

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ, ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ХІМІЇ І ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач випускової кафедри

\_\_\_\_\_ А.Г. Галстян

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР

за спеціальністю: 161 «Хімічні технології та інженерія»

освітньо-професійної програми «Хімічні технології альтернативних енергоресурсів»

**Тема:** «Оцінка впливу магнітного поля на протизносні властивості  
реформульованих біокомпонентами авіаційних палив»

Виконавець: Терновенко С.В.. студент групи АП 204 М \_\_\_\_\_

Керівник: Трофімов І.Л. к.т.н., доц., \_\_\_\_\_

Консультант розділу «Охорона праці»: \_\_\_\_\_ Халмурадов Б.Д.

Консультант розділу «Охорона навколишнього середовища»

\_\_\_\_\_ Гай А.Є.

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_ Максимюк М.Р.

КИЇВ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ, ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ХІМІЇ І ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ  
Спеціальність: 161 «Хімічні технології та інженерія»  
ОПП «Хімічні технології альтернативних енергоресурсів»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ А.Г. Галстян  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020р.

### **ЗАВДАННЯ**

#### **на виконання кваліфікаційної роботи**

Терновенка Сергія Володимировича

1. Тема роботи: «Оцінка впливу магнітного поля на протизносні властивості реформульованих біокомпонентами авіаційних палив» затверджена наказом ректора від «02» жовтня 2020 р. № 1897/ст
2. Термін виконання роботи: з 5 жовтня 2020 року по 31 грудня 2020 року.
3. Вихідні дані до роботи: паливо авіаційне Jet A-1, етилові естери рижієвої олії.
4. Зміст пояснювальної записки: Вступ. Розділ 1. Аналіз інформаційних джерел. Розділ 2. Методи та засоби досліджень. Розділ 3. Дослідження впливу магнітного поля на протизносні властивості реформульованих біокомпонентами палив для ПРД. Розділ 4. Охорона навколишнього середовища. Розділ 5. Охорона праці. Висновки. Список бібліографічних посилань використаних джерел.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстраційного) матеріалу.
6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Одержання теми. Пошук та аналіз літератури за темою дипломної роботи.	05.10.2020 - 10.10.2020	
2.	Опрацювання літературних джерел з даної теми	11.10.2020 - 21.10.2020	
3.	Проведення експериментальних досліджень	22.10.2020 - 15.11.2020	
4.	Обробка експериментальних даних	16.11.2020 - 24.11.2020	
5.	Проведення аналізу охорони навколишнього середовища та охорони праці.	25.11.2020 - 5.12.2020	
6.	Узагальнення матеріалу, оформлення дипломної роботи, підготовка доповіді та презентації.	6.12.2020 - 20.12.2020	
7.	Захист дипломної роботи	24.12.2020	

#### 7. Консультанти з окремих розділів.

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона навколишнього середовища	к.ф-м.н., доц. Гай А.Є.		
Охорона праці	к.м.н., доц. Халмурадов Б.Д.		

Дата видачі завдання: « 5 » жовтня 2020 р.

Керівник дипломної роботи Трофімов І.Л. к.т.н., доц. \_\_\_\_\_

Завдання прийняла до виконання Терновенко С.В. \_\_\_\_\_.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Оцінка впливу магнітного поля на протизносні властивості реформульованих біокомпонентами авіаційних палив»: 96 ст., 28 рис., 5 табл., 70 використаних літературних джерел.

АВТОМОБІЛЬНІ БЕНЗИНИ, ПОЛІМЕРИЗАЦІЯ, ОЛЕФІНИ, ЦЕОЛІТИ, АЛКІЛУВАННЯ

**Об'єкт дослідження** – вплив магнітного поля на протизносні властивості авіаційних палив реформульованих біокомпонентами.

**Предмет дослідження** – закономірності впливу магнітного поля на протизносні властивості авіаційних палив, реформульованих біокомпонентами

Мета роботи – дослідити протизносні властивості різних сумішей авіаційних палив на основі етилових естерів жирних кислот, під дією магнітного поля.

**Методи дослідження:** монографічний, методи системного аналізу, спектроскопічні та стандартні випробування на тертя та зношування.

У кваліфікаційній роботі розглянуто процес тертя-зношування у середовищі авіаційних палив, а також цих палив з додаванням біокомпонентів та оброблених магнітним полем. Досліджено, що дія магнітного поля на протизносні властивості паливних середовищ має позитивний вплив та характеризується зменшенням зносу пар тертя, порівняно з напрацюванням у чистому авіапаливі.

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ.....</b>	<b>8</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>9</b>
<b>РОЗДІЛ 1. Аналіз інформаційних джерел .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1. Характеристика сировини альтернативних палив для ПРД.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2. Технології виробництва реактивного палива .....</b>	<b>13</b>
1.2.1. Виробництво реактивного палива шляхом переробки сирової нафти .....	14
1.2.2. Виробництво реактивного палива переробкою сланцю .....	20
1.2.3. Виробництво реактивного палива переробкою вугілля .....	23
<b>1.3. Огляд авіаційних палив реформульованих біокомпонентами.....</b>	<b>25</b>
<b>1.4. Оцінка методів покращення протизносних властивостей паливо-мастильних матеріалів нафтового та біологічного походження. ....</b>	<b>26</b>
<b>1.5. Вплив магнітного поля на вуглеводневі палива. ....</b>	<b>27</b>
<b>1.6. Оцінка екологічної безпеки сумішевих авіаційних палив із рослинної сировини, оброблених магнітним полем. ....</b>	<b>29</b>
<b>1.7. Висновки до розділу .....</b>	<b>31</b>
<b>РОЗДІЛ 2. Методи та об'єкти.....</b>	<b>32</b>
<b>2.1 Аналіз загальновизнаних методів та приладів дослідження протизносних властивостей палив та мастильних матеріалів. ....</b>	<b>32</b>
<b>2.2 Вимірювання зношування поверхонь.....</b>	<b>41</b>
2.2.1 Метод мікрометричного вимірювання .....	41
2.2.2 Метод зважування деталей.....	41
2.2.3. Метод виявлення металу у відпрацьованому маслі .....	41
2.2.4 Метод радіоактивних ізотопів .....	42
2.2.5 Метод штучних баз.....	42
2.2.6 Ччинники, що впливають на зношування деталей .....	42

<b>2.3. Вибір методики та лабораторних приладів тертя для випробувань триботехнічних властивостей авіаційних палив .....</b>	<b>43</b>
<b>2.4. Методи планування експерименту й оброблення результатів досліджень</b>	<b>45</b>
<b>2.5. Висновки до розділу .....</b>	<b>52</b>
<b>РОЗДІЛ 3. Дослідження впливу магнітного поля на протизносні властивості реформульованих біокомпонентами палив для повітряно-реактивних двигунів</b>	<b>53</b>
<b>3.1. Обґрунтування електромагнітної взаємодії поверхонь тертя і мастильних матеріалів .....</b>	<b>53</b>
<b>3.2. Експериментальні випробування протизносних властивостей традиційних авіаційних палив, оброблених магнітним полем .....</b>	<b>56</b>
<b>3.3. Експериментальні випробування протизносних властивостей авіаційних палив реформульованих біокомпонентами .....</b>	<b>68</b>
<b>3.4. Висновки до розділу .....</b>	<b>72</b>
<b>РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА .....</b>	<b>73</b>
<b>4.1. Оцінка впливу екологічних факторів .....</b>	<b>73</b>
<b>4.2. Використання альтернативного палива в авіації України .....</b>	<b>76</b>
<b>4.3. Важливість використання альтернативних видів палива .....</b>	<b>78</b>
<b>4.4. Висновки до розділу .....</b>	<b>80</b>
<b>РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ .....</b>	<b>81</b>
<b>5.1. Вступ .....</b>	<b>81</b>
<b>5.2. Аналіз умов праці на робочому місці .....</b>	<b>81</b>
5.2.1. Організація робочого місця .....	81
5.2.2. Перелік шкідливих та небезпечних виробничих чинників .....	82
5.2.3. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників .....	82
<b>5.3. Розробка заходів з охорони праці .....</b>	<b>84</b>
5.3.1. Нормалізація повітря робочої зони .....	84

5.3.2. Виробниче освітлення.....	85
5.3.3. Електробезпека .....	86
<b>5.4. Пожежна безпека .....</b>	<b>86</b>
<b>5.5. Розрахункова частина .....</b>	<b>88</b>
<b>5.6. Висновки до розділу .....</b>	<b>89</b>
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>90</b>
<b>СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ...</b>	<b>91</b>

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ**

ЕЕЖК – етилові естери жирних кислот;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ЛА – літальний апарат

НПЗ – нафто-переробний завод;

ПММ – Паливо-мастильні матеріали;

ПРД – повітряно-реактивний двигун

ПС – паливна система

ГТД – газотурбінний двигун

МП – магнітне поле



## ВСТУП

*Актуальність теми.* Досвід експлуатації авіаційної техніки має значний статистичний матеріал по відмовам бортових систем через підвищений рівень зношування деталей. Узагальнений досвід з експлуатаційної надійності паливних систем вітчизняних і закордонних літаків свідчить, що майже 30 % усіх аварій і катастроф, до 50 % відмов авіаційних двигунів, від 20 до 40 % – гідравлічних і майже 10 % відмов паливних систем відбуваються внаслідок зниження експлуатаційних властивостей палив, а термін роботи насосів і інших агрегатів скорочується по цій причині у 6–7 разів.

Підвищення довговічності, надійності і економічності авіаційних двигунів виступає комплексною проблемою і її вирішення досягається на всіх стадіях конструювання, виробництва і експлуатації виробів. Важливою умовою реалізації надійності і довговічності, покладених в конструкцію двигуна, є підвищення експлуатаційних властивостей паливно-мастильних матеріалів (ПММ).

Безперервне вдосконалення авіаційної та наземної техніки, забезпечення надійної, економічної і довговічної її роботи висувають високі вимоги до якості властивостей ПММ.

Існує можливість поліпшення характеристик двигунів за допомогою різних фізичних ефектів. Один з найменш вивчених способів - вплив на паливо, яке надходить в двигун, електромагнітними імпульсами спеціальної форми.

Відомо досить багато робіт, присвячених спрямованого впливу електромагнітних полів на властивості різних рідин. При цьому спостерігається зменшення ступеня забрудненості камер згоряння і трубопроводів, зменшення димності відпрацьованих газів.

Сучасні вимоги до авіаційних палив, режиму і стабільних властивостей їх роботи в різних умовах визначають необхідність підвищення трибохімічних властивостей існуючих нафтових авіаційних палив та нових сумішевих на основі біокомпонентів.

Відомо, протизносні властивості палив для ПРД визначають надійність та ресурс роботи паливних агрегатів ПС, зокрема їх пар тертя. Ці пари працюють в

режимах тертя кочення, тертя ковзання і комбінованого тертя при різних навантаженнях, температурах, тиску, швидкості відносного руху в умовах рідкого та граничного змащування.

Змащувальні властивості палив залежать від їх хімічного складу, в'язкості, термоокиснювальної стабільності, вмісту механічних домішок, наявності поверхнево-активних речовин. За високих питомих навантажень зазвичай спостерігається напіврідке тертя, коли поверхні тертя не повністю розділені паливом.

У разі напіврідкого тертя протизносні властивості палив для ПРД визначаються:

- 1) в'язкістю палива, що забезпечує гідродинамічний ефект розділення поверхонь тертя шаром рідини;

- 2) наявністю в паливі поверхнево-активних речовин, що утворюють на поверхні тертя абсорбційний шар високої міцності, який розділяє поверхні тертя і тим самим зменшує коефіцієнт тертя та зношування деталей.

Головною сировиною для виробництва біопалива з рослинних культур в Україні є ріпак. Ріпак за своїм хімічним складом та основними технічними характеристиками є одним із найпридатніших для виробництва альтернативних палив. Але культура ріпаку є вибагливою до умов вирощування, потребує постійного внесення добрив та іншого догляду, істотно виснажує ґрунт на територіях, що традиційно використовувалися агропромисловими комплексами. Також додавання чистої ріпакової олії до авіаційного палива не рекомендується, адже висока в'язкість, низька температура змерзання, вміст води і органічних кислот є несприятливими чинниками використання чистої рослинної олії як паливо.

Також однією з популярних культур для виготовлення біопалив є рижій, що зумовлено його надзвичайною пластичністю до агроекологічних умов вирощування та висока рентабельність виробництва. Таке біопаливо є досить ефективними і використовуються в авіації без зниження якості і характеристик роботи двигунів. Насіння рижію містить 40–50% олії, що забезпечує вихід олії близько 1250 л/га. Ще однією перевагою цієї культури є можливість використання шроту (побічного

продукту процесу екстракції олії) як корму для сільськогосподарських тварин та птиці.

Під час проведення експерименту було досліджено протизносні властивості авіаційного палива JET A-1, етилового естеру жирної кислоти рижієвої олії та сумішей JET A-1 з рослинними біокомпонентами. Марка Jet A-1 відповідала вимогам ASTM D1655. Біокомпоненти були представлені сумішшю етилових естерів жирних кислот (ЕЕЖК) рижієвої олії, що відповідають вимогам EN 14214, спеціально модифікованими для застосування як компонента палив для ПРД. Модифікація проводилася вакуумним фракціонуванням відповідно до розробленої технології.

### ***Мета і завдання виконання дипломної роботи.***

Мета роботи – дослідити протизносні властивості різних сумішей авіаційних палив на основі етилових естерів жирних кислот, під дією магнітного поля.

Завдання роботи:

1. Здійснити аналіз перспективи використання альтернативних авіаційних палив в Україні.
2. Надати оцінку використання екологічно безпечних компонентів для підвищення протизносних властивостей авіаційних палив.
3. Провести дослідження протизносних властивостей сумішевих авіаційних палив на основі естерів жирних кислот рижієвої олії.
4. Встановити закономірності впливу магнітного поля на енергетичні показники та протизносні властивості.
5. Оцінити екологічну безпеку сумішевих авіаційних палив із рослинної сировини.

***Об'єкт дослідження*** – вплив магнітного поля на протизносні властивості авіаційних палив реформульованих біокомпонентами.

***Предмет дослідження*** – закономірності впливу магнітного поля на протизносні властивості авіаційних палив, реформульованих біокомпонентами

***Методи дослідження:*** монографічний, методи системного аналізу, спектроскопічні та стандартні випробування на тертя та зношування.

## РОЗДІЛ 1. Аналіз інформаційних джерел

### 1.1. Характеристика сировини альтернативних палив для ПРД

Сучасна цивільна авіація постійно розвивається. Щороку близько 20 тисяч комерційних літаків перевозять 3 мільярди пасажирів понад 3 трильйони пасажирських миль, з'єднуючи 35 тисяч міських пар з 30 мільйонами літаків. Ці літаки також перевозять понад 6 трильйонів доларів повітряних вантажів, що становить близько 35% світової торгівлі за вартістю. В результаті за останнє десятиліття споживання палива для повітряно-реактивних двигунів зросло на 21%. Щодня у світі виробляється і споживається близько 5,5 тис. Барелів реактивного палива. Зараз комерційні літаки споживають понад 70 мільярдів галонів реактивного палива на рік [1]. Таким чином, на сьогодні авіація є одним з найбільш значних споживачів реактивного палива, що отримується з нафти. Рис. 1.1 демонструє, що понад 90% світового споживання авіаційного палива пов'язане з великими комерційними літаками.

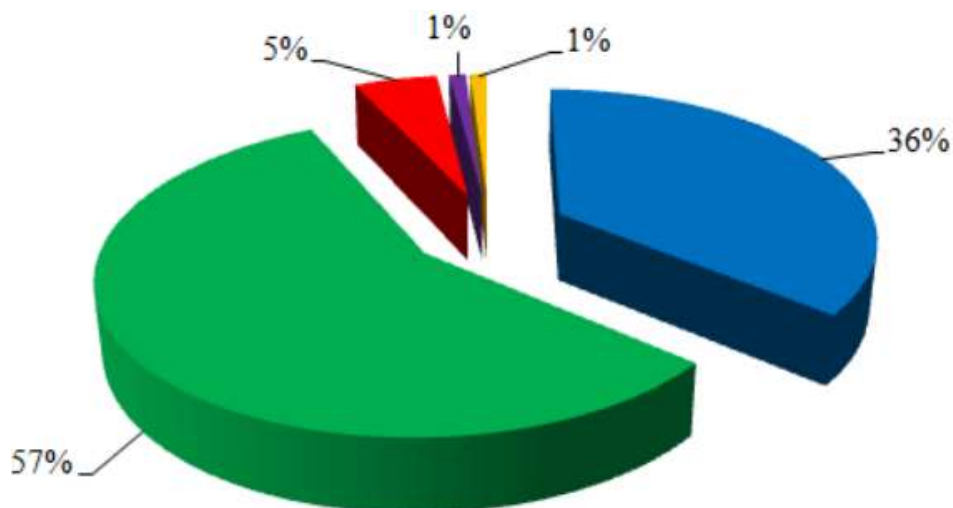


Рис. 1.1. Світове споживання палива у цивільній авіації:

однопрохідний - 36%, двопрохідний - 57%, регіональний реактивний літак - 5%, бізнес - 1% та турбогвинтовий - 1%

Оскільки комерційна авіація продовжує зростати з точки зору доходів пасажирів і миль вантажних тон, очікується збільшення викидів CO<sub>2</sub>. Щоб зменшити внесок авіації у зміну клімату, важливо підвищити ефективність

постійних зусиль щодо зменшення викидів та розпочати дослідження нових підходів. Незважаючи на те, що авіаційні викиди CO<sub>2</sub> становлять невелику частину загальних викидів CO<sub>2</sub>, заходи щодо їх зменшення є терміновими з вищезазначених причин і тому, що нові технології потребують тривалого часу для розповсюдження в і через авіаційний флот [2].

Протягом останніх років все більша увага приділяється питанню заміни традиційних джерел енергії їх альтернативними аналогами. Питання є особливо гострим для транспортного сектору та, зокрема, авіації. Одним з основних завдань у галузі виробництва та використання авіаційних паливно-мастильних матеріалів є розширення ресурсної бази та розробка прогресивних технологій виробництва авіаційного палива. Водночас альтернативні авіаційні види палива повинні відповідати низці вимог, що стосуються ефективності, надійності та довговічності авіаційної техніки [3].

## **1.2. Технології виробництва реактивного палива**

На сучасному етапі розвитку основною сировиною для виробництва реактивних палив все ще залишається сира нафта. На сьогодні альтернативними видами сировини порівняно з сировою нафтою є шахта, буре вугілля, сланці та природний газ. Ці матеріали також відносяться до викопного палива. Паливо, отримане з вугілля, природного газу, сланців тощо, набуло широкої популярності в деяких країнах. Технології виробництва реактивного палива з використанням вугілля та газу відомі вже давно, перестали бути добре вивченими і вже впроваджені у виробничі масштаби. Цей факт обумовлений головним чином наявністю певної сировини на території країни-виробника [4]. На рис. 1.2 наведено базове уявлення про існуючі технології виробництва реактивного палива відповідно до задіяної сировини.

Як видно зі схеми, більша частина існуючих технологій все ще спрямована на переробку різних викопних видів палива, таких як нафта, вугілля, природний газ та деякі інші. Однак протягом декількох десятиліть досліджуються різні

відновлювані ресурси, які переробляються на реактивне паливо. Основними перевагами відновлюваної енергії є те, що вона має природне походження, може швидко поновлюватися, не утворювати зайвої CO<sub>2</sub> в атмосфері, мати менший негативний вплив на навколишнє середовище та легко розкладатися в природі.

### 1.2.1. Виробництво реактивного палива шляхом переробки сирої нафти

Традиційно реактивні палива отримують шляхом прямої прямоточної різаної дистиляції сирої нафти. Також застосовуються деструктивні методи переробки нафти. Узагальнений процес виробництва палив для ПРД із сирої нафти представлений нижче.

Нафта, видобута з нафтових свердловин, містить розчинені гази, механічні домішки у вигляді піску та глини (приблизно 1,5%), воду (до 50% і більше), різні солі та інші хімічні сполуки, що вводяться в нафтову свердловину з метою збільшити видобуток нафти з товщ. Усі ці продукти можуть частково потрапляти в палива, що виробляються прямою прямою дистиляцією, і впливати на їх якість. Через це нафта проходить підготовчі процеси як на нафтових родовищах, так і на виробничому підприємстві. Вони включають стабілізацію з метою видалення згаданих компонентів з метою захисту обладнання від корозії та сприяння отриманню високоякісної продукції [5].

Після цього нафту ділять на фракції. Авіапалива представлені фракціями середньої дистиляційної олії з діапазоном кипіння, який частково перекривається дизельним (140-280°C). Вони містять різні класи вуглеводнів, гетероатомних сполук та неорганічних домішок. Фракції авіапалив отримують в атмосферних колонах. Нафта поділяється на велику кількість фракцій, включаючи бензин, дизель, гас, лігроїн та інші. Внаслідок значної різноманітності переробленої нафти та її якості, установки для переробки олії також сильно відрізняються. Залежно від складу сирої нафти, обладнання підприємства та необхідних кількостей кінцевої продукції (бензину, реактивного та дизельного палива), діапазон кипіння фракцій та кількість фракцій, що беруть участь у авіапаливах, неоднаковий.

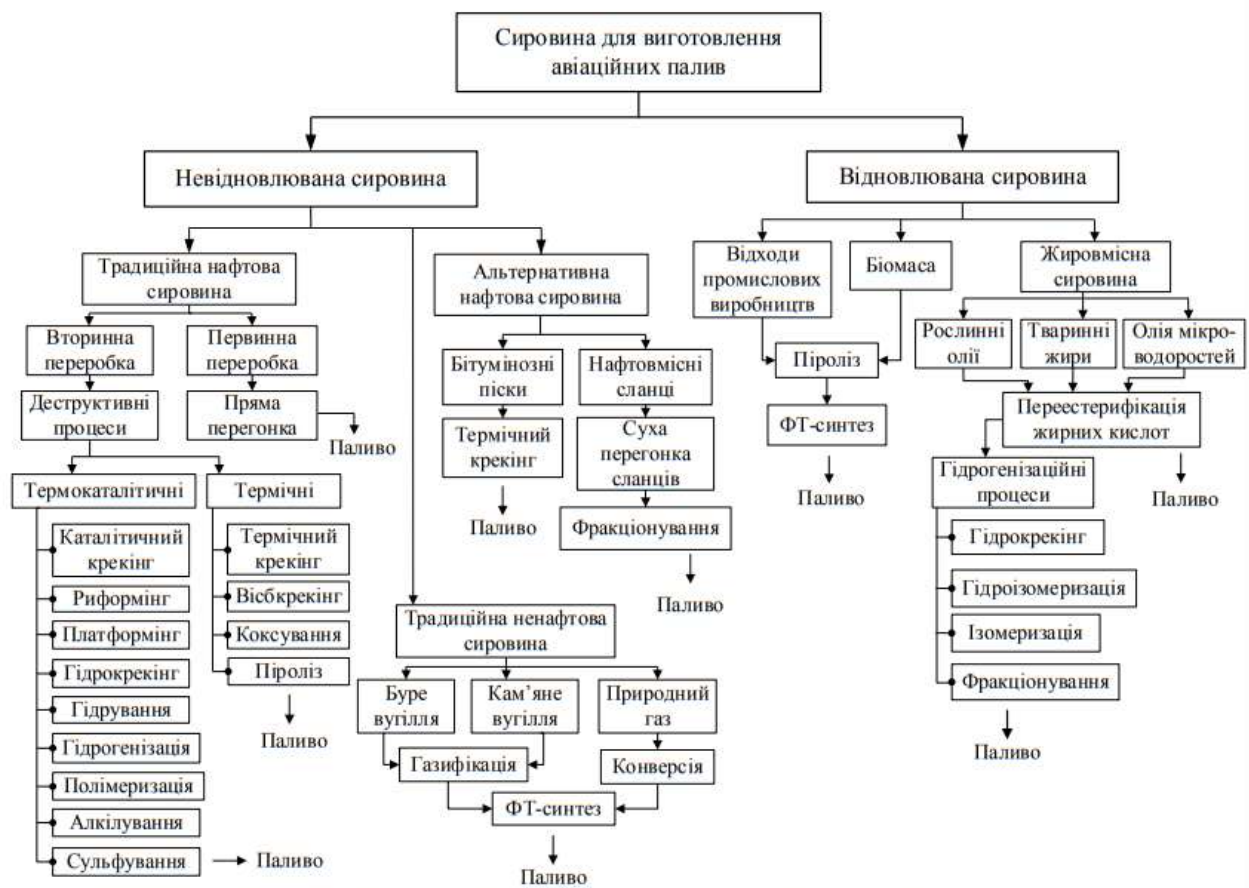


Рис. 3. Класифікація процесів виробництва авіаційного палива з різних видів сировини

Рис. 1.2. Класифікація технологій виробництва реактивного палива відповідно до використовуваної сировини

Фракції сирої нафти прямої прямої дистиляції очищаються від сполук, що впливають на якість авіапалив. Для того, щоб видалити деякі з цих сполук, фракції обробляють розчином гідроксиду натрію і промивають водою. Це дозволяє видалити нафтові кислоти, феноли, а також сірководень та меркаптани. Лужні солі нафтових кислот і фенолятів натрію, що утворюються під час очищення, виявляють схильність до гідролізу, тому повністю не видаляються. Гідроксид натрію реагує з сірководнем, утворюючи сульфід та сульфати, коли бракує лугу. Меркаптани реагують, утворюючи меркаптиди натрію. Меркаптиди, особливо високомолекулярні, легко гідролізуються, перешкоджаючи їх вилученню під час очищення газових фракцій. Тому для видалення меркаптанів з авіапалив лужне очищення майже не застосовується. Подальшим етапом є промивання газової

фракції після обробки гідроксидом натрію. Як було сказано, в результаті лужної обробки нафтові кислоти видаляються з ЖФ, тоді це призводить до погіршення протизносних властивостей. Меркаптани є найбільш небажаними сполуками бензинової та гасової фракцій, які використовуються для виробництва авіапалив. Для видалення меркаптанів застосовують такі процеси: очищення сантехніки, очищення хлоридом міді та процес "Мерокс".

