніторингу значно покращується, і можна отримати прогнозовану точності [9].

Подальші вдосконалення можна отримати, поєднуючи різні методи аналізу продуктів зношування та мастильного середовища та зношування з іншими системами контролю стану, такими як онлайн-система контролю вібрації. Якщо всі ці методи вказують на розвиток несправності вузла авіаційної техніки – наприклад, для підшипників – такий прогноз може бути надійним.

Щоб уникнути неправильної характеристики даних, слід використовувати різні методи моніторингу. Їх можна розкласти на фактори, використовуючи різні ключові точки даних, щоб забезпечити правильну ідентифікацію змін за часом. Наприклад, різні методи аналізу мастильного матеріалу, датчики зношування, частки забруднень у мастильному матеріалі та інші, такі як контроль вібрації, слід розглядати разом, і, якщо все вказує на одну і ту ж проблему, такий контроль зазвичай є точним.

## **2.2 Загальна будова лабораторних машин тертя**

Зносостійкість та інших триботехнічних властивостей пар тертя повинні бути задані на відповідному рівні при проектуванні і забезпечені при їх виробництві, експлуатації та ремонті [21]. Об'єктивна оцінка цих властивостей, необхідна для управління довговічністю і безвідмовністю авіаційної техніки, може бути отримана шляхом розрахунку і випробувань. Відповідні методи розрахунку на даний час не доведені до рівня, що забезпечує можливість їх практичного застосування для усього розмаїття складних за своєю природою процесів тертя, зношування і мастильного матеріалу.

Оцінка зносостійкості на основі експлуатаційної інформації може бути отримана, як правило, тільки після декількох років експлуатації. Цінність експлуатаційної інформації для управління якістю істотно нижчий за оцінку за результатами випробувань, і особливо прискорених.

Проведення триботехнічних випробувань дозволяє [21]:

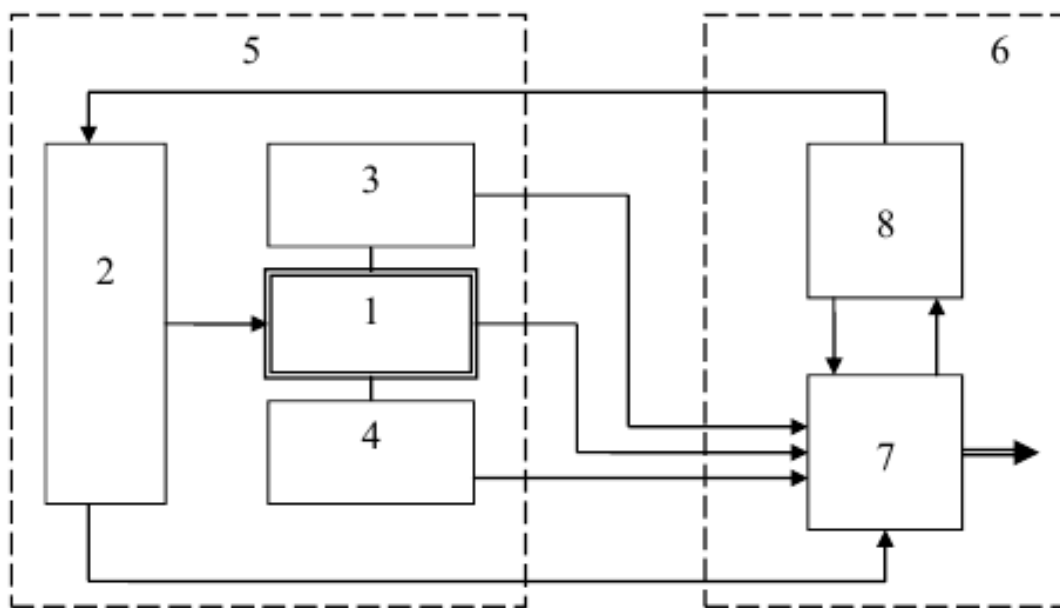
- отримати триботехнічні характеристики конструкційних і мастильних матеріалів, необхідних для обґрунтованого вибору матеріалів при проектуванні вузлів тертя;
- оперативно оцінювати ефективність заходів щодо вдосконалення властивостей матеріалів і конструкцій сполучень тертя;
- здійснювати контроль технологічної стабільності виробництва триботехнічних матеріалів і готової продукції за критеріями тертя і зношування;
- отримувати різні вихідні дані для розрахунків машин на тертя і зносостійкість (коефіцієнти тертя, відносну зносостійкість, несучу здатність і ін.);
- оцінювати довговічність і безвідмовність вузлів тертя і їх окремих елементів.

Найбільш надійною перевіркою правильності вибору матеріалу або способів його обробки стосовно певної деталі авіаційної техніки є випробування деталі на самій машині в умовах експлуатації [15]. Такий спосіб використовується часто, але він пов'язаний з практичними труднощами, такими як тривалість випробувань, необхідність розбирання машини для визначення зношування деталі, труднощі точного визначення величини зношування і ін. В цьому випадку результат випробування на знос визначається по зміні експлуатаційних властивостей машини, за непрямыми ознаками і безпосередньо за зміною розмірів і маси деталей. Найбільшого поширення набуло визначення зношування деталей шляхом обміру їх за допомогою мікрометричних інструментів до і після випробування.

Останнім часом все більше зростає значення лабораторних випробувань, які, на відміну від триботехнічних випробувань в умовах експлуатації і на стендах, не вимагають великих витрат часу і в більшій мірі дозволяють змінювати умови на поверхні тертя і виділяти основні параметри, що впливають на триботехнічні характеристики. В умовах постійно зростаючої кількості триботехнічних матеріалів і технологічних методів обробки

поверхонь тертя виникає необхідність систематизації даних, отриманих засобами трибометр, організації автоматизованих баз даних, інформаційно-пошукових і експертних систем.

Машини звичайні лабораторні тертя [24], незалежно від виду і мети проведення триботехнічних випробувань, складаються з декількох конструктивних блоків, кожен з яких окремо може представляти складні вузли або агрегати. Структурна схема машини представлена на рисунку 2.1.



1 – випробувальний блок; 2 – привід машини; 3 – вузол навантаження; 4 – камера для спеціальних умов змащення; 5 – машину тертя; 6 – пульт керування; 7 – блок вимірювання; 8 – блок управління

Рисунок 2.1 – Структурна схема машини тертя

Випробувальний блок 1 є головним вузлом машини і призначений для формування випробовуваної пари тертя. Він повинен забезпечувати точну і надійну установку зразків, рівномірність розподілу навантаження і інші параметри, що сприяють точній реалізації розрахункової схеми випробувань.

Привід машини 2 забезпечує рух зразку, що входить у рухомий вузол тертя, заданого схемою випробування, і включає в себе електродвигун і передавальний механізм (муфти, вали і осі, опори, зубчасті передачі, ремінні передачі і інше).

Призначенням вузла навантаження 3 є створення постійної або змінного навантаження на зразки.

Камера 4 служить для створення спеціальних умов при проведенні випробувань (вакуум, підвищені або низькі температури, подача в зону тертя мастильного матеріалу, тертя в агресивних середовищах, тертя в абразивному середовищі і інше).

Сукупність описаних вузлів, змонтованих на рамі, представляє власне машину тертя 5, пов'язану з пультом 6, який містить блок вимірювання 7 і блок управління 8.

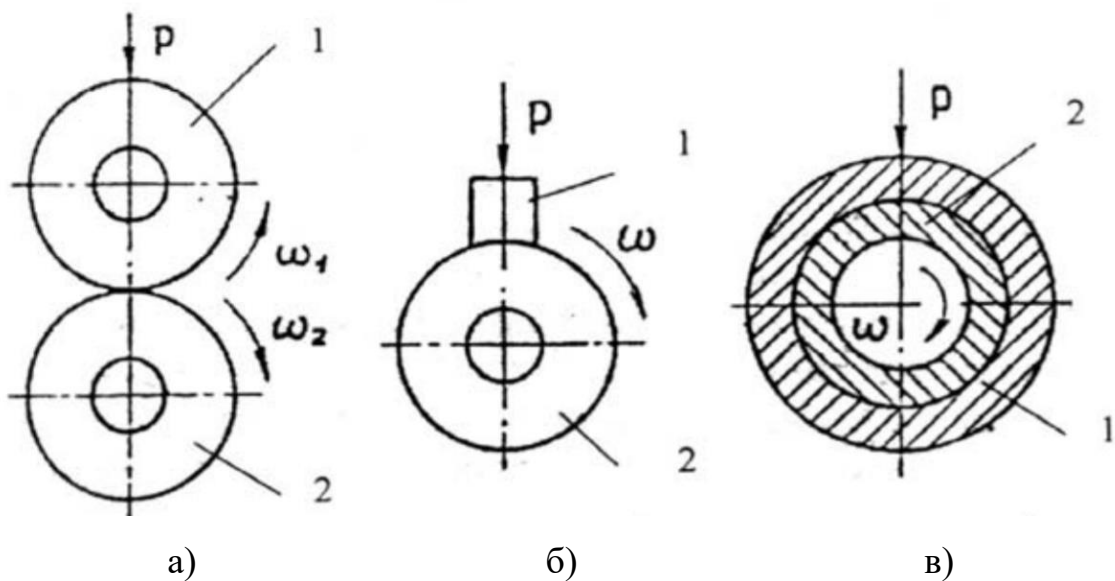
За допомогою машин тертя отримують необхідну інформацію про процеси тертя: момент або силу тертя, температуру в зоні тертя, знос і інші параметри.

**Машина тертя СМЦ-2.** Машина тертя СМЦ-2 (рис 2.2) призначена для випробування матеріалів на зношення і визначення їх триботехнічних характеристик в умовах тертя ковзання і тертя кочення при нормальних температурах для модельних трибосистем, схема яких представлена на рис. 2.3, диск-диск (а), диск-колодка (б), втулка-вал (в) [25].



Рисунок 2.2 – Машина тертя СМЦ-2

Пару тертя диск-диск використовують для моделювання роботи трибоспрязень з лінійним контактом елементів, таких як зубчасте зачеплення. При взаємному обкатуванні взаємодіючих дисків з деяким прокозуванням в зоні їх контакту виникають умови навантаження матеріалу, відповідні навантаженню матеріалу зубчастого колеса в будь-якій точці лінії контакту (зачеплення).



а) – диск-диск; б) – диск-колодка; в) – втулка-вал 1 – зразок; 2 – контр-зразок

Рисунок 2.3 – Модельні трибосистеми

Пара тертя диск-колодка використовується для моделювання роботи трибоспрязень сухого і граничного тертя (гальмівні колодки і ін.). При використанні модельної трибосистеми втулка-вал можливо дослідження гідродинамічної опори тертя.

Машина тертя укомплектована пристосуваннями для тарування його силових систем, а також для проведення випробувань елементів модельних трибосистем диск - диск і диск - колодка в рідких середовищах передбачено використання спеціальних камер [21].

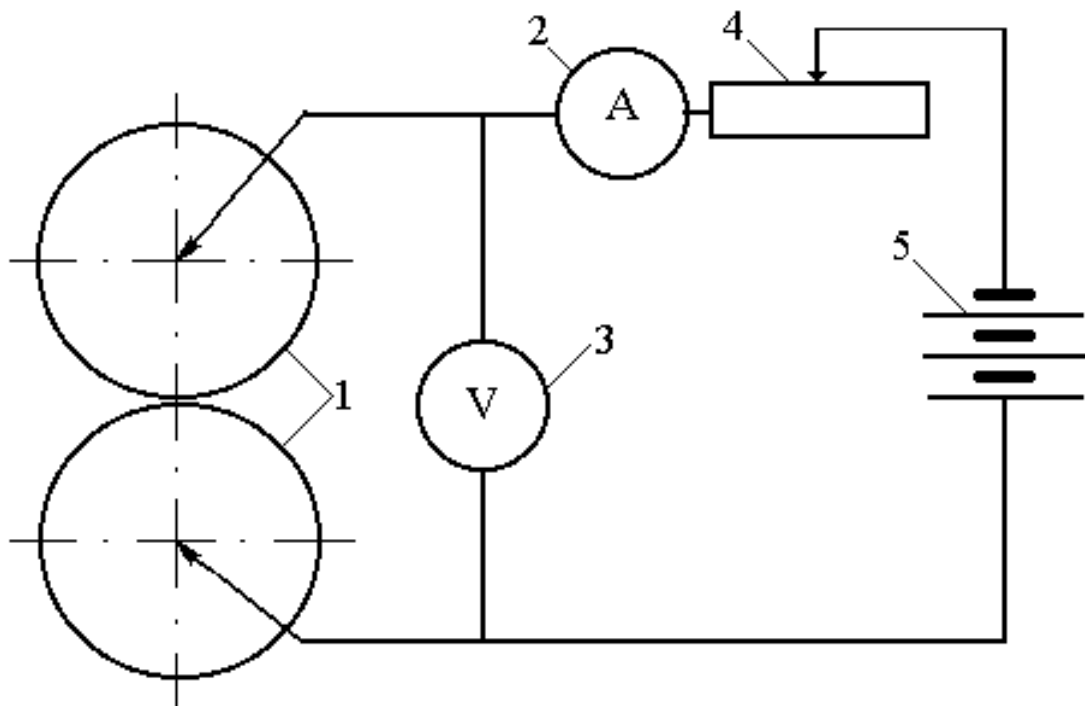
### **Технічні характеристики машини тертим СМЦ-2.**

|   |              |
|---|--------------|
| Потужність електродвигуна приводу, кВт      | 2,2          |
| Частота обертання нижнього зразка, $c^{-1}$ | 5; 8,3; 16,7 |

|   |                |
|---|----------------|
| Проковзування зразків, %                  | 0,10,15,20,100 |
| Максимальне навантаження на пару тертя, Н | 2000           |

### 2.3 Визначення товщини шару мастильного матеріалу

Для визначення товщини змащувального шару в контактї поверхонь тертя у роботі використовувався метод вимірювання падіння напруги в режимі нормального тліючого розряду (ВПН в режимі НТР). На рис. 2.4 представлена електрична схема виміру товщини змащувального шару в контактї тертя методом ВПН у режимі НТР.



