

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: «Порівняльна оцінка схильності до біодеградації традиційного та
альтернативного авіаційного палива»**

Виконавець: Вовк Ю.О. студентка групи АП 204 М _____

Керівник: Матвеева О.Л. к.т.н., проф., _____

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

Вовк Юлії Олександрівни

1. Тема роботи «Порівняльна оцінка схильності до біодеградації традиційного та альтернативного авіаційного палива» затверджена наказом ректора від «02» жовтня 2020 р. № 1897/ст.

2. Термін виконання роботи: з 05.10.2020 р. по 31.12.2020 р.

3. Вихідні дані роботи: літературні відомості про традиційне та альтернативне авіаційне паливо; його здатність до біодеградації; зразки палив: №1- РТ, №2- 50% РТ та 50% Біокомпоненту, №3- Біокомпонент.

4. Зміст пояснювальної записки: Розділ 1. Аналіз актуальності проблеми. Розділ 2. Методи та методики дослідження. Розділ 3. Експериментальна частина. Розділ 4. Охорона праці. Розділ 5. Охорона навколишнього середовища. Висновки. Список бібліографічних посилань використаних джерел.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: таблиці, рисунки, графіки.

6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Одержання теми. Пошук та аналіз літератури за темою кваліфікаційної роботи.	05.10.2020-20.10.2020	
2.	Опрацювання літературних джерел з даної теми	21.10.2020-01.11.2020	
3.	Проведення експериментальних досліджень. Дослідження біодеградації палив візуальними та хімічними методами	09.09.2020-15.11.2020	
4.	Обробка експериментальних даних	16.11.2020-20.11.2020	
5.	Проведення аналізу охорони навколишнього середовища та охорони праці за темою дослідження	21.11.2020-30.11.2020	
6.	Узагальнення матеріалу, оформлення кваліфікаційної роботи, підготовка доповіді та презентації.	01.12.2020-07.12.2020	
7.	Захист кваліфікаційної роботи	23.12.2020	

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: «05» жовтня 2020 р.

Керівник кваліфікаційної роботи: _____ к.т.н., проф., Матвєєва О. Л.

Завдання прийняв до виконання: _____ Вовк Ю.О.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Порівняльна оцінка схильності до біодеградації традиційного та альтернативного авіаційного палива»: 93 с., 45 рис., 4 табл., 35 літературних джерел.

Мета роботи – дослідження здатності альтернативного та традиційного авіаційного палива до мікробіологічного ураження; вивчення особливостей мікроорганізмів, які здатні розвиватися в вуглеводневому та біопаливі.

Об'єкт дослідження - мікробіологічне ураження вуглеводневих палив та біопалив.

Предмет дослідження – паливо РТ, біокомпонент, зміна якості палив при мікробіологічному ураженні.

Методи дослідження:

- аналіз літературних джерел;
- визначення біодеструкції традиційних та альтернативних палив візуальним методом;
- визначення зміни властивостей палив, а саме кислотності за ГОСТ 5985-79 (СТ СЭВ 3963-83) та корозійної здатності ДСТУ EN ISO 2160:2012;
- дослідження рівня мікробіологічного ураження за допомогою методики MicrobMonitor2.

Досліджено здатність альтернативного та традиційного авіаційного палива до мікробіологічного ураження. Вивчено особливості мікроорганізмів, які здатні розвиватися в традиційному та альтернативному авіаційному паливі.

Результати кваліфікаційної роботи рекомендується використовувати під час проведення навчального процесу.

БІОДЕСТРУКЦІЯ, БІОКОМПОНЕНТ, БІОДЕГРАДАЦІЯ, БІОПАЛИВО, РЕАКТИВНЕ ПАЛИВО, МІКРООРГАНІЗМИ, МІКРОБІОЛОГІЧНЕ УРАЖЕННЯ, МІКРОБІОЛОГІЧНЕ ЗАБРУДНЕННЯ, КИСЛОТНІСТЬ, КОРОЗІЙНІСТЬ, ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ АКТУАЛЬНОСТІ РОБОТИ.....	12
1.1. Історичні відомості про мікробіологічне ураження.....	12
1.2. Ураження технологічного обладнання наземних служб паливозабезпечення.....	14
1.3. Мікробіологічне ураження паливних баків літаків.....	18
1.4. Різновиди вуглеводневих палив для повітряних суден.....	20
1.4.1. Традиційні вуглеводневі палива.....	21
1.4.2. Альтернативні вуглеводневі палива.....	22
1.5. Вплив зовнішніх факторів на мікробіологічне ураження палив.....	24
1.6. Вплив вологості на розвиток мікроорганізмів у паливі.....	26
1.7. Проблеми довготривалого зберігання палива при мікробіологічному ураженні.....	27
1.8. Висновки до розділу.....	30
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	31
2.1. Методи та методики визначення мікробіологічного ураження палив.....	31
2.2. Представники мікроорганізмів у паливі.....	34
2.3. Види палив, що застосовуються в експериментальному дослідженні.....	39
2.4. Хімічні методи виявлення ознак біодеструкції палив.....	43
2.4.1. Метод визначення кислотності і кислотного числа.....	44
2.4.2. Метод визначення корозійної дії на мідну пластинку.....	45
2.5. Методи візуального контролю біодеструкції палив.....	46
2.6. Біотести для визначення мікробіологічного ураження палив.....	49
2.7. Висновки до розділу.....	54
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА СХИЛЬНОСТІ ДО БІОДЕГРАДАЦІХ ТРАДИЦІЙНИХ І АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ.....	55
3.1. Визначення біодеструкції палива в умовах аеропорту.....	55
3.2. Візуальний контроль біодеградації палив.....	58

3.3. Зміна фізико-хімічних властивостей палив при біодеструкції	61
3.4. Рекомендації, щодо запобігання мікробіологічного ураження палива при тривалому зберіганні на об'єктах паливозабезпечення.....	65
3.5. Висновки до розділу.....	65
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	67
4.1. Аналіз умов праці.....	67
4.1.1. Організація робочого місця.....	67
4.1.2. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників.....	68
4.2. Електробезпека.....	69
4.3. Пожежна безпека.....	70
4.4. Обґрунтування заходів щодо захисту дослідника від дії небезпечних і шкідливих факторів.....	71
4.5. Розрахункова частина.....	72
4.6. Висновки до розділу.....	74
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	75
5.1. Вплив на атмосферу.....	78
5.2. Вплив на гідросферу.....	80
5.3. Покращення екологічного впливу авіації на довкілля.....	82
5.4. Висновки до розділу.....	87
ВИСНОВКИ.....	88
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	90

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ

ПКЖ – противодокристалізаційна присадка;

ПММ – паливно-мастильні матеріали;

НПЗ – нафтопереробний завод;

РТ – реактивне паливо;

КМП – кріогенне метанове паливо;

ПРД – повітряно-реактивний двигун;

SIP – синтезоване ізопарафінове паливо;

SAF – стале авіаційне паливо;

CAEP – Комітет ІКАО з охорони навколишнього середовища від впливу авіації;

CORSIA – Глобальна система ринкових заходів.

ВСТУП

Актуальність. До 90-х рр. минулого століття в Україні використовувалася противодокристалізаційна рідина, яка не дозволяла паливу замерзати та перешкоджала росту мікроорганізмів у паливних баках повітряних суден за рахунок вмісту етиленгліколю. Практичний досвід експлуатації вітчизняних повітряних суден показав, що при регулярному додаванні противодокристалізаційної присадки в минулі роки як такої проблеми в паливах та паливних баках не існувало. В даний час літаки не заправляють цією присадкою масово, в результаті чого авіаційні палива для газотурбінних двигунів стали вразливими до мікробіологічного ураження, що погіршує їх фізико-хімічні та експлуатаційні властивості

Основними проблемами, що спричинює мікробіологічне ураження палив для газотурбінних двигунів є мікробіологічна корозія деталей та забруднення, що призводить до передчасного спрацювання фільтрів. Закупорка останніх мікробними забрудненнями може становити серйозну загрозу безпечній експлуатації літака. Уражене паливо стає непридатним і створює загрозу для паливної системи транспортних засобів. Через дію мікроорганізмів такі властивості палива, як кислотність, запах, колір, сильно погіршуються. Паливо - ідеальне місце для існування мікроорганізмів, оскільки воно забезпечує поживне середовище для мікробів у вигляді вуглеводнів. При вільному розподілі вони можуть блокувати паливні фільтри та спричиняти несправність систем індикації кількості палива (FQIS). Поява та розвиток біоценозу в паливах призводить до погіршення їх фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей внаслідок зміни їх вуглеводневого складу, накопичення мікробного слизу та осадів, утворення стійких емульсій.