Ефективним методом видалення гетероатомних сполук з авіапалив є гідроочищення. Це означає каталітичне очищення в присутності водню та каталізатора. У тих випадках, коли достатньо видалити з палива лише меркаптани, обробка проводиться в "м'якому" режимі, якщо необхідно зменшити загальну кількість сполук сірки (гідродесульфурація), паливо очищається в "жорсткіший" режим. Але в цьому випадку менший вихід рідких продуктів і більший витрата водню спостерігається. Під час гідрообробки сполуки, що відіграють роль природних інгібіторів окислення, і поверхнево-активні речовини, що покращують протизносні властивості палива, також видаляються разом з небажаними речовинами. Тому гідроочищені авіапалива вводять антиоксиданти та протизносні добавки. Або гідроочищений компонент (до 70%) змішується з фракціями прямої перегонки. Подальше підвищення твердості режиму гідроочищення призводить до часткового гідрування ароматичних вуглеводнів (процес гідродearоматизації). Реакції конденсації та утворення коксу під час гідродearоматизації майже не спостерігається. Вихід рідких продуктів під час гідродearоматизації становить близько 94-95%. Однак у наш час цей процес майже не використовується, оскільки в деяких випадках стало можливим збільшити допустимий вміст ароматичних вуглеводнів у авіапалив [ 5,6].

З метою збільшення виходу легкої нафти вищої якості із сирової нафти застосовуються процеси вторинної переробки нафти. Це передбачає переробку нафти з крекінгом (руйнуванням) важких вуглеводнів у більш легкі. Такі процеси відомі як деструктивні. Вони включають теплові процеси, засновані на здатності органічних сполук руйнуватися і хімічно змінюватися під впливом високих температур (термічний крекінг, віскракінг, коксування, піроліз). Також



застосовуються тепло-каталітичні процеси; вони засновані на застосуванні різних каталізаторів для прискорення хімічних реакцій (каталітичний крекінг, риформінг, платформінг, гідрокрекінг, гідратація, гідрування, полімеризація, алкілування, сульфування тощо). Розглянемо деякі з них детально.

Одним із руйнівних процесів переробки нафти є гідрокрекінг. Зазначений процес використовується для отримання авіапалив з висококиплячих вакуумних масляних дистилатів. Каталізатори гідрокрекінгу містять метали платинової групи як компоненти гідрування, такі як нікель, молібден, вольфрам, кобальт, розміщені на аморфних та кристалічних алюмосилікатах. Завдяки таким каталізаторам у процесі гідрокрекінгу утворюється підвищена кількість ізо-форм алканів, що дозволяє отримувати реактивне та дизельне паливо з важких дистилатів без процесу депарафінізації. В результаті гідрокрекінгу тієї самої сировини виробляється бензин або переважно (не менше 70%) реактивне або дизельне паливо. Ця особливість процесу особливо важлива, оскільки дозволяє змінювати обсяги виробленого палива з урахуванням необхідності, включаючи сезонну. В результаті гідрокрекінгу авіапалив мають температуру замерзання нижче мінус 60°C і містять мало ( $\approx 10\%$ ) ароматичних вуглеводнів. Подібно до гідроочищеного палива, вони практично не мають гетероатомних сполук. Для зменшення схильності палива до окислення та поліпшення їх протизносних властивостей краще вводити відповідні добавки.

В процесі глибокого гідрування авіапалива отримують з гасо-газойлевих дистилатів прямого перегонки відібраних масел або продуктів каталітичного крекінгу, що містять понад 60% ароматичних вуглеводнів. Під час процесу ароматичні вуглеводні перетворюються на нафтени. Відповідний підбір сировини дозволяє отримувати авіапалив, що містить переважно нафтени високої щільності (840 кг / м<sup>3</sup> при 20° C), низького вмісту сірки (<0,01%), алкенів (йодне значення <0,2 г / 100 г) та існуючих ясна (< 3 мг/100 мл). Існує припущення [165], що майже всі гетероатомні сполуки та алкени піддаються гідруванню. Через низький вміст природних антиоксидантів у продуктах гідрування існує необхідність введення добавок у паливо. Незважаючи на відсутність поверхнево-активних речовин, продукт має задовільні протизносні властивості завдяки відносно високій в'язкості.

На даний момент найпопулярнішим сортом авіапалив у всьому світі є «Jet A-1». Сорти — РТ та — ТС1 все ще широко використовуються на території пострадянських країн.

**Реактивне паливо А-1.** Паливо марки Jet A-1 отримують очищенням прямогонних компонентів та гідрованих компонентів масляних фракцій з температурою кипіння 205-300°C та додаванням комплексу функціональних добавок. Технологічний процес виробництва реактивного палива —Jet A-1 схематично показаний на рис. 1.3.



Рис. 1.3. Технологічна схема виробництва авіаційного реактивного палива марки Jet A-1

**Паливо ТС-1.** Цей вид палива зазвичай використовується в дозвукових та надзвукових літаках з обмеженою тривалістю надзвукового польоту. Виробляється

як прямогонне, так і змішане паливо з гідроочищеним компонентом. В останньому випадку гідроочищений компонент додають до нафтової прямогонної фракції. Відомо, що процеси гідроочищення та демеркаптанізації застосовуються у випадку, коли вміст загальної сірки та меркаптанів у газових дистилятах високий. Гідродепарафінізація використовується для гідроконверсії та поліпшення низькотемпературних властивостей газових фракцій [7]. Технологічний процес виробництва авіапалив —ТС-1 схематично показаний на рис. 1.4.

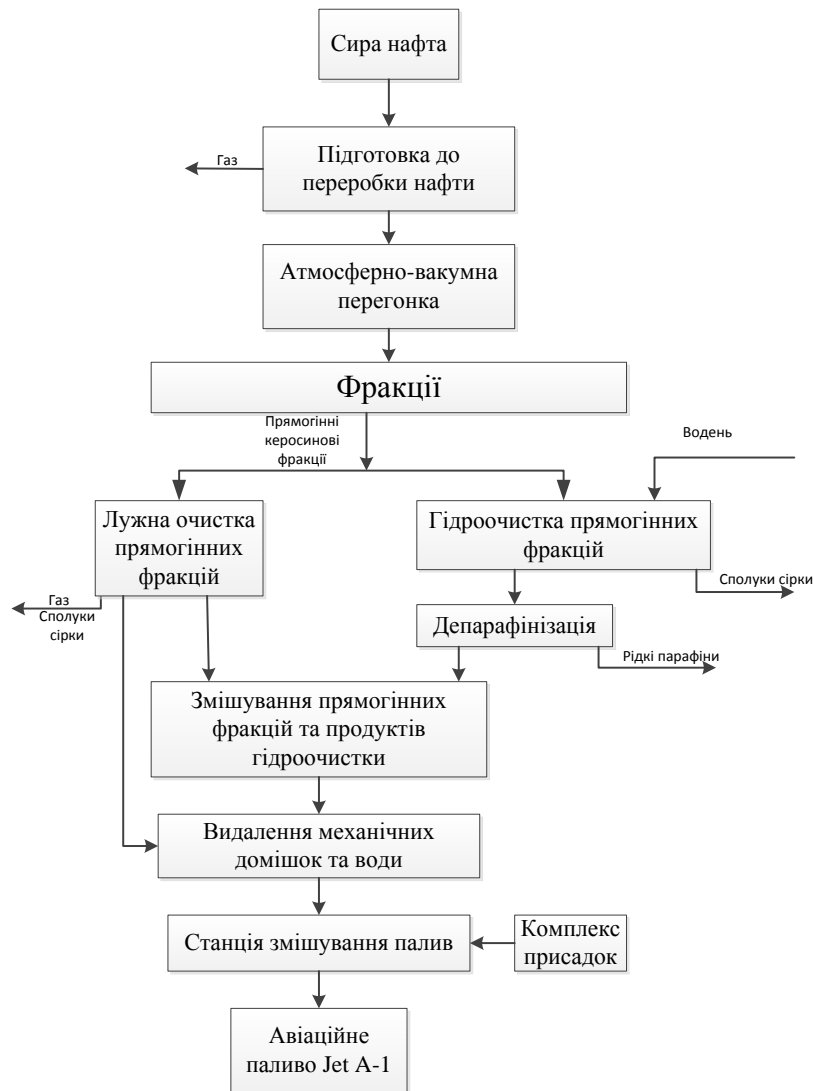


Рис. 1.4. Технологічна схема реактивного палива виробництва —ТС-1 виробництва

**РТ паливо.** Паливо — РТ зазвичай отримують гідробробкою прямогонної фракції з температурою кипіння 135-280°C з різних масел, а також додаванням різних добавок до прямогонної газової фракції після депарафінізації. Дистилятні

фракції, які не можуть бути використані для виробництва палива ТС-1 через високий вміст сірки та меркаптанів, використовуються для гідроочистки для виробництва RT-палива. Агресивні та нестійкі сполуки, що містять сірку, кисень та азот, витягуються з нафтового дистилляту під час гідрообробки. Таким чином, термостабільність палива збільшується, а корозія зменшується. Технологічний процес виробництва авіапалив — RT схематично показаний на рис. 1.5.



Рис. 1.5. Технологічна схема виробництва авіапалив сорту —RT

### 1.2.2. Виробництво реактивного палива переробкою сланцю

Протягом останніх десятиліть наукова література приділяє велику увагу технології отримання авіапалив з горючих сланців. Ця технологія не стала

популярною в Польщі та Україні через відсутність родовищ сланців. Вони містять 20–35% керогену (іноді до 50%), який складається з ароматичних, ациклічних, а також органічних кисневмісних та сірковмісних сполук. Основною частиною процесу переробки сланців є суха дистиляція в реторті, яку можна проводити як після їх вилучення на поверхню, так і безпосередньо в місцях природного залягання шарів. Головною перевагою підземної переробки сланців є відсутність необхідності їх видобутку, транспортування на суху дистиляційну установку та видалення золи, що залишається у вигляді відходів.

Відомо, що найпоширенішою технологією переробки сланцевих на сьогодні є фракціонування, повільне коксування та гідрокрекінг (рис. 1.6). Всередині сланців реторти піддають піролізу при температурі близько 480-540 ° C і розкладаються з утворенням парів сланцевого дьогтю (10-30%), бензинового газу (1,0-1,5%), пірогенетичної води та легкозаймистих газів . У наступних процесах сланцевий дьоготь, що містить 20-25% фенолів, парафінові, аліфатичні, нафтеніві та ароматичні вуглеводні можна переганяти, як традиційну олію.

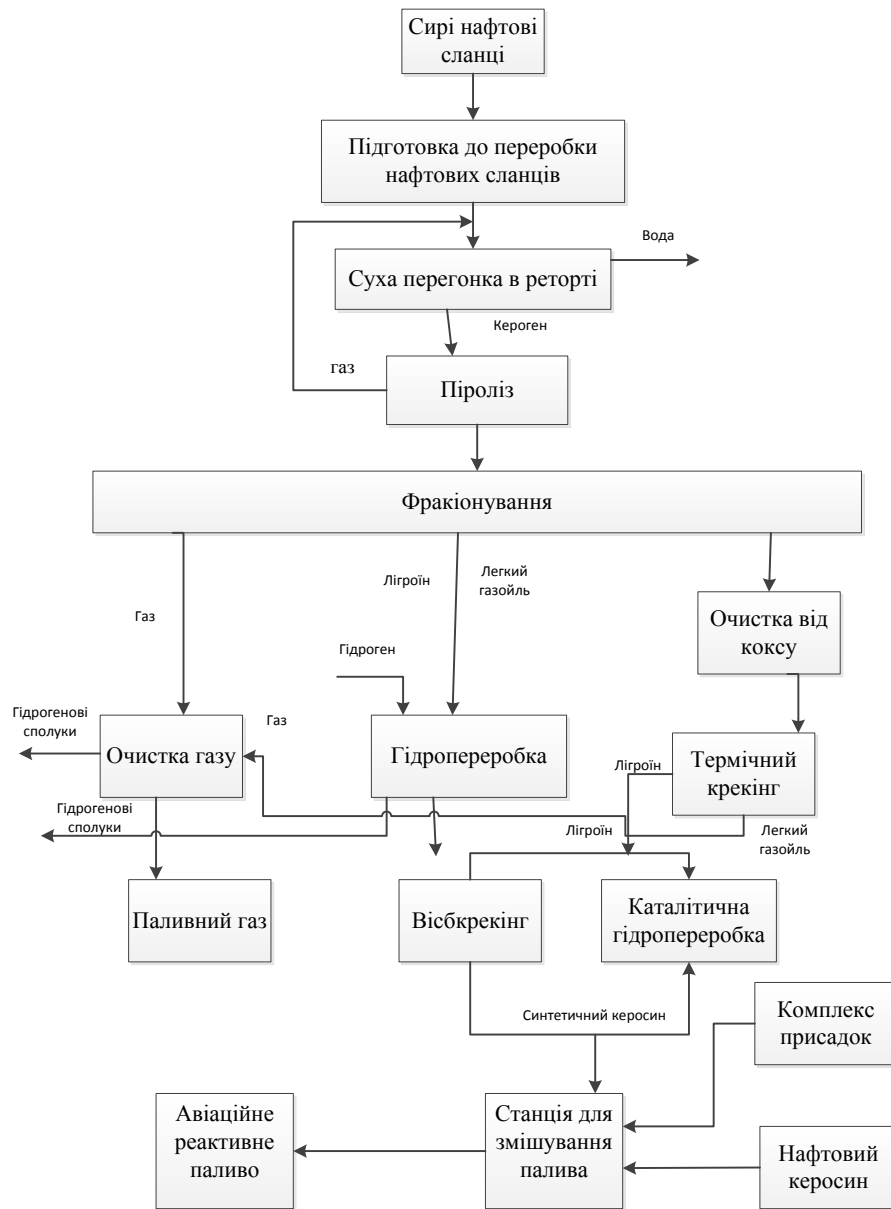


Рис. 1.6. Технологія виробництва авіапалив шляхом переробки сланців

Сланцевий дьоготь застосовується для виробництва авіапалив. Однак він має високу щільність, середній вміст сірки, азоту та ненасичених вуглеводнів. Щільність та температура замерзання сланцевого дьогтю вищі, ніж у багатьох нафтових фракцій з однаковою в'язкістю. Виробництво авіапалив з горючих сланців вимагає гідроочищення, щоб зменшити вміст згаданих органічних сполук та поліпшити їх якість. Загалом виробництво авіапалив із сланців відповідної якості вимагає більш глибокої переробки та вищих витрат, ніж виробництво палив із сирової нафти.

Авіапалива, отримані обробкою сланців, мають середній вміст ароматичних вуглеводнів (10-25%) і не викликають проблем, пов'язаних із змащувальними

властивостями. Більше того, він демонструє високий рівень стабільності при тривалому зберіганні.

### 1.2.3. Виробництво реактивного палива переробкою вугілля

Метод або процес Фішера-Тропша (ФТ-процес) - широко відома технологія виробництва авіапалив з часів Другої світової війни [7,8]. Основною сировиною, що використовується для цієї технології, є чорне та буре вугілля. Більше того, природний газ та біомаса також сьогодні успішно використовуються. Основні етапи ФТ-процесу представлені на рис. 1.7.

На першій стадії в результаті газифікації вугілля отримують синтетичний газ (синтез-газ), який є сумішшю водню та окису вуглецю ( $\text{CO} + \text{H}_2$ ). Сингаз, що надходить із вуглецевого газифікатора, містить значну кількість  $\text{CO}_2$  і певний відсоток газоподібних речовин, утворених добавками, присутніми в сировині, наприклад, сіркою. Наступним важливим етапом є виділення шкідливих речовин із потоку синтетичного газу. Наступним етапом є каталітичний процес гідратації  $\text{CO}$  подальшим утворенням рідких вуглеводневих сумішей: алканів, олефінів, парафінів, спиртів тощо. Можна змінювати співвідношення отриманих фракцій, змінюючи умови реакції. Після закінчення ФТ-процесу синтезовані фракції вуглеводнів обробляють способом, подібним до процесів виробництва палива з сирої нафти.

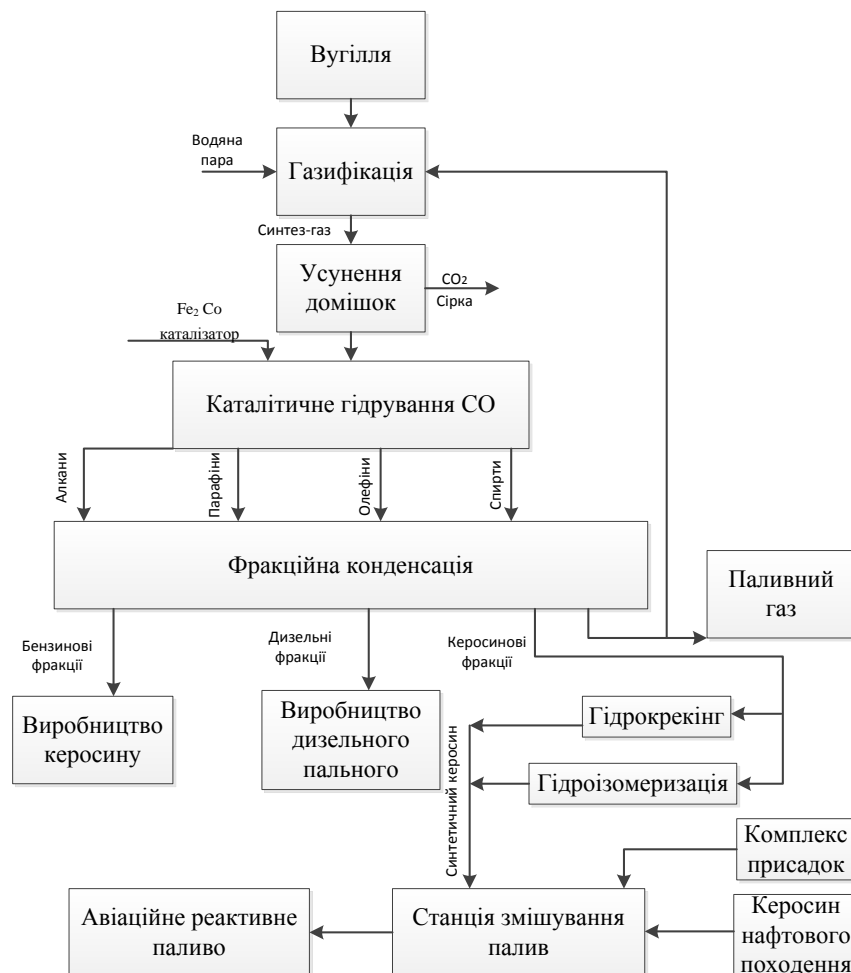


Рис. 1.7. Технологічна схема видобутку СВ методом переробки вугілля

Як уже зазначалося, природний газ широко використовується разом із вугіллям для виробництва палива методом ФТ-процесу [8,9]. Основним компонентом природного газу є метан. Технологічна схема виробництва палива для повітряних реактивних двигунів із природного газу схожа на схему, де використовується вугілля, але винятком є відсутність першого підготовчого етапу газифікації вугілля.

Фракції переробки природного газу характеризуються майже нульовим вмістом сполук гетероатомів сірки. Паливо, отримане ФТ-процесом, складається переважно з парафінових вуглеводнів; порівняно зі звичайним гасом, ароматичні вуглеводні практично відсутні. Як результат, їх тенденція до утворення сажі значно нижча, і вони більш термостійкі. Крім того, отриманий під час переробки вугілля авіапалив має більш високу теплову цінність, тому його споживання під час польоту



менше. Однак результати експериментів показують, що це паливо має гірші змащувальні властивості, і цей факт вимагає застосування добавок [10].

### **1.3. Огляд авіаційних палив реформульованих біокомпонентами.**

Постійне вдосконалення авіаційного та наземного обладнання, забезпечуючи його надійну, економічну та довговічну експлуатацію, пред'являє високі вимоги до якості паливних властивостей. Існує можливість поліпшити роботу двигунів за допомогою різних фізичних ефектів. Одним з найменше досліджених методів є вплив електромагнітних імпульсів особливої форми на паливо, що надходить у двигун. Існує багато робіт щодо спрямованого впливу електромагнітних полів на характеристики різних рідин. Цільовий напрямок застосування таких приладів у нафтохімічній промисловості та енергетиці. Одночасно спостерігається зменшення ступеня забруднення камер згоряння та трубопроводів, зменшення диму вихлопних газів. Сучасні вимоги до авіаційного палива, режиму та стабільних властивостей їх експлуатації за різних умов зумовлюють необхідність вдосконалення трибохімічних властивостей існуючих нафтових авіаційних палив та нових сумішей на основі біокомпонентів. Саме тому питання дослідження та вдосконалення протизносних властивостей сучасних палив для автомобільних та реактивних двигунів є однією із складових при розгляді пріоритетних напрямів забезпечення надійності моторного обладнання та вузлів тертя. Відомо, що протизносні властивості палива для ГТД визначають надійність та термін служби паливних агрегатів літального апарату, особливо їх пар тертя. Такі пари працюють в режимах тертя кочення, тертя ковзання та комбінованого тертя за різних значень навантаження, температури, тиску, відносної швидкості в умовах рідини та максимальному змащенні.

Змащувальна здатність палив залежить від їх хімічного складу, в'язкості, термоокислювальної стійкості, вмісту механічних забруднень, наявності поверхнево-активних речовин. При високих питомих навантаженнях тертя звичайно спостерігається, коли поверхні тертя не цілком відокремлені паливом. У випадку напіврідкого тертя протизносна здатність палива для ПРД визначається: 1) в'язкістю

палива, яка утворює гідродинамічний ефект розділення поверхонь тертя шаром рідини; 2) присутність у паливі поверхнево-активних речовин, які утворюють високоміцний поглинаючий шар на поверхні тертя, який відокремлює поверхню тертя і тим самим зменшує коефіцієнт тертя та зносу деталей. Основною сировиною для виробництва біопалива з сільськогосподарських культур в Україні є ріпак. Ріпак за своїм хімічним складом та основними технічними характеристиками є одним із найбільш придатних для виробництва альтернативних видів палива. Але культура ріпаку вимоглива до умов вирощування, вимагає постійного внесення добрив та іншого догляду, значно виснажує ґрунт на територіях, традиційно використовуваних агропромисловими комплексами. Також не рекомендується додавати чисте ріпакове масло до авіаційного палива, оскільки висока в'язкість, низька температура застигання, вода та органічні кислоти є несприятливими факторами для використання чистого рослинного масла як палива. Ще однією з відомих сільськогосподарських культур для виробництва біопалива є ріжій, що пов'язано з його надзвичайною пристосовуваністю до агроекологічних умов вирощування та високою рентабельністю. Дане біопаливо є доволі ефективним і застосовується в авіації без зниження якості та продуктивності двигунів. Насіння ріжію має 40-50% олії, що забезпечує врожайність олії приблизно 1250 л/га. Ще однією перевагою культури ріжію є можливість використовувати шроту (побічний продукт процесу видобутку олії) як корм для тварин та птиці у сільськогосподарських угіддях.