1 – досліджувані зразки; 2 – амперметр; 3 – вольтметр;

4 – регулювальний реостат; 5 – джерело постійного струму

Рисунок 2.4 – Принципова електрична схема виміру товщини змащувального шару в контактї тертя по методу ВПН у режимі НТР

Характеристика залежності падіння електричної напруги на змащувальній плівці від струму, пропущеного через неї, нелінійна на початку координат, але після досягнення напруги стійкого розряду вона стає лінійною. Це відрізняє електричну провідність змащувальної плівки від електричної провідності металів, для яких залежність між падінням напруги на них і силою

струму лінійна при усіх величинах струму. Лінійна залежність падіння напруги від струму в елементах електричного ланцюга відповідає сталому НТР у масляному шарі, коли при зміні сили струму змінюється лише щільність струму, а падіння напруги на масляному шарів залишається постійним.

Дослідженнями [26] було встановлено, що параметри розряду і характер вольт–амперних характеристик залишаються постійними при гідродинамічному змащувальному шарі, при шарі адсорбційного походження і при існуванні твердоподібної органічної плівки.

Для того, щоб перерахувати падіння напруги на змащувальному шарі в його товщину, будується тарувальний графік залежності падіння напруги на змащувальному шарі в режимі НТР від його товщини [26].

Даний метод виміру товщини змащувального шару був дороблений і застосований не тільки на роликовій аналогії, але і на підшипниках кочення.

Усі виміри товщини змащувального шару проводилися при силі струму 1,5 – 2А, що не викликало помітного нагрівання змащувального шару.

У ході тривалих експериментів можливе окислювання контактів струмознімачів, чи потрапляння на них масла, що позначається на точності вимірів. Тому перед кожним виміром товщини змащувального шару виконується зачищення контактів, стан їх необхідно постійно контролювати візуально.

Методика виміру товщини змащувального шару методом ВПН у режимі НТР полягає в наступному:

1. Заміряти падіння напруги на внутрішніх ділянках ланцюга, що складаються з роликів, провідників і струмознімачів при силі струму 1,5–2А при сухих роликах (у відсутності змащувального шару).

2. Встановити режим нормального тліючого розряду в змащувальному шарі, що розділяє поверхні тертя і замірити загальне падіння напруги:

$$\Delta U_{\text{заг}} = \Delta U_c + \Delta U_{\text{вн}}, \quad (2.1)$$

де  $\Delta U_{\text{заг}}$  – сумарне падіння напруги;

$\Delta U_c$  – падіння напруги на змащувальному шарі;



$\Delta U_{\text{вн}}$  – падіння напруги на внутрішніх ділянках ланцюга.

3. За відомим значенням загального падіння напруги і падіння напруги на внутрішніх ділянках ланцюга, визначається падіння напруги на змащувальному шарі.

4. За допомогою тарувальних графіків за відомим значенням падіння напруги визначається товщина змащувального шару  $h$  у мкм.

Дослідження проводилися на установці СМЦ-2 з онлайн-реєстрацією показників трибоконтакта. Момент тертя, частота обертання роликів, температура мастила, падіння напруги в змащувальному шарі контактуючих елементів реєструються і обробляються на ПК в режимі реального часу з графічним представленням їх змін.

Досліджено умови тертя з циклічністю експериментів в режимі старт (4 с) – стаціонарний режим (7 с) – гальмування (3 с) – зупинка (3 с). Відтворено режим кочення з проковзуванням 20%.

Контактне навантаження Герца становила 250, 400, 550 і 700 МПа. Перші 300 циклів пар тертя проводилися шляхом занурення нижнього ролика в масляну ванну і періодичного змащування ролика маслом. Це сприяло достатній подачі мастила в зону контакту і перешкоджало переходу трибосистеми в граничний режим змащення. Подальші дослідження проводилися в умовах, коли подача мастила припинялася. З 300 циклів роботи ванночку знімали, масло з контактних поверхонь прибирали (протирали примусово). Таким чином, триботехнічні властивості мастила в створених експериментальних умовах масляного голодування обумовлені змащуючими, антифрикційними і протизносними властивостями граничних плівок, що утворюються при терті по активованим металевих поверхнях.

Зразки для випробувань виготовлені зі сталі 30ХГСА (HRC 35). Защування поверхонь здійснювалася літєвими мастилами на синтетичній основі Aero Shell Grease 33 і Ера ВНІІП - 286М.

## Висновки до розділу 2

Попереджувальне технічне обслуговування та належний моніторинг є найважливішими факторами для збільшення терміну служби техніки та уникнення зупинок або пошкоджень авіаційної техніки, що в свою чергу збільшує термін служби та авіаційного підприємства. Продуктивність машини та її надійність безпосередньо залежать від працездатності рухомих компонентів. Продуктивність техніки також залежить від її мастила. Аналіз масел може виявити важливу інформацію про стан агрегатів, масел та забруднення масел. Значної економії можна досягти завдяки ефективній програмі аналізу нафти.

З аналізу існуючих методів дослідження і виміру товщини змащувального шару, найбільшого поширення набув метод вимірювання падіння електричної напруги в режимі нормального тліючого розряду. Він досить простий і дозволяє з достатньою точністю вимірювати товщину змащувального шару за умов нестационарного тертя поверхонь з локальним контактом. Дані дослідження дозволяють отримувати інформацію про характеристики змащувального шару, який в свою чергу може складатися з різних частин різного походження, спостерігати за їх формуванням і переформуванням, робити висновки про період настання критичних режимів

## РОЗДІЛ 3

### ТРИБОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАСТИЛ ПРИ ВИСОКИХ ПИТОМИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

#### 3.1 Особливості зношування в лінійному контакті при високих питомих навантаженнях

Руйнування граничних мастильних шарів під час тертя відбувається при критичному контактному тиску. Цей процес по-різному проявляється в зоні контакту тертя і часто призводить до різкого збільшення коефіцієнта тертя та збільшення інтенсивності зношування. Величина критичного тиску однаково залежить від складу мастила і від фізико-механічних та фізико-хімічних властивостей металу, що активується в процесі тертям. Контролюючи процеси поверхневої активності контактних поверхонь під час їх активації під час тертя, використання мастила з поверхнево-активними речовинами, антизадирними та протизношувальними присадками, антифрикційними добавками може забезпечити значне підвищення критичного тиску та початкової температури руйнування граничного шару та вторинних струкур, допоможуть продовжити термін служби пар тертя.

У роботах [27, 28] визначено, що існує оптимальний діапазон прояву ефективних мастильних властивостей під час утворення плівки з мастилом на контактних поверхнях, що залежить від зовнішніх факторів та міцності зчеплення плівки з поверхнею. Дослідження структурування граничних плівок мастила показало, що на швидкість окисних реакцій та процеси полімеризації суттєво впливає поверхня елементів трибоконтaktu, яка є невід'ємною частиною системи реагування [3, 4].

Властивості граничних шарів мастильних матеріалів суттєво відрізняються від їх об'ємних характеристик завдяки надмолекулярній самоорганізації граничних плівок. Такі шари відіграють значну роль у процесах розсіювання енергії в вузлах тертя, що працюють в діапазоні

змішаного та граничного режимів тертя. Тип поверхні та склад матеріалу пар тертя визначають характер та інтенсивність взаємодії на межі розділу тверде тіло - рідина. Однак процесу структурування мастила сприяє також введення в нього добавок, що підвищують протизносні властивості мастил, що зумовлено утворенням полімолекулярних мезоморфних епітропних рідкокристалічних структур [5, 6].

На характер утворення граничних плівок мастила також суттєво впливають умови експлуатації триботехнічних елементів і, зокрема, кінематичний фактор. У [7] встановлені закономірності утворення на контактних поверхнях граничних шарів фізичної природи, що характеризуються ідентичністю реологічних властивостей з об'ємною рідкою фазою мастила в умовах кочення з проковзуванням 3 %. Однак із збільшенням ступеня проковзування з 10 до 40 % створюються передумови для утворення хемосорбційних плівок на поверхнях тертя, які упорядковані твердими кристалічними ретикулярними структурами шаруватого типу.

Удосконалення контрольно-вимірювальних приладів та бурхливий розвиток комп'ютерних технологій вперше дає реальну можливість вивчити трибологічні процеси утворення дисипативних структур під час тертя на атомному та молекулярному рівнях. Наприклад, комплекс SFA дозволяє вимірювати товщину плівки до 0,1 нм і реєструвати надзвичайно малі поверхневі сили [8, 9]. Значні переваги цього комплексу дають можливість використовувати його як основний інструмент при вивченні реологічних, мастильних та антифрикційних властивостей трибоконтракту в наномасштабі [10].

Таким чином, стає необхідною розробка принципово нових методів оцінки кінетики змін триботехнічних характеристик мастильних матеріалів та вторинних структур у процесі контактної взаємодії. Впровадження автоматизованих методів та засобів контролю триботехнічних параметрів та випробування контактних поверхонь в режимі реального часу в режимах, максимально наближених до робочих, є невід'ємною частиною завдання

підвищення точності та надійності при використанні отриманих експериментальних результатів в реальних парах тертя.

### 3.2 Дослідження мастильної здатності мастильних матеріалів при питомих навантаженнях в трибоконтакті

У даній роботі представлені і проаналізовані результати досліджень тільки після 300 циклу напрацювання, при переході трибосистеми в режим масляного голодування. З підвищенням  $\sigma_{\max}$  з 250 до 700 МПа істотно знижується несуча здатність мастильного граничного шару, товщина якого зменшується в 15 і 3,5 разів при змащуванні поверхонь мастилами ВНІНП - 286М і Aero Shell Grease 33 відповідно (рис. 3.1).

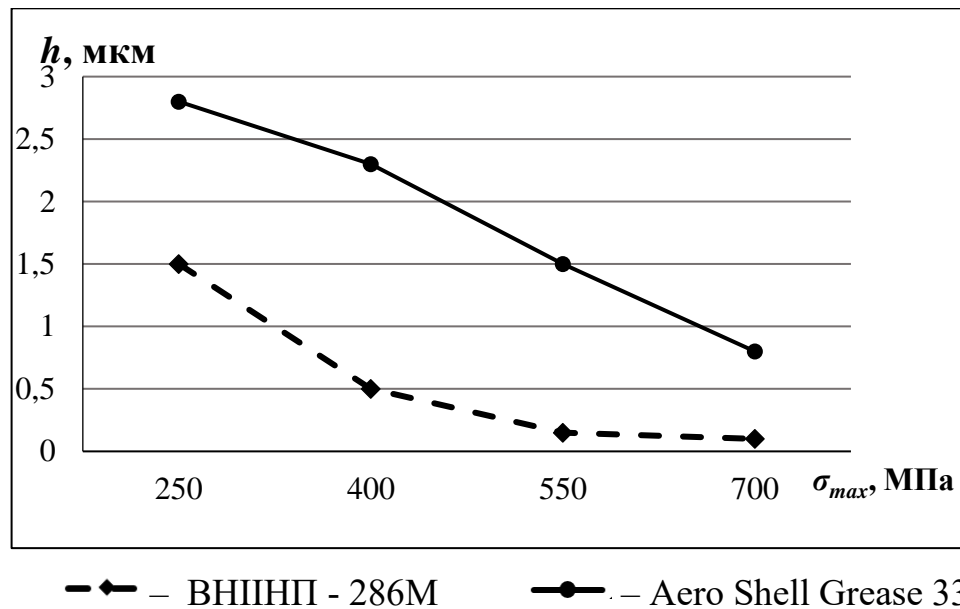


Рисунок 3.1 – Вплив контактної навантаження на товщину граничних мастильних шарів

Мастило Aero Shell Grease 33 характеризується більш ефективними змащувальними властивостями, в порівнянні з досліджуваним мастилом Ера ВНІНП-286М. Особливо це проявляється при навантаженнях, що перевищують 400 МПа. Якщо при  $\sigma_{\max}$  250 МПа товщина граничних плівок, сформованих компонентами синтетичного мастила Aero Shell Grease 33, в 1,9 разів перевищує товщину граничних плівок мастила ВНІНП-286М, то при  $\sigma_{\max}$  550 – 700 МПа цей показник збільшується в 8 – 10 разів.

Зниження товщини мастильного шару обумовлює, насамперед, кореляційне зменшення антифрикційних властивостей досліджуваних мастильних матеріалів. Однак, зміни коефіцієнта тертя з підвищенням навантаження не настільки істотні. У досліджуваному діапазоні навантажень коефіцієнт тертя знижується в 3,4 і 2,5 разів для мастил ВНІНП-286М і Aero Shell Grease 33 відповідно.

Перш за все, це забезпечується за рахунок локального руйнування структурованих граничних мастильних шарів, зменшення ефективної в'язкості мастила і проявом гідродинамічних ефектів при механічному і термічному плавленні плівки в фрикційному контакті [29].