Своєчасне виявлення та ізоляція мікроорганізмів з палива робить паливо придатним для використання без шкоди для транспорту. Мікробіологічне забруднення паливних систем є реальною і серйозною проблемою, яка може безпосередньо вплинути на безпеку транспортних засобів. Вчасне здійснення технологічних операцій з видалення «вільної» води з паливних баків та періодичний

та плановий моніторинг мікробіологічних пошкоджень палива на всіх етапах його експлуатації та використання, а також розробка методів швидкої діагностики можуть суттєво мінімізувати рівень цього ризику. Основними проблемами, що викликає мікробіологічне ураження є мікробіологічна корозія деталей та забруднення, що призводить до передчасного відключення фільтра. Закупорка повітряних паливних фільтрів мікробними забрудненнями в реактивному паливі для газотурбінних двигунів може становити серйозну загрозу безпечній експлуатації.

Внаслідок того, що традиційне паливо для повітряних суден негативно впливає на навколишнє середовище та його обмежену кількість, світова спільнота починає впроваджувати альтернативні палива, що суттєво зменшують техногенне навантаження на навколишнє середовище. Використання таких палив у авіації на сьогодні є перспективним і потребує досліджень щодо здатності до мікробіологічного ураження. Оскільки це нові палива, то увага потрібна ще більша для забезпечення належного рівня безпеки польотів.

Через можливі небезпечні наслідки мікробіологічного забруднення, забезпечення надійності літальних апаратів є одним з основних завдань. Саме тому дана магістерська робота направлена на дослідження стійкості до мікробіологічного ураження традиційного керосину, сумішевого та чистого біопалива.

Мета роботи – дослідження здатності альтернативного та традиційного авіаційного палива до мікробіологічного ураження; вивчення особливостей мікроорганізмів, які здатні розвиватися у вуглеводневому та біопаливі.

Завдання:

- провести літературний огляд щодо біодеструкції палив;
- проаналізувати існуючі експериментальні дані досліджень;
- дослідити вплив мікробіологічного ураження на технологічне обладнання та паливні баки повітряних суден;
- визначити здатність палив до мікробіологічного ураження;
- ознайомитися з методами досліджень мікробіологічного ураження палив;
- виділити мікроорганізми з зразків палива;

- дослідити рівень ураження палив візуальними методами;
- дослідити зміни фізико-хімічних властивостей палив внаслідок дії мікробіологічного ураження.

Об'єкт дослідження - мікробіологічне ураження вуглеводневих палив та біопалив.

Предмет дослідження – паливо РТ, біокомпонент, зміна якості палив при мікробіологічному ураженні.

Методи дослідження:

- аналіз літературних джерел;
- визначення біодеструкції традиційних та альтернативних палив візуальним методом;
- визначення зміни властивостей палив, а саме кислотності за ГОСТ 5985-79 (СТ СЭВ 3963-83) та корозійної здатності ДСТУ EN ISO 2160:2012;
- дослідження рівня мікробіологічного ураження за допомогою методики MicrobMonitor2.

Наукова новизна одержаних результатів.

- Досліджено динаміку трансформації мікробіологічного ураження протягом 28 місяців, і показано можливість активного росту в несприятливих анаеробних умовах, що підтверджує природну агресивність бактерій та грибів.
- Проведено порівняльний аналіз змін кислотності палива РТ, біокомпонента та їх суміші.
- Підтверджена особлива вразливість біокомпонента до мікробіологічного ураження може стати підґрунтям до подальших наукових досліджень.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані результати можуть бути використані при використанні палива для транспортних засобів та при його тривалому зберіганні. Результати мають важливе значення для вдосконалення та створення методів контролю за мікробіологічною стабільністю палив. Також отримані дані мають важливе значення для безпечної експлуатації повітряних суден.

Особистий внесок випускника: Досліджено здатність традиційного та альтернативного палив до біодеструкції; проаналізовано та оцінено властивості уражених палив, а також надано рекомендації щодо зменшення мікробіологічного ураження палив при зберіганні та використанні.

Апробація отриманих результатів. Результати кваліфікаційної роботи доповідалися на:

1. IV Міжнародній науково-практичній конференції «Новітні досягнення біотехнології» (м. Київ, 22-23 вересня 2020 р.).

2. XX Міжнародна науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Політ. Сучасні проблеми науки» (м. Київ, 1-3 квітня 2020 р.).

3. Eighth World Congress “AVIATION IN THE XXI-st CENTURY” – “Safety in Aviation and Space Technologies”, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, September 22-24, 2020. (International Symposium on Electric Aviation and Autonomous Systems).

4. Eighth World Congress “AVIATION IN THE XXI-st CENTURY” – “Safety in Aviation and Space Technologies”, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, September 22-24, 2020. (Екологічна безпека та авіаційна хімотологія).

Публікації:

1. Eighth World Congress “AVIATION IN THE XXI-st CENTURY” – “Safety in Aviation and Space Technologies”, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, September 22-24, 2020. (International Symposium on Electric Aviation and Autonomous Systems).

2. Eighth World Congress “AVIATION IN THE XXI-st CENTURY” – “Safety in Aviation and Space Technologies”, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, September 22-24, 2020. (Екологічна безпека та авіаційна хімотологія) (подано).

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ АКТУАЛЬНОСТІ РОБОТИ

1. 1. Історичні відомості про мікробіологічне ураження

Мікроорганізми заселяють усі середовища, як звичні, так і екзотичні, від поверхні шкіри людини, до ґрунтів тропічних лісів, до гідротермальних отворів у дні океану, і постійно відкривається нова інформація про їх існування, поширеність та механізми виживання. Одним із середовищ, яке потребує інтенсивного вивчення на здатність до мікробіологічного росту це паливо для повітряно-реактивних двигунів (ПРД).

У будь-якому середовищі мікроби використовують місцеве джерело енергії для активного росту. Авіаційні паливні системи не є винятком. Реактивне паливо є ідеальним середовищем для розповсюдження мікроорганізмів, у якому є всі потреби для їх росту (кисень, вуглець, вода, тощо) та як наслідок біодеградації палива (рис.1.1) [1].

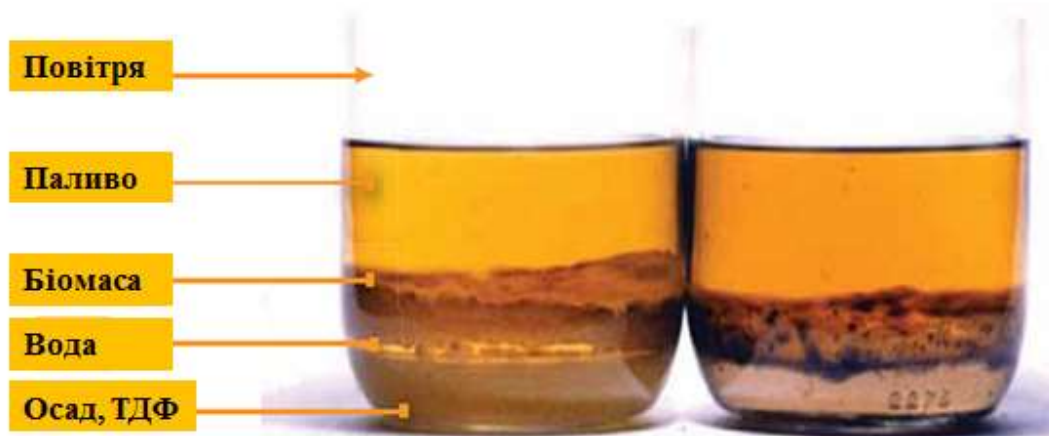


Рис.1.1. Фактори підтримки біодеградації [1]

Як правило, існують три умови, необхідні для ініціювання та підтримання зростання мікроорганізмів у будь-якій технологічній паливній системі: паливо - використовується для виробництва енергії, мікроби та вода, у вільному або

емульгованому стані, що створює та підтримує життєздатне середовище для розвитку мікроорганізмів (рис.1.2) [2].