#### **1.4. Оцінка методів покращення протизносних властивостей паливо-мастильних матеріалів нафтового та біологічного походження.**

У присутності МП квантова частина, яка має спіновий магнітний момент, отримує додаткову енергію, пропорційну своєму магнітному моменту (ефект Зеємана). Однак експериментально доведено, що кванти потоку електромагнітного випромінювання мають польову структуру, тобто складаються з електричного та магнітного потоків  $\vec{i}$ , відповідно, до них поширюються всі закони електродинаміки. Відповідно до законів електродинаміки в електромагнітній хвилі енергія

електричного струму завжди дорівнює енергії магнітного потоку. В умовах фізико-хімічних взаємодій МС з поверхнею металу під час тертя, крім додавання хімічних речовин до МС, відомі фізичні методи її обробки звуковими та ультразвуковими хвилями різної довжини хвилі тощо.

Було досліджено вплив МП на рідкі середовища, що визначало вплив зовнішнього МП на процеси переносу в феросуспензіях. Дослідники стверджують, що такий потужний ефект пояснюється утворенням структури в рідинодинамічній системі в результаті диполь-дипольної взаємодії частинок феромагнетика та орієнтацією структурних елементів по силових лініях МП. На процеси переносу впливають геометрія та розмір МП, концентрація та розмір частинок, їх магнітні властивості та інші фактори. Найінтенсивніше змінюються реологічні властивості феро суспензій, а саме пластичність та ефективна в'язкість (магнітореологічний ефект). Також у [7] зведені результати експериментів магнітореологічного ефекту - різкої зміни механічних властивостей (в'язкості, пластичності, еластичності) під дією МП. Показано, що електро- та магнітна проникність рідких середовищ істотно змінюється.

### **1.5. Вплив магнітного поля на вуглеводневі палива.**

Аналіз можливих механізмів впливу силового магнітного поля показав, що дія магнітного поля на вуглеводневу рідину взаємопов'язана з реакціями, що протікають за радикальним механізмом, і визначається синглеттриплетними переходами та орієнтацією спінів у магнітному полі. При цьому синглеттриплетний перехід у разі зміни фізичних умов середовища сприяє зміні швидкості реакцій та виходу продукції (внаслідок переорієнтації сполук та радикалів). Постійне магнітне поле впливає на хімічні реакції за участю короткоживучих спін-корельованих радикальних пар, що є проміжними утвореннями в багатьох хімічних перетвореннях. Це пояснює агрегативні порушення молекул, утворення метастабільних структур рідини за рахунок орієнтації спінів у напрямі поля. Дослідженнями впливу магнітного поля на кінетику хімічних процесів у

вуглеводневому середовищі, було, зокрема, визначено, що неузгодження спінів перешкоджає об'єднанню триплетних пар радикалів і у системі виникає їх надлишок [1; 2].

За час їх короткого життя ( $10^{-6}$  –  $10^{-8}$ с) під дією зовнішнього магнітного поля відбувається зміна відносної орієнтації спінів, що зумовлює прискорення хімічних реакцій, особливо з молекулярним киснем. Встановлено [2; 3], що в результаті гомолітичної дисоціації виникають радикали, що сприяє активізації окиснювальних процесів. Разом з тим, науковий інтерес являє розгляд результатів дії магнітного поля згідно з сучасними уявленнями про нафтові дисперсні системи [4; 5]. Зважаючи на те, що будова самих дисперсних систем подібна до класичних колоїдів, що мають зарядову організацію за принципом подвійного електричного шару оболонок, а нафта та нафтопродукти є діелектриками і в такому середовищі немає вільних іонів та диполів, існує точка зору, що основним типом міжмолекулярної взаємодії є не зарядові, а обмінні взаємодії, які завдячують своїм походженням невідмінністю електронів та принципу Паулі. Автори роботи [6] методом аналогії з зарядовою організацією рідини теж пропонують урахувувати спінову організацію, де взаємодія відбувається за рахунок сили тяжіння протилежних спінів. При цьому вважається, що під дією зовнішнього постійного магнітного поля відбувається зміна парної взаємодії з переорієнтацією молекул, що містять неспарований електрон, орієнтований у напрямку поля, та зміна розміру часток у результаті перерозподілу вуглеводнів між зовнішніми шарами дисперсних часток (асоціативних комбінацій) і дисперсним середовищем. Така взаємодія зумовлює перехід частини вуглеводнів із зовнішнього шару в дисперсне середовище, чим і пояснюється збільшення виходу легких фракцій.

У роботах [7, 8, 9] було встановлено, що тим, котрий найбільше задовольняє потреби з огляду на економічності, надійності та довговічності є метод обробки вуглеводневих палив у магнітному полі, яке утворюється у спеціально сконструйованих комплексних установках. Останні різняться конфігурацією поля, напруженістю магнітного поля в центрі робочого зазору, сплавами робочих магнітів, довжиною активної зони. Авторами було проведено дослідження на предмет впливу

магнітного поля на показники палива для реактивних двигунів, дизельного палива та автомобільного бензину.

### **1.6. Оцінка екологічної безпеки сумішевих авіаційних палив із рослинної сировини, оброблених магнітним полем.**

Авіація є джерелом більш ніж 2 % світової емісії CO<sub>2</sub> — основного парникового газу та інших компонентів, що негативно впливають як на здоров'я людини, так і на глобальні зміни клімату на планеті [11]. За деякими прогнозами, до 2050 р. повітряний транспорт буде джерелом 20 % усіх шкідливих речовин, що викидаються у світі. У зв'язку з цим низка міжнародних організацій, таких як ІСАО, ІАТА, висувають вимоги щодо підвищення екологічності цивільної авіації, мінімізації її впливу як на довкілля, так і на здоров'я населення. На думку вчених це питання має вирішуватися зменшенням викидів парникових газів, таких як CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> та інших, а також зниженням токсичності відпрацьованих газів повітряних суден (ПС) [12].

Аналіз досліджень і публікацій Експерти ООН та вчені академії наук країн «Великої вісімки» дійшли висновку, що однією з причин зміни клімату, є парниковий ефект, зумовлений викидами вуглекислого газу і метану [13]. Однією з основних причин парникового ефекту є нагромадження вуглекислого газу в атмосфері. Вуглекислий газ діє в атмосфері, як скло в оранжереї: він пропускає сонячну радіацію й не випускає назад у космос інфрачервоне (теплове) випромінювання Землі. В той же час вуглекислий газ діє як потужний поглинач земного випромінювання, що у протилежному випадку розсіювалося б у космічному просторі. Отже, поглинаючи сонячну радіацію й не віддаючи цю енергію випромінювання Землі, двоокис вуглецю спричиняє нагрівання атмосфери. Нині концентрація CO<sub>2</sub> в атмосфері становить приблизно 400 ppm. Це у два рази більше, ніж до початку промислової революції XVIII ст. До 2050 р., за даними вчених, концентрація CO<sub>2</sub> в атмосфері може досягти 500 ppm. [13]. У зв'язку зі збільшенням вмісту CO<sub>2</sub> в атмосфері, з одного боку, а також з вичерпністю запасів нафти та

інших корисних копалин, з іншого, сьогодні більш актуальним стає пошук і розробка альтернативних технологій отримання палив для ПРД з відновлюваної сировини [14]. На сьогодні низкою розвинених країн вже зроблено перші кроки у цьому напрямі. Так, багатьма відомими авіакомпаніями світу вже здійснено польоти літаків з використанням альтернативного палива.

Урядами багатьох країн оголошено національні програми, що скеровані на виробництво та упровадження біопалив у авіацію.

Як один із варіантів вирішення даної проблеми вченими було запропоновано розроблення та упровадження альтернативних авіаційних палив. На разі у світі вже існує досить велике різноманіття альтернативних видів авіаційного палива. Зазвичай їх класифікують відповідно до сировини, з якої їх отримують. Сьогодні вчені виділяють п'ять груп альтернативних палив: – палива на основі нетрадиційної нафтової сировини (сланці, бітумінозні піски); – синтетичні палива, виготовлені з вугілля, природного газу та біомаси ФТ-процесом; – палива на основі спиртів (етанол, бутанол); – палива на основі рослинних олій та тваринних жирів (біодизель, біокеросин, гідрогенізовані рослинні олії); – палива на основі олій, вироблених у процесі життєдіяльності мікроводоростей [12]. Проте не усі види палива з цього переліку є відновлюваними.

Так, палива, отримані з нетрадиційної нафтової сировини, вугілля, природного газу, є альтернативою традиційній нафті, але також видобуваються з надр землі. Відповідно реалізація технологій переробки як природного газу, так і вугілля призводить до значних викидів  $\text{CO}_2$  і деяких інших речовин [11; 14; 15].

За даними праці [14], в процесі виробництва альтернативного палива для ПРД із природного газу об'єм парникових газів є у 1,8 разу, а з вугілля в 2–2,4 разу вищим, ніж у результаті переробки нафти. Крім того, використання бітумінозного вугілля як сировини супроводжується викидами  $\text{CH}_4$ , що також є парниковим газом. Водночас, у процесі згоряння палива, отриманого з природного газу, викиди сірки відсутні [14; 15]. Одними з перших видів відновлюваної сировини були застосовані олії ріпаку, сої, пальмова, кокосова олії та деякі інші. Щоб отримати палива з кращими експлуатаційними властивостями, олії та тваринні жири

переетерифікують із метанолом, етанолом або бутанолом, перетворюючи складні ефіри гліцерину на відповідні естери нижчих спиртів і високомолекулярних кислот.

Особливістю більшості альтернативних видів палива є використання природної, поновлюваної, найчастіше рослинної сировини. В цьому випадку не порушується загальний баланс вуглекислого газу в природі. Це пояснюється тим, що рослини, які використовують як сировину, споживають вуглекислий газ необхідний їм для розвитку з атмосфери. Крім того, існує думка, що використання авіаційних біопалив дозволяє знизити токсичність відпрацьованих газів літаків. У першу чергу це пов'язано з відсутністю в біопаливах гетероатомних сполук, таких як сірка та інших, що негативно впливають на якість відпрацьованих газів.

### **1.7. Висновки до розділу**

*Отже, до палив для реактивних двигунів висуваються такі основні вимоги:*

- достатня випаровуваність для забезпечення повноти згорання;
- висока повнота і теплота згорання, що визначають дальність польоту;
- задовільна прокачуваність і низькотемпературні властивості для забезпечення подачі палива в камеру згорання;
- задовільна сумісність з матеріалами: низькі антикорозійні властивості відносно металів і відсутність впливу на гумовотехнічні вироби;
- задовільні протизношувальні властивості, що зумовлюють невелике зношення деталей паливної апаратури;

## РОЗДІЛ 2. Методи та об'єкти

### 2.1 Аналіз загальноновизнаних методів та приладів дослідження протизносних властивостей палив та мастильних матеріалів.

Ще кілька десятиліть тому запуску машин в серійне виробництво передували тривалі стендові та експлуатаційні випробувальні процеси дослідних зразків, протягом яких визначалися та усувалися помилки, допущені при розробці різних компонентів цих машин, в тому числі трибосистем. У наш час умови виключають настільки трудомікі та вартісні експерименти, тому конструктори мають приймати остаточні рішення на стадії розробки. Для правильного вибору трибосистем необхідно попередньо випробувати ці трибосистеми або їх моделі [17].

Метою дослідника в першу чергу є коректний вибір методу і умов випробування на лабораторних машинах і стендах, які дозволяють оцінювати протизносні, протизадирні і антифрикційні характеристичні дані трибосистем спроектованої машини. Методики проведення таких експериментальних досліджень реалізуються на типі лабораторних установок, названих машинами тертя або трибометрами. Машина тертя – це пристрій, що відтворюють трибологічні процеси в контрольованих умовах і забезпечують оцінювання вихідних параметрів. Трибологічний процес відтворюється між зразками з досліджуваних матеріалів, яким задаються форма та розмір. Машина тертя вміщує у своїй конструкції привід, що переміщає контактуючі зразки, пристрій для фіксації цих зразків, навантаження трибосистем тертя, пристрій контролю вихідних параметрів і ряд додаткових пристроїв (для подачі ММ у фрикційний контакт, нагріваючі (або охолоджуючі) елементи трибосистем тощо).

Під засобами для трибологічних випробувань розуміють не тільки випробувальні стенди і машини тертя (наприклад трибометри, триботехнічні комплекси), але і всі інші, що належать до інфраструктури таких випробувань. В першу чергу це інструменти і прилади, які дозволяють контролювати зміну розмірів, маси, температури, сили, частоти обертання, твердості. Окрім цього, розвиток



отримали різноманітні сучасні засоби оцінювання якості поверхонь тертя (шорсткість, хвилястість, мікротвердість) та дослідження зміни структури, напруженого стану, акустичних властивостей. Розглянемо лише серійні засоби відтворення триботехнічних випробувань та супутніх до них вимірювань, які слід виконувати зі строго регламентованою похибкою [18]. Дослідження причин похибок і відшукування їх абсолютних значень є саме по собі досить складною задачею, яка у повному обсязі вирішується тільки відносно засобів, які випускаються серійно. Слід зазначити, що поряд зі спеціалізованими дослідженнями для випробувань за заданою схемою контактування, відповідно до стандарту, в останніми десятиліттями з'явилися універсальні машини відтворення тертя, створені як на території країн СНД, так і за кордоном (Шимадзу, Японія; АТ "Точприбор", Росія; Вольпер-Амслер, Німеччина та ін.). Конструкційні рішення таких машин передбачають використання від трьох до восьми змінних кінематичних випробувань та універсальні вимірювально-реєструючі прилади. Універсальні машини для тертя є найбільш широко представленим класом машин стаціонарного тертя [17-18]. Ці машини не дають змоги відтворювати перехідні (нестационарні) процеси.

Але при застосуванні таких машин на практиці не виникає проблем з підбором вимірювальної реєструючої апаратури, через що до неї не висувається жорстких вимог, пов'язаних із забезпеченням мінімальної інерції. Сучасні машини тертя, які серійно випускаються, забезпечують широкий діапазон змінних умов випробувань трибологічних властивостей контактуючих поверхонь матеріалів. Таким чином можуть бути відтворені тертя-кочення, кочення-ковзування, обертання (відповідно до кінематики досліджуваного трибологічного процесу). Рух, тіл, що труться, може бути безперервним або переривчастим. За характероми відносних переміщень відтворюється або поступальний, або зворотно-поступальний рух. Можливі також й інші комбінації різних видів руху, наприклад, тертя між обертовим валом і осцилюючим за утворюючій валу колодкою, або зворотно-обертальний рух. Тертя може бути відтворене при ударі, у різних середовищах, у широкому інтервалі температур – від криогенних до сотень градусів Цельсія.

Контакт поверхонь тертя на площі. Торцевий контакт обертових і нерухомих кілець застосовується в серійних машинах тертя ІМ-58 і триботехнічних комплексах типу "Unitrib" (UMT-1, 2168 UMT) та ін. Широко застосовується при реалізації методу оцінки термостійкості тертя (ГОСТ 23.210-80). У цьому випадку нерухомі та обертові кільця притискаються один до одного кінцями заданої осьової сили, і температура фрикційного нагрівання поступово збільшується за рахунок збільшення швидкості нерухомого трибоелемента [19-20]. При кожному з температур нагрівання оцінюють фрикційні характеристики та знос муфти. Контакт торця нерухомого циліндричного зразка і обертового диска також використовується в комплексах "Unitrib" (2168 UMT) і в серійному польському автомобілі Т-01М.

В іншому варіанті здійснення цієї схеми обертовий диск контактує з поступально рухомим циліндричним зразком; траєкторія - спіраль Архімеда. Ця схема застосовується в машинах для випробувань на зношування закріпленого абразиву. Найвідоміша машина Х4-В, що дозволяє оцінити відносну зносостійкість твердих речовин за тертям об шліфувальну шкіру (ГОСТ 17367-71). Контакт плоских зразків, один з яких здійснює зворотно-поступальний рух, відбувається в фрикційних машинах 77 МТ, 2168 UMT, а також є однією із схем тертя, реалізованих у вібротрибометрі компанії Optimol (Німеччина).

У цьому випадку верхня проба коливається, а нижня пластина нерухома. Схема фрикційного валу - підшипник реалізована в серійних фрикційних машинах і комплексах: УМТ-1, 2168 UMT, СМТ-1, СМЦ-2, АІ 5018 та інших установках. У різних варіантах здійснення може здійснюватися або зворотний, або обертальний рух. Схема тертя валу - часткова вставка використовується в машині АІ 5018, в ряді ранніх моделей цієї машини (SMT-1, SCM-2, МІ1m), в машині тертя Amler. Застосовується, зокрема, в лабораторних випробуваннях для оцінки відносної обкатки та стійкості до заклинювання антифрикційних матеріалів та покриттів на основі металу при натиранні в режимі змішаного змащення згідно з ГОСТ 23.215-84. Швидкість від 50 до 1500 об / хв. Лінійний контакт поверхонь тертя. Схема фрикційного обертового валу - прямокутний брусок - одна з найпоширеніших схем у трибології. Застосовується у фрикційній машині Timken, а також у ряді прийомів,

реалізованих на фрикційних машинах, що здійснюють обертальний рух вала (Skoda-Savina, MI-1m, T-05) [21].

На верстаті Timken при швидкості обертання валу валу  $800 \text{ хв}^{-1}$  (або при  $3600 \text{ хв}^{-1}$  за методом фірми Ford) методом ступінчастого завантаження протиаварійних властивостей мастильних матеріалів згідно з ASTM D 2509 - пластичні мастила, згідно з ASTM D 2782 - промислові та редукторні оливи) або в широкому діапазоні змін частоти обертання вала та навантажень на трибосистему досліджують протизносні властивості масел. Схема тертя валу - дві вставки. Діаметр вала трохи менше діаметра отвору у вставках, так що в такій схемі є початковий лінійний контакт. Ця схема використовується у відомій машині Альмен-Віланд (діаметр вала 6,35 мм, діаметр отвору на 0,178 мм більше). Випробування на цій машині проводяться при ступінчастому збільшенні навантаження на трибосистему до здійснення заклинювання. Схема сфери тертя - кільце. Обертаний куля контактує з протитілом на сферичній поверхні у вигляді пояса [22]. Ширина ремінця дуже мала (зазвичай 0,2 мм), тому контакт у першому наближенні можна вважати лінійним.

Ця схема забезпечується температурним методом оцінки мастильності масел (ГОСТ 23.221-81), який реалізований на фрикційних машинах КТ-2 та МАСТ-1. Схема контакту - обертаний ролик стискається з обох сторін кінцями пластин. Ця схема використовується у фрикційній машині фірми "Falex". Валик має діаметр 6,35 мм, зразки завантажуються гідравлічною системою. Схема тертя - два обертові циліндри. Якщо наведені вище схеми контактів призначені для відтворення тертя ковзання, це може бути виконано як ковзання та кочення з ковзанням залежно від напрямку та величини кутових швидкостей  $\omega_1$  та  $\omega_2$ . Він широко використовується при моделюванні тертя на шестернях. Відтворюється в різних фрикційних машинах: у серійних AI 5018, SMT-1, SMT-2, Amsler, MI-1m та в деяких спеціальних роликівих підставках. У деяких випадках стенди дозволяють змінювати швидкість кожного ролика окремо, що дозволяє отримати або різні співвідношення швидкостей ковзання і кочення, або чисте кочення. Точковий контакт тіл тертя. Схема тертя - схрещені циліндри [23].

Сьогодні він застосовується порівняно рідко. Однак схеми точкового контакту, реалізовані для схрещеного конуса та циліндра (у польській машині Т-04), кулі та циліндра, конуса та кулі (ГОСТ 23.221–84) є досить поширеними. Це може обертати один із елементів трибосистеми або обидва. Якщо один із елементів рухається поступально, тест буде постійно проводитись на свіжій поверхні. Використовувати точковий контакт тіл тертя при трибологічних випробуваннях у багатьох випадках досить раціонально. По-перше, точкові контактні трибосистеми дозволяють реалізувати високий контактний тиск, характерний для таких трибосистем, як шестерні, підшипники кочення, кулачкові муфти тощо. По-друге, вони не вимагають обкатки для забезпечення відповідності контактних поверхонь. Нарешті, пляма зносу легко контролювати [24].

Певна складність виникає при відтворенні повномасштабних пар тертя з контактом на площині на моделі з точковим контактом, оскільки може бути порушено правило, згідно з яким "площа контактної поверхні повинна забезпечувати не менше 100 структурних одиниць". У цьому випадку досягається мінімальна похибка експерименту. Порушення цього правила, коли розміри зразків зменшуються, призводить до збільшення похибки та збільшення обсягу експерименту.

Звичайно, трибосистеми з точковим контактом (наприклад, підшипники кочення) цілком коректно відтворені на моделі трибосистеми з точковим контактом. Але найбільш широко випробувані трибосистеми з точковим контактом використовуються при порівняльних випробуваннях мастильних матеріалів (ГОСТ 9490-75, ГОСТ 23.221-84, РД 50 531-85 та ін.). Схема тертя з чотирма кулями, при якій верхня куля, що обертається, затиснута у шпинделі машини, контактує з трьома нижніми кулями, встановленими в спеціальній оправленні в горизонтальній площині, симетрично відносно осі шпинделя. Ця схема тертя використовується в найвідомішій машині для випробування мастильних матеріалів. Залежно від конструкції, чотирикулкова машина може відтворювати тертя ковзання або тертя кочення.

Найбільш поширена висувна машина з чотирма кулями, в якій нижні кульки діаметром 12,7 мм затискаються в оправці і залишаються нерухомими, тоді як верхня куля обертається з частотою 1500 хв<sup>-1</sup> під навантаженням. На нижніх кульках утворюються отвори, розмір яких характеризує досліджувані олії. Машина широко використовується для оцінки протиаварійних властивостей масел шляхом послідовного завантаження перед зварюванням кульок [24,25]. Одночасно реєструють навантаження (критичне  $P_k$ ), починаючи з якого діаметр плями зносу на нижніх кулях різко збільшується. Відносний середній знос при великих навантаженнях - об'ємний показник - також є важливою характеристикою мастила. Ці характеристики протизносних властивостей мастил регулюються ГОСТ 9490-75 для масел та пластичних мастил (стандарти ASTM D 2783 та ASTM D 2596).

Подібні методи випробувань зафіксовані в документах IP 239 (Великобританія) та DIN 51350 (Німеччина). Протизносні властивості мастильних матеріалів оцінюють на чотирикульовій машині шляхом випробувань при постійному навантаженні (ГОСТ 9490-75) протягом 60 хвилин. Відомий вітчизняний чотирикульовий верстат ChMT-1, американської автомобільної компанії Shell та польський тестер Т-02, які оцінюють як протиаварійні, так і протизносні властивості масел. Випускають потужні чотирикульові машини, що дозволяють оцінювати протиаварійні властивості (Four-Ball EP Test Machine) та машини з низькою потужністю, щоб оцінювати протизносні властивості масел (Four-Ball Wear Test Machine). Так, американська фірма Falex випускає чотирикульові машини марки Roxana обох типів.

Машина першого типу дозволяє змінювати осьове навантаження від 60 до 10 000 Н, другого типу - до 500 або 1800 Н (ASTM D 2266). Іншим методом оцінки протизносних властивостей мастильних матеріалів на чотирикульовій машині, регламентованим керівництвом Gosstandart RD 50 531-85, є те, що при постійному навантаженні на нижні кулі утворюються отвори, розміри яких періодично вимірюються. Протизносні властивості мастильних матеріалів оцінюються за значеннями параметрів функції, яка апроксимує залежність інтенсивності зносу від тиску. Метод є більш інформативним, ніж стандартний, але більш трудомістким.

Існує версія чотирикульової машини з досить повільним обертанням шпинделя для мінімізації нагрівання тертям контактних поверхонь і відокремлення їх шарів мастила (випробування на таких верстатах проводяться згідно з ГОСТ 23.221-84 з об'ємними нагрівання куль від зовнішнього контакту джерела тепла майже не відрізняється від обсягу) [26].

Змащуваність масел характеризується перехідними температурами, що свідчить про утворення та руйнування прикордонних мастильних шарів. В іншому варіанті здійснення чотирикулкова машина зі швидкістю 1500 хв<sup>-1</sup> нижня куля не затискається в оправці, а котиться (з деяким ковзанням) по внутрішній поверхні оправки. Такі машини використовуються для оцінки антипінтингових властивостей мастильних матеріалів.