Механічна деструкція граничних шарів відбувається внаслідок різкого підвищення градієнта швидкості зсуву мастильної плівки ( $\gamma$ ), який, згідно з [7], представляє відношення швидкості ковзання в контакті до товщини мастильної плівки. Якщо при змащуванні пар тертя ВНІНП-286М з підвищенням навантаження з 250 до 700 МПа градієнт швидкості зсуву мастильних шарів збільшується в 20 разів, то при використанні Aero Shell Grease 33 даний параметр збільшується в 3,5 разів (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Зміна градієнта швидкості зсуву мастильних шарів і кількість циклів напрацювання пар тертя до прояву ознак схоплювання

| Мастильний матеріал  | Контактне навантаження, МПа                            |                  |                  |                  |
|----------------------|--|------------------|------------------|------------------|
|                      | 250  | 400              | 550              | 700              |
|                      | Градієнт швидкості зсуву мастильної плівки, $c^{-1}$   |                  |                  |                  |
| Ера ВНІНП-286М       | $1,4 \cdot 10^5$                                       | $4,2 \cdot 10^5$ | $1,4 \cdot 10^6$ | $2,9 \cdot 10^6$ |
| Aero Shell Grease 33 | $7,5 \cdot 10^5$                                       | $9,1 \cdot 10^4$ | $1,4 \cdot 10^5$ | $2,6 \cdot 10^5$ |
|                      | Кількість циклів напрацювання пар тертя до схоплювання |                  |                  |                  |
| Ера ВНІНП-286М       | 300  | 80               | 50               | 20               |
| Aero Shell Grease 33 | 900  | 150              | 130              | 100              |

Отже, мастило Aero Shell Grease 33 характеризується більш ефективними змащувальними властивостями, а її синтетичні компоненти за

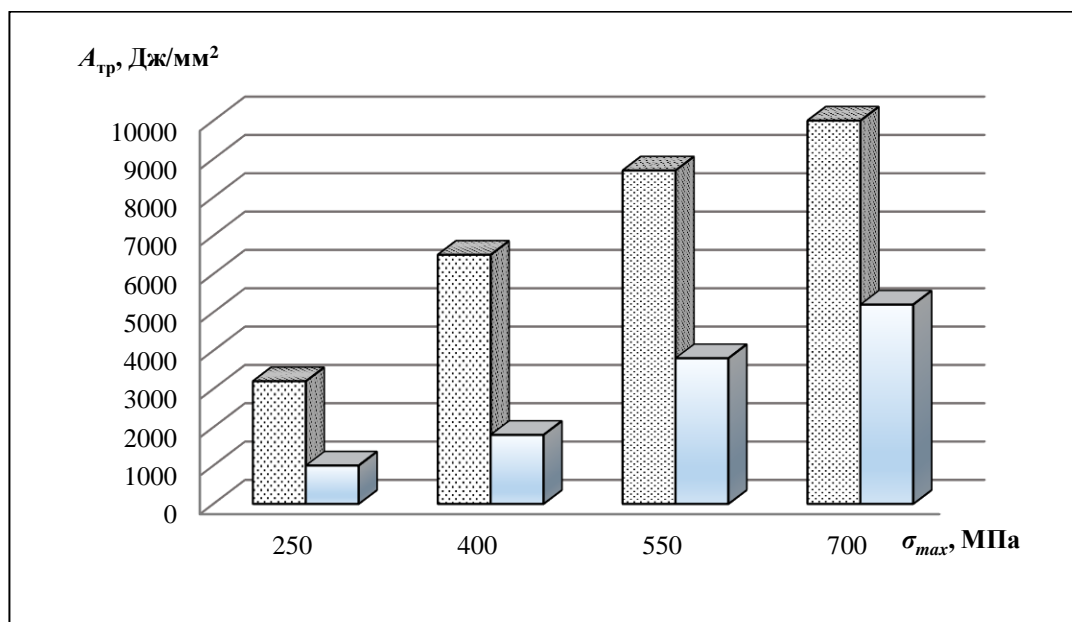
реологічними характеристикам є більш стабільними до збільшення градієнта швидкості зсуву, в порівнянні з компонентами мастила ВНІНП-286М. Стійкість мастильної плівки до механічної деструкції внаслідок збільшення градієнта швидкості зсуву є визначальним фактором, що забезпечує нормальну працездатність пар тертя в критичних умовах. У таблиці 3.1 зазначена кількість циклів напрацювання трибоелементів в умовах масляного голодування до прояву перших ознак схоплювання, які проявлялися візуально на доріжці тертя, при цьому спостерігалось підвищення шуму і зупинка машини тертя. Аналіз отриманих результатів показує, що зі збільшенням навантаження різко скорочується період напрацювання трибосистеми - в досліджуваному діапазоні контактних навантажень працездатність пар тертя знижується в 15 і 9 разів відповідно при змащуванні контактних поверхонь ВНІНП-286М і Aero Shell Grease 33.

Руйнування мастильної плівки при терті є одним з провідних чинників, що обумовлюють інтенсифікацію енергетичних процесів, що відбуваються в зоні контакту. Перш за все, це проявляється в порушенні структурної пристосованості контактних поверхонь і мастильного матеріалу в критичних умовах тертя, руйнуванням раніше утворених метастабільних структур. Перехід трибосистеми в термодинамічно нестійкий стан характеризується, перш за все, різкою активацією металу внаслідок концентрації напружень на локальних ділянках фрикційного контакту в місцях руйнування екрануючої плівки мастильного матеріалу, що проявляється в підвищенні питомої роботи тертя.

При  $\sigma_{\max}$  250 МПа, згідно розрахункової залежності оцінки режиму мащення  $\lambda = h / \sqrt{R_{a1}^2 + R_{a2}^2}$ , в контакті реалізується еластогідродинамічний ( $\lambda = 3,13$ ) і гідродинамічний ( $\lambda = 5,83$ ) режими мастильної дії при використанні мастил ВНІНП-286М і Aero Shell Grease 33 відповідно. Отже, контактні поверхні розділені достатнім шаром мастильного матеріалу, що забезпечує локалізацію дотичних напружень зсуву в тонкому граничному шарі мастила. Це, насамперед, сприяє зменшенню як зовнішніх силових впливів, так і

поверхневої деформації тонких шарів металу. Показники питомої роботи тертя ( $A_{тр}$ ) становлять, в середньому, 3200 і 1000 Дж/мм<sup>2</sup> при змащуванні пар тертя ВНІНП-286М і Aero Shell Grease 33 відповідно.

З підвищенням  $\sigma_{max}$  до 700 МПа, внаслідок різкого зменшення товщини мастильної плівки, умови роботи трибосистеми відповідають напівсухому ( $\lambda = 0,21$ ) і граничному ( $\lambda = 1,67$ ) режимам мащення при дослідженні ВНІНП - 286М і Aero Shell Grease 33 відповідно. За таких умов тертя інтенсифікуються механо-хімічні процеси в тонких поверхневих шарах металу, підвищується ступінь їх деформаційних змін. Зазначені процеси характеризуються нерівноважними кінетичними переходами трибосистеми, порушенням самоорганізації дисипативних структур, що призводить до збільшення питомої роботи тертя. При змащуванні сталі мастилом ВНІНП-286М  $A_{тр}$  підвищується в 3 рази при збільшенні  $\sigma_{max}$  з 250 до 700 МПа і становить 10000 Дж/мм<sup>2</sup> (рис. 3.2). Застосування синтетичного мастила Aero Shell Grease 33 сприяє зниженню питомої роботи тертя, в середньому, в 2 - 3 рази, в порівнянні з ВНІНП-286М.



▨ – ВНІНП - 286М; ■ – Aero Shell Grease 33

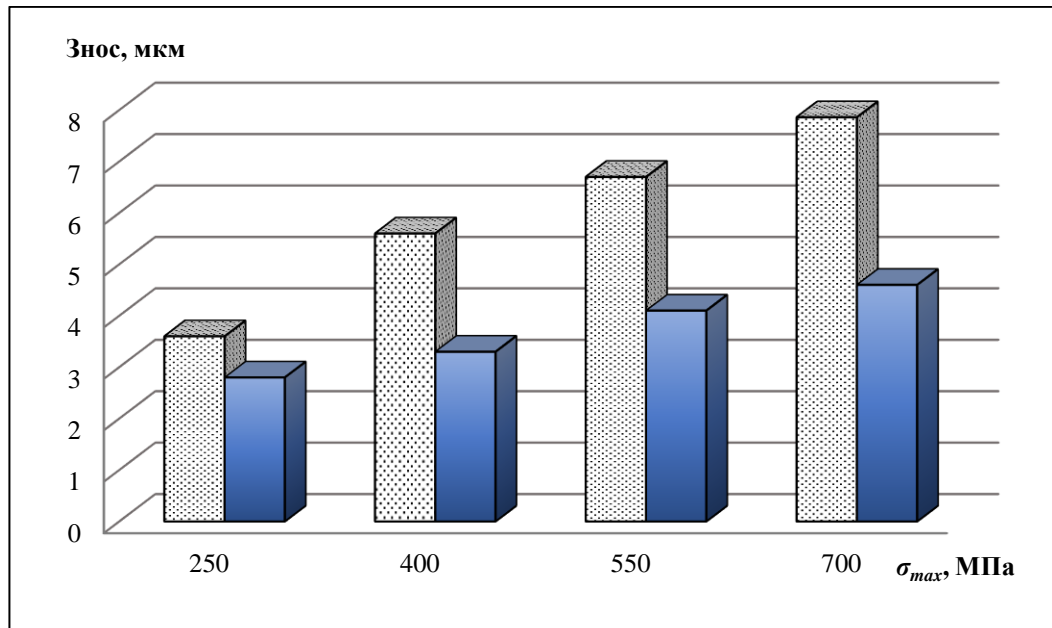
Рисунок 3.2 – Зміна питомої роботи тертя в контактї в умовах підвищення контактного навантаження



Саме стабільність дисипативних структур при їх самоорганізації в динамічних умовах навантаження є визначальним фактором працездатності трибосистеми. Товщина мастильної плівки на рівні 1,5 – 3 мкм обумовлює реалізацію еласто- і гідродинамічних режимів мащення, прояв ефективних антифрикційних властивостей ( $f$  в межах 0,01 - 0,015) та низьку питому роботу тертя ( $A_{тр}$  становить 1000 - 3200 Дж/мм<sup>2</sup>) при  $\sigma_{max}$  250 МПа. Зазначені процеси сприяють напрацюванню трибосистеми в умовах масляного голодування в межах 300 – 900 циклів в залежності від типу мастильного матеріалу (табл. 3.1). З підвищенням  $\sigma_{max}$  до 700 МПа спостерігається зниження товщини мастильної плівки до 0,1 – 0,8 мкм, збільшення коефіцієнта тертя до 0,03 – 0,05, підвищення питомої роботи тертя до рівня 5000 - 10000 Дж/мм<sup>2</sup>, що призводить до різкого скорочення циклів напрацювання трибосистеми - перші ознаки схоплювання, в залежності від типу мастила, проявляються на 20 - 100 циклах напрацювання.

Таким чином, тільки лише за рахунок раціонального вибору мастильного матеріалу (заміна мастила ВНІНП-286М на Aero Shell Grease 33) вдалося збільшити кількість циклів напрацювання трибосистеми до прояву перших ознак схоплювання в 3 і 5 разів відповідно при  $\sigma_{max}$  250 і 700 МПа [25].

Крім розглянутих вище змащувальних і антифрикційних властивостей мастила Aero Shell Grease 33, даний мастильний матеріал характеризується більш ефективними протизношувальними властивостями, в порівнянні з мастилом ВНІНП-286М аналогічного експлуатаційного призначення. Експериментально встановлено зниження загального лінійного зносу випереджаючої і відстаючої поверхонь в 1,3 і 1,7 разів при  $\sigma_{max}$  250 і 700 МПа відповідно при змащуванні пар тертя мастилом Aero Shell Grease 33, в порівнянні з ВНІНП-286М (рис. 3.3).



▨ – ВНІІП - 286М; ■ – Aero Shell Grease 33

Рисунок 3.3 – Загальне лінійне зношення випереджаючої і відстаючої поверхонь в нестационарних умовах тертя

Аналіз експериментальних даних триботехнічних характеристик досліджуваних мастил показав найбільший вплив на знос таких параметрів, як контактне навантаження ( $\sigma_{max}$ ), питома робота тертя ( $A_{тр}$ ) і товщина мастильного шару ( $h$ ). На підставі цього отримана емпірична залежність лінійного зносу пар тертя ( $L_{лін}$ ) від зазначених параметрів:

$$L_{лін} = \frac{\sigma_{max}^{0,1} \cdot A_{тр}^{0,1}}{h^{0,2}} \quad (3.1)$$

Отримані розрахункові значення  $L_{лін}$  за формулою (1) характеризуються високим рівнем збіжності з вимірюваними показниками лінійного зносу з використанням методу штучних баз (прилад ПМТ-3) – відхилення експериментальних значень зносу пар тертя і одержаних за формулою (1) становлять до 5 %, що свідчить про якісну апроксимацію запропонованої залежності оцінки лінійного зносу контактних поверхонь в критичних умовах роботи.

### **3.3 Вплив пусків і зупинок на формування змащувальних шарів пластичними і напіврідкими мастилами**

В даний час питанню заміни у вузлах тертя масел на пластичні і напіврідкі мастила приділяється велика увага. Це пов'язано насамперед з тим, що термін служби мастил значно більше, ніж у масел. Використання пластичних мастил дозволяє знизити експлуатаційні витрати і простої на техобслуговування, зменшити імовірність корозії, майже виключити втрати, підвищити пожежонебезпеку і знизити імовірність потрапляння в зону тертя абразивних часток і сторонніх домішок. З питань іспиту, оцінки і вибору мастил мається велика література, накопичений значний досвід. Щодо пластичних мастил відомості значно більш обмежені. Зовсім недостатньо вивчені питання пускових властивостей пластичних мастил, що дуже впливають на довговічність і надійність пар тертя.