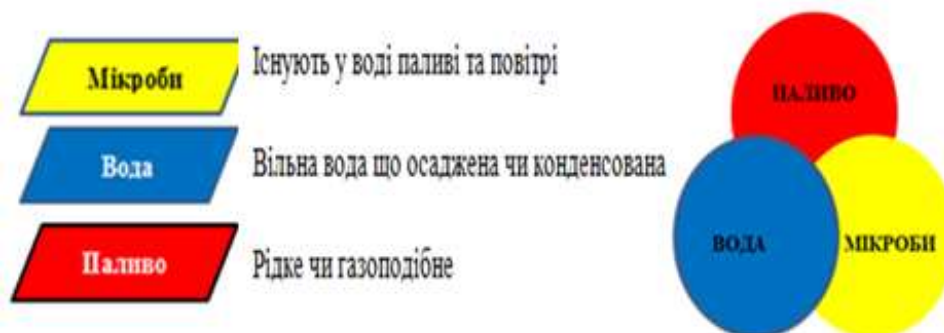


Рис.1.2. Трикутник мікробного росту вуглеводневих палив [2]

З 1895 року відомо, що мікроорганізми здатні використовувати вуглеводні як джерела метаболічної енергії, проте поки що недостатньо відомо про видовий склад, шляхи деградації та мікробну взаємодію. Це пов'язано з існуванням різних видів мікроорганізмів.

Дослідження показали, що мікроорганізми, які знаходяться у паливі, настільки всюдисущі та різні, і здатні легко пристосовуватися до умов харчування та видів нафтопродуктів, що повністю знищити їх неможливо. Повітряний транспорт є одним з головних споживачів високоякісних паливно-мастильних матеріалів (ПММ). При великих масштабах споживання високоякісних нафтопродуктів, питання підвищення ефективності авіаційної техніки, якості, економії та раціонального використання авіаційних ПММ набувають державного значення. Через небезпечні наслідки відмов у роботі авіатехніки забезпечення авіаційної надійності повітряних суден є найбільш важливою задачею. Тому багато уваги приділяється якості ПММ, від якої залежить надійність роботи літальних апаратів [2].

Найбільше проблем виникає там, де літальні апарати працюють у тропічних регіонах та в літаках із цілісними паливними баками. За даними Ленсдаун, пошкодження британських літаків було надзвичайно високим, і в усіх випадках, коли це ставалося, літаки діяли на Далекому Сході. Пошкодження були виявлені під

час технічного обслуговування без виникнення будь-яких труднощів з експлуатацією. В якості можливої причини може бути помірний клімат Британії, який призводить до більш низьких денних температурних змін і, отже, більш низької конденсації води (вода необхідна для росту мікроорганізмів у паливі) та температури нижче оптимальної для росту мікробів. Є ще одна можливість, яку варто врахувати - це можливість залучення різних штамів мікроорганізмів. Наскільки відомо, цей аспект ще не вивчений, хоча знайдено певні докази існування штамів «керосинового гриба», що відрізняються швидкістю росту в керосині.

Численними дослідженнями встановлено, що в паливних баках літаків можуть бути присутніми різні види мікроорганізмів, проте найбільшу небезпеку становлять міцеліальні гриби. В результаті розвитку мікроміцетів відбувається засмічення паливних систем (баків, фільтрів, насосів) міцеліальною біомасою, наслідком чого може бути вихід з ладу двигунів.

В результаті процесу адаптації до нових субстратів, в паливі можуть з'являтися види мікроорганізмів, такі що раніше не були ідентифіковані у паливі. Деякі засоби, що застосовуються для боротьби з біопшкодженням палива можуть виявитися неефективними по відношенню до нових видів [4]. Тому дуже важливо постійне і всебічне вивчення мікроорганізмів, що ушкоджують різні види палива, а також процесів їх життєдіяльності.

1.2. Ураження технологічного обладнання наземних служб паливозабезпечення

Аналіз паливних систем та наземного обладнання підприємств, що постачають паливо, показав, що поряд із обводненням палива та механічним забрудненням існує мікробіологічне забруднення, яке впливає не тільки на якість палива, але й на експлуатаційну надійність обладнання. Мікробіологічне забруднення грибками та бактеріями може відбуватися на будь-якій стадії "життєвого" циклу палива: від нафтопереробного заводу (НПЗ) до паливного баку транспортного засобу (рис.1.3).

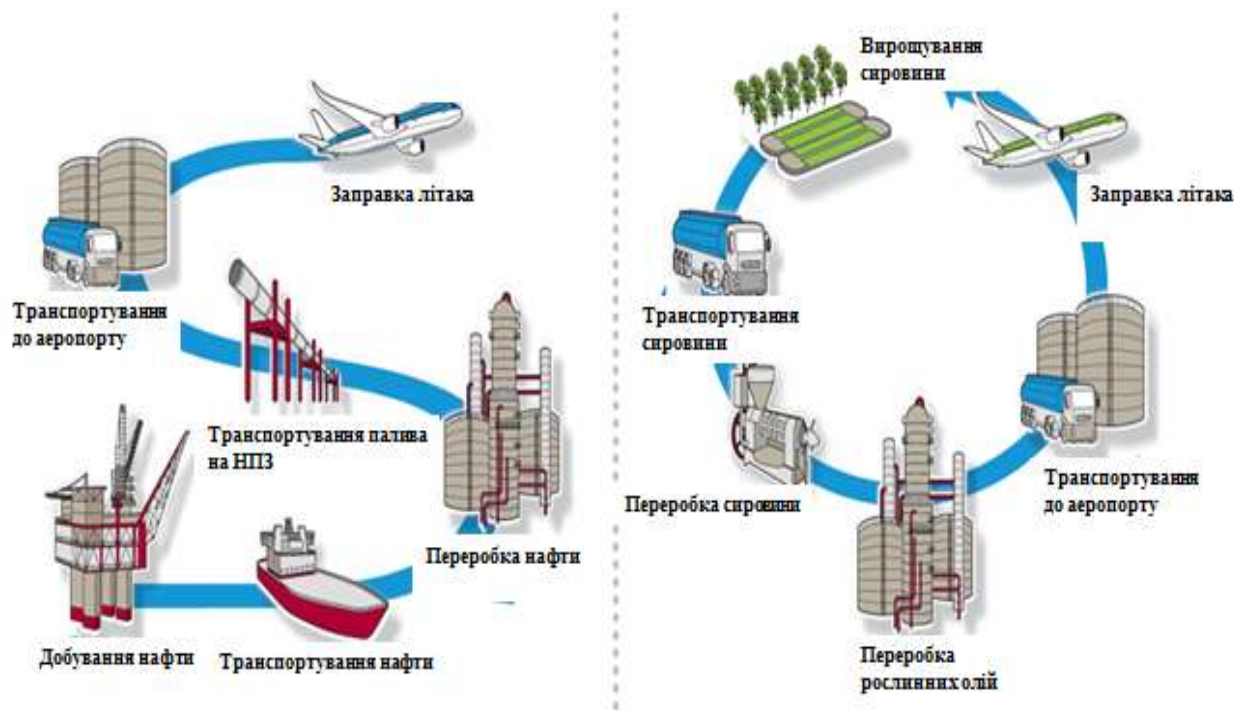


Рис. 1.3. « Життєвий» цикл палива [5]

Уражене паливо стає непридатним і створює загрозу для паливної системи транспортних засобів. Мікробіологічні пошкодження можуть призвести до корозії елементів технологічного обладнання (рис.1.4).



Рис.1.4. Мікробіологічне ураження технологічного обладнання [6]

Паливо - ідеальне місце для існування мікроорганізмів, оскільки воно забезпечує поживне середовище для мікробів у вигляді вуглеводнів. При вільному розподілі вони можуть блокувати паливні фільтри та спричиняти проблеми з індикацією палива. Поява та розвиток біоценозу в паливах призводить до погіршення їх фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей внаслідок зміни їх

вуглеводневого складу, накопичення мікробного слизу та осадів, утворення стійких емульсій (рис.1.4).