Відповідно до британського стандарту IP 300, випробування проводяться під навантаженням 6000 Н перед ямою. Схема тертя з п'ятьма кулями. Як випробувальні зразки використовуються стандартні сталеві кулі для кулькових підшипників, які характеризуються однорідністю структури та зчеплення та високою якістю обробки поверхні, що забезпечує хорошу відтворюваність результатів експерименту. Трибосистема п'ятикульової фрикційної машини - це піраміда з 5 кульок діаметром 9,52 мм. Верхня і нижня кулі встановлені на кінцях валів, кожен з яких може обертатися незалежно.

Якщо утримувати чашку від обертання, то при обертанні валів із навантаженими вертикальними кулями горизонтальні кулі катаються на зовнішньому кільці чашки, а трибосистема імітує роботу підшипника кочення. Якщо нижня куля не навантажена, імітується робота радіального упорного підшипника. При виборі схеми випробування необхідно оцінити можливість відтворення на моделі трибосистеми навантаженого стану, тип руху (поступальний, зворотно-поступальний, обертальний кочення, кочення з ковзанням, ковзанням), а також температуру в повній трибосистемі. Температурний режим багато в чому визначається коефіцієнтом взаємного перекриття (співвідношенням номінальних площ, на яких контактні зразки зазнають тертя), що впливає на розподіл теплових потоків.

Коефіцієнт взаємного перекриття  $K_{vz}$  також визначає можливість надходження активних компонентів середовища в контакт тертя, що впливає на результати випробувань, оскільки суттєво впливає на умови утворення захисних плівок, зокрема на час між послідовними контактами під час які ці фільми формуються. При використанні методу фізичного моделювання значна кількість цих вимог враховується автоматично. Велике значення має якість робочих поверхонь трибоелементів.

У порівняльних тестах дослідник прагне забезпечити однакову якість поверхні зразків. Так, при порівняльних випробуваннях мастильних матеріалів широко застосовується чотирикулкова машина, в якій зразки мають високу однорідність. При відтворенні певної трибосистеми на моделі в багатьох випадках необхідно відтворити якість робочих поверхонь трибоелементів, але найчастіше модельні трибоелементи виготовляються з більш високою якістю поверхні, ніж у повномасштабних деталях [27].

Нарешті, слід мати на увазі, що поверхні зв'язку тіл, що беруть участь у силовому контакті тертя, як в повному обсязі, так і в модельних трибосистемах утворюються в результаті їх взаємодії в заданих умовах, так що в процесі самоорганізації тертя контактна зміна як макро-, так і мікрогеометричних характеристик трибоелементів. Крім того, відповідно змінюються мікромеханічні та фізико-хімічні характеристики поверхневих шарів. Всі ці зміни за принципом Ле Шательє - Брауна відбуваються в напрямку, що забезпечує ослаблення зовнішніх впливів, так що в результаті адаптації фрикційного контакту до умов навантаження в поверхневих шарах трибосистеми оптимальним є макро- і мікрорельєф сформований. Однак це не означає, що початковий мікрорельєф не впливає на результати випробувань [28,29].

У тому випадку, коли дослідник прагне виключити можливий ефект зміни шорсткості поверхні тертя під час зносу, використовують метод відновлення шорсткості, наприклад, шляхом встановлення фрези перед елементом зносу. Цей різак видаляє тонкий шар металу і таким чином відновлює початкову шорсткість. Методи навантаження трибосистеми повинні забезпечувати плавне прикладання

навантаження та стабільність режиму навантаження незалежно від зміни в процесі випробувань розмірів елементів, їх биття, виникаючих моментів тертя та їх зміни. Зазвичай вони досить прості [30]. Якщо в умовах випробування кожне вимірювання проводиться під постійним навантаженням, трибосистема повинна бути навантажена або навантаженнями (іноді через важіль), або каліброваною пружиною, або гідравлічними або пневматичними пристроями. Так, пневматичні пристрої завантажують зразки на автомобілі "Unitrib", ІМ-58, гідравлічні - на Almen-Wiland.

Трибосистеми стандартної чотирикульової машини, вібротрибометр SRV, а також відомі установки Skoda-Savina та Timken завантажені вантажем. Однак за наявності биття обертових валів або високої частоти зворотно-поступального руху елементів у певні моменти існують умови, коли навантаження не повністю передається на контакт тертя, а в інший час виникають ударні навантаження. Це запобігає проведенню випробувань у суворо контрольованих умовах. Тому в таких випадках використовують трибосистеми, які мають здатність зволожувати. Найпоширеніші пристрої з тарованою пружиною.

Для завантаження Амонтон використовував плоску таровану пружину. Циліндричні пружини широко використовуються у фрикційних машинах з обертовими валами (МІ-1м, СКМ-2, СМТ-1, П-5018). Такі машини, як "Unitrib", П-5018 проходять метрологічне обстеження, в результаті чого похибка вимірювання навантаження на трибосистему суворо регламентована; вона зазвичай не повинна перевищувати 2%. Вищезазначені схеми навантаження використовуються для випробувань при постійних навантаженнях, принаймні постійних для конкретних рівнів навантаження. Однак існують методи випробувань, які передбачають зміну навантаження на трибосистему в процесі роботи за певним законом. Найпростіший випадок зміни навантаження під час випробувань забезпечується методом оцінки протиаварійних властивостей машинобудівних матеріалів (ГОСТ 23213-83) [31].

Вимірювання проводять за схемою тертя перехрещених циліндрів при цьому поступальний рух одного циліндра (або комбінація поступального і обертального) щодо іншого нерухомий. Навантаження реалізується плоскими пружинами, а лінійне збільшення навантаження забезпечується за рахунок стискання пружини



нерухомими клинами, щодо яких рухаються елемент та його пружини. Важко встановити зворотний зв'язок навантаження з будь-яким вихідним параметром, наприклад, із зносом, щоб забезпечити постійний тиск в контакті тертя або з моментом тертя. Найпростіший випадок останнього зворотного зв'язку - це відключення автомобіля при досягненні в контакті тертя граничного моменту тертя.

## **2.2 Вимірювання зношування поверхонь.**

### **2.2.1 Метод мікрометричного вимірювання**

Зношені деталі за таким методом слід вимірювати з використанням мікрометрів та інших вимірювальних приладів перед початком зношування і в процесі робочого процесу деталей. Даний метод вимагає значних витрат на розбирання і складання та не виключає можливість похибки. Вимірювати зношення можливо лише у визначеній області деталі і та не цілком точно.

### **2.2.2 Метод зважування деталей**

За використання цього методу визначають *сумарне* зношення металу. Припускають, що зношення є лінійно залежним та рівномірно розподіляється по всій поверхні деталі. При чисельному розрахунку розмірів зношення враховується форма деталі і її розмір. Недоліком такого методу є *непряме* визначення зношення, що може ускладнювати вимірювання [32].

### **2.2.3. Метод виявлення металу у відпрацьованому маслі**

За даного методу маємо можливість встановлювати сумарне зношення деталі або вузлів машин. Відомо те, що продуктами зносу є найменші металеві частинки, що потрапляють у масло. Для отримання величини сумарного об'єму зношення здійснюється відбір проб, які потім спалюються. Кількість металу визначають за використання методів хімічного аналізу. Головним недоліком даного методу є те, що неможливо встановити лінійне зношення окремої деталі. Позитивною стороною

даного методу є змога визначити загальне зношення на будь-якому етапі випробування без зупинки експериментальної машини, а також економія часу.

#### **2.2.4 Метод радіоактивних ізотопів**

Використовують цей метод для визначення середнього значення зношення деталей машини. Суть методу є в тому, щоб в поверхневий шар деталі ввести *радіоактивну* речовину. Під час роботи машини ця субстанція разом з продуктами процесу тертя основного металу видаляється. За кількістю її в мастильному середовищі встановлюється загальне зношення машини (вузла).

Такий метод є більш чутливим, ніж методика визначення об'єму зносу у відпрацьованому маслі [33].

#### **2.2.5 Метод штучних баз**

За цим методом на поверхні деталі роблять "лунку", заміри якої (довжину і глибину) вимірюють до і після проведення випробувань. Різні величини розмірів характеризують величину мінімально можливого зношення. Метод є більш точним від мікрометричного.

#### **2.2.6 Чинники, що впливають на зношування деталей**

Розглянемо основні чинники, що впливають на зношення деталей.

**Якість оброблюваної поверхні.** Вона впливає на міцність і зносостійкість деталей. Встановлено, що шліфування та полірування деталей підвищують *зносостійкість* поверхні металу на 40-50% в порівнянні з обробкою інструментом. Обкатування роликami, кульками та інші механічні операції значно збільшують *міцність і зносостійкість деталей машин*. Зміцнення матеріалу досягають і термічною обробкою. При цьому підвищуються експлуатаційні якості (зносостійкість і міцність) машин.

**Якість металу.** Зносостійкість *вуглецевих сталей* залежить від кількості вуглецю. Найбільш зносостійкою є мартенситна структура. Чим нижча температура відпуску вуглецевої сталі після загартування, тим вище її зносостійкість. Присадки хрому, молібдену та інших елементів, що вступають у хімічну реакцію з вуглецем, підвищують твердість (міцність) сталі. Цим пояснюється використання легованих сталей. На антифрикційні властивості чавуну впливають включення графіту,

кремнію, марганцю, нікелю, хрому та ін. Найбільш зносостійким є чавун, що має 1,2-1,5% нікелю і 0,4-0,5% хрому. Зносостійкість чавуну підвищують і азотуванням. Крім цього, для підвищення міцності деталей використовують цементацію, хромування, наплавлення твердих сплавів та ін [34].

**Якість мастильних матеріалів.** Якість мастильних матеріалів впливає на характер тертя і, як наслідок, на зношення деталей.

**Відносна швидкість і питомий тиск.** Зношування деталей залежить від відносної швидкості переміщення поверхонь тертя і питомого тиску. Чим більша швидкість, тим більший шлях, що проходить тіло за даний проміжок часу, і відповідно знос.

### **2.3. Вибір методики та лабораторних приладів тертя для випробувань триботехнічних властивостей авіаційних палив**

Пристрій для дослідження поверхонь тертя в постійному рівномірному та нерівномірному магнітних полях містить привід обертання у вигляді електродвигуна; статор тензометричної балки, на якому закріплюється робочий зразок; диск з контртілом, до якого тензометричною балкою притискається робочий зразок, а її тензодатчик з'єднано з приладом, що реєструє, станину, мікроскоп, фотокамеру, акустичний п'єзоелемент, пружину навантаження, а також містить комп'ютер для відображення частотної характеристики та комп'ютер для відображення поверхні робочого зразка.

Додатково містить два магніти, що вмонтовують один напроти одного таким чином, що можливо змінювати розташування полюсів, паралельно диску з контртілом і робочим середовищем, які створюють постійне рівномірне та нерівномірне магнітне поле, яким впливають на робоче середовище, що дозволяє проводити додаткові дослідження.

Робочі характеристики пристрою дають змогу заздалегідь підбирати матеріали з урахуванням робочих параметрів вузла тертя і навколишнього середовища. Відповідно до зміни частотної характеристики вузла тертя підібрати

частотну протифазу для запобігання зносу у вузлі тертя. Технічні умови пристрою (рис.3.1) дозволяють зробити фотографії та провести відео зйомку поверхневих перетворень у динамічному режимі. Комплексний підхід значно розширює уявлення про механізми утворення захисних плівок на поверхні тертя.

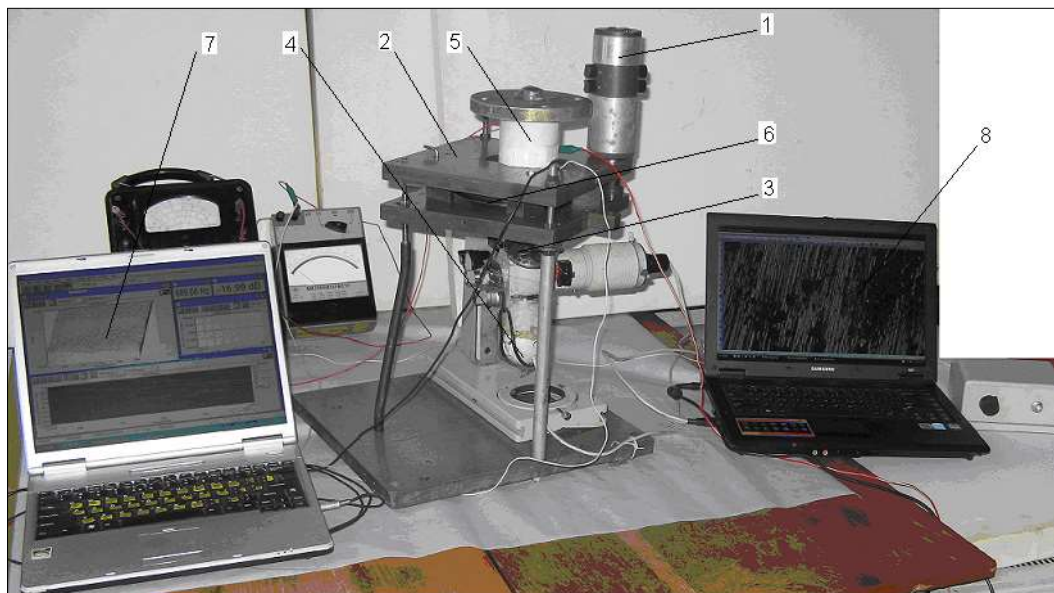


Рис 2.1 Пристрій для дослідження матеріалів на тертя та зношування

Пристрій для дослідження матеріалів на тертя та зношування (рис.2.1.) складається із електродвигуна 1, станини 2, мікроскопу Мета Р-1 «ЛОМО» 3, фотокамери “Quick Cam Express” 4, статору тензометричної балки 5, де міститься пружина навантаження та акустичний мікрофон та кріпиться робочий зразок (на фото не вказано), диск з контртілом 6, комп’ютер для відображення частотної характеристики 7, комп’ютер для відображення поверхні робочого зразка 8.

Електродвигун 1 винесено за межі станини 2, щоб зменшити вплив вібрації, крутильний момент передається гумовим пасом, що переміщує диск з контртілом 6 так, що можливо плавно змінювати швидкість від 0,05 до 2 м/сек. Момент тертя вимірюють двома механізмами: першим - реєструють зміну струму на електродвигуні залежно від навантаження, яке регулюють пружиною навантаження; другим - тензометричною балкою, вмонтованою в статор тензометричної балки 5, в яку вставлено акустичний мікрофон та пружину навантаження.

## 2.4. Методи планування експерименту й оброблення результатів досліджень

Методи дослідження як в трибології, так і в інших науках умовно можна розділити на: теоретичні, теоретико-експериментальні і експериментальні [35]. Теоретичний метод побудований на узагальненні накопиченого досвіду або результатів експериментальних досліджень. Цей метод ґрунтується на математичному плануванні експериментів, регресійному і дисперсійному аналізі. Теоретико-експериментальний метод припускає створення або розвиток теорії з подальшою перевіркою експериментом, уточненням і визначенням необхідних параметрів. Експериментальний — припускає встановлення зв'язку між функціями і аргументами [36,37]. Другий і третій перелічені методи досліджень тісно зв'язані між собою і часто виступають єдиним цілим. У будь-якому випадку, побудова теорії потребує експериментального підтвердження. Проведення експериментів пов'язане з чималими фінансовими витратами і часто потребує тривалого часу. Для зменшення вищезазначених витрат, необхідно використовувати математичний апарат, без втрати якості та достовірності результатів. Трибологічні процеси — тертя, знос, відмови відбуваються в трибологічних системах, коли в контакті діє навантаження і відбувається відносний рух твердих тіл. Якщо навантаження відсутнє або рух не відбувається, то й не відбуваються трибологічні процеси, тобто трибологічний процес обов'язково знаходиться, в якійсь точці двовимірного простору швидкостей і навантажень [38,39]. Ураховуючи випадковість процесу зношування, що перебуває під впливом цілого комплексу змінних факторів, у цій статті обмежимося залежністю між навантаженням  $P$ , швидкістю  $V$  та зносом  $i$ .

На етапі припрацювання формуються трибологічні структури, потім процес флюктує у стаціонарному режимі з постійним середнім значенням і дисперсією [36]. Надмірне збільшення трибоструктури обмежений ентропією, а нижній рівень — вільною енергією. Формули для швидкості зношування  $i(t) = dI(t)/dt$  та зносу  $I(t)$ , як функції часу  $t$ , мають вигляд

$$i(t) = (i_0 - \langle i \rangle) \exp\left(-\frac{t}{T}\right) + \langle i \rangle; \quad (1)$$

$$I(t) = (i_0 - \langle i \rangle)T \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \right] + \langle i \rangle t, \quad (2)$$

де  $i_0$  та  $\langle i \rangle$  — початкове і середнє стаціонарне значення швидкості зношування;  $T$  — час релаксації припрацювання;  $I(t)$  — знос.

Експоненти в правій частині формули (1) і (2) описують еволюційний процес припрацювання, при цьому тривалість припрацювання оцінює час релаксації  $T$ , а внесок припрацювання в знос — функціонал  $I_0 = (i_0 - \langle i \rangle)T \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \right]$ .

На цьому етапі переважає прагнення вільної енергії до мінімуму, у контакті відбувається агрегація часток, які переносяться; внутрішні потоки речовини спрямовані на формування трибоструктури і збільшення її об'єму, а потік речовини із системи зменшується, поки не досягне стаціонарного рівня. У стаціонарному стані трибоструктура флюктує біля середнього значення, протягом однієї флюктуації частина речовини виходить із системи у вигляді продуктів зношування, а потім трибоструктура відновлюється [40]. Якщо трибоструктура відновлюється на часовому інтервалі  $\tau$ , то знос  $I(t)$  на цьому інтервалі можна розглядати як незалежну величину. Тоді, відповідно до центральної граничної теореми, при  $t \gg \tau$  знос  $I(t)$  має нормальний розподіл і його можна навести у вигляді

$$I(t) = \langle i \rangle t \pm \eta \sigma t \left( \frac{t}{\tau} \right)^{\frac{1}{2}}; \quad (3)$$

$$\langle i \rangle = \frac{I(t)}{t} \pm \eta \sigma \left( \frac{t}{\tau} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

де  $\langle i \rangle$  — середнє значення стаціонарного процесу;  $\sigma$  — середньоквадратичне відхилення;  $\eta$  — гауссівська величина з одиничною дисперсією.

Згідно з виразами (3) і (4) дисперсія зношування збільшується в часі пропорційно  $t/\tau$ ; а дисперсія оцінки середнього  $\langle i \rangle$  зменшується як  $(t/\tau)^{-1}$ . Оцінка  $\langle i \rangle$  стає точнішою зі збільшенням часу дослідження, а оцінка на часових інтервалах менших  $\tau$  не має сенсу, внаслідок її невизначеності. Інтервал кореляції  $\tau$  у різних трибосистемах може досягати декількох десятків і навіть сотень годин. Це означає, що тривалість досліджень під час оцінки параметрів інтенсивності зношування

визначається не тільки дозволяючою здатністю інструмента, але і внутрішньою структурою самого процесу. Оптимальна тривалість дослідження повинна знаходитися в діапазоні від трьох до шести інтервалів  $\tau$ . Для кожної антифрикційної системи на просторі швидкостей і навантажень існує область, у кожній точці якої визначено стійкий стаціонарний стан. Ця область обмежена аномальними станами, у яких значимою стає ймовірність відмови. В області стаціонарних станів швидкість зношування має властивість однорідності, розподілена за нормальним законом і не залежить від часу. Тому цей процес можна представити статистичними моделями регресійного аналізу у вигляді полінома другого ступеня [41]. Моделі регресійного аналізу не включають тимчасових співвідношень, тому їх можна використовувати як характеристики стаціонарних однорідних процесів. Проведення багатофакторних експериментів передбачає такі етапи робіт:

- попереднє вивчення об'єкта досліджень;
- вибір факторів і плану експериментів;
- кодування факторів;
- розробка матриці планування експериментів;
- проведення експериментів;
- аналіз та обробка отриманих результатів;
- визначення коефіцієнтів регресії;
- оцінка значущих коефіцієнтів регресії;
- побудова поліномної моделі та перевірка її на адекватність.

Область варіювання визначається шляхом побудови спеціального експерименту, за принципом імітації роботи вузла тертя. При цьому варіюються рівні кожного з факторів до значень, що порушують однорідність процесу. В кожній точці ставиться не менше п'яти дослідів. Отримані результати є базою при порівняльних випробовуваннях нових матеріалів. Отже, отримання максимуму інформації при найменших витратах — основна мета планування експерименту. Знаходження функцій, що задають зв'язок між факторами  $P, V$  та параметрами зношування  $i$ , область однорідності процесів зручно описувати виразом у вигляді полінома. Факторний план одночасно варіює всі фактори таким чином, що ефект

кожного фактора оцінюється за всією сукупністю дослідів. Оскільки необхідно оцінити два фактори, виникає задача проведення двофакторного експерименту [42]. Модель процесу двофакторного експерименту другого порядку має вигляд:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_1x_1^2 + b_2x_2^2,$$

де  $y$  — досліджуваний фактор;  $x_1$  і  $x_2$  — варійовані фактори;  $b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}$  — емпіричні коефіцієнти, які потребують визначення за результатами багатофакторного експерименту. Для того, щоб оцінити всі коефіцієнти квадратичної моделі, треба мати плани, в яких кожен фактор варіюється не менш ніж на трьох рівнях. Існує велике різноманіття планів двофакторних експериментів другого порядку. Вони за рівнем відображення реальності процесів, що описуються, майже рівноцінні, але відрізняються обсягом експериментальних робіт.

Розглянемо як альтернативу три плани, що найбільш часто трапляються:

1) двофакторний ортогональний центральний композиційний план (ОЦКП) другого порядку, реалізація якого передбачає:

- кількість варіантів дослідів — 9;
- три рівня експериментів (+1, 0, -1);

2) центральний некомпозиційний план другого порядку, для реалізації якого необхідно:

- провести 10 варіантів експерименту;
- забезпечити параметри  $x_2$  на рівнях 0,866 і -0,866;

3) центральний композиційний рототабельний план (ЦКРП) другого порядку для двох факторів, який широко використовується в інженерній практиці.

Цей план реалізується:

- проведенням 10 дослідів;
- забезпеченням параметрів регульованого фактора в найвищих точках із значеннями  $x_1$  — (+0,5) (-0,5); та  $x_2$  — (+0,87) (-0,87).

Порівняно з іншими планами, критерій оптимальності мають композиційні рототабельні плани другого порядку (рис. 2.2.).



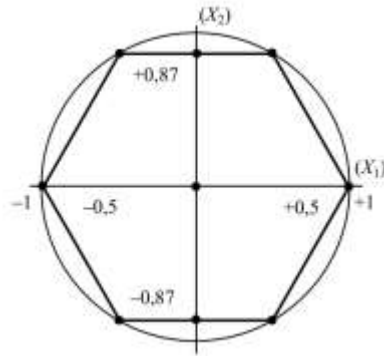


Рис. 2.2. Центральний ротатабельний план другого порядку

ЦКРП другого порядку для двох факторів подано в таблиці, де фактор  $X_1$  варіюється на п'ятьох рівнях, а фактор  $X_2$  — на трьох.

	$X_1$	$X_2$	$X_1^2$	$X_2^2$	$X_1^2$
1	-1	0	1	0	0
2	1	0	1	0	0
3	0,5	0,87	0,25	0,75	0,43
4	0,5	-0,87	0,25	0,75	-0,43
5	-0,5	0,87	0,25	0,75	-0,43
6	-0,5	-0,87	0,25	0,75	0,43
7-10	0	0	0	0	0

Машина тертя призначена для випробувань конструкційних матеріалів на тертя та зношування і визначення їх триботехнічних характеристик.