Усе вищесказане говорить про необхідність усебічних досліджень змащувальної дії пластичних мастил у режимах, що імітують різні експлуатаційні умови.

Специфічні фізико–хімічні властивості і реологічний стан пластичних мастил зумовлює деякі особливості їхньої змащувальної дії в період пуску–зупинки в порівнянні з маслами.

Пластичні мастила характеризуються особливими умовами циркуляції в зоні тертя [30, 31]. У момент пуску пластичне мастило майже цілком видаляється з доріжки тертя. Цей період роботи небезпечний по заїданню, тому що поверхні тертя періодично постачають мастило в зону тертя. В міру збільшення числа циклів пуск–зупинка відбувається нагрівання поверхонь тертя, що приводить до значного зниження структурної в'язкості мастила поблизу зони контакту, забезпечуючи цим самим надійне підживлення зони тертя. Поблизу доріжки тертя нижнього зразка утвориться локальний розріджений об'єм, що бере участь у змащенні. Основний же об'єм в інтенсивну циркуляцію не вступає. Після тривалої роботи, внаслідок

зменшення границі міцності і структурної в'язкості, забезпечується надійне захоплення пластичних мастил робочими поверхнями в період пуску.

Типова картина зміни товщини змащувального шару при пуску для пластичних мастил показана на рис. 3.4. Як видно з рис. 3.5, пластичне мастило вже через невеликий час іспитів при зрушенні майже миттєво (за 0,01 с) утворить змащувальний шар, товщина якого складає 85–90 % від сталої в процесі пуску товщини змащувального шару  $\Delta U_{\max}$ . Таке явище не було виявлено на маслах. Цей ефект варто віднести до істотної переваги пластичних мастил і, зокрема, мастил ВНІІП-286М і Aero Shell Grease 33.

Пояснюється це виникненням потужного незруйнованого на стоянці твердоподібного змащувального шару – самогенеруючих органічних плівок (СОП).

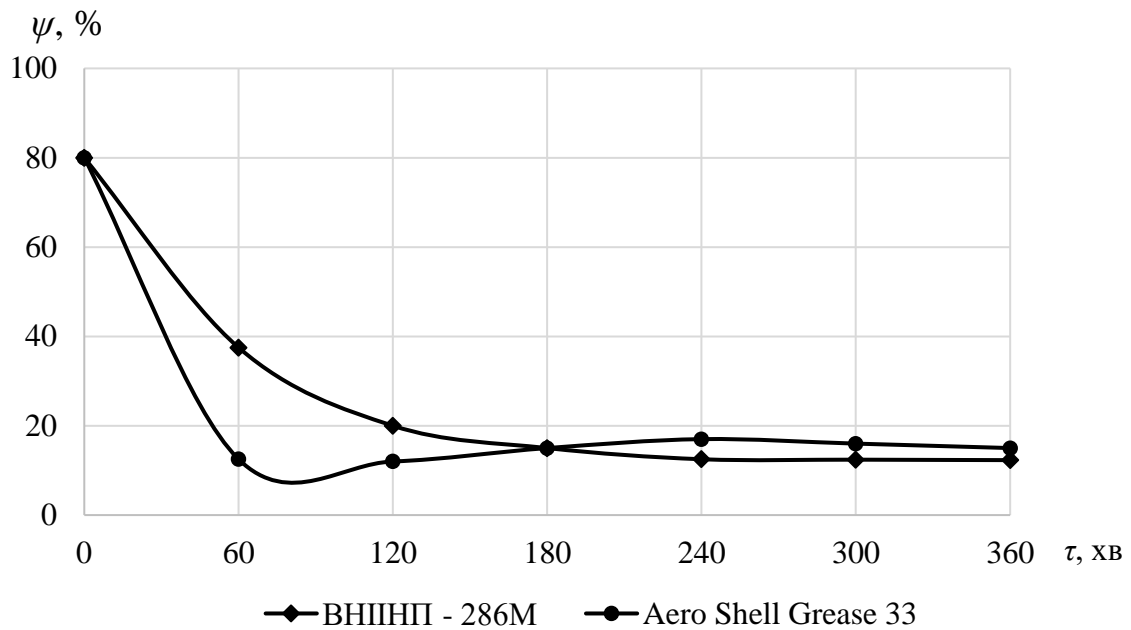


Рисунок 3.4 – Зміна відносної тривалості наростання товщини змащувального шару  $\psi$  у процесі роботи

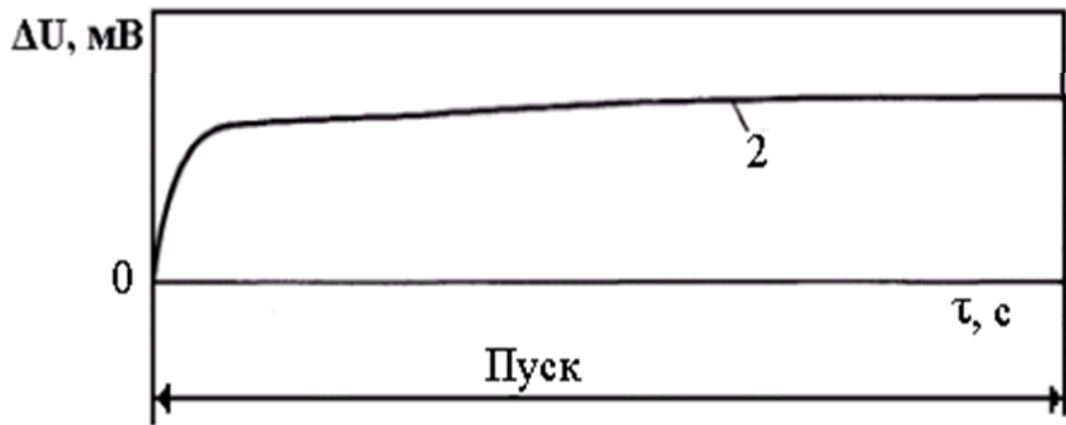


Рисунок 3.5 – Зміна максимального падіння електричної напруги  $\Delta U$  при пуску для пластичних мастил

Значення величин лінійного зношування цілком корелюють з вищевикладеним. На рис. 3.6 в представлена зміна величини лінійного зношування  $I$  за час експерименту  $\tau$  на всіх етапах: найбільше зношування викликає режим при найбільше часто повторюваних пусках.

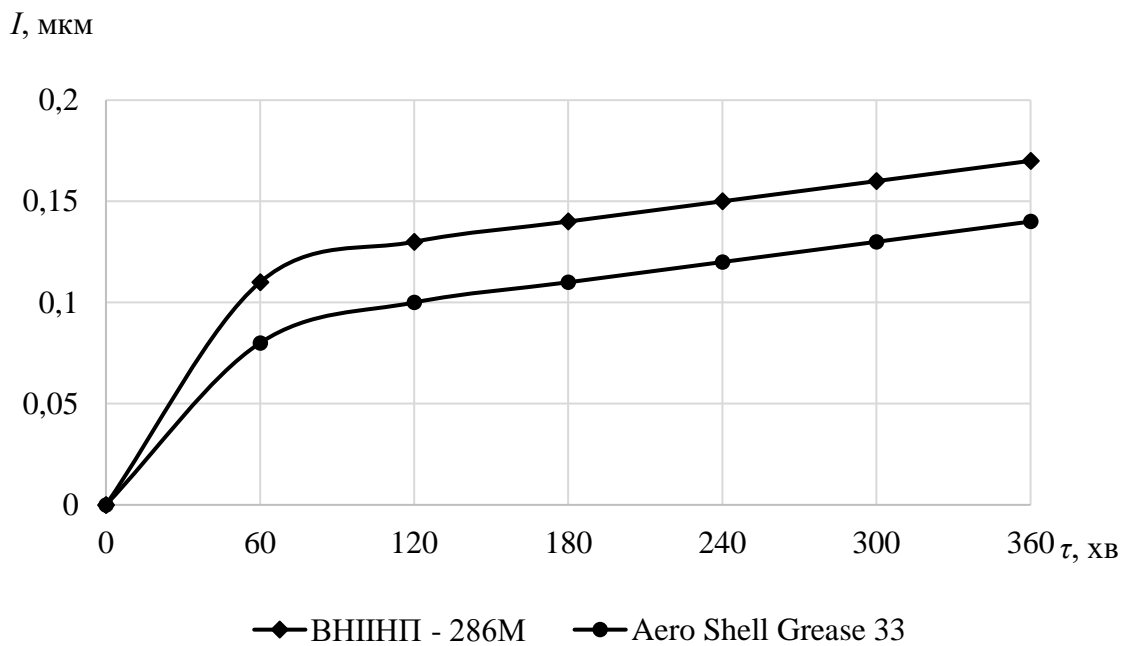


Рисунок 3.6 – Зміна величини лінійного зношування

При попереднім приробленні в режимі пуск–зупинка на контактних поверхнях сформувалися шари СОП, більш інтенсивні (по товщині) при змащуванні мастилом Aero Shell Grease 33. Відразу після видалення мастила товщина змащувального шару зменшується більш ніж у 2 рази. Якщо на

мастилі Aero Shell Grease 33 мінімальне значення падіння напруги під час провалу складає 110 мВ, то для мастила ВНІНП-286М – 75 мВ. Це свідчить про те, що СОП, сформована мастилом Aero Shell Grease 33, має більш міцну структуру і більше по товщині. В міру збільшення часу роботи товщина змащувального шару починала збільшуватися. Імовірно, це пов'язано з виділенням базового масла зі структури СОП. Градієнт швидкості зрушення в міру збільшення роботи зменшувався, що свідчило про збільшення ефективної в'язкості (твердості структури) у локальному контакті. Міцність на зрушення в змащувальному шарі значно зросла, без сумніву, зрушення локалізується в тонкому масляному шарі на поверхні СОП і в самої СОП. Час від початку роботи в режимі масляного голодування до повного руйнування змащувальних шарів і настання схоплювання для мастила Aero Shell Grease 33 складало 220 хв., для мастила ВНІНП-286М – 100 хв.

Таким чином, мастило Aero Shell Grease 33 в екстремальних умовах тертя є більш надійним мастильним матеріалом для пар тертя, механізмів, що працюють в умовах частих пусків і зупинок.

### Висновки до розділу 3

Виявлено (для всіх змащувальних матеріалів, що випробувалися,) явище тимчасового зниження товщини змащувального шару, що відбувається після закінчення приробки. Тимчасове зниження товщини супроводжується посиленням зношування, можливе захоплення, в залежності від сорту змащувального матеріалу. Умови прояву ефекту тимчасового зниження рівня змащувальної дії (число циклів пуск-зупинка, кутове прискорення при пуску,) і інтенсивність зниження товщини змащувального шару визначаються складом змащувального матеріалу і присадками. Це зниження, що відбувається як при динамічному (позитивні і негативні прискорення) пов'язано зі зміною природи граничних процесів, що протікають – руйнуванням спочатку сформованих адсорбційних змащувальних шарів і утворенням граничних шарів нової природи – самогенеруючих органічних плівок.

Запропоновано емпіричну залежність прогнозування максимального лінійного зносу контактних поверхонь в критичних умовах тертя від контактного навантаження, питомої роботи тертя і товщини мастильного шару.

Проведена якісна і кількісна оцінка процесу переходу роботи трибосистеми в режим масляного голодування, який характеризується інтенсифікацією деструкційних змін в граничному шарі мастильного матеріалу і деформаційних змін тонких поверхневих шарів металу, що призводять до підвищення питомої роботи тертя трибоконтакту і збільшення зносу контактних поверхонь.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ

#### **4.1 Перелік небезпечних і шкідливих виробничих чинників діючих при ремонті літального апарату**

Небезпечні і шкідливі виробничі чинники відповідно до ГОСТ 12.0.003–74 [32] підрозділяються на наступні групи: фізичні, хімічні, біологічні і психофізіологічні. Останні по характеру дії підрозділяються на фізичні і нервовопсихичні перевантаження, а кожна група розділяється на конкретні небезпечні і шкідливі виробничі чинники.

При ремонті ЛА на технічний персонал впливають наступні небезпечні і шкідливі виробничі чинники (по ГОСТ 12.0.003 – 74)

- рухомий літак, спецавіатранспорт і самохідні механізми;
- висячі елементи літаків, спецавіатранспорту, механізмів вантаження–розвантаження і кранів;
- повітряні потоки, рухомі з великою швидкістю;
- лопаті повітряного гвинта, а також струмені відпрацьованих газів авіадвигунів і предмети, що потрапили в них;
- літак, що обрушується, з підйомників або в результаті помилкового прибирання шасі;
- підвищене ковзання дія обмерзання, зволоження або замаслення поверхні літака, трапів;
- підвищена або знижена температура поверхонь авіаційної техніки, устаткування або матеріалів;
- підвищений рівень шуму;
- відсутність або недолік природного світла в районі рухомих елементів конструкції;
- підвищений рівень електромагнітних випромінювань;



– хімічні речовини, що входять до складу мастила для гвинтових механізмів і підйомників здатних проникати через органи дихання і слизисті оболонки;

– патогенні мікроорганізми і продукти їх життєдіяльності.