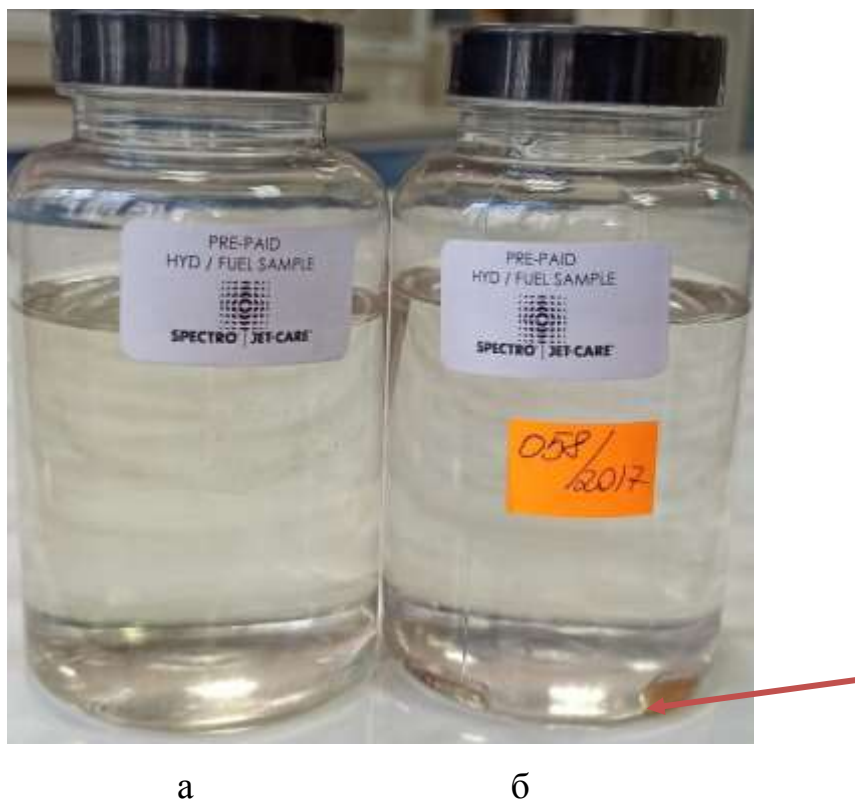


Рис.1.4. Уражене паливо мікробіологією (Jet-A1)

а - чисте вуглеводневе паливо; б – уражене вуглеводневе паливо

Випадки засмічення паливних фільтрів не одноразово відбувалися при виконанні польотів таких типів літаків, як Іл-76, Ту-154, Boeing 777-200ER, Boeing 767-300ER, Boeing-737, Airbus A 319, Airbus A328 та ін. Утворення агресивних продуктів життєдіяльності мікроорганізмів – кислот і ферментів - веде до посилення корозії металів, руйнування неметалевих матеріалів і порушення герметичності баків, що також може стати причиною аварії (рис.1.5) [7].



Рис. 1.5. Руйнування метаболітами ущільнень та герметиків [7]

Мікробіологічне ураження палива може спровокувати дезактивацію фільтрів-сепараторів води (FWS), корозію паливного бака, засмічення паливних фільтрів двигуна та несправність систем індикації кількості палива (FQIS) (рис.1.6) [2].



Рис. 1.6. Мікробіологічні пошкодження наземних паливних фільтрів [8]

Мікробний ріст може бути помітний у вигляді коричневого, сірого або напівпрозорого мулу або плямистості при огляді резервуарів або ємностей з фільтрами. «Леопардова плямистість» часто є одним з перших помітних ознак того, що зростання мікроорганізмів відбувається в паливному об'єкті або в системі розподілу палива.

Особливу небезпеку становить тривалий простій двигуна - чим він довше триває, тим імовірніше забруднення двигуна і всієї паливної системи продуктами

життєдіяльності шкідливих мікроорганізмів. Наслідки мікробіологічного ураження палив можуть бути узагальнені для паливної системи усіх транспортних засобів (ТЗ) і подані на рис.1.7.

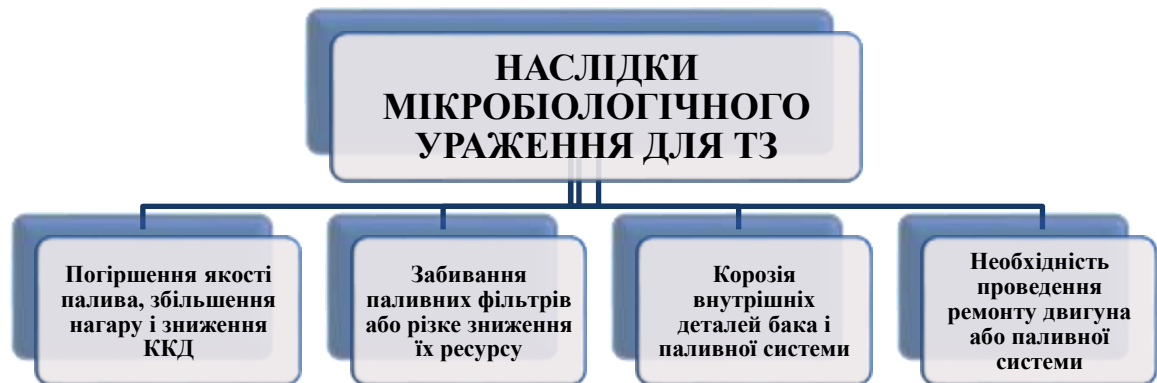


Рис.1.7. Наслідки мікробіологічного ураження для ТЗ

1.3. Мікробіологічне ураження паливних баків літаків

При виникненні турбулентності мікробіологічна біомаса може поширюватися по всьому паливу, і, якщо це відбувається в паливних баках літаків, наслідки можуть бути досить серйозними. Якщо спостерігається підвищення диференціального тиску в паливних фільтрах двигуна через накопичення частинок забруднень, екіпаж літака буде оповіщений відповідним індикатором. Більшість цих показань виникають під час вильоту або незабаром, коли витрата палива через фільтри є найбільшою, через що повітряне судно, можливо, потрібно буде перенаправити або навіть повернути назад до аеропорту. Саме через небезпечні наслідки мікробіологічного забруднення, забезпечення надійності експлуатації літальних апаратів є одним з основних завдань [6].

Як правило, забороняється додавати біоциди до палива в ланцюзі поставок авіаційного палива, де забруднення може вийти з-під контролю і призвести до проблем з подальшою експлуатацією палива. Для відновлення може знадобитися

тривалий час простою системи для фізичного очищення або пониження вмісту забруднення, застосовуючи хімічні методи. Якщо ріст мікроорганізмів стає неконтрольованим, можуть застосовуватися біоциди в своїх допустимих межах враховуючи їх токсичність.

Мікробіологічне ураження авіаційного палива виникає через неспроможність підтримання стерильності паливних баків та неминучої присутності води внаслідок конденсату. Мікробне забруднення в реактивному паливі викликає занепокоєння через його потенціал до прискореної корозії всередині паливного бака (рис. 1.8) та загрози безпеці польоту вцілому [8].



Рис. 1.8. Пошкоджений бак літака [8]

Своєчасне виявлення та ізоляція мікроорганізмів з палива робить його придатним для використання без шкоди для транспорту. Мікробіологічне забруднення паливних систем є реальною і серйозною проблемою, яка може безпосередньо вплинути на безпеку транспортних засобів. Своєчасне здійснення технологічних операцій з видалення «вільної» води з паливних баків та періодичний та плановий моніторинг мікробіологічних пошкоджень палива на всіх етапах його експлуатації та використання, а також розробка методів швидкої діагностики можуть суттєво зменшити рівень цього ризику.

1. 4. Різновиди вуглеводневих палив для повітряних суден

Паливо для газотурбінних двигунів - горюча речовина, що вводиться разом з повітрям в камеру згоряння двигуна літального апарату для отримання теплової енергії в процесі його окиснення під час спалювання. Поділяється на два типи - авіаційний бензин і керосин. Бензин застосовується в поршневих двигунах, керосин - в турбореактивних, газотурбінних (рис. 1.9).



a

б

Рис. 1.9. Паливо для авіаційних двигунів:
a –авіаційний бензин; *б* - керосин

На даний момент через обмежені запаси нафти ведуться пошуки для заміни традиційного авіаційного палива і розглядаються варіанти палив: синтетичне, кріогенне (включаючи рідкий водень), кріогенне метанове паливо (КМП) та інші.

Авіаційний двигун конструюється під певний тип (сорт) палива, на якому він видає необхідні параметри по потужності, надійності та ресурсу. Рекомендовані аналоги палива (в тому числі біопалива), на яких допускається експлуатація, зазвичай, обмежені втратою ряду характеристик двигуна.