Ця установка складається з приводу 1 з регулюванням швидкості обертання від 1 м/с до 37 м/с; механізму навантаження 2 з діапазоном навантаження 1 – 40 МПа, що навантажує зразок 4 при контактному терті з рухомим контр зразком 5. Контрзразок фіксується на валу приводу контргайкою 6. Сила тертя визначається за допомогою тензосистеми — 3. Конструкцією передбачено випробування кільцеподібних зразків з внутрішнім діаметром 20 мм, за наступними схемами: «кільце—сектор» (рис. 3), «кільце—кільце» (рис. 4) та «кільце—сфера» (рис. 5)

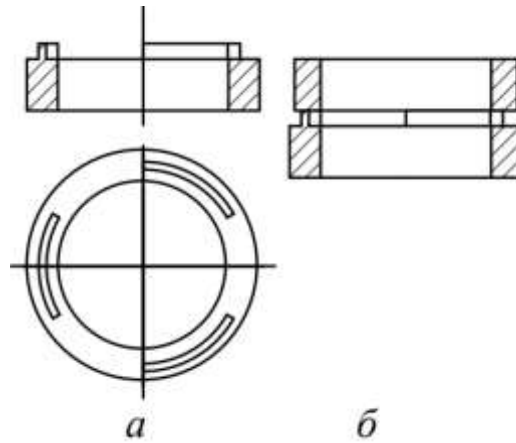


Рис. 2.3. Випробовування пари тертя «кільце—сектор»: а — рухомий зразок—сектор; б — схема тертя

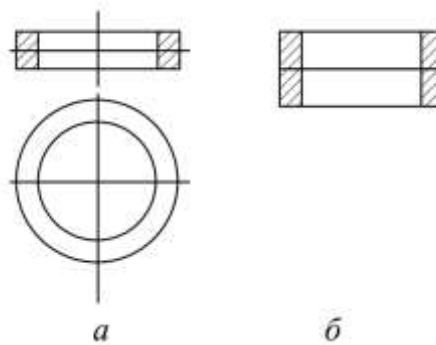


Рис. 2.4. Випробовування пари тертя «кільце—кільце»: а — рухомий зразок—кільце; б — схема тертя

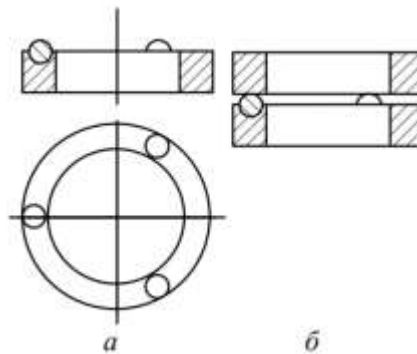


Рис. 2.5. Випробовування пари тертя «кільце—сфера»: а — рухомий зразок—сфера; б — схема тертя

При випробуванні зразків «кільце—кільце» коефіцієнт перекриття якого становить ( $\rho = 1$ ), за рахунок чого складаються умови, коли зовнішнє середовище не потрапляє в область фактичного контакту. Тобто доступ змащувального матеріалу в цьому випадку буде мінімальним. При такому виді працездатність пари тертя визначається триботехнічними властивостями матеріалів. Пари тертя «кільце—

сектор» та «кільце— сфера» мають коефіцієнт перекриття менший одиниці ( $\rho < 1$ ), що збільшує підведення мастильного матеріалу. Активізована поверхня тертям більше часу взаємодіє з середовищем мастила. За рахунок оптимальнодостатнього підведення мастила створюються умови для формування трибологічних структур, які впливають на процеси зношування. Пара тертя «кільце—сектор» та «кільце—кільце» забезпечує однорідність умов по площі контакту та постійність номінального навантаження в процесі експерименту. При випробуванні пари тертя «кільце— сфера» коефіцієнт перекриття значно менший одиниці ( $\rho \ll 1$ ) [43]. Це забезпечує найкраще змащування поверхонь тертя, та як наслідок створює оптимальні умови для утворення трибоструктур на поверхнях контакту. Така схема випробування не дає змоги встановити нормоване питома навантаження, оскільки при збільшенні зносу, зростає коефіцієнт перекриття, тому питома навантаження усереднене. Однак збільшення площі контакту дає змогу здійснювати вимірювання лінійного зносу з дуже високою точністю, за допомогою геометричного розрахунку.

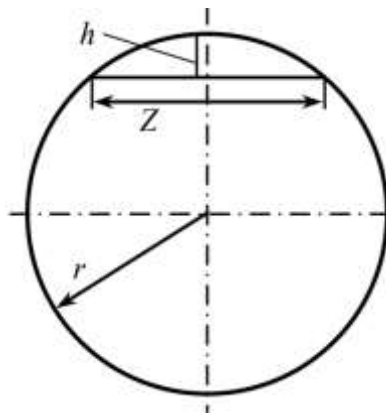


Рис. 2.6. Схематичне зображення контртіла «сфери»

Лінійний знос розраховується за формулою

$$h = r - \sqrt{r^2 - \frac{Z^2}{4}};$$

де  $h$  — висота дуги (лінійний знос);  $r$  — радіус сфери;  $Z$  — діаметр плями. Отже, для визначення лінійного зносу необхідно за допомогою оптичного мікроскопа проводити замірювання діаметра плями. Це дає можливість значною мірою зменшити час проведення експерименту та збільшити точність вимірювання.

## 2.5.Висновки до розділу

Безперервне вдосконалення авіаційної та наземної техніки, забезпечення надійної, економічної і довговічної її роботи висувають високі вимоги до якості властивостей ПММ.

Один з найменш вивчених способів - вплив на паливо, яке надходить в двигун, магнітними імпульсами спеціальної форми. Відомо досить багато робіт, присвячених спрямованого впливу магнітних полів на властивості різних рідин. Основний напрямок застосування подібних пристроїв в нафтохімічній промисловості та енергетиці. При цьому спостерігається зменшення ступеня забрудненості камер згоряння і трубопроводів, зменшення димності відпрацьованих газів.

### **РОЗДІЛ 3. Дослідження впливу магнітного поля на протизносні властивості реформульованих біокомпонентами палив для повітряно-реактивних двигунів**

#### **3.1. Обґрунтування електромагнітної взаємодії поверхонь тертя і мастильних матеріалів**

Під поверхнею тертя ми будемо розуміти поверхню твердого тіла. З геометричної точки зору, сама по собі поверхня не представляє фізичного об'єкта. Тверді тіла, як відомо, складаються з атомів, які в деяких неметалах об'єднані в молекули. Знаходяться на поверхні твердого тіла молекули взаємодіють зі своїми насамперед прилеглими сусідами, а ті в свою чергу зі своїми атомами-сусідами і так по всьому об'єму. Будь-який вплив на поверхневий атом твердого тіла, яке

змінює то становище, в якому цей атом перебував до впливу, надає на атоми-сусіди задіяного таким чином поверхневого атома. В результаті такого впливу свої статки змінюють вже кілька атомів. Кількість таких тепер будемо називати активованих атомів, буде залежати від величини імпульсу діючого фактора, який викликав цей вплив. Таких діючих факторів може бути не один, а кілька, як прямого, так і зворотного дії.

Як показує практика, теоретичні та експериментальні дослідження, такого впливу при терті реальних деталей схильні до певної товщини шари взаємодіючих матеріалів (металів і неметалів). В такому випадку величина впливу буде визначатися умовами роботи деталей, які в загальному можна розділити на фізичні і хімічні (швидкість, тиск, температура навколишнього середовища). Ці та інші фактори визначають умови роботи деталей і перш за все їх поверхневих шарів, діють як правило, одночасно.

Як об'єкти дослідження прийняті метали, їх сплави і мастила. Перші служать основними матеріалами для виготовлення окремих конструктивних елементів машин. Мастила являють собою досить складні вуглеводневі рідини. Прийняті при дослідженні метали або їх сплави як тверді тіла і мастила просто як рідини

виявляють себе при взаємодії в процесі роботи в машинах. І ті й інші складаються з атомів. Тому поділ взаємодії твердих тіл і рідин на фізичний і хімічний вважається умовною. У результаті такої взаємодії утворюються в більшій частині неметалеві сполуки, які поступово в працюючих машинах при терті трансформуються в певної товщини поверхневі шари. У результаті взаємодіють з мастильним маслом не метали, а їх похідні, з'єднані з сіркою, хлором, фосфором, киснем і т.д. Складові цих сполук також знаходяться і в мастилі. А самі неметалеві сполуки мають часто відмінними від вихідних металів властивостями. Звідси змінюється характер взаємодії мастил і поверхонь тертя.

Для управління такими складними процесами необхідно розташовувати даними про механізм взаємодії мастила з вихідної металевою поверхнею, що виходить після виготовлення деталей і експлуатаційної, що утворюється безпосередньо в машинах в процесі їх роботи. Але в практиці експлуатації машин деталі зношуються, а мастила старіють. Причому деталі в результаті зношування і мастила в процесі старіння виходять з ладу за вельми небажані для нас нетривалий час. Багато вже зроблено для того, щоб збільшити ресурс і працездатність машин. Але процеси зношування деталей машин і старіння в них масла практично залишається, на жаль, поки некерованими. Існуючі способи одноцелевого і багатофункціонального легування металів і мастильних масел поки ще не задовольняє поставленим перед ними вимог. Машини уще порівняно швидко виходять з ладу.

Численними дослідженнями дослідженнями переконливо однозначно показано, що протікають при терті і зношуванні процеси відбуваються в результаті взаємодії деталей між собою, з мастилом, повітрям і іншими газами, масел з повітрям, газами і т. д., тобто деталей собою і з навколишнім їх середовищем.

Фізики вважають, що головне слово в сучасній науці - взаємодія. Види взаємодій в матеріальному, навколишній світ визначені досить чітко чітко, у всякому разі в рамках інженерних і прикладних наук. Взаємодія матеріальних частинок на атомарному-молекулярному рівні в сучасній фізиці визначається як електромагнітне взаємодія. Фундаментальною основою електромагнітної взаємодії є

заряджені елементарні матеріальні частинки, такі як атоми, іони, електрони і виникають біля них електричні поля. Отже, атоми, електрони і іони взаємодіють між собою тільки за допомогою своїх полів. При цьому слід зауважити, що розподіл електромагнітного поля на електричне і магнітне, що виникають навколо рухомих і нерухомих заряджених частинок прийнято вважати умовним. Навколо нерухомого електричного заряду завжди виникає електричне поле. Магнітне поле створюється рухомих електричним зарядом. Це одне електромагнітне поле. Електричне поле і електричний заряд завжди пов'язані між собою дwoяко  $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{e}_r$ . З одного боку, електричне поле породжується електричним зарядом, а з іншого - надає дію на електричний заряд (наприклад, при однойменних або різнойменних зарядах). Але електричним зарядом створюється і магнітне поле, яке зі свого боку впливає на електричний заряд. Інших полів, крім електричного і магнітного, які б так взаємодіяли з електричним зарядом в природі не існує.

Мастило в своєму складі має молекули, які мають полярністю, а отже дипольним моментом. В таких молекулах позитивний і негативний іони розділені й перебувають один від одного на певній відстані, хоча молекула цілому є електрично нейтральною. Дипольний момент у полярній молекули виникає завдяки взаємодії іонів молекули з полем електричним або магнітним. Кількісно взаємодія буде залежати від величини електричного заряду іона і напруженості електричного поля. Закони взаємодії заряджених частинок одні, незалежно від того, в агрегатному стані вони знаходяться твердому, рідкому або газоподібному. Застосування одних і тих же законів взаємодіючих при терті металів і мастильних масел може значно спростити дослідження.

При дослідженні взаємодій атомів твердого тіла і рідини, тобто металів і їх похідних та мастила в цій роботі прийняті наступні основні положення. Основними учасниками електромагнітної взаємодії є заряджені частинки, які мають магнітний момент (наприклад, полярні молекули мастила).

Електричні заряди є джерелом електромагнітного поля, пов'язаного нерозривно з тим чи іншим негативним щодо рухомих або неподвижним носієм (електрон, іон). При дотриманні цих принципових умов позитивний або негативний

іон масла з боку електричного поля або обох полів одночасно буде відчувати деяку силу. Електричне і магнітне поля органічно пов'язані між собою і утворюють єдине ціле - електромагнітне поле з двома складовими частинами або компонентами: полем електричним і магнітним. Обидва поля є векторними, змінюються від точки до точки в залежності від відстані та мають принципом суперпозиції. Принцип суперпозиції зводить визначення поля зарядженого тіла складної форми (або ряду тел) до обчислення суми полів, породжуваних кожним нескінченно малим елементом тіла.

Перераховані загальні принципи електромагнітної взаємодії необхідні для визначення якісних і кількісних характеристик взаємодії мастила з поверхнями тертя деталей машин. Для визначення цих характеристик крім загальних положень електромагнетизму необхідно розташовувати даними про фізико-хімічні характеристики мастила і поверхні тертя. З цієї тріади зараз необхідно зупинитися на особливостях металевих поверхонь, так як перші два вимоги вже в загальному вигляді представлені.

Поверхня твердого тіла все більше і більше привертає до себе увагу дослідників в основному двох абсолютно різних профілів - фізиків і інженерів, що займаються вирішенням проблеми підвищення ресурсу машин. Навчитися керувати властивостями поверхні і протікають на ній фізико-хімічними процесами, можна вважати, одна з першорядних задач у вирішенні проблеми підвищення ресурсу машин.

### **3.2. Експериментальні випробування протизносних властивостей традиційних авіаційних палив, оброблених магнітним полем.**

Щоб визначити вплив магнітного поля на протизносні властивості переформульованого палива, було використано прилад для оцінки енергетично-інформаційного стану вуглеводнів (рис. 3.1.), який складається з: комп'ютера для запису кольорових змін рідкого вуглецевого матеріалу 1; джерела світла 2; світлообробної лінзи 3; постійного магніта 4; діелектричної ємності зі скла 5, в якій



знаходиться випробовуваний матеріал; мікроскоп "МПД-1У11" 6; камери "Quick Cam Express" 7.

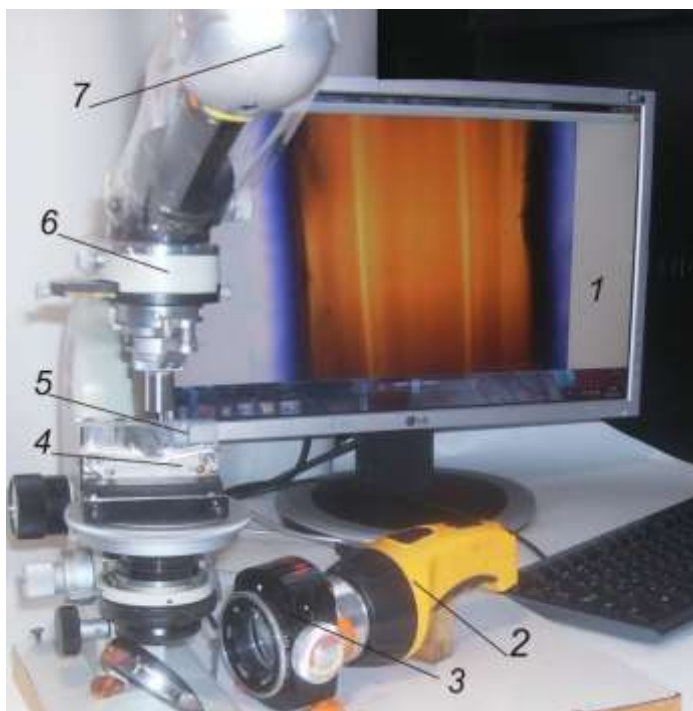


Рис. 3.1. Прилад для оцінки енергоінформаційного стану рідких вуглецевих матеріалів у магнітному полі.

Діелектричний скляний контейнер 5 розміщений між двома магнітами постійної дії 4. Далі він заповнений рідким вуглецевим матеріалом і розміщений на оптичній осі мікроскопа 6. Після цього з використанням джерела світла 2 і лінзи для обробки світла 3 направляють пучок білого світла через досліджуваний рідкий матеріал в магнітному полі. Його значення індукції становить 0,3 Тл. Далі камера 7 обробляє та фіксує зображення змін енергетичної інформації в рідких вуглецевих матеріалах, які відображаються на моніторі комп'ютера 1. Відповідно, всі необхідні результати експерименту реєстрували та зберігали на електронні носії інформації [44].

Таким чином, було вивчено зміну енергетичного стану авіаційного палива Jet A-1, а саме помаранчевий характеризується енергією світла 1,98 еВ, зелений - 2,48 еВ. Суть заявленої техніки виконання у зміні частоти білого світлового променя,

тобто світла, яке проходить через товщу палива в МП. Кожен колір має свою енергетичну складову (див. Таблицю 1).

Таблиця 3.1

### Енергетична складова видимого спектру

Колір	Діапазон довжин хвиль, нм	Діапазон частот, ТГц	Діапазон енергії фотонів, еВ
Зелений	500 – 565	600 – 530	2,19 – 2,48
Жовтий	565 – 590	530 – 510	2,10 – 2,19
Оранжевий	590 – 625	510 – 480	1,98 – 2,10

Представлений метод вивчення змін енергетичного стану вуглеводневих рідин дає змогу відстежувати зміни енергетично-інформаційного стану рідких вуглецевих матеріалів у МП.

Можливість зміни енергетичного стану рідкого середовища можуть бути пояснені за допомогою фізичних властивостей дії МП на магнетики, що входять до складу палива, та зміною їх орієнтації в просторі (рис. 2).

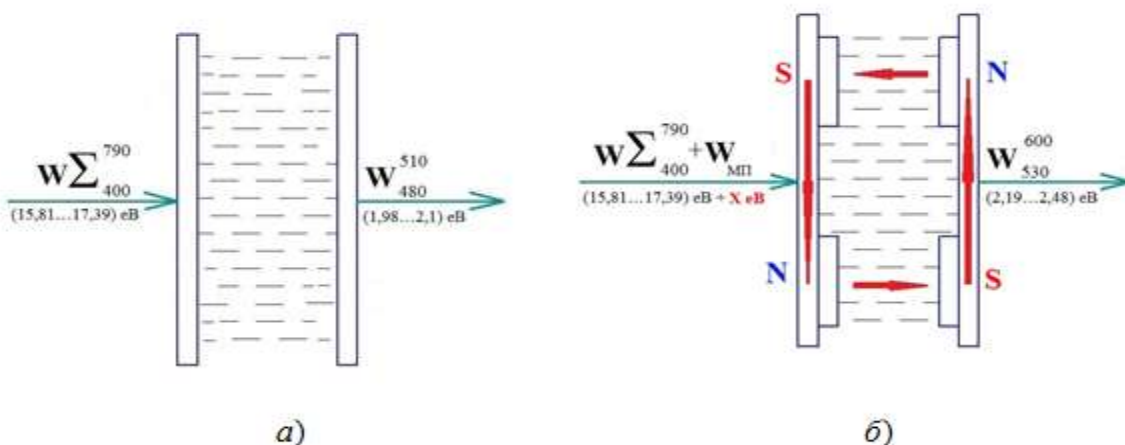


Рис. 3.2. Фізичний зміст: а) дослідження енергетичного стану палива Jet A-1 пропусканням через нього променя білого світла; б) дослідження впливу МП на енергетичний стан палива Jet A-1 пропусканням через нього променя білого світла

На підставі експерименту через прошарок досліджуваного палива проникає промінь білого світла, що може бути охарактеризований діапазоном частот (400... 790 ТГц) а також енергією фотонів (15,81... 17,39 eВ) [45]. У разі проходження пучка білого світла через паливо без впливу МП (рис. 2а) після опромінення ми отримуємо помаранчеву енергію, яка має значення (1,98 ... 2,1 eВ) та діапазон частот (480 ... 510 ТГц). Цей колір відповідає умовам палива, яке знаходиться між полюсами магніту (рис. 3).

На рис. 3 продемонстровано результати експериментів щодо зміни енергетичного стану реактивного палива Jet A-1 у МП. Зелений колір характеризує паливо на полюсах магніту, яке відповідає енергії (2,19... 2,48 eВ) з найбільшим енергетичним складом. Тобто в цьому положенні паливо містить допоміжну енергію МП.

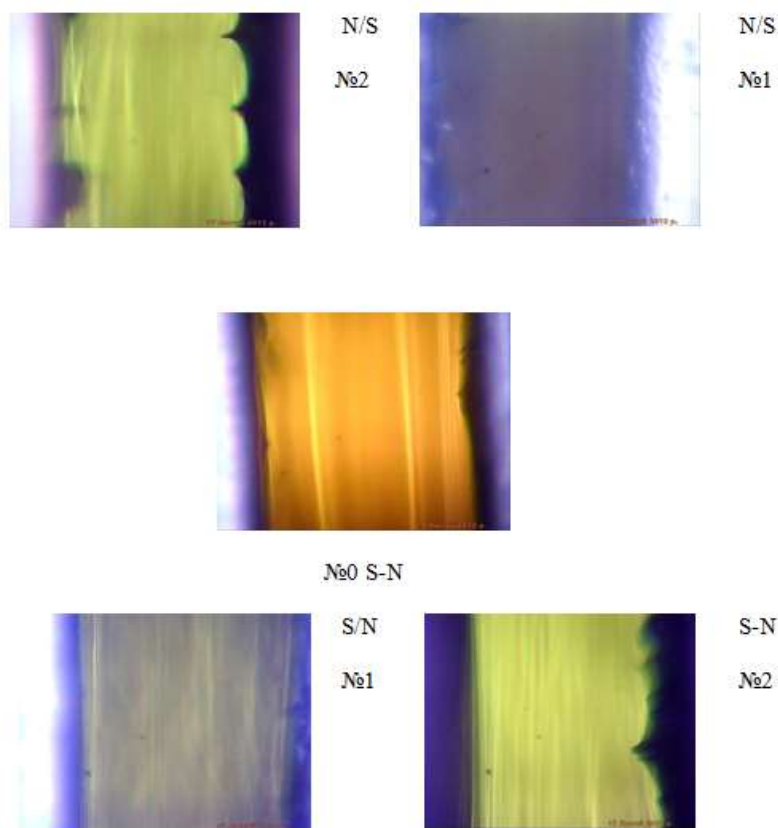


Рис. 3.3. Результати дослідів зміни енергетичного стану палива, що знаходиться під дією МП постійного магніту напруженістю  $B=0,3$  Тл, шляхом пропускання через нього променя білого світла

Енергетична складова впливає на розташування паливних диполів, і вважають, що вони розміщені вздовж ліній МП - перпендикулярно поверхні магніту. Перехідна зона, яка розташована посередині полюсами магніту, має помаранчевий колір з меншою енергією (1,98 ... 2,1 еВ) [46]. Таким чином, паливо між полюсами має таку саму енергію, в даному випадку її позначено як найбільшу (рис. 3) N/S №2 або S/N №2 (до зеленого) визначається змішаними відтінками синьо-фіолетового і зеленого, що означає зміну розташування конгломератів середовища (рис. 3) S/N №1 або N/S №1. У цьому випадку кожне розсіяння має свою енергетичну складову, їх хаотичне розташування підготовку до зміни стану палива, яка може бути виражена:

$$W_{400}^{790} = W_{480}^{510} + W_{\text{Птр.}}$$

Під час дослідженні дії магнітного поля на енергетичний стан авіаційного палива реактивного палива Jet A-1 шляхом пропускання пучка білого світла (рис. 2б) на додаток до енергії білого світла, як і в попередньому випадку, на паливо впливає енергія МП ( $W_{\text{МП}}$ ), і після опромінення отримуємо енергію зеленого кольору, яка має значення (2,19... 2,48) еВ та діапазон частот (530... 600) ТГц, плюс втрати енергії. Це буде виглядати так:

$$W_{400}^{790} + W_{\text{МП}} = W_{530}^{600} + W_{\text{Птр.}}$$

Таким чином, енергія МП, котра впливає на паливо, розраховується за двома попередніми формулами:

$$W_{\text{МП}} + W_{480}^{510} + W_{\text{Птр.}} = W_{\text{Птр.}} + W_{530}^{600}$$

Звідки:

$$W_{\text{МП}} = W_{530}^{600} - W_{480}^{510} = (2,19...2,48) - (1,98...2,1) = (0,21...0,38) \text{ эВ.}$$

Отже, під дією МП зі значенням магнітної індукції 0,3 т на паливо Jet A-1 кількість енергії, з якою воно впливає на паливо, становить (0,21... 0,38) еВ [47].

Для визначення відсоткового внеску енергії МП у паливо оранжеву енергію без дії МП (1,98... 2,1) еВ приймають за 100%. Під дією МП зеленого кольору (2,19... 2,48) еВ для X%. Отримуємо таку пропорцію:

$$(1,98...2,1) - 100\%$$

$$(2,19...2,48) - X\%$$

За розрахунками отримуємо, що відсоток енергії МП у паливі складає 11% - 11,8%.

Зміна характеру енергетичного стану системи впливає на трибологічні показники пари тертя. Трибологічні експерименти проводили за схемою «площини-пальця» за методикою, описаною в [8]. Швидкість - 0,1 м/с навантаження становило 1 кг на контакт Герца,. Пара тертя: сталь ШХ15 - латунний сплав ЛС59-1. Знос сталі (без урахування напрямку МП) характеризується початковим зносом, але при зміні енергетичної складової процесу відновлення поверхні тертя сталі ШХ15. Результати дослідів наведені на рис. 4.