#### **4.2 Організаційні, конструктивно–технологічні заходи щодо зменшення небезпечних і шкідливих виробничих факторів**

Всі роботи при ремонті, при завантаженні і вивантаженні ЛА та агрегатів повинні організовуватися і проводитися в строгій відповідності з правилами і нормами, передбаченими ГОСТ 12.3–009–76 [33].

У зв'язку з цим на ЛА при ремонті повинні виконуватися наступні заходи безпеки:

1) до роботи на літаку допускаються люди правила техніки безпеки, що вивчили, і що пройшли перевірку їх засвоєння, з оформленням відповідною документацією;

2) при виконанні всіх видів робіт на літаку необхідно дотримувати заходи безпеки, викладені в керівництві по технічній експлуатації літака, двигунів, авіаційного і радіоелектронного устаткування, в діючих інструкціях і вказівках експлуатанта;

3) після зарулювання на стоянку і виключення двигунів літак необхідно заземлити і встановити наполегливі колодки під колеса шасі;

4) перед початком устаткування літака переконаєтеся, що всі вимикачі, перемикачі, крани управління, автомати захисту які знаходяться в початковому положенні;

5) при буксируванні літака в кабіні екіпажа повинен знаходитися пілот або технік;

6) при заправці літака паливом перевірити заземлення заправного пістолета;

7) перед запуском двигунів, убиральнею і випуску закрилків, відкритому і закритому вантажному люку переконається у відсутності в цих місцях будь–

яких сторонніх предметів. Команди попередження необхідно доводити до всього обслуговуючого персоналу, що знаходиться біля літака або попереду нього. Вказані роботи дозволяється проводити тільки у відповідь після доповідей про дотримання заходів безпеки;

8) перед запуском двигунів необхідно перевірити наявність засобів пожежогасінні на стоянці, надійність установки наполегливих колодок під колеса шасі, переконатися у відсутності сторонніх предметів поблизу літака;

9) при працюючому двигуні забороняється знаходитися в площині обертання повітряних гвинтів і підходити до них, а також знаходитися поблизу струменя від повітряних гвинтів;

10) забороняється особам, що виробляють запуск і випробування двигунів, покидати кабіну екіпажа при працюючих двигунах;

11) забороняється оглядати авіаційне радіоелектронне устаткування, що знаходиться під напругою;

12) при роботі і експлуатації систем літака забороняється:

– залишати неізольовані вільні кінці дротів;

– залишаємо відкритими електрощітки розподільних пристроїв і клеєні панелі апаратури під напругою;

– встановлювати запобіжники, номінали яких не відповідають вказаним на трафаретам і схемах;

– виробляти роботи з кисневою системою в спецодягу, руками і інструментом, що має сліди масла і жирових речовин;

– мастити вентилі кисневої системи, не передбаченої технологією мастилом;

– виробляти роботи несправним і немаркированим інструментом;

– включати і вимикати джерела електроживлення і перевіряти устаткування в процесі заправки або зливу палива;

– стикувати і розстикувати роз'єм джерела аеродромного електроживлення під навантаженням;

13) при запуску двигунів від джерела електроживлення відключення джерела від бортової мережі літака вироблювані після запуску правого двигуна перед запуском лівого двигуна;

14) перед включенням станції радіолокації необхідно позначити зону опромінювання застережливими знаками;

15) при роботі станції радіолокації на випромінювання забороняється знаходитися в зоні опромінювання, розташовувати контрольно–перевірочну апаратуру, окрім необхідної для вимірювання передбаченою технологією робіт;

16) при роботах на крилі необхідно використовувати страхувальні троса і польоту, а при роботах на висоті – використовувати устаткування захисними бортами драбини і майданчика [34].

У зв'язку з тим, що в ЛА прийнята схема високоплана, необхідно:

– створити нові або модернізація існуючих пересувних робочих місць з низько розташованими майданчиками, що мають бічну огорожу;

– виготовлення тросових поясів для робіт на поверхні крила, які закріплюються за допомогою спеціальних замків до конструктивних вузлів літака на крилі стабілізаторі;

#### **4.3.1 Пожежна й вибухова безпека**

Пожежна безпека – це стан об'єкта, при якому виключається можливість пожежі, а у випадку його виникнення, запобігання його впливу на людей небезпечних факторів і при якому забезпечується захист матеріальних цінностей.

Значна частина аварій катастроф літаків і вертольотів відбувається через пожежі і вибухи, в результаті яких гинуть люди і величезні цінності. Процес розвитку пожежі, його інтенсивність і масштаб викликаних нею руйнувань, а також ефективність міри з його ліквідації залежать від причини яка викликала пожежу, особливості конструкції ПС, режиму польоту, концентрації горючого

матеріалу у вогнищі пожежі. Пожежі на ПС характеризуються короткочасністю, неможливістю прямих втручань.

Паливо, масла та спеціальні рідини є системними рідинами. Ступінь їх вогнебезпечності характеризується температурою спалаху і самозаймання пари, концентраційними і температурними межами вибухонебезпеки, а також відміні до самозагорання [35].

#### **4.3.2 Мікроклімат виробничих приміщень**

Мікроклімат виробничих приміщень – це клімат внутрішнього середовища цих приміщень, який визначається діючим на організм людини сполученням температури, вологості і швидкості руху повітря, а також температури навколишніх поверхонь. Температура в зимовий і перехідний період під час виконання робіт середньої ваги повинна знаходитися в межах  $+15 - 20$  °С. Швидкість руху повітря 0,5 м/с, відносна вологість 60 – 30 %.

Дія мікрокліматичних умов на працівників (тепла чи холодна) може призвести до значних змін життєдіяльності організму і внаслідок цього до зниження продуктивності праці, підвищення загальної захворюваності працівників, у тому числі професійної. Постійність функцій організму під час різних мікрокліматичних умов і різної важкості виконуваної роботи забезпечується за допомогою терморегулювання. Терморегулювання організму – фізіологічний процес підтримування температури тіла на визначеному рівні. Інтегральним показником теплового стану організму людини є температура тіла. Стан перегрівання організму характеризується підвищенням температури тіла, прискоренням пульсу, великим потовиділенням, яке призводить до різкого порушення водно–сольового обміну. Відчуває велику напругу і серцево–судинна система, збільшується наявність гемоглобіну і кількість еритроцитів. Знижується артеріальний тиск. Негативний вплив на центральну нервову систему проявляється у послабленні уваги, уповільненні реакції, погіршенні координації руху, що може бути причиною виробничого травматизму.

Норми виробничого мікроклімату встановлені ГОСТ 12.1.005 – 88 “Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони” [36]. Нормуються температура, вологість і швидкість руху повітря у вигляді оптимальних і допустимих величин. Нормовані параметри, встановлені для виробничої зони, – простір висотою до 2 м над рівнем підлоги чи майданчика, на яких знаходяться місця постійного чи тимчасового знаходження працівників. Постійним вважається місце, на якому працівник проводить більше 50 % свого робочого часу (чи більше 2 годин безперервно). Оптимальні і допустимі параметри мікроклімату встановлюються з урахуванням важкості виконуваної роботи і сезонів року, а також надлишків наявного тепла. Категорію робіт встановлюють на підставі загальних енерговитрат організму.

Для забезпечення потрібних параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях і захисту працівників від їх несприятливого впливу застосовують наступні методи:

- Механізація і автоматизація виробничих процесів.
- Захист від джерел інфрачервоного випромінювання.
- Вентиляція приміщень.
- Повітряні завіси.
- Опалення приміщень.
- Кондиціонування повітря.
- Використання засобів індивідуального захисту.
- Медичні профілактичні заходи.

#### **4.3.3 Вентиляція виробничих приміщень**

За способом організації обміну повітря вентиляція може бути загального обміну, коли обмін повітря відбувається у всьому об’ємі приміщення, і місцевого, при якому обмін повітря здійснюється у визначеній його частині.

За призначенням системи вентиляції можуть бути припливними, витягувальними і припливно-витягувальними.

За способом спричинення руху повітря розрізняють вентиляцію природну (аерацію) і штучну (механічну).

Кондиціонування повітря є більш удосконаленим видом механічної вентиляції, яке в автоматичному режимі підтримує задані параметри повітря виробничого приміщення незалежно від змін зовнішніх і внутрішніх факторів.

Вентиляція характеризується обігом повітря ( $\text{м}^3/\text{год}$ ). Для оцінки інтенсивності обігу повітря в приміщенні застосовується поняття кратності обігу повітря (1/год).

Аерацією називається організований природний обмін повітря у приміщенні, який створюється через спеціально передбачені регульовальні отвори в зовнішніх огороженнях з використанням природних збудників руху повітря – тепла і вітру.

У системах механічної вентиляції надається можливість переміщувати повітря по каналах на великі відстані: забезпечується подача його практично у будь-яке приміщення.

У системах механічної вентиляції передбачається устаткування для обробки повітря, що подається у приміщення (підігрів, очищення від пилу, зволоження та інше).

#### **4.3.4 Виробниче освітлення**

Гігієнічні вимоги до виробничого освітлення обґрунтовані на психофізіологічних особливостях сприйняття і уваги до світла; до них належать такі:

- Близький до сонячного, оптимальний спектральний склад світла.
- Рівень освітленості повинен бути достатнім і відповідати гігієнічним нормам.
- Рівномірність і стійкість рівня освітленості у приміщенні, щоб уникнути частої переадаптації і розвитку здорової втоми.
- Боротьба з блискучістю як одиничних джерел освітлення, так і інших предметів у межах робочої зони.

Існують наступні види виробничого освітлення:

- Природне.
- Штучне.
- Поєднане.

Природне освітлення – освітлення приміщень світлом неба (прямим чи відбитим), яке проникає через світлові пройми у зовнішніх огорожувальних конструкціях.

Природне освітлення поділяється на:

- Бічне (одностороннє, двостороннє)
- Горішнє.
- Комбіноване (бічне і горішнє).

Штучне освітлення поділяється на такі системи:

- Робоче освітлення.
- Аварійне освітлення.
- Евакуаційне освітлення.
- Охоронне освітлення.

Охоронне освітлення (при відсутності спеціальних технічних засобів охорони) повинно передбачатися вздовж межі території, яка охороняється у нічний час. Освітленість має бути 0,5 ЛК. на рівні землі.

Евакуаційне освітлення – це освітлення для евакуації людей з приміщення під час аварійного вимкнення робочого освітлення. Евакуаційне освітлення необхідно передбачати:

- У місцях, небезпечних для проходу людей.
- У проходах і на сходах, які використовуються для евакуації людей (більше 50 чол.).
- По основних проходах виробничих приміщень, в яких працює більше 50 людей.

Аварійне освітлення – це освітлення для продовження роботи у випадку аварійного вимкнення робочого освітлення. Аварійне освітлення необхідно передбачати, якщо вимкнення робочого освітлення і пов'язане з цим

порушення нормального обслуговування обладнання і механізмів можуть викликати:

- Вибух, пожежу, отруєння людей.
- Довготривале порушення технологічного процесу.
- Порушення роботи таких об'єктів, як електричні станції, вузли зв'язку, диспетчерські пункти та інше.

Робоче освітлення необхідно передбачати для всіх приміщень, будов, а також ділянок відкритих просторів, що передбачені для роботи, проходу людей і руху транспорту.

Штучне освітлення буває двох систем:

- Загальне.
- Комбіноване.

Загальне освітлення – це освітлення, при якому світильники розміщені у верхній частині приміщення рівномірно чи пристосовані до розміщення обладнання.

Комбіноване освітлення – це освітлення, при якому до загального додається місцеве освітлення.

Місцеве освітлення – це освітлення, додаткове до загального, створюване світильниками, які концентрують освітлювальний потік безпосередньо на робочих місцях.

Норми освітлення визначаються залежно від:

- Характеру зорової роботи, який залежить від найменшого розміру об'єкта роботи.
- Контрасту об'єкта розрізнення з фоном (малий, середній, великий).
- Характеристики фону (світлий, середній, темний).
- Системи освітлення (загальне, комбіноване).

У цивільній авіації діють ОСТ 54 72003–82 ССБТ «Освітлення штучне на експлуатаційних підприємствах ЦА [37]. Норми і вимоги безпеки» і ОСТ 72002–84 ССБТ «Освітлення штучне на заводах ЦА. Норми і вимоги безпеки.»



#### 4.4 Основні заходи захисту від ураження електричним струмом

Розрахунок заземлення пристрою для дослідження матеріалів на тертя та зношування.

1. Застосування малих напруг і електричний поділ мереж. Для забезпечення безпеки електроспоживачів варто застосовувати напругу до 42 В, приміщеннях із підвищеною небезпекою – 36 В, в особливо небезпечних – 12 В. Як правило, при використанні електроустаткування з такою напругою враховується те, що одяг, взуття мають певний опір, немає щільного (зварного, болтового) контакту з землею і т. д.; в аварійних ситуаціях струм через тіло людини не досягає невідпускаючого порогу. [34]

Необхідно пам'ятати, що для одержання малої напруги необхідно використовувати автономні джерела (акумулятори, спеціальні мотор-генератори і т. д.). Можна використовувати і перетворювачі напруги, але при цьому пам'ятати про обов'язкову умову: мережа малої напруги повинна бути електрично ізольована, відділена від мережі високої напруги.

У зв'язку з цим категорично заборонено використовувати в якості джерела малої напруги автотрансформатор, тому що в ньому обидві обмотки електрично пов'язані.

2. Контроль ізоляції. При порушенні ізоляції мереж і устаткування корпусу, конструкції, на яких вони змонтовані, труби, в яких прокладені проводи, можуть виявитися під небезпечною напругою. Тому контроль ізоляції є необхідною мірою, що попереджує небезпеку ураження електричним струмом.