1.4.1. Традиційні вуглеводневі палива

Авіаційний бензин. Основна область застосування авіаційного бензину - паливо високонавантажених поршневих двигунів внутрішнього згорання. Основний спосіб виробництва авіаційного бензину - пряма перегонка нафти, каталітичний крекінг або риформінг без добавки або з добавкою високоякісних компонентів, етилової рідини і різних присадок. Для авіабензину основними показниками якості є:

- детонаційна стійкість (визначає придатність бензину до застосування в двигунах з високим ступенем стиснення робочої суміші без виникнення детонаційного згорання);
- фракційний склад (характеризує випаровуваність бензину, що необхідно для визначення його здатності до утворення робочої паливо-повітряної суміші; характеризується діапазонами температур википання (40-180°C) і тисків насичених парів (29-48 кПа));
- хімічна стабільність (здатність протистояти змінам хімічного складу при зберіганні, транспортуванні та використанні).

Керосин. Фракція нафти, що википає в основному в інтервалі температур 200-300 ° С - це як правило, гасові фракції, одержувані прямою перегонкою з малосірчистих (наприклад, Т-1) і сірчистих (ТС-1) нафт. В даний час прямогонного авіаційного палива мало, широко застосовуються процеси гідроочищення і добавка присадок (РТ). Гас застосовується для побутових цілей як пічне і моторне паливо, розчинник лаків і фарб.

Реактивне паливо застосовується як пальне для газотурбінних двигунів літаків і вертольотів цивільної та військової авіації, і крім того, паливо на борту повітряного судна також може використовуватися в якості теплоносія або холодоагенту (паливно-повітряні і паливно-масляні радіатори), і в якості робочої рідини гідросистем. Також реактивне паливо широко застосовується як розчинник при технічному обслуговуванні повітряних суден, при очищенні від забруднень ручним або машинним способом [9].

Jet-A1. Сучасні авіаційні двигуни здебільшого потребують палив з хорошими характеристиками горіння та високим вмістом енергії. Таким керосиновим паливом є в основному JET A-1. Воно придатне для більшості літаків з турбореактивним двигуном, має температуру спалаху мінімум 38°C (100 ° F) і температуру замерзання максимум мінус 47°C.

Виготовляється за допомогою ретельної переробки легкої нафти. Перероблене авіаційне паливо змішується з малою кількістю присадок, що запобігають неконтрольованому займанню, зупиняють утворення відкладень у турбіні та його електризації. Є також присадки, які перешкоджають росту мікроорганізмів в авіаційному паливі. Деякі інші присадки гарантують, що реактивне паливо не замерзне при крейсерській температурі повітря, оскільки заморзання авіаційного палива матиме небезпечні наслідки для безпеки польоту.

Через дуже високі вимоги авіаційних двигунів до реактивного палива, на це паливо застосовуються дуже вичерпні, стандартизовані на міжнародному рівні специфікації якості. Основні технічні характеристики для Jet A-1 надані в специфікаціях Великобританії. DEF STAN 91-91 та ASTM D1655.

Для отримання деяких сортів палив для реактивних двигунів в якості сировини застосовуються вакуумний газойль і продукти вторинної переробки нафти. Реактивне паливо на 96-99% складається з вуглеводнів, в складі яких розрізняють 3 основні групи: парафінові, нафтеніві; ароматичні.

Крім вуглеводнів в реактивному паливі в незначних кількостях присутні сірчисті, кисневі, азотисті, металоорганічні з'єднання і смолисті речовини, вміст в реактивних паливах яких регламентується стандартами. В наш час в Україні експлуатують авіатехніку, де використовуються наступні типи авіаційного палива: Jet-A1, TC-1, PT, [9].

1.4.2. Альтернативні вуглеводневі палива

Стале авіаційне паливо (SAF) — це паливо, що отримується з відновлюваних ресурсів, що дозволяє зменшити чистий викид вуглекислого газу в життєвому циклі

порівняно із звичайними видами палива. SAF є найкращим, зараз загальноновживаним терміном для не синтезованих з нафти компонентів реактивного палива, що виробляються відповідно до визначень у ASTM D7566. Раніше ці види палива називали відновлюваним реактивним паливом, альтернативним реактивним паливом, відновлюваним авіаційним паливом, альтернативним авіаційним паливом, авіаційним біопаливом, біореактивним паливом або стійким альтернативним реактивним паливом. Коли SAF змішується із звичайним реактивним паливом, воно відповідає стандарту ASTM D1655, що дозволяє використовувати його в існуючих повітряних суднах [9].

SAF комерційно доступний і використовується United Airlines в міжнародному аеропорту Лос-Анджелеса з 2016 року, а в Міжнародному аеропорту Сан-Франциско - з 2018 року. Один внутрішній завод з виробництва SAF працює в Лос-Анджелесі, а декілька з них будуються або планують. EPA повідомляє дані RFS RIN, які вказують на те, що США спожили 2,4 мільйона галонів такого палива у 2019 році [9].

В даний час затверджено шість категорій палива SAF згідно зі стандартом ASTM D7566. Усі палива SAF повинні бути змішані із звичайним авіаційним турбінним паливом, перш ніж вони зможуть бути сертифіковані як еквівалент ASTM D1655 і згодом використані в літаку. До таких палив належать [9]:

- FT-SPK – гідрооброблене синтезоване паливо з парафінового гасу (SPK) із використанням твердих ресурсів біомаси (наприклад, деревних залишків); максимальний рівень суміші 50%;
- HEFA-SPK – синтезований парафіновий керосин з гідрооброблених складних ефірів жирних кислот, отриманих із відпрацьованої олії, тваринних жирів, водоростей та рослинних олій (наприклад, рижію); максимальний рівень суміші 50%;
- SIP – синтезоване ізопарафінове паливо з гідрооброблених ферментованих цукрів, раніше відоме як паливо з прямим перетворенням цукру у вуглеводні (HFS-SIP); максимальний рівень суміші 10%;

- FT-SPK – гідрооброблене синтезоване паливо з ароматичним гасом із використанням твердих ресурсів біомаси (наприклад, деревних залишків) (FT-SPK / A); максимальний рівень суміші 50%;
- ATJ-SPK) – спиртове паливо SPK, виготовлене з ізобутанолу або етанолу; максимальний рівень суміші 50%;
- (CHJ) – паливо отримане каталітичним гідротермолізом (або гідротермальне зрідження) реактивного палива, одержуваного з жирів, масел та мастил; максимальний рівень суміші 50%.

1.5. Вплив зовнішніх факторів на мікробіологічне ураження палив

Реактивне паливо при виробництві є стерильним через високі температури обробки НПЗ. Але воно швидко забруднюється мікроорганізмами, які завжди присутні в навколишньому середовищі. Вони можуть потрапляти в паливо з ґрунту, повітря, забрудненої промивної води, забруднених трубопроводів або з біоплівки, присутньої на стінках резервуара, якщо останні не були достатньо добре очищені (рис.1.10).

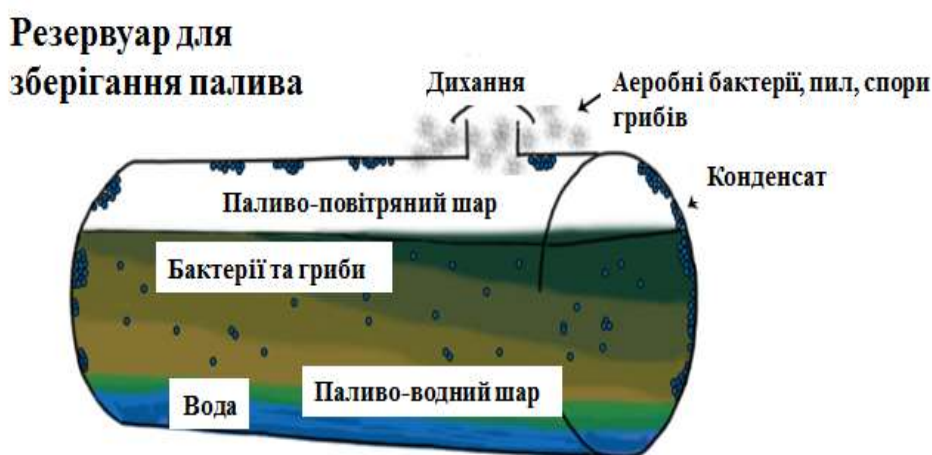


Рис.1.10. Шляхи зараження палива мікроорганізмами

Мікроорганізми-деструктори можуть використовувати нафтопродукти як єдине джерело енергії, перетворюючи його у мікробну біомасу, діоксид вуглецю та

інші метаболіти (рис.1.11). Мікробна деградація нафтових вуглеводнів пояснюється їх гідрофобною природою [10].