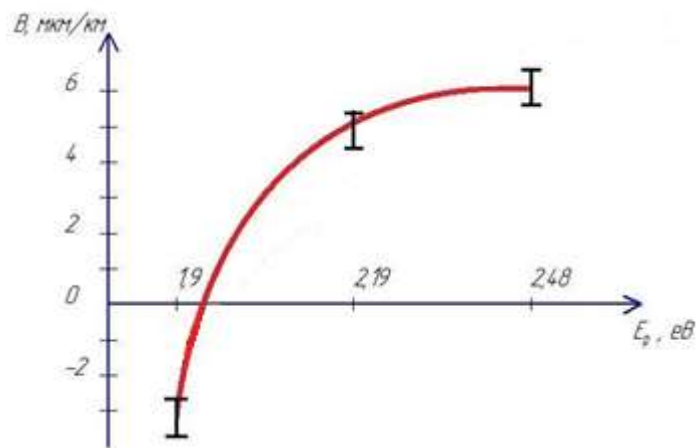


Рис. 3.4. Залежність рівня зношування від величини енергії фотону світла в паливі

Отже, залежність рівня зносу від кількості енергії палива ілюструє, що зі збільшенням енергетичного стану палива знос матеріалу під час тертя переходить в умови відновлення. Визначено, що вплив МП на протизносні характеристики є виключно позитивним, а саме: зростає рівень енергії палива, зменшується рівень зносу під час тертя та не погіршуються інші експлуатаційні параметри [48].

Тож, отримані результати підтверджують доцільність використання МП на робочому середовищі під час тертя.

Для проведення експериментів під впливом постійного МП ми застосували метод [9], який дозволяє за допомогою мікроскопа контролювати процеси на поверхнях тертя, для того, щоб вивчати зміни їх топографії в оброблюваному

робочому середовищі МП в динамічному режимі та оцінювати кількісні та якісні параметри захисних плівок у зонах контактів.

Як робоче середовище для досліджень було використано реактивне авіаційне паливо Jet A-1. Схема тертя - пальця до площини, робочий зразок - сталь 45, модель протитіла - скло (прозорий матеріал, що дозволяє контролювати трибологічні зміни на поверхні тертя). Швидкість 0,5... 1 м / с, нормальне навантаження складало 1 ... 5 МПа. Магніти встановлені навпроти один одного таким чином, що їх силові лінії спрямовувались на об'єм робочого середовища і розташовані від поверхні тертя на якомога більшій відстані (рис. 5, а), б)), для обробки постійним МП.

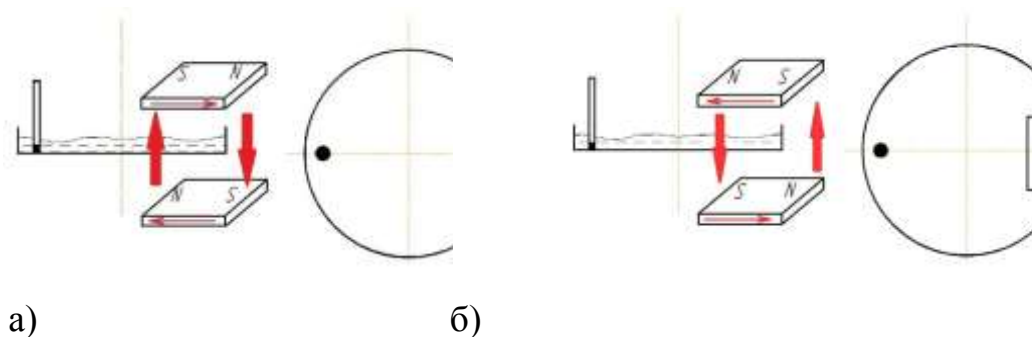


Рис.3.5. Схеми розташування МП відносно змащувального середовища та поверхні тертя

Магнітне поле було спрямоване крізь робоче середовище таким чином, щоб магнітні лінії перетинали робочу рідину перед потраплянням до зони тертя (рис. 3.5, а), б)).

Відомо, що інтенсивність зносу деталей гідравлічної системи є залежною від середовища речовин, в яких вони функціонують, а надійність деталей - від трибологічних властивостей мастильного середовища. Тому, чим кращими є ці властивості робочого середовища, тим нижчим є рівень зносу поверхонь деталей під час тертя.

Як згадувалося [49], мастильність середовища запобігає зносу поверхонь тертя в умовах утворення стійкої прикордонної плівки.

Міцність плівки залежить від присутності активних молекул, їх кількості та якості. Добре відомо, що масляні диполі орієнтовані перпендикулярно поверхні, але

під час тертя, залежно від коефіцієнта тертя, існує нахил молекул диполя з вертикального положення, що значно знижує рівень захисту поверхонь тертя від зносу.

Таким чином, очевидно, що найсприятливішим є перпендикулярне положення масляних диполів щодо поверхонь тертя. За допомогою впливу МП можна створити такі умови, за яких диполі не змінять своє положення на горизонтальне, відповідно знос буде меншим. Фізична модель положення молекул вуглеводнів під дією МП представлена на рис. 6.

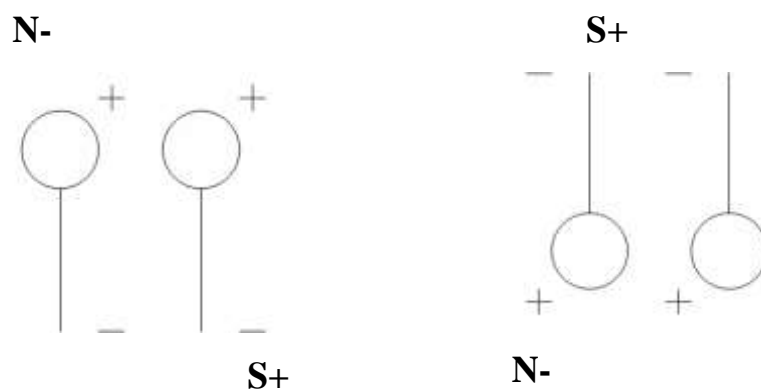


Рис.3.6 Фізична модель положення диполів вуглеводню під дією МП при різному розташуванні полюсів магніту відносно робочого середовища

У процесі експлуатації поверхня тертя покривається трибологічними плівками, щільність яких залежить від напрямку впливу МП на робочу рідину. Відомим є те, що полюс магніту S означає знак "+", а полюс N - "-" [50], тому, розміщуючи магніти перпендикулярно робочому середовищу, ми отримуємо, що в напрямку магнітного диполі SN і NS поля будуть перпендикулярними до тертя поверхонь, але рівень зносу буде іншим.

Це пояснюється тим, що за напрямку МП NS (рис. 3.5, б)) в діапазоні впливу ліній на робоче середовище Jet A-1 зношені вироби та масляні диполі мають напрямок магнітних ліній від середовища до протилежне тіло, тобто продукти зносу

силою МП придавлюються до поверхні протитіла, а потім, тертям значна частина їх потрапляє на зразок, беручи тим самим активну участь у відновленні поверхні.

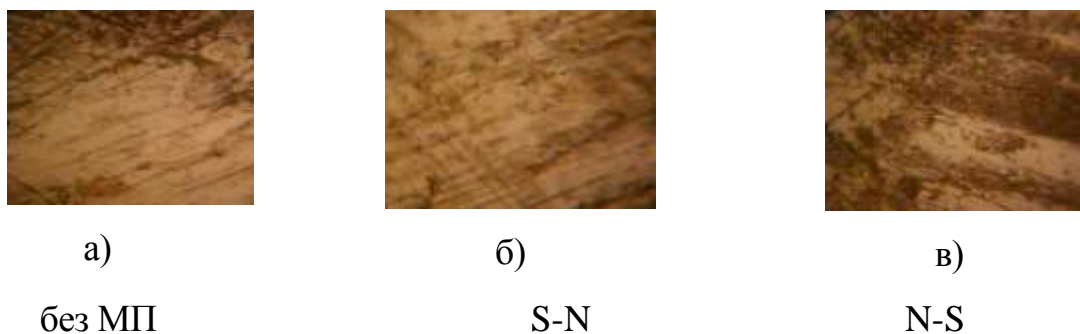


Рис. 3.7. Топографія поверхонь тертя сталі 45 по скляному контртілу в робочому середовищі Jet A-1, обробленому магнітним полем, з різними напрямками магнітних ліній (рис. 5) та без впливу МП

Відповідно, поверхня характеризується наявністю захисних трибологічних плівок (ТП) (60-65% у паливі Рис.3.7.с) та відновленням до 1 мкм (Рис.3.8).

У випадку, коли МП має напрямок SN (рис. 3.5, б)), магнітні лінії спрямовані в протилежному напрямку: від протитіла до середовища, тобто продукти зносу переносяться в обсяг, таким чином, практично не падаючи на протитіло і, відповідно, на поверхню тертя. займають 5... 8% на рис. 3.7 б) площа поверхні тертя). Паливні диполі розташовані перпендикулярно, що в свою чергу дещо компенсує невелику кількість відпрацьованих продуктів зносу на поверхні тертя, але рівень зносу в цьому випадку є найвищим і становить майже 3 мкм (рис. 3.8), рівень зносу/відновлення показано в негативному і позитивному напрямках осі у в мкм/км) через невелику кількість ТП (приблизно до 20% поверхні тертя).



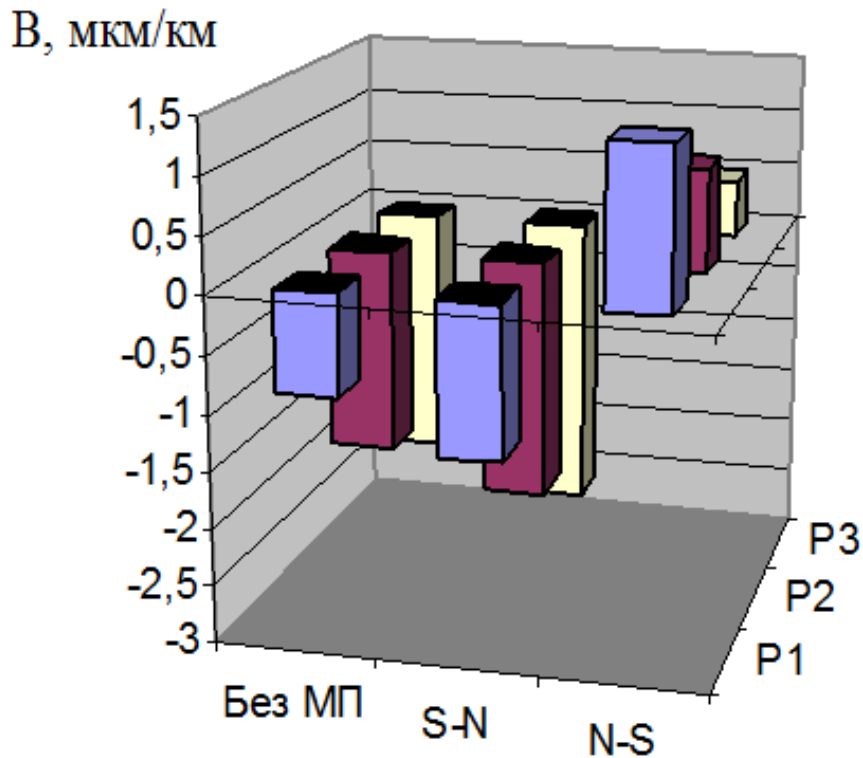


Рис. 3.8. Трибологічні параметри сталі 45 по склу в Jet A-1

При натиранні без дії МП продукти зносу випадковим чином поміщаються в паливо і частина їх кількості потрапляє на поверхню тертя, але розташування диполів не таке сприятливе, як у попередніх двох випадках, тому рівень зносу в SN напрямку і без магніту, що добре видно на рис3..8.

Наступним кроком вирішено дослідити механізм зносу на дійсній контактній поверхні (FPC) під дією магнітного поля.

Враховуючи, що мікроструктурна динаміка, зміни хімічного складу матеріалу, утворення потоку дефектів кристалічної структури та продуктів зносу відбуваються при великих рівнях близько 10 ... 100 нм, а топографічні зміни поверхні тертя, які визначають щільність потоку механічної енергії утворюються на рівнях близько 0,1 ... 10 мм. Пластичність - одна з властивостей металів, яка впливає на процеси тертя та зносу, а також визначає механізми деструкції. Вплив МП на пластичність таких металів, як Cu, Al, Ag, зазначався в [52]. Механізм магнітопластичного ефекту (МПЕ) заснований на зміщенні крайових позицій кристалів, розміщених в електромагнітному полі, при індукції до 1 Тл [53]. В металах спостерігаються зміщення дислокацій та зміна мікротвердості, що дозволяє

контролювати пластичні властивості металів у процесі їх деформації. Причиною зміни мікротвердості може бути зміна дислокацій, їх меж, що може призвести до прискореного масообміну за допомогою дислокаційного або дислокаційно-дифузійного механізму. Такий ефект спостерігається у змінному МП і відсутній у константному МРП.

Враховуючи тривимірну [54] пластичну деформацію поверхонь тертя, на рівні зерен та їх конгломератів відбувається глибоке вигинання зерен, що супроводжується їх руйнуванням. Це сприяє утворенню великих продуктів зносу, які будуть абразивними частинками для площин тертя. Механізм тертя в МП відбувається в більш тонких поверхневих шарах на рівні дефектів дислокаційної структури, завдяки пластичності матеріалу, що зменшує коефіцієнт тертя.

Фізичними об'єктами дослідження були взяті поверхні тертя зразків сталі ШХ-15 на склі, з метою визначення зносу напівпари, щоб уникнути передачу другого матеріалу, за схемою тертя "палець до площини", при нормальному навантаженні 0,35 кг при швидкості тертя 0,2 м/с та міцності МП 0,1 Т. Мікроструктура поверхневих шарів вивчалася за допомогою металографічного мікроскопа МІМ-7.

Процес тертя - це сукупність механічних актів взаємодії, площа яких дорівнює не більше 0,1% площі тертя. Зіткнення мікроконтактів відбувається протягом  $10^{-7}$ - $10^{-8}$  с, з середньою площею  $10^{-2}$ - $10^{-4}$  см<sup>2</sup>, протягом  $10^{-5}$ - $10^{-3}$ с. При миттєвому дробовому контакті зношувані частини відшаровуються з характеристиками парамагнетика (оскільки поверхня тертя значно перевищує температуру точки Кюрі). Частина зносу майже не утримується в контактній зоні, але паливо, що рухається, забирає його. Коли температура опускається нижче точки Кюрі, МП знайде стан феромагнетика (частинка ШХ-15), а магнітна сприйнятливість зросте в 5000 разів. Такі магнітні параметри будуть активно спрямовувати їх до зони ФПК. У цих моментальних точках щільно впорядковані феромагнітні та парамагнітні частинки матеріалів, розмір яких може досягати 100 мкм. Чим менше розмір частинки, тим сильніше вона намагнічується і утримується в зоні ФПК. Напруженість поля поза поверхнею зношеної частинки в

багатокомпонентному середовищі мастила під дією електростатичної або магнітної обробки збільшиться в рази [55].

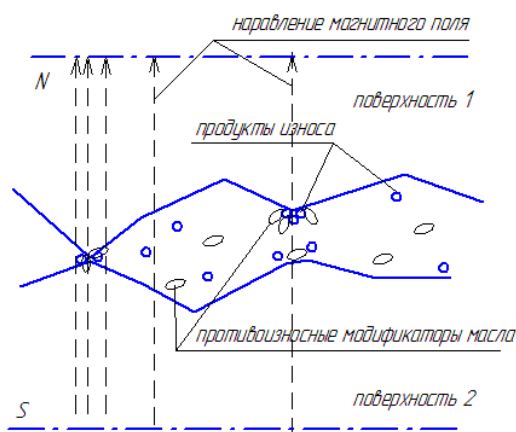


Рис.3.9. Модель поверхні тертя в наведеному магнітному полі.

Паливне середовище при накачуванні вздовж зони тертя змиває продукти зносу, і чим вони більші, тим легше їх відносить потік масла за межі зони контакту.

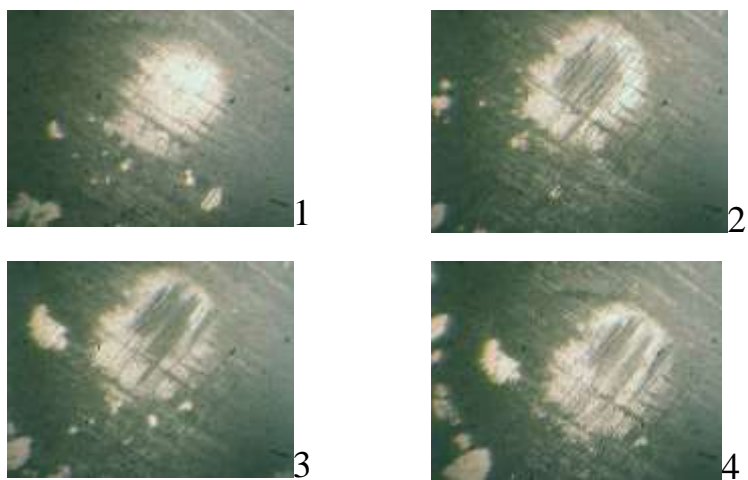


Рис.3.10. На фото показані частинки, які переміщуються їх ріст ФПК, в паливі до сталі ШХ-15 по склу. Інтервал зйомки 5км шляху тертя. (фотографії зроблені в процесі тертя через контртело скло)

Зі збільшенням сили МП дипольні моменти молекули-добавки орієнтовані на вектор напрямку напрямків силових ліній, і частинки будуть займати місця уздовж найбільшої щільності лінійного магнітного поля на рис.9.

Процес триборедукції (рис. 11) відбувається в режимі розташування зразка сталі навпроти полюса N, при навантаженні 0,1 МПа, і визначається збільшенням відносного лінійного розміру зразка сталі. На фото Рис.11.; поз.1- показує, як починає розвиватися пляма контакту і накопичуються продукти зношування; поз.2- наступний етап, вони розмазуються на поверхні (утворюється темна пляма); поз .3 - розмазування - більш щільний шар, на 4-му малюнку ми бачимо стирання шару з поверхні контакту [56]. Оскільки найбільш деформованою частиною контакту буде центр плями, саме в цей момент найбільша щільність дефектів кристалічної решітки, як точкових, так і лінійних. Напрямок ліній МП було спрямовано до площини, що піддавалася тертю, від спостерігача [57,58].

Таким чином, умови тертя забезпечують пошарове стирання з наступним нанесенням нового шару частинок зношених конгломератів та протизносних паливних добавок.

### **3.3. Експериментальні випробування протизносних властивостей авіаційних палив реформульованих біокомпонентами.**

Після завершення процесу напрацювання вимірювались плями зносу на металевих зразках та фіксувались на фотографіях. Визначення діаметрів плям здійснювалось за допомогою мікроскопа та нанесеної на лінзу лінійки.

Дослідження проводилися за схемою тертя «палець-площина» матеріал зразків ШХ15 – сталь 45 (HRC 52),  $\theta = 0,20$ ;  $P = 5$  Н, частота = 1Гц. Розміри пальця-зразка: діаметр – 4 мм, довжина – 33,5 мм. Оцінка зносу зразків виконувалась з профілографуванням плям зношування і одержанням величини об'ємного зношування за методикою [60]. Для дослідження використовується сумішеве

авіаційне паливо Jet A-1 модифіковане етиловими естерами жирних кислот рижієвої олії та Jet A-1 модифіковане етиловими естерами жирних кислот рижієвої олії обробленого магнітним полем.

Напрацювання на машині тертя проводились в мастильних середовищах згідно з даними таблиць

Таблиця 3.2

**Матриця дослідження протизносних властивостей Jet A-1, модифікованого ЕЕЖК рижієвої олії (під дією МП)**

Номер зразка	Індукція магнітного поля, [Тл]	Обсяг естеру в об'ємі палива, %	Навантаження зразка, $P$ , [кг]	Час напрацювання зразка, $t$ , [год]
1	0,1	10	0,1	20
2	0,5	10	0,1	60
3	0,1	50	0,1	60
4	0,5	50	0,1	20
5	0,1	10	0,5	60
6	0,5	10	0,5	20
7	0,1	50	0,5	20
8	0,5	50	0,5	60

Унікальні властивості МП дозволяють використовувати його дію в багатьох технічних напрямках. Одним з яких є вплив на розміщення і структурні зміни оливи при взаємодії з поверхнями тертя. Вплив МП на дипольні моменти оливи їх розміщення і направлення в між просторовому об'ємі поверхонь тертя залишається, поки що, недослідженим.

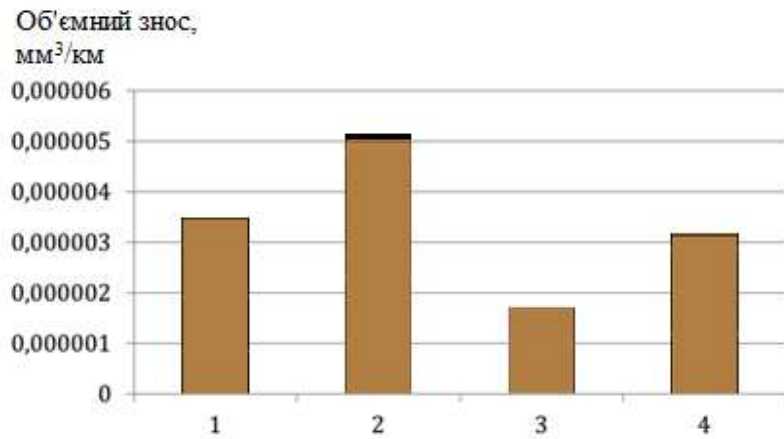
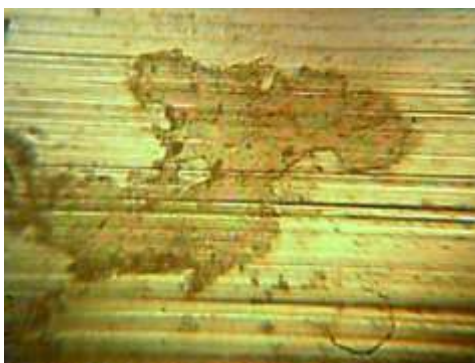


Рис. 3.11. Залежність зносу ШХ-15 по Ст45 в 10% розчині естеру (поз.1,2) та під дією МП 0,1 Тл (поз.3,4), з  $P=0,1$  кг (поз.1,3) і  $P=0,5$  кг (поз. 2,4)

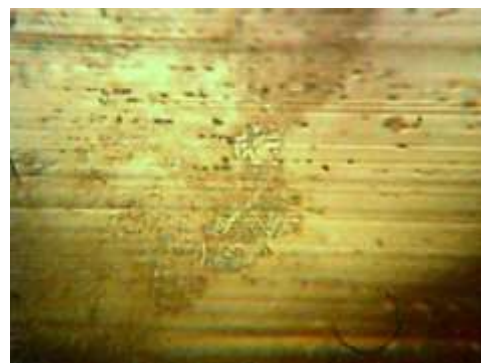
Порівняльні параметри зносу ШХ-15 по Ст45 в 10% Jet A-1 ( $P=0,1$  кг,  $t=20$  год) брали з таблиць 1, 2; номер зразка 1.

З рис. 3.7 видно, що за однакової кількості естера (10%) та за однакового шляху тертя, різниця зносу відноситься як **1:1,48** (поз. 1, 2), тобто шлях збільшили втричі а знос збільшився на **48%**. В результаті дії МП на поз. 3,4 відношення **1:1,8**. Дослідження топографії поверхні вказують на створюються (рис.8а) оксидні плівки (товщина до 10 мкм), при дії МП плівки характеризуються максимальною товщиною до – 1,5 мкм, (рис.3.8 б).



*a*

№1 10%-0,1кг-20год



*б*

МП =1А-10%-0,1кг-20год



в



г

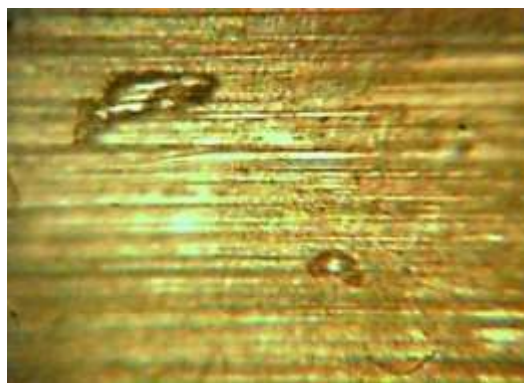
Рис.3.12. Шорсткість поверхні тертя в 10% розчині естера по відношенню до шорсткості поверхні після тертя під дією магнітного поля 0,1 Тл.

- а) шорсткість поверхні тертя з розміщеною трибологічною плівкою
- б) шорсткість поверхні тертя в МП 0,1 Тл з поверхневими плівками.
- в) та г) загальний вид зразка.