В установках до 1 000 В опір ізоляції повинен бути не нижче 0,5 м Ом.

3. Захисне заземлення – це навмисне з'єднання із заземленим пристроєм металевих частин електроустаткування, що нормально не знаходяться під напругою, але можуть виявитися такими у випадку ушкодження ізоляції.

Металеві частини устаткування – це корпуси, кожухи, постійні огороження, арматура і т. д.

Зміст заземлення полягає в тому, щоб знизити напругу доторкання при ушкодженні ізоляції до безпечної для людини величини.

4. Захисне відключення – це система захисту, що забезпечує безпеку шляхом автоматичного відключення (протягом не більш 0,2 сек.) електроустановки у випадках замикання струмоведучої частини на землю, зниження опору ізоляції, несправності заземлення і т. д.

При замиканні струмоведучої частини на корпус, кожух, огороження і т. д. спрацьовує спеціальне реле захисту, яке відключає електричну установку від мережі.

5. Захист від випадкового дотику до струмоведучих частин досягається шляхом використання огорожень і відповідних конструкцій електроустановок; блокувань; розташування струмопровідних частин на недоступній висоті (наприклад лінії електропередач); застосування подвійної ізоляції.

Під подвійною ізоляцією розуміють застосування, крім основної ізоляції струмопровідних частин, ще одного прошарку, що ізолює людину від металевих неструмопровідних частин, які можуть випадково виявитися під напругою. Часто це використовують при виготовленні електроінструмента, корпус якого покриває пластмаса: пластмасова ізоляція проводів обмотки електричного двигуна – перша ізоляція, пластмаса, що покриває корпус електродвигуна – друга ізоляція.

6. Вирівнювання потенціалів для того, щоб зняти існування і необхідність вирівнювання потенціалів, застосуємо таке поняття, як “крокова напруга” та “напруга дотику”.

Про існування крокової напруги і напруги дотику потрібно знати і пам’ятати для того, щоб правильно виходити із зони замикання на землю, якщо потрапив у неї (виходити “гусячим” кроком).

Для захисту працівників при виконанні робіт в умовах електричного поля, параметри якого перевищують допустимі, застосовуються індивідуальні екранувальні комплекти одягу та екранувальні пристрої.

Захисне заземлення – допоміжне електричне з'єднання з землею чи її еквівалентом металевих не струмоведучих частин, що можуть виявитися під напругою.

Мета захисного заземлення – знизити напругу дотику між корпусом електроустановки і землею до 42 В, і менше, що виникає там в результаті ушкодження чи пробією струмоведучих частин.

Заземлення для захисту від розрядів статичної й атмосферної електрики здійснюється для відводу цих зарядів у землю.

У більшості випадків одного заземлювача для забезпечення встановленої норми заземлення недостатньо. У таких випадках забивають декілька заземлювачів по периметру об'єкта, що захищається, чи під об'єктом, що захищається. Таке заземлення називається контурним.

Розрізняють заземлювачі – штучні спеціально призначені тільки для заземлення електроустановки (вертикальні сталеві стрижні, прутки і кутова сталь довжиною 2,5 – 3 м, горизонтальні – смугова сталь і сталевий пруток) і природні – металеві предмети і конструкції в землі.

- Заземлення електроустановок виконують :
- На всіх електроустановках при напрузі змінного струму 380 В і вище, 440 В і вище – постійного струму;
- В електроустановках, розташованих у приміщеннях з підвищеною небезпекою;
- Особливо небезпечних і в зовнішніх установках при номінальних напругах вище 42 В. змінного струму і вище 110. В постійного струму;
- У вибухонебезпечних приміщеннях для всіх напруг;
- Для захисту від статичної електрики при заправці літака.

Занулення електроустановок – навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих не струмоведучих частин, що можуть виявитися під напругою.

Нульовий захисний провідник – провідник, що з'єднує занульовані частини з глухо заземленою нейтральною точкою обмотки джерела струму чи з її еквівалентом.

Принцип роботи занулення полягає у тому, що при замиканні фази на корпус створюється однофазне коротке замикання між фазою і нулем захисним провідником через апаратуру захисту, що опрацьовує і відключає замикальну фазу на корпус.

Інша захисна функція занулення полягає в тому, що в період з моменту виникнення замикання на корпус для автоматичного вимкнення електроустановки від живленої мережі передбачена захисна дія повторного заземлення нульового захисного провідника. Це заземлення працює як захисне і знижує у аварійний період напругу на корпусі щодо землі, тобто напругу дотику.

Занулення застосовується у трифазних чотири провідних мережах з глухо заземленою нейтраллю напругою 380/220 В, 220/127 В, 660/380 В, у три провідних мережах постійного струму з глухо заземленою середньою точкою обмотки джерела енергії, а також в однофазних двопровідних мережах змінного струму з глухо заземленими виводами обмотки джерела струму. Зануленню підлягають усі корпуси електроустановок і не струмоведучі частини, що підлягають заземленню.

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).

$\rho_{\text{вим}} = 7 \cdot 10^2$  Ом·м (табл. 3.1)

1. Діаметр стрижня беруть  $d = 0,95b$ ,  $\rho_{\text{вим}} = 7 \cdot 10^2$  Ом·м. Опір одиничного заземлювача зі сталевго кутка визначаємо за формулою:

$$R_{\text{éóó}} = 0,366 \frac{\rho}{\ell} \left( \lg \frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4h + \ell}{4h - \ell} \right) = 0,366 \frac{7 \cdot 10^2}{2,7} \left( \lg \frac{2 \cdot 2,7}{0,95 \cdot 0,04} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 2,1 + 2,7}{4 \cdot 2,1 - 2,7} \right) =$$

$$= 94,9 (\lg 142 + 0,5 \lg 1,9) = 94,9 (2,1 + 0,14) = 213 \hat{\text{н}}$$

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

$$l_1 = na = 2,7 \cdot 3 = 8,1 \hat{\text{н}}$$

Глибина закладення смуги  $H_{\text{н}} = 2,1 \hat{\text{н}}$

3. Опір розтікання струму в землі від сталевго смуги

$$R_{\text{н}} = 0,366 \frac{\rho}{\ell} \lg \frac{2\ell_1^2}{bH_{\text{н}}} = 0,366 \frac{7 \cdot 10^2}{8,1} \lg \frac{2 \cdot 8,1}{0,04 \cdot 2,1} = 31,6 \cdot 2,29 = 72 \hat{\text{н}}$$

$$\eta_{\text{н}} = 0,5 \quad \eta_{\text{éóó}} = 0,75$$

4. Опір контурного заземлювального пристрою:

$$r_{\text{é.с.}} = \frac{R_{\text{éóó}} R_{\text{н}}}{R_{\text{éóó}} \eta_{\text{н}} + n R_{\text{н}} \eta_{\text{éóó}}} = \frac{213 \cdot 72}{213 \cdot 0,5 + 3 \cdot 72 \cdot 0,75} = \frac{15336}{268,5} = 57,1 \hat{\text{н}}$$

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

#### **Висновки до розділу 4**

У розділі розглянуто визначення та класифікацію виробничих шкідливих факторів, їх вплив на організм працівників, а також наведені основні шляхи захисту людини від них та розглянуті правила безпеки і поведінки при знаходженні в лабораторії для дослідження матеріалів на тертя та зношування.

В даний час важливість цієї теми досить велика. Якщо на великих авіаремонтних підприємствах існують цілі відділи та служби, що займаються організацією охорони праці, то на підприємствах малого та середнього бізнесу відповідальність за охорону праці, як правило, лягає на директора, який зазвичай обмежується лише прослуховуванням курсу лекцій при отриманні свідоцтва від регіональної служби охорони праці і вимоги від співробітників обов'язкового підписування журналу з охорони праці та техніки безпеки.

Як показує практика, там, де питанням охорони праці і техніки безпеки приділяється належна увага, продуктивність праці значно вища, менші людські втрати, кращий стан здоров'я працівників, здоровий психологічний клімат у колективі і, як підсумок, високі фінансові результати.

## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

#### 5.1 Вплив авіації на навколишнє середовище

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

Із збільшенням інтенсивності руху АТ прийшло розуміння того, що така техніка суттєво впливає на НПС, причому не тільки в районах функціонування аеродромів та космодромів, але й в значно більших просторово–часових масштабах. Вплив на НПС АТ надзвичайно різноманітний – акустичний, тепловий, механічний, хімічний, електромагнітний, радіоактивний. Очевидно, що деякі з вказаних типів дії взаємопов'язані між собою і їхній вклад в загальне збурення НПС залежить, наприклад, від конструкції виробів, від висоти його польоту, умов функціонування техніки, аварійних ситуацій, від технології експлуатації та ремонту АТ.

Результати досліджень дії АТ на НПС свідчать, що проблема шкідливого впливу експлуатації та ремонту АТ дійсно існує; деякі з наслідків цієї господарської діяльності вже зараз викликають серйозну стурбованість на регіональному та глобальному рівнях (енергетичні та хімічні забруднення під час експлуатації та поточного ремонту АТ в районі аеродромів та авіаремонтних заводів).

Проблема в цілому та окремі її частини вимагають постійної уваги, оскільки негативні наслідки можуть вийти за допустимі рамки і набути катастрофічного характеру, тому треба зробити більш жорсткими екологічні вимоги до АТ. [38]

## 5.2 Джерела і фізико-хімічні характеристики забруднень атмосферного повітря

Основними джерелами забруднення НПС серед авіапідприємств є аеропорти (або авіаремзаводи) з приписаною до них технікою.

Наземні джерела забруднення можна умовно поділити на такі, що знаходяться всередині аеропорту (або авіаремзаводу), і ті, що розташовані за межами аеропорту (або авіаремзаводу). До останніх належать, насамперед, установки теплоенергетики, які працюють на різних видах місцевого палива, тому й характер забруднень визначається видом палива, способами його спалювання і шляхами відведення викидів.

До основних шкідливих речовин, які містяться в димових газах теплоенергетичних установок відносяться діоксид сірки  $SO_2$ , оксид вуглецю  $CO$ , оксиди азоту  $NO_x$ , тверді частки вуглецю (сажі). [39]

Однією з найважливіших умов мінімальних викидів шкідливих речовин із теплоенергетичних установок є вибір режиму спалювання палива, при якому досягається повне його згоряння.

До внутріпортових (внутрізаводських джерел) забруднень НПС відносяться вентиляційні системи, які застосовуються на окремих ділянках обслуговування авіаційної техніки чи авіаремонтних заводів.

При необхідності, коли повітря від робочих місць, що видалається, містить шкідливі речовини у великих кількостях, перед викидом в атмосферу воно очищується в пиловловлюючих і газоочисних установках.

В атмосферне повітря із виробничих приміщень аеропорту чи авіаремзаводу надходять пари нафтопродуктів, розчинників, лакофарбувальних матеріалів, лугів, кислот, аерозолі водних розчинів їдкою, вуглекислого і фосфорнокислого натрію, сірчистого ангідриду, оксидів азоту, окису вуглецю, пилу.

Кількість шкідливих речовин, що надходять в атмосферне повітря з виробничих приміщень аеропорту чи авіаремзаводу через вентиляційні системи, може перевищувати гранично допустимі значення, які спричиняють



перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) цих шкідливих речовин. Особливо це може мати місце при груповому розташуванні вентиляційних шахт, коли виникає ефект сумації шкідливих викидів і навіть утворення нових шкідливих речовин більшої токсичності.

Склади пально-мастильних матеріалів (ПММ) забруднюють атмосферне повітря на території аеропорту авіапаливом, змащувальними матеріалами і спецрідинами. В атмосферу пари авіапалива надходять: при витискуванні їх із резервуарів, паливозаправників і баків повітряних кораблів в процесі наповнення їх паливом, в процесі “малого дихання” резервуарів, а також при випаровуванні розлитого палива крізь нещільності з’єднань або недотримання правил заправки АТ, зберігання, транспортування і наповнення ємкостей пально–мастильними матеріалами.

Забруднення атмосферного повітря не тільки прямо впливають на здоров’я живих організмів, але й посередньо, змінюючи структуру, склад і навіть будову атмосфери, яка в новій якості впливає вже глобально на життєдіяльність людини, а також на рослинний і тваринний світ планети.

### **5.3 Джерела і фізико-хімічні характеристики забруднень ґрунтів та водоймищ**

Виробнича діяльність авіапідприємств сприяє забрудненню ґрунтів і водоймищ виробничими та господарсько–побутовими стічними водами, що містять різні механічні, фізичні та хімічні домішки.

Забруднення ґрунту відбувається також в результаті осідання із повітряного басейну на поверхню ґрунту забруднюючих речовин, які надходять в атмосферу з газами, що відпрацювали, літаків, наземної віаційної техніки і топків котельних.

Джерелами виробничих стічних вод в аеропортах (авіаремзаводах) є будівлі і споруди технічного обслуговування та ремонту літаків (авіаційно–технічні бази, допоміжні виробництва та ін.), а також будівлі і споруди

підсобних приміщень (склади технічного майна, автобази, пожежні депо, котельні тощо).

Основні джерела господарсько-побутових стічних вод – будівлі і споруди для обслуговування перевезень – аеровокзал, готелі, їдальні, служби бортхарчування, а також території авіамістечок, що прилягають до аеропортів. Джерелом забруднення водойм авіапідприємств є поверхневий стік. Формуючись за рахунок дощових і талих снігових вод, а також води при вологому прибиранні приміщень із штучним покриттям, поверхневий стік з території аеропорту акумулює в собі різні забруднюючі речовини:

залишки миючих, дезинфікуючих, антиобліднювальних і протижеледкових реагентів, продукти руйнування штучних покриттів і стирань ними шасі літаків та наземної техніки, відходи нафтопродуктів тощо.