Рис.1.11. Біодеградація палива

Деякі організми потребують повітря для росту (аеробні організми), тоді як інші ростуть лише за відсутності повітря (анаеробні організми). Крім поживного середовища (палива) і води, мікроорганізми також потребують певних елементарних поживних речовин.

Оптимальні умови для діяльності бактерій такі: температура 25-60°C, середовище нейтральне або слабколужне, наявність розчинених у воді органічних речовин, неорганічних і органічних сульфатів. Діяльність бактерій стимулюється солями металів Mg, Al, Fe, та ін. [3].

Хоча специфікації палива, такі як ASTM D1655 та DEFSTAN 91-91, як правило, не включають конкретні обмеження для мікробного забруднення, у важких випадках зростання мікроорганізми можуть спричинити серйозні порушення роботи паливної системи. Якщо мікробіологічно забруднене паливо піднімається на повітряне судно, то є можливість для серйозних експлуатаційних проблем.

Галузеві вказівки IATA, JIG, ASTM, EI роблять великий акцент на запобіганні росту мікробів у ланцюзі подачі палива та в паливних резервуарах для літальних

апаратів, перш ніж це спричинить експлуатаційні проблеми. Важливою частиною цього є регулярний контроль за наявністю мікробного зараження [3].

1.6. Вплив вологості на розвиток мікроорганізмів у паливі

Мікробний ріст може спостерігатися там, де в резервуарах та системах авіаційного палива накопичується будь-яка вода. Заходи з обслуговування повітряного палива зосереджуються на регулярному відведенні води, наприклад, щоденному зливанні резервуарів для зберігання в аеропорту та огляд і зміна фільтрів сепараторів. Наявність води дозволяє розвиватися важкому зростанню мікроорганізмів та впливати на якість палива через забруднення частинок паливом мікробної біомаси та забруднення побічними продуктами росту мікробів, такими як біологічно активні речовини та сульфіді.

Найважливішою вимогою для росту мікробів у паливі є вода, яка присутня з наступних причин:

- вода, розчинена в паливі, може конденсуватися на стінках резервуара;
- волога в повітрі може потрапляти через плаваючі кришки резервуара або інші отвори;
- погано сконструйовані резервуари не стікають ефективно;
- воду можна додавати у вигляді баласту (на кораблях) або для очищення системи подачі.

Потрапляння води в паливах неминуче. Навіть якщо при доставці до нафтобази, в аеропорт, на АЗС паливо не містить вільної води, є багато можливостей для її поглинання. Волога може надходити в паливні резервуари з атмосфери через дихальні клапани і негерметичні щілини технологічного обладнання. Вода може конденсуватися на стінках резервуарів, трубопроводів, баках, тощо.

Необхідними умовами для розвитку мікроорганізмів є наявність води і поживних речовин в нафтопродукті. В абсолютно «сухому» паливі розвиток і ріст мікроорганізмів припиняється. Однак в реальних умовах експлуатації палив

неможливо звільнитися від вологи, так як паливо є гігроскопічним, а присутність в ньому 0,01-0,02% води і навіть її слідів досить для того, щоб почався ріст мікроорганізмів.

Найбільш активно розвивається життєдіяльність мікроорганізмів у воді, яка має контакт з середніми нафтовими дистилятами: гасом, реактивними і дизельними паливами. Такі дистиляти більш активно насичуються водою у порівнянні з бензиновими фракціями. Більший вміст в них смолистих поверхнево-активних речовин призводить до утворення довготривалої водної емульсії. Цьому ж сприяє порівняно велика їх в'язкість. Схильність таких палив до забруднення, зокрема мікроорганізмами, свідчить про необхідність постійного контролю палив і обмеження вмісту в них води і забруднюючої твердої фази (продуктів корозії, пилу, ущільнених смол, мікроорганізмів і продуктів їх життєдіяльності) [11].

1.7. Проблеми довготривалого зберігання палива при мікробіологічному ураженні

Статистичні дані свідчать про те, що 30% всіх корозійних уражень технологічного обладнання викликані процесами за участю мікроорганізмів, які виділяють при цьому продукти метаболізму (CO_2 , H_2S , NH_3 , SO_3 , N_2O_5 і ін.), що сприяють корозію. Біологічна корозія пошкоджує в першу чергу підземне обладнання, трубопроводи. При відсутності кисню створюються сприятливі умови для інтенсивного розвитку анаеробних сульфатпродукуючих бактерій (SRB). Їх життєдіяльність спричиняє аварійні прориви трубопроводів, корозію сталевих резервуарів для зберігання нафтопродуктів (рис.1.12), пошкодження паливних баків літаків, передчасне забивання паливних наземних і літакових фільтрів, датчиків індикації кількості палива. Мікробіологічне забруднення найчастіше присутнє у водно-паливному шарі нижньої (придонної) частини резервуара, але його можна виявити також у верхніх шарах палива вертикальних резервуарів та в трубопроводах [3].



a

б

Рис. 1.12. Мікробіологічне забруднення та біокорозія резервуару для зберігання палива Jet A1:

a - загальний вигляд придонного забруднення палива «мертвий залишок»; *б* - типові ознаки наявності мікробіологічного забруднення палива

Наявність води в резервуарах для зберігання палива також сприяє зростанню мікроорганізмів, які є частиною причини її окислення [12]. Поряд зі збільшенням кількості мікроорганізмів збільшується і концентрація поверхнево-активних агентів. Водна фаза, як дисперсна (емульсія), так і її відокремлений шар на дні накопичувального резервуару, рН якого знижується активністю мікроорганізмів, є потенційною причиною корозії.

Після спостереження за реактивними паливами в умовах зберігання було встановлено, що розвитку мікроорганізмів і, отже, появи корозії металу ємностей можна уникнути обробкою внутрішніх стінок резервурів плівкою з фуранової смоли, стійкої до дії кислот, лугів, спиртів, газів, розчинників і володіє бактерицидними властивостями.

Розвитку в паливах мікроорганізмів можна ефективно запобігти, виконуючи комплекс правил по збереженню палив в чистоті (рис.1.13).



Рис.1.13. Способи запобігання мікробіологічного ураження палива при тривалому зберіганні

У цих правилах передбачено своєчасне видалення конденсаційної води, забруднень шляхом відстою і фільтрації, обмеження доступу до палива кисню повітря, підтримка стійкої плюсової температури палива, при якій виключається накопичення емульсійної вологи. Вплив погодних умов може бути пом'якшений за допомогою використання герметичних конструкцій резервуарів для зберігання та використання оптимальних технологічних рішень.

1.8. Висновки до розділу

Аналіз експлуатації паливних систем і наземного обладнання підприємств паливозабезпечення показав, що поряд з обводненням палива і забрудненням механічними домішками має місце мікробіологічне забруднення, що впливає не тільки на якість палив, але і на експлуатаційну надійність обладнання.

Поява і розвиток біоценозу в паливах призводить до погіршення їх фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей внаслідок зміни їх вуглеводневого складу, накопичення мікробного слизу та осадів, утворення стійких емульсій. Вчасне виявлення і виділення мікроорганізмів з палива робить паливо придатним до використання без шкоди транспорту.

Отже, саме експлуатаційні властивості палива залежать від наявності мікроорганізмів. Уражене паливо, стає мало придатним і становить загрозу паливній системі транспортних засобів. Внаслідок дії мікроорганізмів сильно погіршуються властивості палива, такі як кислотність, запах, колір. Забиваються фільтри, що може викликати відмову роботи паливної системи. Відшарування герметика баків призводить до корозії технологічних елементів конструкції.

Серед різноманіття методів позбавлення від мікроорганізмів найефективнішим є використання антимікробних (біоцидних) присадок, які майже повністю знищують небажані організми.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Методи та методики визначення мікробіологічного ураження палив

Дослідження вуглеводневих палив та біопалив являє собою цілий комплекс випробувань і досліджень, який забезпечує контроль якості, відповідність нормам. Дослідження повинні проводити акредитовані лабораторії з повіреними приладами.