При підвищенні сили МП до 0,5 Тл шорсткість поверхні підвищується за рахунок накопичення продуктів зносу в міжповерхневому просторі. На наш погляд це можна пояснити активною реакцією феромагнітних продуктів зносу на дію МП.



а



300x

б

Рис. 3.13. а) Загальний вид зразка б) Поверхня сталі ШХ-15 після тертя під дією МП 0,5 Тл

На рис. 3.13 видно наявність феромагнітних продуктів зносу (1) у вигляді конгломератів, які створюють прошарок між поверхнями тертя.

### **3.4. Висновки до розділу**

Дослідження зразків сумішевих палив показали, що ЕЕЖК рижиєвої олії виявляють здатність утворювати більш міцну граничну плівку на поверхнях тертя порівняно з паливом для ПРД нафтового походження. Ця здатність пояснюється поверхневою активністю молекул естерів та їх високою в'язкістю.



## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 4.1. Оцінка впливу екологічних факторів

Продукти згоряння палив та їх компонентів у двигунах можуть нести як нейтральний так і негативний вплив для навколишнього середовища. До відпрацьованих газів використовуваних у авіації фракцій висуваються менш жорсткі вимоги ніж для бензинових та дизельних палив, оскільки безпека польотів та безперебійність роботи двигуна набагато пріоритетніша за безпеку керування наземними транспортними засобами. У табл. 4.1 наведено характеристику відпрацьвань, котрі утворюються внаслідок роботи двигуна на паливі для ПРД.

Таблиця 4.1

Сполуки, що утворюються під час використання палива для ПРД

Сполуки	Механізм утворення	Вплив на навколишнє середовище
1	2	3
CO <sub>2</sub>	Вуглекислий газ є продуктом повного згоряння авіаційного палива. Вуглець палива окиснюється киснем повітрям до CO <sub>2</sub>	Вуглекислий газ є основним парниковим газом з довготривалим життєвим (50-200 р.). Його частка від загальних викидів ПРД становить близько 70 %. Розсіюючись в атмосфері CO <sub>2</sub> спричиняє пряме нагрівання тропосфери під дією сонячного випромінювання
H <sub>2</sub> O	Водяна пара є іншим продуктом повного згоряння палива. У процесі горіння водень окиснюється до H <sub>2</sub> O	Становить близько 29 % усіх відпрацьованих газів ПРД. Не спричиняє негативної дії на стан навколишнього середовища
CO	Чадний газ утворюється у результаті неповного згоряння авіаційного палива в умовах нестачі кисню у паливо-повітряній суміші	CO негативно впливає на усі живі компоненти екосистем. В організмі людини блокує доступ кисню до тканин, спричиняє серцево-судинні захворювання

$O_x$	Оксиди азоту утворюються під час потрапляння повітря у зону горіння з високими температурою та тиском, де молекулярний азот з'єднується з киснем з утворенням $NO_x$	$NO_x$ сприяють утворенню фотохімічного смогу та руйнуванню озонового шару у верхніх шарах атмосфери. В організмі людини викликають подразнення слизових оболонок, ураження ЦНС
$C_nH_m$	Вуглеводні викидаються внаслідок неповного згорання авіаційного палива в умовах нестачі кисню у паливо-повітряній суміші	Вуглеводні є джерелами забруднень довкілля канцерогенними речовинами. В організмі людини $C_xH_y$ чинять канцерогенний, мутагенний, наркотичний та інші токсичні ефекти
$O_x$	Оксиди сірки утворюються внаслідок окиснення сірковмісних сполук авіаційних палив киснем повітря у процесі горіння	Оксиди сірки у вологому повітрі утворюють водні розчини сірчаної кислоти, що надалі потрапляє на поверхню землі, знижуючи родючість ґрунту та руйнуючи хлорофіл у рослинах. $SO_x$ спричиняють корозію металів, знижують стійкість лакофарбових покриттів, міцність і довговічність металевих конструкцій, будівель
сажа, тверді частинки і палива (SN)	У процесі згорання палива утворюють частинки незгорілого палива. Сажа утворюється при неповному згоранні палива	Фракції частинок до 10 мкм утримуються в атмосфері, знижують прозорість повітря, зменшуючи доступ ультрафіолетової радіації та погіршуючи мікроклімат певних регіонів. В організмі людини тверді викиди негативно впливають на дихальну систему, слизові оболонки

На рис. 4.1 видно, що основними об'єктами впливу емісії відпрацьованих газів на НПС є живі організми і клімат. Найбільший ризик виникає саме для живих організмів. Тому постає необхідність розрахунку та оцінки екологічного ризику на здоров'я людини. Це буде наступним етапом дослідницької роботи.

Ідентифікація ризиків, що виникають протягом життєвого циклу палива для ПРД ЛА, що показала наявні ризики як при використанні традиційного палива, так і при використанні біопалива для ПРД. Використання традиційного палива залишає і

надалі ризик його впливу на населення, на довкілля та екологічні зміни у біосфері. З іншого боку використання альтернативного палива, яке, в свою чергу зменшує ризик захворювань і впливу на живі істоти, але збільшує ризики пов'язані з експлуатацією літальних апаратів. Отже, на сьогодні система повітряних суден ще не готова до використання альтернативних палив на повну потужність.

Як відомо, управління ризиками є безперервним і невід'ємним процесом менеджменту підприємства в цілому і здійснюється на всіх етапах надання послуг – від проектування та планування до аналізування системи менеджменту. Управління ризиками полягає в завчасному виявленні пов'язаних з ризиком небезпек, факторів, що впливають і прийняття заходів щодо зниження ризику шляхом цілеспрямованої зміни цих факторів або мінімізації їх наслідків.

Управління ризиком являє собою створення заходів для зменшення негативного впливу на довкілля та на здоров'я населення, включаючи екіпаж повітряного судна. Головними аспектами у управлінні ризиками є: підвищення кваліфікації льотного екіпажу, технічне оснащення повітряного судна, дослідження та перевірка палива та справності літаків, дотримання відповідності технічного стану та складу палива необхідним нормам, система управління безпекою.

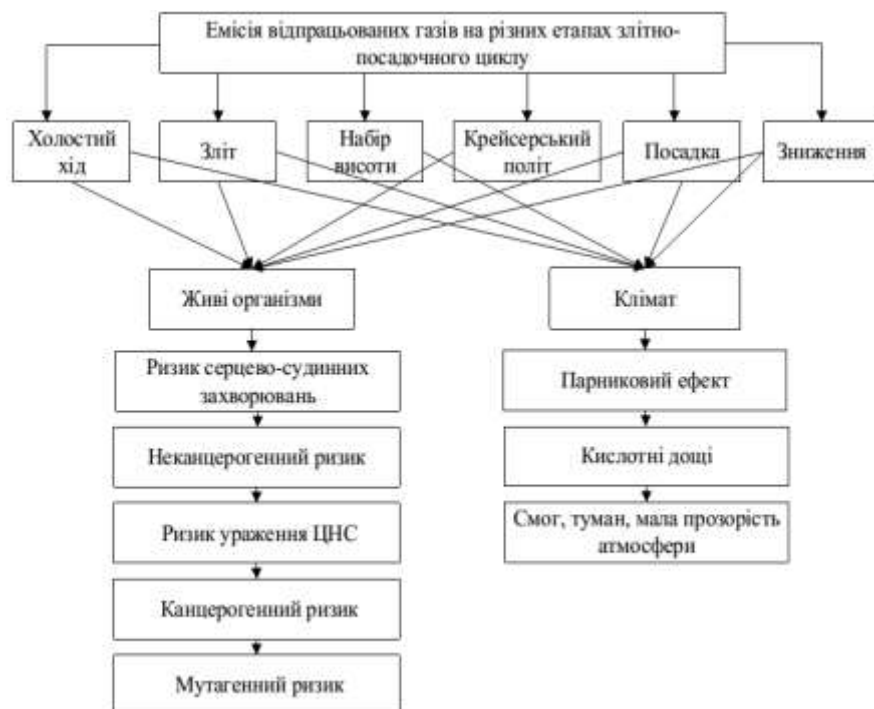


Рис. 4.1. Вплив емісії відпрацьованих газів авіаційної техніки на навколишнє природне середовище на різних етапах злітно-посадкового циклу

Для визначення екологічності біодизельного палива у порівнянні з традиційними видами було проведено ряд експериментів, у ході яких було визначено вміст різних хімічних сполук у відпрацьованих газах. [61]

Результати досліджень на токсичність ВГ показані в табл. 3.2 Відпрацьовані гази двигуна, працюючого на природному газі, містять в 1,03 рази менше оксидів азоту  $NO_x$ , в 1,75 рази більше оксиду вуглецю  $CO$ , в 9,3 рази більше вуглеводнів  $CH$ , зовсім не містять твердих частинок ТЧ у порівнянні з відпрацьованими газами двигуна, працюючого на дизельному паливі.

За сумарним показником кількості шкідливих викидів (табл. 3.2) лідирує природний газ. Друге місце займає нафтове дизельне паливо. Третє місце визначено за біодизелем.

Аналіз отриманих даних показав, що шкідливих речовину відпрацьованих газах в середньому на 46% складаються з  $CO$ , на 36% складаються з  $NO_x$ , та на 39% з вуглеводнів. Тобто за кількістю шкідливих викидів найбільш значимим компонентом є оксид вуглецю  $CO$ .

Таблиця 4.2

Викиди ШР (г/км і %) при роботі двигуна з різними видами паливами

Вид палива	Кількість викидів ШР									
	$NO_x$		$CO$		$CH$		ТЧ		Всього	
	г/км	г/с	г/км	г/с	г/км	г/с	г/км	г/с	г/км	г/с
Дизельне паливо	6,1	0,038	0,037	0,035	0,6	0,003	0,77	0,0048	13,0	0,081
Природн. газ	5,9	0,036	9,8	0,064	5,6	0,036	-	-	21,3	0,136
Біодизель	5,8	0,037	8	0,051	1,3	0,008	0,62	0,0039	15,7	0,1

#### 4.2. Використання альтернативного палива в авіації України

Для України, яка не має достатніх власних запасів нафти та газу, пошук, розширення виробництва та використання альтернативних джерел енергії й палив має особливе значення. Найбільш перспективними альтернативними видами палива для авіаційних та інших видів транспорту нині є біоетанол, біодизельне паливо і стиснений природний газ (СПГ).

У найближчій перспективі можуть використовуватися зріджений природний газ, синтетичні бензини і дизельне паливо, а в майбутньому можна очікувати на широке застосування водню і енергетичних установок з паливними елементами [62].

За Законом України «Про альтернативні палива» основними принципами державної політики України у сфері альтернативних видів палива є:

- сприяння розробці та раціональному використанню нетрадиційних джерел та видів енергетичної сировини для виробництва (видобутку) альтернативних видів палива з метою економії паливно-енергетичних ресурсів та зменшення залежності України від їх імпорту;

- поетапне збільшення нормативно визначеної частки виробництва і застосування біопалива та сумішевого палива моторного.

Вміст біоетанолу в бензинах моторних, що виробляються та/або реалізуються на території України, становитиме: у 2013 р.

- рекомендований вміст не менш як 5 % (об'ємних); у 2014–2015 рр.

- обов'язковий вміст не менш як 5 % (об'ємних); з 2016 р.

- обов'язковий вміст не менш як 7 % (об'ємних);

- зменшення негативного впливу на стан довкілля за рахунок використання як сировини для виробництва альтернативних видів палива відходів різного роду діяльності, додержання екологічної безпеки виробництва (видобутку), транспортування, зберігання та споживання альтернативних видів палива;

- підтримка розвитку науково-технічної бази виробництва (видобутку) альтернативних видів палива, пропаганда науково-технічних досягнень у цій сфері;

- підтримка підприємництва у сфері альтернативних видів палива на основі державного захисту інтересів підприємця;

- пропаганда серед населення економічних, екологічних, соціальних та інших переваг виробництва (видобутку) і споживання альтернативних видів палива;
- розвиток міжнародного науково-технічного співробітництва, широке використання можливостей світової науки і техніки у сфері альтернативних видів палива;
- запобігання штучному створенню монополій на ринку альтернативних видів палива, а у разі визнання в установленому законодавством порядку природних монополій здійснення контролю за їх діяльністю, недопущення зловживань монопольним становищем та обмеження монополізму [63].

### **4.3. Важливість використання альтернативних видів палива**

Нині у світі витрата рідкого палива становить 3917 Мт у рік. З цього обсягу 0,02 Мт — біопаливо, лише незначний обсяг якого споживається міжнародною авіацією. Основна частина палива використовується в системах прямого спалювання, які викидають вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ) в обсязі прямо пропорційному обсягам спалюваного палива. За попередньою оцінкою Комітету з охорони навколишнього середовища від впливу авіації ICAO (CAEP) очікується збільшення витрати палива у сфері міжнародних авіаперевезень приблизно з 200 Мт в 2006 р. до 450–550 Мт до 2036 р. Унаслідок підвищення ефективності та розвитку технологій у сфері авіації викиди  $\text{CO}_2$  збільшаться з 632 Мт у 2006 р. до 1422–1738 Мт до 2036 (без урахування впливу альтернативних видів палива) [64].

Сучасні вимоги Євросоюзу (директива ЄС 2009/28/ЄС «О стимулюванні використання возобновляемых видов энергии» від 23 квітня 2009 р.) ставлять такі завдання: до 2020 р. частка відновлювальної енергії у загальному балансі енергоспоживання має досягнути 20 %, біопалива — як мінімум 10 %. Беручи до уваги зазначені фактори, актуальним стає пошук та розробка альтернативних технологій виробництва авіаційного палива з відновлюваної сировини. На сьогодні вже відомо ряд технологій виготовлення альтернативних авіаційних палив, які активно досліджуються та впроваджуються в практику. Серед таких перспективних

технологій варто відзначити такі: – технологія CtL (coal to liquid). За цією технологією авіаційний керосин отримується з вугілля методом синтезу Фішера–Тропша (F–T); – технологія GtL (gas to liquid). Аналогічна технологія, але як сировину для ФТ-синтезу використовують природний газ; – процес MtSynfuels (Methanol to Synthetic fuels). Технологія виробництва палива з метанолу, яка є альтернативою ФТ-синтезу та забезпечує більший вихід кінцевих продуктів; – технологія EtK (Ethanol to Kerosene).

Виробництво керосину з етанолу; – технологія BTL (biomass to liquid). Є основою ФТ-синтезу та процесу MtSynfuels. Сировиною є біомаса — рослинні ресурси (відходи деревини, солома, залишки рослин); – HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) — гідрована рослинна олія, що є чистим керосином і не містить сірки та ароматичних вуглеводнів. Виробляється методом переробки рослинних олій та тваринних жирів у присутності водню; – технологія виробництва біокеросину. Суть полягає в процесі переестерифікації жирних кислот рослинних олій у присутності метилового або етилового спирту та лужного каталізатора. Дана технологія є аналогічною до технології виробництва біодизелю; – кріогенне паливо. Технологія використання зрідженого природного газу (CH<sub>4</sub>) як альтернативного авіаційного палива [65].

Виробництво синтетичних палив з вугілля і природного газу, що, як і нафта, є не поновлюваними джерелами сировини, не може остаточно звільнити людство від небезпеки настання енергетичної кризи, хоч і в далекому майбутньому. Крім того, вуглекислого газу, що виділятиметься під час згоряння синтетичних вуглеводневих палив з не поновлюваної сировини, додатково виділяється CO<sub>2</sub> при спалюванні технологічного палива, задіяного у процесі виробництва синтетичного палива. У зв'язку з цим буде доцільнішим використання біопалив. Біопаливо — це паливо, що виробляється з використанням поліферментних систем чи продуктів метаболізму живих організмів або з органічних відходів [66].

До найбільш відомих видів біологічного палива відносять біоетанол та біодизель. Ефективність виготовлення біопалива залежить від багатьох факторів, найбільш вагомими з яких є технологічні можливості, якість сировини, можливості

кооперації виробництва з метою оптимального використання супутніх (побічних) продуктів, якості отриманого палива, а також можливостей його використання на існуючих технологічних установках, транспорті [67].

Перевагами біопалив є: – використання відновлюваних видів сировини; – можливість отримати екологічно чисте паливо (зниження шкідливих викидів майже в два рази порівняно з традиційними нафтовими паливами); – зменшення залежності від імпорту дорогої нафти. Біопалива відрізняються хорошими експлуатаційними характеристиками; їх використання в суміші з традиційними паливами практично не потребує змін в інфраструктурі паливоспоживання [68].

Слід зазначити, що біопаливо виробляється з природно відновлюваної сировини, яке при своєму розвитку поглинає вуглекислий газ з повітря. Під час спалювання біопалива раніше поглинений біосировиною вуглекислий газ повертається в повітря. При спалюванні ж палив, виготовлених з не відновлюваної сировини, вуглекислий газ, виділяючись в атмосферу, збільшує в ній своє утримання. Тому синтетичне паливо з біосировини вважається екологічно більш кращим [69].

#### **4.4. Висновки до розділу**

Ідентифікація ризиків, що виникають протягом життєвого циклу палива для ПРД ЛА, що показала наявні ризики як при використанні традиційного палива, так і при використанні біопалива для ПРД. Використання традиційного палива залишає і надалі ризик його впливу на населення, на довкілля та екологічні зміни у біосфері. З іншого боку використання альтернативного палива, яке, в свою чергу зменшує ризик захворювань і впливу на живі істоти, але збільшує ризики пов'язані з експлуатацією літальних апаратів, але здійснює порівняно менший негативний вплив на навколишнє середовище.



## РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1. Вступ

Охорона праці робітників на виробництві є дуже важливим аспектом робочого укладу, оскільки створення безпечних умов праці є одним з головних завдань.

Аналіз палива під час дослідження експлуатаційних властивостей палива на відбувався у 12 корпусі Національного авіац.

### 5.2. Аналіз умов праці на робочому місці

Робоче місце – це частина виробничого простору, працівника або декількох працівників, що устаткований технологічним обладнанням, робочими меблями, інструментами та робочим приладдям, що є необхідним для виконання робочого процесу.

#### 5.2.1. Організація робочого місця

Виконання основних робіт даної дипломної роботи проводились у Відділі контролю якості МОУ в кімнаті №4, що являє собою кімнату  $28\text{ м}^2$  (довжина становить 7 м, ширина 5 м). Висота хімічної лабораторії складає 3 м, отже об'єм приміщення  $84\text{ м}^3$ . Кількість робочих місць складає 6. Згідно норм, площа одного робочого місця повинна складати не менше  $4,5\text{ м}^2$ , а об'єм – не менше  $15\text{ м}^3$ , фактично ж площа, відведена для одного працівника в цій лабораторії складає  $4,6\text{ м}^2$  та  $14\text{ м}^3$ . За нормативними значеннями площі та об'єму, що приходяться на одного працівника можна зробити висновки, що робоче приміщення не задовольняє вимоги. [16].

### 5.2.2. Перелік шкідливих та небезпечних виробничих чинників

В робочій хімічній лабораторії на працівника під час виконання службових обов'язків діють зокрема такі шкідливі та небезпечні чинники:

- Токсичність.
- Мікроклімат робочої зони.
- Освітленість.
- Небезпека ураження електричним струмом.
- Шум, вібрація, ультразвук, інфразвук.

### 5.2.3. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників.

#### *Токсичність.*

У системі стандартів безпеки праці за ступенем дії на організм людини шкідливі речовини поділяються на 4 класи безпеки:

1. Надзвичайно небезпечні;
2. Високо небезпечні;
3. Помірно небезпечні;
4. Мало небезпечні.

При виконанні роботи використовувалися такі шкідливі речовини як керосин авіаційний, паливо Jet A-1, естери жирних кислот [14].

Всі робочі процеси виконувалися в гумових рукавицях, захисних окулярах та робочому халаті. Робота проводиться завжди при увімкненій витяжці.

#### *Мікроклімат робочої зони.*

Мікроклімат робочої зони – це клімат внутрішнього середовища приміщення робочої зони, що характеризується наступними показниками: температури повітря, відносної вологості повітря, рухливості повітря, барометричного тиску та інтенсивності теплового випромінювання.

Відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 та ДСН 3.3.6.042-99, робота що виконується в даному приміщенні, належить до категорії середнього важкості Па.

Оптимальні і припустимі норми температури, відносної вологості повітря і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень для категорії робіт

## IIa

Період року	Температура повітря, °C		Відносна вологість повітря, %		Швидкість руху повітря, м/с	
	Оптимальна	Допустима	Оптимальна	Допустима	Оптимальна	Допустима
1	2	3	4	5	6	7
Холодний	18-20	15-24	60-40	Не більше 75	0,2	не більше 0,3
Теплий	21-23	17-27	60-40	60 - при 26°C	0,3	0,2-0,4
Існуючі умови на робочому місці	15-27		40-75		0,1	

*Освітлення.*

Освітлення має відповідати низці нормативних вимог, а саме: бути рівномірним, достатнім, не повинно створювати контраст та не засліплювати очі. Освітлення буває природним, штучним і спільним: найбільш сприятливе для організму – природне освітлення.

Спільне освітлення – це освітлення, при якому одночасно використовуються природне та штучне світло.

В лабораторії де проводилося випробовування, світло комбіноване і становить 200-400 лк. Це освітлення надходить від ламп на стелі (4шт.). Також є освітлення приладів та ламп, які знаходяться під витяжною шафою.

*Небезпека ураження електричним струмом.*

Через необережність чи інші випадки, людина може доторкнутися до частин, які передають електричний струм. Невміле користування електричними приладами, а також несправність цих приладів призводить до ураження електричним струмом. Дія струму на організм людини залежить від типу струму, напруги, тривалості його

проходження, шляху проходження, ідивідуальних особливостей і оточуючого середовища.

Сила струму, що проходить крізь тіло, прямо пропорційна його напрузі й зворотно пропорційна опорі шкіряних покривів і предметів, які є між постраждалим і земною поверхнею. Залежно від наслідків ураження електричні травми можна поділити на п'ять ступенів:

I ступінь - судомне, ледве відчутне скорочення м'язів;

II ступінь - судомне скорочення м'язів без втрати свідомості;

III ступінь - судомне скорочення м'язів, яке супроводжується втратою свідомості;

IV ступінь - втрата свідомості і порушення серцево-судинної діяльності та дихання;

V ступінь - стан клінічної смерті.

Електрична мережа в хімічній лабораторії має наступні характеристики: кількість фаз – 1, вид струму – змінний, напруга – 220 В, частота струму – 50 Гц. [15].

### **5.3. Розробка заходів з охорони праці**

Заходи щодо безпеки і поліпшення умов праці на галузевих об'єктах розробляються службами охорони праці за основними напрямками господарської діяльності.

Всі заходи щодо охорони праці включаються в колективний договір і угоду з охорони праці між адміністрацією і профспівковою організацією.

#### **5.3.1. Нормалізація повітря робочої зони**

##### *Вентиляція.*

Задачею вентиляції є забезпечення чистоти повітря і заданих метеорологічних умов у виробничих приміщеннях. Вентиляцією називають

організований і регульований повітрообмін, що забезпечує видалення з приміщення забрудненого повітря і подачу на його місце свіжого.

За способом переміщення повітря розрізняють системи природної і механічної вентиляції.

При природній вентиляції переміщення повітря здійснюється за рахунок різниці температур зовнішнього повітря і повітря в робочій зоні (тепловий напір) чи за рахунок вітру (вітровий напір).

При природній організованій вентиляції повітря подається в зону з найменшим утворенням шкідливих речовин, а видаляється з зони з їхньою найбільшою концентрацією.

При неорганізованій вентиляції надходження повітря в робочу зону здійснюється за рахунок витиснення теплого повітря зовнішнім повітрям через вікна, двері, кватирки, щілини і т.д.

В лабораторії 12 корпусу НАУ кожне робоче місце знаходиться під витяжною шафою, яка забезпечує хорошу вентиляцію.

### 5.3.2. Виробниче освітлення

Слід відмітити особливо важливу роль в життєдіяльності людини природного освітлення, його ультрафіолетової частини спектру. Природне освітлення стимулює біохімічні процеси в організмі, поліпшує обмін речовин, загартовує організм, йому властива протибактерицидна дія тощо. У зв'язку з цим при недостатньому природному освітленні в умовах виробництва санітарно-гігієнічні нормативи вимагають у системі штучного освітлення застосовувати джерела штучного світла з підвищеною складовою ультрафіолетового випромінювання – еритемні джерела світла.

Спроможність зорового сприйняття визначається енергетичними, просторовими, часовими та інформаційними характеристиками сигналів, що надходять до людини. Видимість об'єкту залежить від властивості ока, а також освітлення (або власного світла об'єкту).