До основних джерел забруднень поверхневого стоку відносяться території авіаційно–технічних баз, площадки для доводочних робіт, мийки та антиобліднювальної обробки літаків, перон і привокзальна площа, приміщення служб ПММ та ін.

Склад стічних вод, які скидаються, тісно пов'язаний з видами виробничої діяльності, вихідної сировини і різних додаткових продуктів, що приймають участь у технологічному процесі, а також залежить від ходу цих процесів, виду і досконалості виробничої апаратури і т.п. Склад стічних вод різноманітний і навіть для одного й того ж виробництва змінюється в великому діапазоні.

В стічних водах виробничих ділянок аеропортів та інших авіапідприємств містяться бензол, ацетон, нафтопродукти, кислоти, луги, розчинені різні сполуки металів – алюмінію, міді, берилію, хрому тощо, також інші забруднюючі речовини. Для поверхневого стоку з території аеропортів характерна присутність мінеральних суспензій, нафтопродуктів, розчинених органічних сумішей та речовин, що містять азот.

Особливу шкоду наносять водоймам нафта і нафтопродукти.

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

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

Донні відклади, вкриті шаром нафтопродуктів, незалежно від товщини шару також непридатні для мешкання організмів. Забруднення місць мешкання водоплавних та інших корисних птахів і тварин призводить до різкого скорочення їх кількості. Нафтова плівка на поверхні води просочує пір'я у перелітних птахів, вони не можуть злетіти і гинуть.

Особливу шкоду водоймі наносить нафтова плівка, перешкоджаючи газообміну між водою та атмосферою, вона знижує вміст кисню в воді, зменшуючи здатність води до самоочищення, перешкоджає випаровуванню вологи з поверхні водойми (порушує кругообіг води).

Серед шкідливих органічних сполук, характерних для виробничих стічних вод авіапідприємств, слід відмітити ацетон і бензол. Ацетон для людини і теплокровних тварин малотоксичний при надходженні в організм з питною водою. Чинить місцеву подразнюючу дію на шкіру і слизові оболонки. На санітарний режим водою ацетон практично не впливає. Бензол чинить гостру місцеву подразнюючу дію, всмоктується

шкірою і спричинює загальнотоксичну дію на організм. Риба набуває неприємного запаху при концентрації бензолу 10 мг/л.

Деякі метали, що містяться в виробничих стічних водах, надходячи на очисні споруди і осідаючи в двоярусних відстійниках і метантенках, згубно діють на мікрофлору, яка приймає участь в зброджуванні осаду, і тим самим затримують його мінералізацію, а в метантенках – також утворення газу.

На біофільтрах та аерофільтрах вони шкідливо впливають на мікроорганізми, які приймають участь в очистці стічних вод, і повністю стерилізують їх або знижують ефективність біологічної очистки стічних вод. Особливо шкідливо впливають на мікрофлору очисних споруд хром, нікель, свинець, мідь, цинк, срібло і ртуть.

Деякі солі металів, що надходять в мережу каналізації, можуть спричинити корозію каналізаційних труб, порушити їх герметичність.

Внаслідок цього стічні води можуть просочуватися в ґрунт і забруднювати підземні води, а при відсутності напору в водопровідній мережі і негерметичності водопровідних труб – надходити в питну воду. До числа металів, які викликають корозію таких труб, відносяться алюміній, цинк, хром, залізо, нікель, олово, мідь, свинець, срібло.

Розчинні в воді солі деяких металів в малих концентраціях стимулюють ріст рослин і можуть застосовуватися як мікродобрива (бор, марганець, миш'як, хром та ін.). В районах з недостатньою вологозабезпеченістю, де необхідне зрошення сільсько–господарських культур, використання з цією метою виробничих і господарсько–побутових стічних вод не тільки можливе, а й необхідне. Однак недостатньо очищені стічні води, особливо при великих

концентраціях в них солей металів, згубно діють на рослини. Крім того, при цьому відбувається засолення ґрунту, вилуговування солей, гальмування біохімічних процесів в ґрунті і клітинах рослин, заповнення ґрунту грубо дисперсними і колоїдальними речовинами.

Для промислових стічних вод ряду авіапідприємств, особливо заводів, характерна наявність різних сполук алюмінію, берилію, хрому і деяких інших металів. Нерозчинні в воді сполуки металічного алюмінію не всмоктуються в кишечнику і вважаються нетоксичними, хоча деякі люди відрізняються підвищеною чутливістю до нього. З питною водою алюміній може надходити в організм у вигляді таких токсичних сполук, як хлориди, нітрити і сульфати. Розчинні в воді сполуки алюмінію через добу після їх прийому всмоктуються в кров до 50 % введеної кількості і в подальшому виділяються із організму, але значна частина їх накопичується в тканинах.

Згідно з дослідженнями деяких зарубіжних авторів, токсична дія на організм людини при прийомі в середину проявляється при наступних дозах сполук алюмінію: оцтовокислий алюміній – 0,2 – 0,4, гідроокис алюмінію – 3,7 – 7,3, алюмінієві квасці – 2,9 мг/кг маси. Останні сильно подразнюють слизову оболонку очей і при концентрації цієї сполуки в водоймі 0,1 мг/л з розрахунку на алюміній під час купання у людей спостерігається хронічний кон'юктивіт, а при концентрації понад 0,5 мг/л – гостре запалення кон'юктиви. Мінімальна шкідлива концентрація хлористої та азотнокислої сполук алюмінію з розрахунку на іон металу складає в воді 0,1 мг/л. Деякі сполуки алюмінію, наприклад, алюміній – калій сірчаноокислий та алюміній – натрій сірчаноокислий, є алергенами.

Для риб найбільш шкідливі окис алюмінію, а також азотнокислий та хлористий алюміній. Сполуки алюмінію шкідливо діють також на інші водні організми, що приймають участь у самоочищенні водойм і є кормовими ресурсами для риб, а також на мікроорганізми. Так, алюміній азотнокислий згубно діє на дафнії вже з концентрації 0,5 мг/л. Другим за токсичністю є алюміній хлористий, решта сполук алюмінію малотоксичні.

Потрапляючи зі стічними водами в водойми, сполуки алюмінію затримують процеси їх самоочищення. Концентрація алюмінію азотнокислого з розрахунку на іон металу 1 мг/л гальмує розмноження мікрофлори води і тим самим також затримує процеси самоочищення водойм. Використання стічних вод з концентрацією алюмінію понад 1 мг/л може призвести до загибелі посівів.

Високотоксичні стічні води з сполуками берилію, який часто використовується на авіапідприємствах для підвищення зносостійкості авіаційних деталей. В концентраціях понад 0,15 мг/л в м'якій воді і понад 11–20 мг/л в твердій воді берилій викликає загибель риб, а дафнії гинуть вже при концентрації берилію понад 0,05 мг/л. При концентрації берилію 0,5–1,0 мг/л різко гальмуються біохімічні процеси самоочищення водойм і розмноження мікрофлори. Використання стічних вод з вмістом берилію понад 15 мг/л для зрошування сільськогосподарських культур недоцільно.

В ряді технологічних процесів на авіапідприємствах використовуються солі хрому, які викликають різноманітні шкідливі дії на організм людини. При вмісті в водоймі сполук шестивалентного хрому і споживанні їх з питною водою уражуються внутрішні органи, при купанні в водоймі можливі запалюючі зміни слизових оболонок очей, дерматити та екземи, хром викликає також канцерогенну дію на живі організми. Хром з води накопичується в тканинах риб. Форель, наприклад, акумулює хром у вигляді хромату в концентрації понад 0,001 мг/л, а концентрація хрому в свіжій воді понад 10 мг/л є токсичною для форелі. Для більшості інших видів риб летальною є концентрація хрому понад 20 – 50 мг/л.

Такі сполуки шестивалентного хрому, як хромова кислота, хромовий ангідрид, біхромат натрію згубно діють на різні водні організми при концентраціях понад 0,01 мг/л.

Із сполук тривалентного хрому найвищу токсичність для водних організмів має сірчанокислий хром. Шкідливо впливаючи на флору і фауну водойм, сполуки хрому тим самим гальмують проходження процесів

самоочищення води. Стічні води із вмістом хрому не можна використовувати для поливки сільськогосподарських культур.

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

#### **5.4 Утилізація масел**

Відпрацьованим мастильним матеріалом є будь-яке масло, отримане з сирої нафти або синтетичного масла, використане і в результаті такого використання забруднене фізичними або хімічними домішками. Іншими словами, відпрацьованим маслом є саме те, що має на увазі його назву, тобто – це будь-який використаний мастильний матеріал на нафтовій основі або синтетичне масло. При нормальному використанні такі домішки, металеві частинки, вода або хімічні речовини можуть змішуватися таким чином, що з часом мастильний матеріал не може бути використаний за призначенням. [40]

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

Необхідність утилізації ММ та СМ у даний час ні в кого не викликає сумнівів, оскільки їх захоронення і знищення (в основному – шляхом спалювання) породжують ще більші екологічні проблеми, ніж самі ММ та СМ, і при значних витратах не дозволяють повторно використовувати цінну вторинну сировину, що не вигідно вже з економічної точки зору. При цьому вельми важливо, щоб процеси утилізації самі по собі не уявляли істотної загрози біосфері.

Як вже зазначалося, найбільш раціональним напрямком у вирішенні сучасних екологічних проблем представляється практична реалізація

концепції запобігання забруднення, оскільки колосальні витрати на усунення виниклих забруднень і неможливість передбачити й усунути всі їх наслідки цілком і повністю виправдовують створення нових більш безпечних технологій і створення принципово нового обладнання.

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

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

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

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

Шляхи створення маловідходних технологій:



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

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

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

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

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

## 2. Очищення працюючих і регенерація відпрацьованих масел

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

Очищення та регенерація масел безпосередньо на місцях їх споживання є одним з найбільш економічних способів використання вторинних ресурсів і дозволяє підбирати процеси і технологічні режими, найбільш відповідні маслу

даного призначення і продуктів його старіння. Основна проблема полягає в потраплянні сторонніх забруднень, видалення яких шляхом механічного очищення є найбільш ефективним способом відновлення якості. Очищене масло повторно використовується за призначенням. В основному це відноситься до індустріальних, гідравлічних, турбінних і трансформаторних олив, рідше – до моторних, хоча це найбільша група масел за обсягом виробництва.

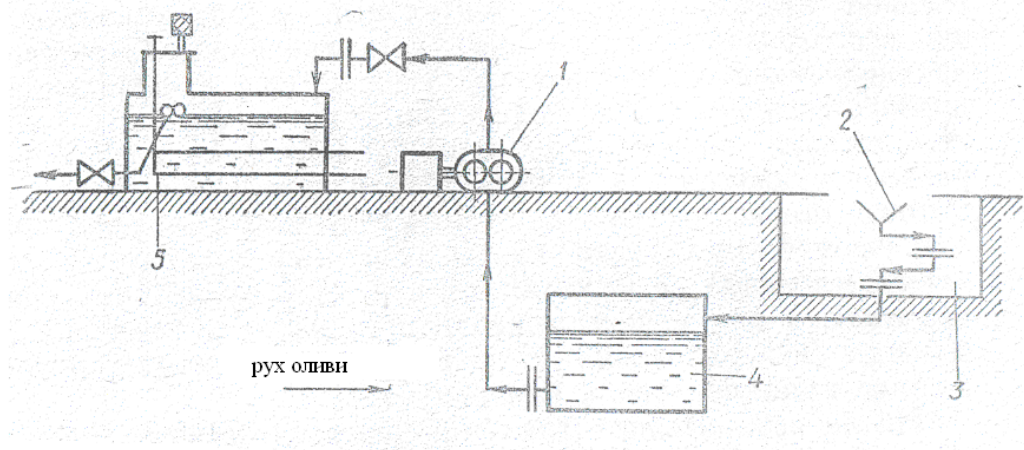
Серед сучасних способів очищення і регенерації переважають фізичні методи – відстій, центрифугуванні, фільтрація, вакуумне сушіння. Можливе застосування і більш складних фізико–хімічних методів (у разі сильного забруднення або глибокого старіння масел).

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

Для централізації первинної переробки, спрощення технології збирання з мінімальними втратами і скорочення технологічного циклу усі відпрацьовані нафтопродукти в залежності від призначення поділені на 3 основні групи: 1 група–оливи моторні відпрацьовані і їх суміші з індустріальними при 50°С; 2 група – оливи індустріальні відпрацьовані і їх суміші, а також турбінні і компресорні, які призначені для регенерації; 3 група–суміш нафтопродуктів відпрацьованих в тому числі і олив, бензину, гасу, дизельного пального. Технологічний процес первинної переробки для кожної групи відпрацьованих олив більш економний в порівнянні з індивідуальними для кожної марки, однак загальні витрати повертаються тільки на спеціалізованих регенераційних підприємствах.

Особливі вимоги до ділянок збору відпрацьованих олив наступні. Ці ділянки повинні мати спеціальні складські приміщення з сучасними засобами сигналізації і пожежегасіння, де встановлені окремі для кожної групи

відпрацьованих олив і нафтопродуктів спеціальні марковані резервуари або ємності об'ємом 4 – 5м<sup>3</sup> (рис.5.1).