Під час випробувань необхідно враховувати всі показники за допомогою яких визначається стійкість до мікробіологічного ураження палива. Лабораторні випробування мають проводитися для отримання показників, відповідно до установлених нормативних документів, з використанням стандартизованих методів випробувань, або атестованих методик вимірювання.

Планування магістерського дослідження складалося з певних етапів. До них належить аналіз актуальності проблеми мікробіологічного ураження палив, що призводить до його біодеструкції. Для цього було необхідним ознайомитися з науковою літературою. Після того як було встановлено наукову цінність дослідження проблеми, проводилося планування експерименту, з урахуванням всіх факторів що можуть впливати на здатність до мікробіологічного ураження палива.

Для вирішення поставленої мети магістерського дослідження було складено логічно-послідовну блок схему проведення магістерського дослідження (рис. 2.14).

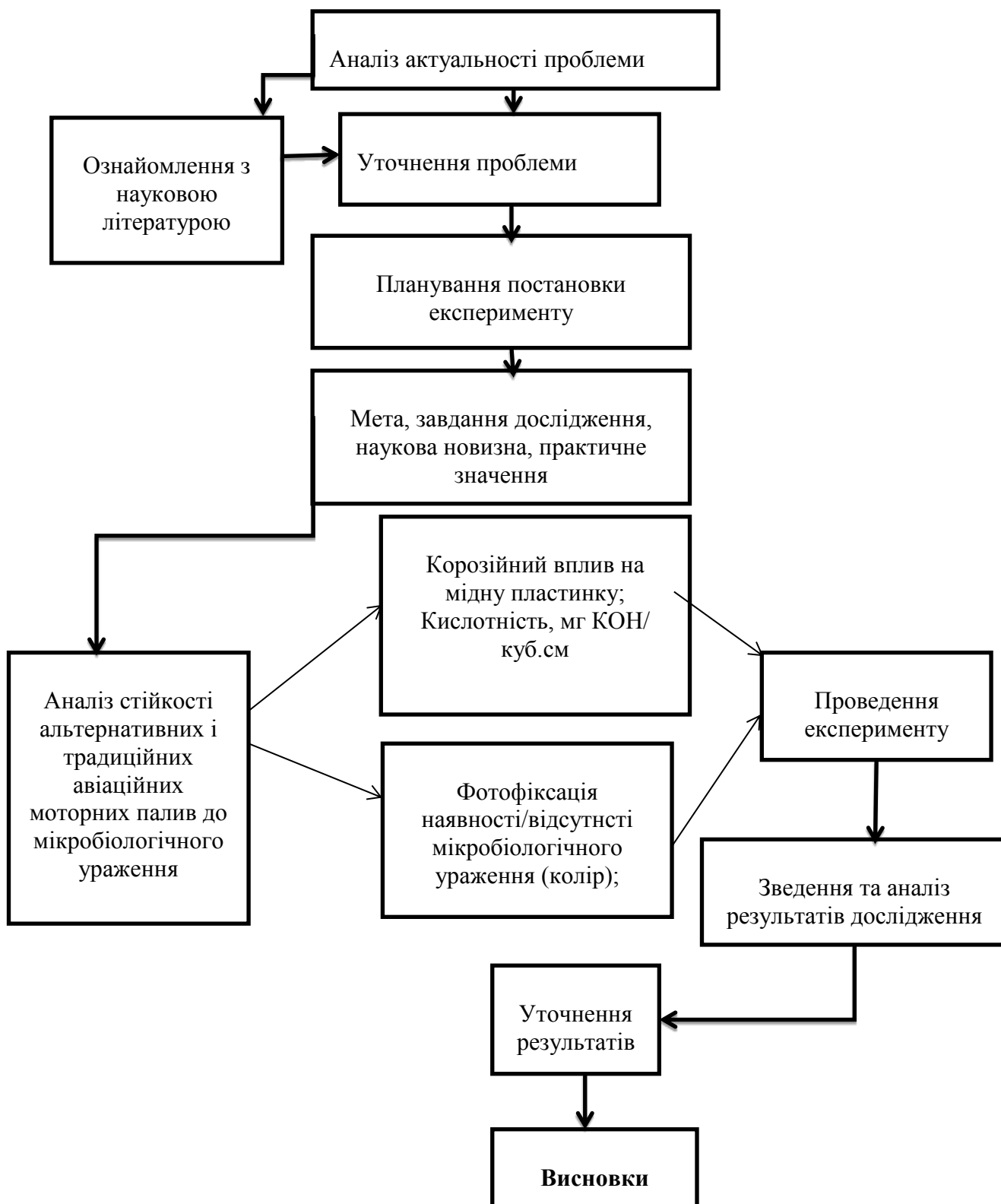


Рис. 2.14. Логічно-послідовна блок-схема проведення магістерського дослідження

Стійкість палива в роботі визначається за допомогою досліджень таких властивостей як: корозійність, кислотність, інтенсивність забруднення, час проведення експерименту, температура зберігання зразка, колір (фотофіксація), наявність ТДФ тощо.

Факторний експеримент. Для проведення досліджень було створено модель «чорного ящика», в якій робиться акцент на ті фактори, що можуть впливати на здатність досліджуваних зразків системи до мікробіологічного ураження.

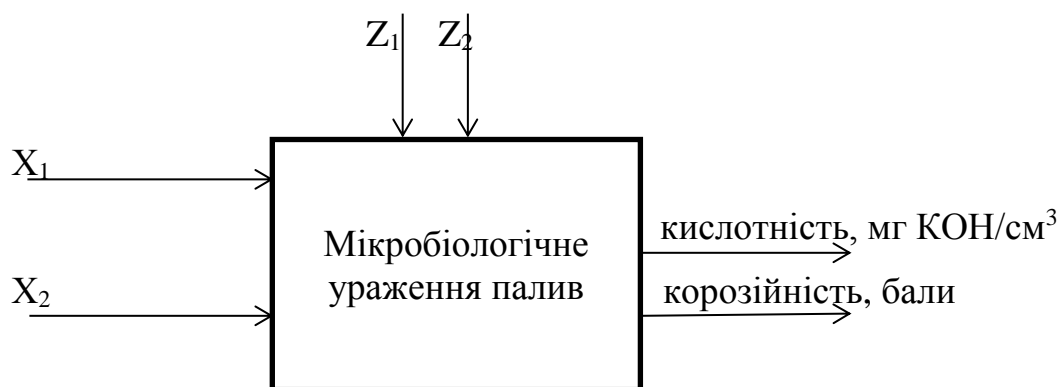


Рис 2.15. Модель «чорний ящик»

На рис. 2.15. розміщено модель процесу біодеструкції палив та фактори, які на нього впливають. Основними факторами є:

X_1 – вміст біокомпоненту, %.

X_2 – час, с.

Факторами другорядного ряду є:

Z_1 – рН середовища

Z_2 – ступінь обводнення

При дослідженні біодеструкції традиційних та альтернативних палив були вибрані основні змінні фактори, що можуть вплинути на властивість яка вивчається, і може негативно впливати на паливо та паливну систему (табл. 2.1).

Характеристика змінних факторів

№ з/п	Фактор	Рівень			Інтервал варіації
		-1	0	+1	I _{вар}
1	Вміст біокомпоненту, %	0	50	100	0-100
2	Час, місяці	0	1	2	0-2

2.2. Представники мікроорганізмів у паливі

Росту мікроорганізмів можуть сприяти багато факторів. Основними є вода та кисень. Останній, як правило, присутній у достатній кількості в дистильованих паливах і постійно поповнюється, коли резервуари заправляються. Однак, навіть якщо паливо стає анаеробним, воно не захищене від атаки мікробів, оскільки деякі організми, такі як сірководновідновлюючі бактерії (SRB), продовжують процвітати і без повітря. Обмежуючим фактором для зростання є, мабуть, доступність мінералів, зокрема фосфору, який, як правило, присутній при <1 ppm у паливі [13]. Азот та залізо також можуть бути важливими для обмеження поживних речовин. Багато лабораторних досліджень показали, що гриби ростуть набагато легше в паливній системі, що містить розчин мінеральних солей у вигляді водної фази, ніж у воді або навіть у дренажних водоймах [3]. Однак, крім мінералів, що потрапляють у воду або повітряні забруднення, багато добавок, які зараз використовуються в паливному виробництві, містять ці життєво важливі мінеральні елементи.