В лабораторії де проводилося випробовування, світло комбіноване і становить 200-400 лк. Це освітлення надходить від ламп на стелі (4шт.). Також є освітлення приладів та ламп, які знаходяться під витяжною шафою.

### 5.3.3. Електробезпека

З метою забезпечення електробезпеки на робочому місці всі металеві частини електроустановок, які знаходяться під напругою, повинні бути заземлені шляхом з'єднання з нульовим проводом мережі.

Заземленими мають бути: корпуси електрифікованих машин, електродвигуни, електрокалорифери, переносні електроприймачі, електроінструмент, металеві каркаси та кожухи розподільчих щитів та силових шаф, корпуси пускових і захисних апаратів, металева освітлювальна та опромінювальна апаратура, металева ізоляція кабелів, сталеві труби для електропроводки та ін.

Як природні заземлювачі використовуються прокладені в ґрунті водопровідні та інші металеві трубопроводи (окрім трубопроводів горючих рідин, горючих і вибухонебезпечних газів, а також трубопроводів, покритих ізоляцією для захисту від корозії), труби артезіанських свердловин, металеві конструкції та арматура залізобетонних будинків та споруд, які мають з'єднання з землею, свинцеві оболонки кабелів, прокладених у ґрунті.

## 5.4. Пожежна безпека

Пожежна безпека – стан об'єкту, при якому з встановленою імовірністю виключається можливість виникнення і розвитку пожежі і дії на людей небезпечних факторів пожежі, а також забезпечення захисту матеріальних цінностей .

Існує 5 класів пожеж [62]:

- клас А – пожежі твердих речовин, переважно органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір);
- клас В – пожежі горючих рідин або твердих речовин;
- клас С – пожежі газів;

- клас Д – пожежі металів та їх сплавів;
- клас (Е) – пожежі, пов'язані з горінням електроустановок.

Крім перерахованих параметрів, також береться до уваги категорія приміщень за вибухопожежною та пожежною безпекою.

У Відділі контролю якості зберігається велика кількість горючих вибухонебезпечних речовин, які відносяться до категорії В – пожежонебезпечних виробництв. За правилами розміщення електроустановок приміщення відносяться до класу В-1б, оскільки роботи з горючими і вибухонебезпечними речовинами проводяться у витяжних шафах без застосування відкритого вогню і відкритих нагрівальних пристроїв. [17].

Для запобігання виникненню пожеж необхідно передбачити наступні заходи:

- ретельна ізоляція всіх струмоведучих провідників до робочих місць;
- періодичний огляд і перевірка ізоляції;
- суворе дотримання норм протипожежної безпеки на робочому місці.

Проводяться організаційно-технологічні заходи (заборона паління, інструктаж).

У приміщенні лабораторії знаходиться 4 шт. вогнегасників типу ВП-5 (ДСТУ 3675). Це порошкові вогнегасники. Цифра 5 означає масу вогнегасної речовини у кілограмах, що міститься у його корпусі. Порошкові вогнегасники призначені для гасіння легкозаймистих речовин та горючих речовин, лужних та лужноземельних металів та їх карбідів, електроустановок під напругою.

Така кількість вогнегасників відповідає вимогам ISO3941-87, якими передбачене обов'язкова наявність двох вогнегасників на 100 м<sup>2</sup> площі підлоги для приміщень.

На рис5.1. наведений план евакуації з лабораторії у випадку пожежі.

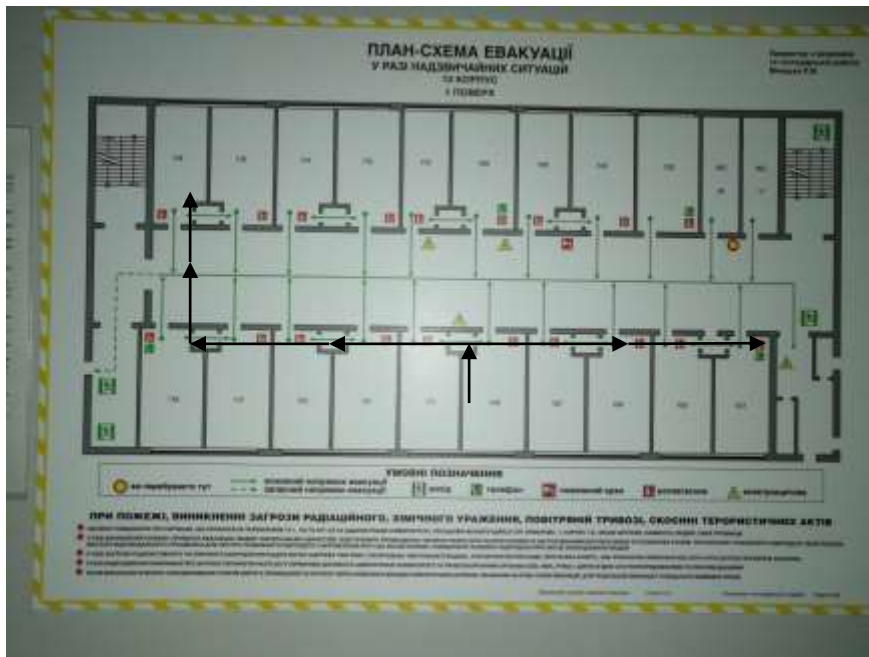


Рис. 5.1. План евакуації у випадку пожежі

### 5.5. Розрахункова частина

У приміщеннях вибухонебезпечних об'єктів (цехах деревообробки, лакофарбових, складах палива, котельнях, елеваторах) можливі вибухи і вибухове дефлаграційне горіння, у всьому об'ємі, оскільки межі приміщення не дають можливості розширюватися продуктам горіння.

Надмірний тиск вибуху для конкретних палих речовин, що складаються з атомів С, Н, N, Cl, Br, F, I визначається за формулою:

$$\Delta P_{max} = (P_{max} - P_0) \frac{1000M \cdot z}{c_{стx} \cdot V_{во} \cdot \rho_{п(Г)} \cdot \varphi};$$

$$\Delta P_{max} = (900 - 101) \cdot \frac{100 \cdot 4,5 \cdot 0,3}{1,6 \cdot 28 \cdot 4,8 \cdot 3} = 159,8 \text{ кПа} \quad (5.1)$$

Де  $P_{max}$  – максимальний тиск вибуху стехіометричної ГПС у замкнутому об'ємі, визначається за довідником.  $P_0$  – початковий тиск у приміщенні, кПа,  $M$  – маса ГПС, що потрапила у приміщенні в наслідок аварії, кг;  $z$  – коефіцієнт участі пальної речовини у вибуху в приміщенні,  $V_{во}$  – вільний об'єм приміщення,  $m^3$ ,  $\rho_{п(Г)}$  – щільність пари при  $\rho_0$ ,  $кг/м^3$ , визначається залежністю:



$$\rho_{П(Г)} = \frac{12,15 \cdot M_p}{t_n + 273};$$

$$\rho_{П(Г)} = \frac{12,15 \cdot 114}{18 + 273} = 4,8 \text{ кг/м}^3 \quad (5.2)$$

Де  $M_p$  – молярна маса речовини, г/моль,  $t_n$  – температура повітря в приміщенні, °С;  $\varphi$  — коефіцієнт негерметичності приміщення і не адіабатичності процесу горіння, дорівнює 3;  $C_{стx}$  — стехіометрична концентрація газів чи пари, визначається за формулою:

$$C_{стx} = \frac{100}{1 + 4,84 + \beta};$$

$$C_{стx} = \frac{100}{1 + 4,84 \cdot 12,5} = 1,6 \quad (5.3)$$

де  $\beta$  — стехіометричний коефіцієнт кисню в рівнянні реакції горіння, дорівнює:

$$\beta = n_c + \frac{n_H - n_{Г}}{4} - \frac{n_O}{2};$$

$$\beta = 8 + \frac{18 - 0}{4} = 12,5; \quad (5.4)$$

( $n_c$ ,  $n_H$ ,  $n_O$ ,  $n_{Г}$  — кількість атомів С, Н, О та галогенів у молекулі пального, оскільки паливо авіаційне Jet A-1 є складною сумішшю.[23].

## 5.6. Висновки до розділу

Проведений аналіз умов праці в приміщенні робочої зони. Вказані способи захисту при взаємодії з шкідливими речовинами та вказаний шлях евакуації при НС.

Проведені розрахунки вибуху палива Jet A-1 в закритому приміщенні, максимальний тиск вибуху стехіометричної суміші становить 159,8 кПа. При вибуху даної суміші відбудеться повне руйнування лабораторії та завдання травм працівникам. Для зниження руйнівної сили, при вибуху робочої суміші у приміщенні, рекомендується зберігати її в меншій кількості або за межами будівлі.

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломної роботи було вирішено такі завдання:

1. Здійснено аналіз перспективи використання альтернативних авіаційних палив в Україні.
2. Надано оцінку використання екологічно безпечних компонентів для підвищення протизносних властивостей авіаційних палив.
3. Проведено дослідження протизносних властивостей сумішевих авіаційних палив на основі естерів жирних кислот рижієвої олії.
4. Встановлено закономірності впливу магнітного поля на енергетичні показники та протизносні властивості.
5. Оцінено екологічну безпеку сумішевих авіаційних палив із рослинної сировини.

Аналіз джерел показав, що проблема змащувальних властивостей палив, а саме авіаційних, є відкритою на сучасному етапі розвитку галузі. Альтернативні джерела рідких компонентів активно впроваджуються у процес виробництва сумішевих палив як в авіації так і в наземній техніці.

Дослідження зразків сумішевих палив показали, що ЕЕЖК рижієвої олії виявляють здатність утворювати більш міцну граничну плівку. Результати випробувань свідчать, що збільшення вмісту біокомпонентів у зразках сумішевих палив сприяє зміцненню граничної плівки на поверхні пари тертя. Таким чином, встановлено, що палива для ПРД з вмістом біокомпонентів, отриманих з рижієвої олії, характеризуються кращими протизносними властивостями. Експериментально було встановлено, що оброблені магнітним полем авіапалива з додаванням ЕЕЖК рижієвої олії мають кращі змащувальні властивості ніж нафтових палив для ПРД.

Також слід зазначити, що альтернативні палива володіють кращими властивостями у екологічному аспекті використання їх на практиці. Тобто вони створюють менше викидів у атмосферу, що надає їм пріоритет використання над традиційними нафтовими паливами у сучасному суспільстві.

## СПИСОК БІБЛОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Колодзько Т.Г. Потенціал виробництва біопалива в Україні: URL: [http://www.btsau.kiev.ua/files/list/edition/ed\\_fkbijdakvh.pdf](http://www.btsau.kiev.ua/files/list/edition/ed_fkbijdakvh.pdf) (дата звернення: 19.02.2019 р).
2. Шевченко І.А., Полякова О.І., Ведмедєва К.В., Комарова І.Б. Рижій, сафлор, кунжут. Стратегія виробництва олійної сировини в Україні (малопоширені культури). Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України. Статус. 2017. С.40 .
3. Iakovlieva A.V., Boichenko S.V., Vovk O.O. Overview of innovative technologies for aviation fuels production. Chemistry and Chemical Technology. 2013, Vol. 7, № 3, P. 305-312. DOI: <https://doi.org/10.23939/chcht07.03.305>.
4. Iakovlieva A., Boichenko S., Lejda K., Vovk O., Shkilniuk I. Vacuum Distillation of Rapeseed Oil Esters for Production of Jet Fuel Bio-Additives. Procedia Engineering, 2017, Vol. 187, P. 363–370 DOI: [doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.387](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.387)
5. Kryshchuk, S. Kryshchuk, L., Melnyk, V., Dolishnii, B., Prunko, I., Demianchuk, Y. Experimental research on diesel engine working on a mixture of diesel fuel and fusel oils. Transport problems, 2017, Vol. 12, No. 2, p. 53-63. DOI: [10.20858/tp.2017.12.2.6](https://doi.org/10.20858/tp.2017.12.2.6).
6. Демидась Г., Квітко Г., Гетьман Н. Рижій посівний – олійна культура альтернативна ріпаку ярому для виробництва біодизелю. Збірник наукових праць ВНАУ, 2011, № 8 (48). С. 3–8.
7. Solis J.L., Berkemar A.L., Alejo, Kiros L. Biodiesel from rapeseed oil (*Brassica napus*) by supported Li<sub>2</sub>O and MgO. International Journal of Energy and Environmental Engineering. 2016. No.8,1. P.9-23.
8. EN 14214:2003 «Automotive fuels — Fatty acid methyl esters (FAME) for diesel engines — Requirements and test methods» (Палива для двигунів внутрішнього згоряння. Метиліві ефіри жирних кислот. Технічні вимоги та методи випробовування). URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/EN\\_14214](http://en.wikipedia.org/wiki/EN_14214): (дата звернення: 01.05.2019 р).

9. ДСТУ 6081:2009 Топливо моторное. Эфиры метиловые жирных кислот масел и жиров для дизельных двигателей. Технические требования. [Чинний від 01.03.2010]. Вид.офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2009.
10. Panchuk M., Kryshchtopa S., Shlapak L., Kryshchtopa L., Yarovyi V., Sladkovskyi, A. Main trend of biofuels Production in Ukraine. Transport Problems. 2017. Vol. 12, No. 4. P. 95–103.
11. Hileman, J. I. Near-Term Feasibility of Alternative Jet Fuels / J. I. Hileman, H. M. Wong, I. Waitz — Santa Monica, California: RAND Corporation. — 2009. — 120 p.
12. Яковлева А. В. Застосування біопалив для повітряно-реактивних двигунів з метою покращення їх екологічних характеристик / А. В. Яковлева, С. В. Бойченко // Авиационно-космическая техника и технология. — Харьков «ХАИ». 2012. — № 7(94). — С. 60–64.
13. Сайко В. Ф. Землеробство в контексті змін клімату / В. Ф. Сайко // Збірник наукових праць ННЦ Інститут землеробства УААН. — К., 2008. — Спец. вип. — С. 3–14.
14. Яковлева А. В. Причинно-слідственная зв'язь виробництва авіаційних топлив и современного состояния окружающей среды / А. В. Яковлева, С. В. Бойченко // Monografia №3 “Systems and means of motor transport” Seria: Transport. — 2012. — С. 239–246.
15. Васильев И. П. Влияние топлив растительного происхождения на экологические и экономические показатели дизеля : монография / И. П. Васильев. — Луганск : изд-во ВЛУ им. В. Даля, 2009. — 240 с.
16. Антипенко А.М. та ін. Основи трибології / А.М. Антипенко, О.М. Белас , В.А.Войтов, О.С. Вотченко – Харків : ХНТУСГ, 2008. – 342 с.
17. Закалов О.В. Основи тертя і зношування в машинах / О.В. Закалов, І.О. Закалов – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. – 322 с.
18. Закалов, О.В. Триботехніка і підвищення надійності машин [Текст]: О.В.Закалов. – Тернопіль: ТДТУ, 2000. – 354 с.
19. Костецкий, Б.И. Трение, смазка и износ в машинах [Текст]: Б.И. Костецкий. – К.: Техніка, 1970. – 396с.

20. Кондрачук, М.В. Трибологія / М.В. Кондрачук, В.Ф. Хабутель, М.І. Пашечко, Є.В. Корбут. – К.: Вид-во Національного Авіаційного університету «НАУ-друк», 2009. – 232 с.
21. Гаркунов, Д.Н. Триботехника [Текст]: Д.Н. Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1985. – 424 с.
22. Костецкий, Е.И. Сопротивление изнашиванию деталей машин [Текст]: Б.И. Костецкий. – Киев – Москва: Машгиз, 1959.
23. Костецкий, Б.И. Поверхностная прочность [Текст]: Б.И. Костецкий. – К.: Техника, 1975.
24. Крагельский, И.З. Основы расчетов на трение и износ [Текст]: И.З. Крагельский, М.Н. Добнчин, В.С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977.
25. Крагельский, И.В. Трение и износ [Текст]: И.В. Крагельский. – М.: Машгиз, 1962.
26. Костецкий, Б.И. Качество поверхности и трение в машинах [Текст]: Б.И. Костецкий, Н.Ф. Колисниченко. – К.: Техника, 1969.
27. Зозуля, В.Д. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин [Текст]: В.Д. Зозуля, Е. Лубведков, Д.Я. Ровенский, З.Д. Брау; 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Наукова думка, 1990.
28. Трение, изнашивание и смазка [Текст]: справочник; в 2-х кн.; под ред. И.В. Крагельского и В.З. Алисине. – М.: Машиностроение, 1978, 1979.
29. Андреев, А.В. Передача трением [Текст]: А.В. Андреев // Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1978.
30. Балакин, В.А. Трение и износ при высоких скоростях скольжения [Текст]: В.А. Балакин. – М.: Машиностроение, 1980.
31. Внутреннее трение в исследовании металлов, сплавов и неметаллических материалов [Текст]: сборник научных трудов. – М.: Наука, 1989.
32. Крагельский, И.В. Основы расчетов на трение и износ [Текст]: И.В. Крагельский и др. – М.: Машиностроение, 1977.
33. Крагельский, И.В. Узлы трения машин [Текст]: И.В. Крагельский, Н.М. Михин // Справочник. – М.: Машиностроение, 1984.

34. Польцер, Г. Основы трения и изнашивания [Текст]: Г. Польцер, Ф. Майсенер; пер. с нем. О.Н.Озерского; под ред. М.Н.Добычина. – М.: Машиностроение, 1984.
35. Хартман К., Лецкий Э., Шефер В. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. - М.: Мир, 1977. – 541 с.
36. Адлер Ю.П., Маркова ЕВ., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. - М.: Наука, 1976. - 279 с.
37. Адлер Ю.Л., Горский В.Г. Планирование промышленных экспериментов. - М.: Metallургия, 1974 - 264с
38. Налимов В.В., Голикова Т.И. Логические основания планирования эксперимента. - М.: Metallургия, 1976 - 128 с.
39. Мельников С.В. и др. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. - М.: Колос, 1980. - 168с.
40. Асатурян В.И. Теория планирования эксперимента: для вузов. - М.: Радио и связь, 1983.-248с.
41. Монгмери Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных. - Л.: Судостроение, 1980. -384 с.
42. Джонсон Н. и др. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы планирования эксперимента. - М.: Мир, 1981. - 520 с.
43. Хикс Ч. Р. Основные принципы планирования эксперимента. - М.: Мир, 1967.
- 10.Маркова Е.В., Лисенков А.Н. Планирование эксперимента в условиях неоднородностей. - М.: Наука, 1973.
44. Гладкий Я.Н. Взаимосвязь трибологических характеристик материалов с физико-химическими процессами в зоне трения / Я.Н. Гладкий, С.С. Бысь // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2001. – №4. – С. 203 – 210.
45. Диха О. Розрахунково-експериментальне дослідження трибологічних властивостей мастильних матеріалів // О. Диха, А. кузьменко, В. Мокрицький – Машинознавство – 2001. – №7. – С. 29 – 32.
46. Лисіков Є.М. Підвищення ресурсу трибосполучень технічних систем шляхом впливу електростатичного поля на мастильні матеріали /Є.М. Лисіков //Техніка та

технологія виконання будівельних, колійних та перевантажувальних робіт на транспорті: Зб. наук. праць. Вип.58. – Харків:

УкрДАЗТ, 2004. – С. 5 – 10.

47. Третьяков И.Г. Влияние электромагнитной обработки на противоизносные свойства индивидуальных углеводородных соединений / И.Г. Третьяков, Ю.И. Короленко // Вопросы авиационной химмотологии. Межвуз. сб., Вып.2. Киев, 1978. – С.141 – 144.

48. Подгорков В.В. Несущая способность магнитных жидкостей / В.В. Подгорков // Трение и износ. – 1990. – Т11. – №2. – С. 359 – 361.

49. Садбери А. Квантовая механика и физика элементарных частиц / А. Садбери. – М.: Мир, 1989. – 488 с.,

50. Боум А. Квантовая механика: основы и приложения / А. Боум. – М.: Мир, 1990. – 720 с.

51. Свирид М.М., Кудрін А.П., Кравець І.А., Приймак Л.Б., Бородій В.М. Пристрій для дослідження поверхонь тертя в постійному рівномірному та нерівномірному магнітному полі / Патент на корисну модель № 70877, G01N 3/56. Заявка u201115161, 21.12.2011. Опубл.25.06.2012, Бюл. № 12 – 5 с.

52. Свирид М.М., Кудрін А.П., Кравець І.А., Приймак Л.Б., Бородій В.М., патент на корисну модель: Спосіб відновлення поверхні тертя постійним рівномірним та нерівномірним магнітним полем UA 70878 G01N 3/56, 25.06.2012.

53. Крагельский И.В. Трение и износ в машинах / И.В. Крагельский. - М.: Машгиз 1962.-382 с.

54. Костецкий Б.И. Поверхностная прочность металлов при трении / Б.И. Костецкий. - К.: Технгка, 1976. - 292 с.

55. Трибология в работах В.А. Белого / [Мышкин Н.С., Петроковец М.И., Плескачевский Ю.М. и др.] // Трение и износ. - 2002 (23). - №3. - С. 236-246

56. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. – М.: Физматгиз, 1963. – 472с.

57. Вонсовский С.В. Магнетизм. 1984, М., 160 с.

58. Источники информации: 1. Н.К. Мышкин, Д.В. Ткачук, А.И.Свириденко Тенденции в развитии трибологии. Трение и смазка в машинах и механизмах. № 1 . 2009.
59. Сіренко Г.О. Антифрикційні властивості полікомпонентних композицій на основі хімічно-модифікованої ріпакової оливи під час мащення пари ароматичний поліамід - сталь / Г.О. Сіренко, Л.Я. Мідак, О.В. Кузишин, Л.М. Кириченко, В.І. Кириченко // Полімер. журн. — 2008. — Т. 30, № 4. — С. 338-344.
60. Трофімов І.Л. Дослідження протизносних властивостей палив оброблених електричним полем за схемою трибоконтакту «циліндр - площина» / І.Л. Трофімов, В.В. Бурикін, В.П. Захарчук // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент техника и технология его изготовления и применения // Сборник научных трудов Института сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля НАНУ, — №14/2011. — С. 602-608.  
test methods..
61. Медведєва Т. В Альтернативні палива для авіаційної техніки / Т. В. Медведєва, М. С. Бойченко // Новітні досягнення біотехнології: тези МНТК. — 21–22.10.2010. — С. 24–25.
62. Висновок державної екологічної експертизи щодо проекту Закону України про внесення змін до Закону України «Про заборону ввезення і реалізації на території України етилованого бензину та свинцевих добавок до бензину» щодо авіаційного палива (реєстраційний № 11031 від 25.07.2012) / О. Р. Бангура. — К. : Комітет Верховної Ради України з питань екологічної політики, природокористування та ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи. 2012. — 4 с. — (Нормативний документ Міністерства екології та природних ресурсів України).
63. Перспективи впровадження альтернативного палива в авіації /К. В. Бондаренко, С. В. Бойченко, В. Г. Семенов // Авиационно-космическая техника и технология. — 2011. — № 9. — С. 76–80.
64. Жукавина А. Рынок авиатоплива. Украина / Александра Жукавина. [Электронный ресурс]. — Режим доступа к статье: <http://senturia.ua/daily/rynok-aviatopliva-ukraina/>.



65. Устименко В. Альтернативне паливо в Україні / Віктор Устименко // Перевізник УА. — 2008. — № 15. — С. 28–30.
66. Закон України «Про альтернативні види палива» / Верховна Рада України. — Офіц. вид. — К. : Парлам. вид-во, 2012. — 11 с. — (Бібліотека офіційних завдань).
67. Потребность в альтернативных видах топлива для авиации: конференция по авиации и альтернативным видам топлива / Международная организация гражданской авиации. — Б. : СAAF/09-WP/3, 2009. — 11 с.
68. Семенов В. Г. Покращення економічних та екологічних показників дизельного двигуна, що працює на біодизельному паливі, присадками / В. Г.Семенов, А. І. Атамась // Проблеми хімотології: матеріали III МНТК, 20–24 вересня 2010 р. — К., 2010. — С. 231—232.
69. Екологічна безпека держави: тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та студентів. м. Київ, 17–18 квітня 2012 р., НАУ / редкол. О. І. Запорожець та ін. — К. : НАУ, 2012. — 252 с
70. Методичні вказівки до виконання розділу "Охорона праці" в дипломних проектах і роботах. Для студентів всіх спеціальностей освітньо-кваліфікаційних рівнів “спеціаліст” та “магістр” / Укладачі: О.І Запорожець, А. В. Русаловський. — К.: НАУ, 2006. — 15с.
- .