1 – насос; 2 – воронка; 3 – оглядова яма; 4 – проміжна ємність;  
5 – накопичувальна ємність

Рисунок 5.1 – Збір відпрацьованої оливи при наземній накопичувальній ємності

Утилізацію НМ здійснюють в основному за трьома напрямками:

- вторинна переробка сумішей з незначними домішками синтетичних масел з отриманням базових компонентів;
- регенерація НМ окремо за марками з одержанням продуктів відповідного призначення;
- переробка сумішей НМ або очищення окремих продуктів з метою отримання котельного, пічного палива.

Основна маса зібраних відпрацьованих масел спалюється або зливається на ґрунт. Лише невелика частина піддається переробці, в основному для повернення (рісайклінг) у виробництво свіжих продуктів.

Серед різноманітних промислових процесів вторинної переробки виділяють групи за основним способом очищення: сіркокислі, адсорбційна, гідроочищення, екстракційна, тонкоплівкове випаровування, ультрафільтрація.

Одним з широко поширених напрямів використання відпрацьованих нафтових масел є залучення їх у виробництво палив.

Використання нафти як сировини для виробництва не тільки палив, але й інших хімічних продуктів набуває все більшого значення, по-перше, внаслідок скорочення сировинних ресурсів і, по-друге, в результаті зростання значення природного газу. Ця ситуація підвищує інтерес до утилізації відпрацьованих нафтових масел в якості низькоякісного котельно-пічного палива. При спалюванні відпрацьованих масел та їх сумішей виникають проблеми охорони навколишнього середовища. Ці проблеми переборні, але вартість їх вирішення знижує значимість палив з відпрацьованих масел у порівнянні зі свіжими продуктами.

Відпрацьовані масла володіють достатньо високим рівнем захисних властивостей, що дозволяє використовувати їх для приготування консерваційних мастил типу ПВК з одержанням продуктів, близьких до свіжих за рівнем захисних властивостей.

До нового напрямку раціонального використання НМ відноситься отримання з них твердих палив шляхом затвердіння і брикетування.

### 3. Синтетичні масла

Очищення та регенерація синтетичних масел у зв'язку з їх високою вартістю мають надзвичайно важливе значення. Крім того, ряд синтетичних масел (складні ефіри фосфорної кислоти) становлять значну небезпеку для людини і навколишнього середовища. Важливо і те обставина, що частина відпрацьованих синтетичних масел неминуче потрапляє в суміші при зборі для вторинної переробки НМ і може негативно впливати на ефективність використаних процесів.

Найбільш доцільним і вигідним способом утилізації відпрацьованих синтетичних масел є регенерація. За кордоном основним процесом як для нафтових, так і для синтетичних масел до цих пір залишається сіркокислі очищення.

Дуже важливою є проблема переробки сумішей відпрацьованих синтетичних і нафтових масел. Такі суміші утворюються або через відсутність елементарної культури експлуатації масел та збору відпрацьованих продуктів,

або із-за неможливості організації окремого збору. Подібні труднощі виникають і при регенерації відпрацьованих масел на змішаній основі (так званих напівсинтетичних). Суміші відпрацьованих масел запропоновано очищати за схемою, що включає стадії видалення основної частини хладоагентів, контактного очищення асканітом, фільтрування і осушення цеолітом. Очищена суміш придатна для повторного використання за прямим призначенням.

Масла на основі силіконів знаходять широке застосування, їх використовують, зокрема, в якості охолоджуючих або ізоляційних засобів в електроустановках високої напруги.

## **Висновки до розділу 5**

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

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

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Мастильні матеріали служать для відводу тепла з зони тертя, для захисту робочих поверхонь деталей від корозії, крім того, вони забезпечують герметизацію вузлів тертя, очищають деталі від забруднюючих відкладень, нагару, продуктів зношування і т. д [6].

Мастильні матеріали призначені для надійного поділу поверхонь, що труться деталей в умовах граничного, гідродинамічного і еластогідродинамічного мащення. Одночасно вони повинні знижувати силу тертя, інтенсивність зношування, а також демпфіювати удари і вібрації.

Попереджувальне технічне обслуговування та належний моніторинг є найважливішими факторами для збільшення терміну служби техніки та уникнення зупинок або пошкоджень авіаційної техніки, що в свою чергу збільшує термін служби та авіаційного підприємства. Продуктивність машини та її надійність безпосередньо залежать від працездатності рухомих компонентів. Продуктивність техніки також залежить від її мастила. Аналіз масел може виявити важливу інформацію про стан агрегатів, масел та забруднення масел. Значної економії можна досягти завдяки ефективній програмі аналізу нафти.

Прогнозування максимального лінійного зносу контактних поверхонь в критичних умовах тертя залежить від контактного навантаження, питомої роботи тертя і товщини мастильного шару.

Проведена якісна і кількісна оцінка процесу переходу роботи трибосистеми в режим масляного голодування, який характеризується інтенсифікацією деструкційних змін в граничному шарі мастильного матеріалу і деформаційних змін тонких поверхневих шарів металу, що призводять до підвищення питомої роботи тертя трибоконтакту і збільшення зносу контактних поверхонь.

Виявлено (для всіх змащувальних матеріалів, що випробувалися,) явище тимчасового зниження товщини змащувального шару, що відбувається після

закінчення приробки. Тимчасове зниження товщини супроводжується посиленням зношування, можливе схоплювання, в залежності від сорту змащувального матеріалу. Умови прояву ефекту тимчасового зниження рівня змащувальної дії (число циклів пуск-зупинка, кутове прискорення при пуску,) і інтенсивність зниження товщини змащувального шару визначаються складом змащувального матеріалу і присадками. Це зниження, що відбувається як при динамічному (позитивні і негативні прискорення) пов'язано зі зміною природи граничних процесів, що протікають – руйнуванням спочатку сформованих адсорбційних змащувальних шарів і утворенням граничних шарів нової природи – самогенерючих органічних плівок (СОП).

Пластичні і напіврідкі мастила показали велику товщину змащувального шару, що зберігається при стоянці, більш швидке його відновлення при зрушенні з місця.



**СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ****ДЖЕРЕЛ**

1. Axford, S.D.T. Aggregation of colloidal silica: Reaction-limited kernel, stability ratio and distribution moments. *J. Chem. Soc. Faraday Trans.* 1997, 93, 303–311.
2. Hotze, E.M.; Phenrat, T.; Lowry, G.V. Nanoparticle aggregation: Challenges to understanding transport and reactivity in the environment. *J. Environ. Qual.* 2010, 39, 1909–1924.
3. Stolzenburg, P.; Hämisch, B.; Richter, S.; Huber, K.; Garnweitner, G. Secondary Particle Formation during the Nonaqueous Synthesis of Metal Oxide Nanocrystals. *Langmuir* 2018, 34, 12834–12844.
4. Dan. On-Site Oil Analysis for Aerospace [Електронний ресурс] / Dan // Spectro Scientific. – 3. – Режим доступу до ресурсу: <https://blog.spectrosci.com/oi-analysis-for-aerospace-industries>.
5. Elbasuney, S. Sustainable steric stabilization of colloidal titania nanoparticles. *Appl. Surf. Sci.* 2017, 409, 438–447.
6. Дмитриченко М. Ф., Мнацаканов Р. Г., Мікосянчик О. О. Триботехніка та основи надійності машин. Київ: Інформавтодор, 2006. 216 с.
7. Мікосянчик, О. О., Мнацаканов, Р. Г., Кіндрачук, М. В., & Хімко, М. С. (2014). Оцінка динамічної ефективної в'язкості мастильних матеріалів в триботехнічному контакті. *Проблеми тертя та зношування*, (4), 83-89.
8. Aviation, Aerospace & Airlines [Електронний ресурс] // Spectro Scientific. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.spectrosci.com/industries/aviation-aerospace-airlines/>.
9. Amin Almasi. Oil analysis methods and lubrication monitoring [Електронний ресурс] / Amin Almasi // Rotating Machinery Consultant – Режим доступу до ресурсу: <https://www.plantservices.com/articles/2014/oil-analysis-methods-lubrication-monitoring/>.
10. ДСТУ 3437-96 Нафтопродукти. Терміни та визначення.

11. Мнацаканов, Р., Мікосянчик, О., Якобчук, О., Хімко, А., & Харченко, О. (2020). Огляд класифікацій за фізико-механічними та експлуатаційними властивостями мастил закордонного виробництва. *Problems of Friction & Wear*, 88(3).
12. Kockmann, A.; Hesselbach, J.; Zellmer, S.; Kwade, A.; Garnweitner, G. Facile surface tailoring of metal oxide nanoparticles via a two-step modification approach. *RSC Adv.* 2015, 5, 60993–60999.
13. Cheema, T.; Lichtner, A.; Weichert, C.; Böhl, M.; Garnweitner, G. Fabrication of transparent polymer-matrix nanocomposites with enhanced mechanical properties from chemically modified ZrO<sub>2</sub> nanoparticles. *J. Mater. Sci.* 2012, 47, 2665–2674.
14. Smoluchowski, M. Mathematical theory of the kinetics of the coagulation of colloidal solutions. *Z. Phys. Chem.* 1917, 19, 129–135. 39. Mersmann, A. *Crystallization Technology Handbook*; Taylor & Francis: Abingdon, UK, 2001.
15. Zhang, W.; Crittenden, J.; Li, K.; Chen, Y. Attachment Efficiency of Nanoparticle Aggregation in Aqueous Dispersions: Modeling and Experimental Validation. *Environ. Sci. Technol.* 2012, 46, 7054–7062.
16. Ludwig M. Simulation of Dynamic Lubricant Effects in Sheet Metal Forming Processes / M. Ludwig, C. Müller, P. Groche // *Key Engineering Materials*. – 2010. – Vol. 438. – P. 171–178.
17. Kharchenko M.V., Dema R.R., Bilichenko V.I. Energy reduction technologies based on the lubricant supply in the roll contact system «quarto» during the hot strip rolling. *Materials Science Forum*, 2016, т. 870, с. 446–453.
18. Thibault, R.; (Contributing Editor). *Grease Basics Part II: Selection & Applications*. *Efficient Plant*. September/October 2009. Available online: <https://www.efficientplantmag.com/2009/09/grease-basicspart-ii-selection-a-applications/> (accessed on 26 February 2020).
19. Mota, V.; Ferreira, L.A. Influence of grease composition on rolling contact wear: Experimental study. *Tribol. Int.* 2009, 42, 569–574.

20. ГОСТ 5346-78 Смазки пластичные. Методы определения пенетрации пенетрометром с конусом.
21. Войтов В. А. Моделирование переходных процессов в трибосистемах. Часть 2. Методика моделирования переходных процессов / В. А. Войтов, А. Г. Козырь, И. И. Сысенко // Проблемы трибології. – 2013. – № 4. – С. 25–32.
22. Esbensen K.H. Multivariate Data Analysis – In Practice (5-th ed.). – Oslo, Norway.
23. Мнацаканов Р. Г. Моделювання інтенсивності зношування / О. О. Мікосянчик, Р. Г. Мнацаканов; М. С. Хімко // Problems of Friction & Wear. – 2015, Vol. 1. Issue 66. – P. 140–145.
24. 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.
25. Matveevsky R. M. Friction power as a criterion of seizure with sliding lubricated contact / R. M. Matveevsky // Wear. – 1992. – Vol. 155. – P. 1-5.
26. Hsu S. M. A mechano-chemical descriptive model for wear under mixed lubrication conditions / S. M. Hsu, E. E. Klaus, H. S. Cheng // Wear.– 1988. – Vol. 128, № 3. – P. 307-323.
27. Мікосянчик, О. О., Мнацаканов, Р. Г., Лопата, В. М., & Калініченко, В. І. (2016). Змащувальна дія олив при нестационарних процесах в умовах припрацювання. *Problems of Tribology*, 79(1), 69-75.
28. Wang, L.; Wang, B.; Wang, X.; Liu, W. Tribological investigation of CaF<sub>2</sub> nanocrystals as grease additives. *Tribol. Int.* 2007, 40, 1179–1185.
29. Zhao, W.L.G.; Zhao, Q.; Li, W.; Wang, X. Tribological properties of nano- calcium borate as lithium grease additive. *Lubr. Sci.* 2009, 26, 43–53.
30. ДСТУ 2823-94 Зносостійкість виробів тертя, зношування та мащення. Терміни та визначення;

31. ГОСТ 12.0.003-74 Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація.
32. ГОСТ 12.3.009-76 (СТ СЭВ 3518-81) Система стандартів безпеки праці. Роботи вантажно-розвантажувальні. Загальні вимоги безпеки.
33. ДНАОП 0.03-8.03-97 Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу
34. ДНАОП 5.1.30 -1.06 -98 Правила безпеки праці при технічному обслуговуванні і поточному ремонті авіаційної техніки.
35. ГОСТ 12.1.005-88 Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони.
36. ОСТ 54 72003-82. Освещение искусственное на эксплуатационных предприятиях гражданской авиации. Нормы и требования безопасности.
37. Балюк С. А., Медведєв В. В., Воротинцева Л. І., Шимель В.В. Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня. Вісник аграрної науки. серпень 2017. С. 5. URL: [http://agrovisnyk.com/pdf/ua\\_2017\\_08\\_01.pdf](http://agrovisnyk.com/pdf/ua_2017_08_01.pdf).
38. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України. Мінагрополітики України, Державний технологічний центр охорони родючості ґрунтів, НААНУ, Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К., 2010. URL: [http://www.iogu.gov.ua/wpcontent/uploads/2013/07/stan\\_gruntiv.pdf](http://www.iogu.gov.ua/wpcontent/uploads/2013/07/stan_gruntiv.pdf).
39. ЗАПОРОЖЕЦЬ, О. І., et al. Основи охорони праці. Підручник. К.: Центр учбової літератури, 2009.