Мікроорганізми можуть потрапляти в паливо з ґрунту, повітря, забрудненої промивної води, забруднених трубопроводів або з біоплівки, присутньої на стінках резервуара, якщо останні не були достатньо добре очищені. Найбільш легко використовуються вуглеводневі ланцюги - C₁₀-C₁₈. Мікроорганізми-деструктори можуть використовувати нафтопродукти як єдине джерело енергії, перетворюючи

його у мікробну біомасу, діоксид вуглецю та інші метаболіти. Мікробна деградація нафтових вуглеводнів пояснюється їх гідрофобною природою [13].

Окиснення вуглеводнів здійснюється у клітині мікроорганізмів за допомогою ферментів, які індукуються субстратом. Результатом біодеструкції є руйнування, детоксикація, утилізація і мінералізація вуглеводнів нафтопродуктів, зокрема авіаційних палив. До реактивних палив входять багато легкозасвоюваних компонентів, які у процесі біодеградації палива слугують поживним джерелом вуглецю та енергії для багатьох мікроорганізмів.

Мікроорганізми-деструктори вуглеводнів представлені на рисунку 2.16[13]:

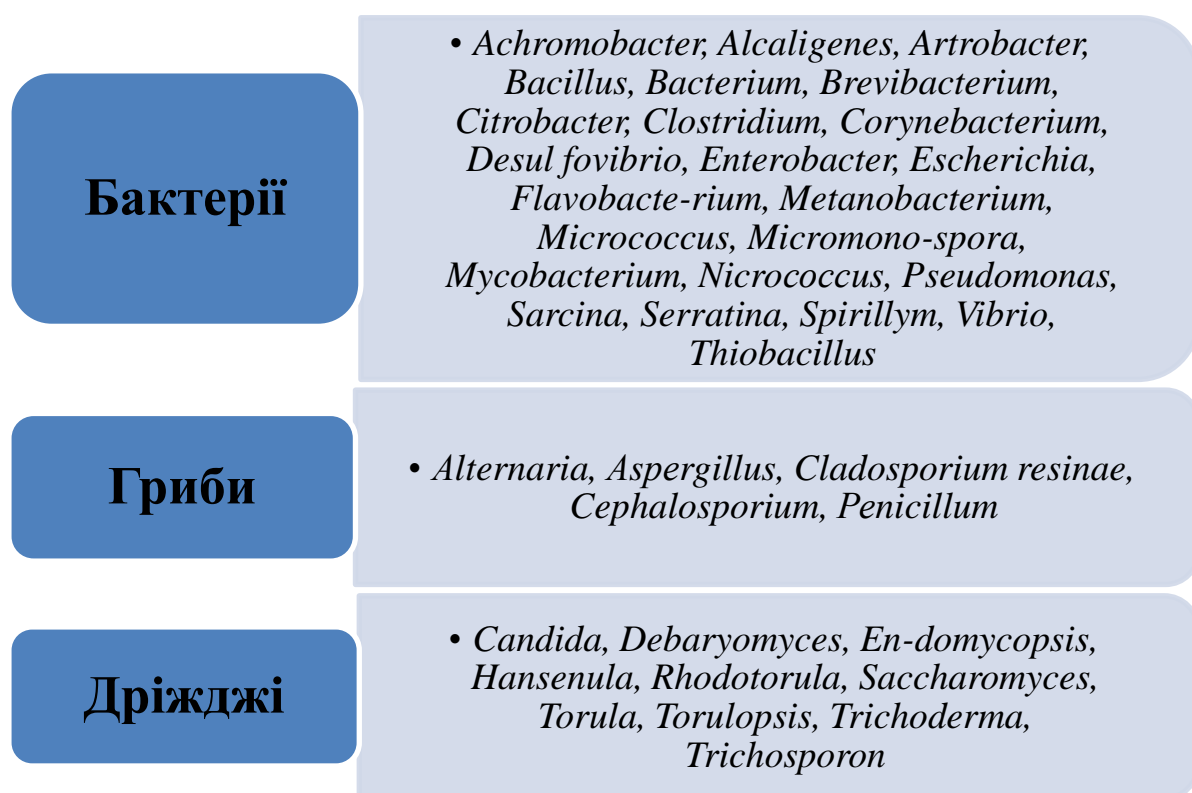


Рис.2.16. Мікроорганізми-деструктори палив

По можливості до зростання в паливі всі штами можна розділити на 3 групи: 1- активні деструктори палива, 2-потенційні деструктори палива, 3- частково адаптовані до середовища і випадкові мікроміцети. До групи 1 віднесені *Hormoconis resinae* та *M. floridanus*. До групи 2 віднесені штами *Aspergillus ustus* і *Geotrichum candidum*, *Alternaria alternata* і *Fusarium solani*. До групи 3 віднесені всі інші штами.

Основними мікроорганізмами, що викликають біопошкодження палив, є бактерії родів *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, а також гриби *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* і ін. При цьому частіше за інших в нафтопродуктах виявляють бактерію *Ps.aeruginosa* і грибок *Cladosporium Resinae* («керосиновий гриб») [13].

Мікробіологічні забруднення *Cladosporium Resinae* (рис.2.17) складаються з волокон у вигляді тяжів, які досягають значної довжини і формують заплутаний шар. Гриби розмножуються спорами, які можуть перебувати в пасивному стані досить довго, чекаючи сприятливих умов для зростання. Оскільки розмір спор дуже малий (2-3 мкм), а максимально використувана тонкість фільтрації палива на підприємствах авіапаливо забезпеченні становить 3-5 мкм, очевидно, що фільтрацією неможливо очистити паливо від спор. Тому паливо часто буває забрудненим мікроскопічними грибами під час транспортування, зберігання, підготовки до видачі, а також в паливних баках літака. У зв'язку з цим спори можуть залишатися в паливі непоміченими протягом тривалого періоду часу. Тільки при виникненні умов, що сприяють їх розвитку, спори проростають, мікроорганізми розмножуються, паливо істотно забруднюється [14].



Рис.2.17. *Cladosporium Resinae* («керосиновий гриб») [14]

Корозійний вплив на паливні баки літака чинять певні види організмів родів *Pseudomonas* та *Hormodendrum (Cladosporium)*, що може призводити до проблем в паливних системах, які іноді здаються небіологічними[15].

Вуглеводневі бактерії, виділені з родовища нафти та природного газу в Японії представники родів *Corynebacterium*, *Flavobacterium*, *Brevibacterium*, *Pseudomonas* і *Alcaligenes* [13]. Було виявлено також рід *Bacillus spp*, представники якого не використовували паливо як єдине джерело вуглецю.

Ізоляція великої кількості аеробних спорформаторів може відображати підвищення виживаності бактерій спор в паливних системах. Гедрік та ін. [14] повідомили, що *Bacillus cereus* та *B. subtilis* дожили до 17 тижнів у паливній системі, хоч були використані біоциди. Отже спори чи вегетативні клітини вижили і при сприятливих умовах почали рости.

Аеробні та анаеробні мікроби, що ростуть на межі поділу фаз паливо-вода створюють біоплівку, яка не пропускає кисень; тим самим створюючи аноксичне середовище, в якому сульфат-відновлюючі бактерії та інші анаероби процвітають. Метаболіти мікробів здатні руйнувати вуглеводні та інші складні органічні речовини молекули, присутні в паливній фазі. Також слабкі органічні кислоти, що утворюються як мікробні метаболіти, реагують з неорганічними солями, такими як хлориди, нітрати, нітрити та сульфати утворюючи сильні неорганічні кислоти: соляну, сірчану, азотну і азотисту [15].

Виділення здатних мікроорганізмів руйнувати і погіршувати палива може бути кращим показником потенціалу проблеми мікробного забруднення, ніж виділення організмів, що є тимчасовими забрудненнями або які просто виживають в паливній системі. Хімічні або фізичні методи боротьби з мікроорганізмами у системах реактивного палива також слід оцінювати проти активних культур, що використовують паливо [13].

Оптимальні умови для діяльності бактерій такі: температура 25-60°C, середовище нейтральне або слабколужне, наявність розчинених у воді органічних речовин, неорганічних і органічних сульфатів. Діяльність бактерій стимулюється солями металів Mg, Al, Fe, та ін. [15].

Біодеструкція палива пов'язана з мікробіологічним ферментативним окисненням вуглеводнів з утворенням органічних кислот, що мають поверхнево-активні властивості. В результаті даного процесу підвищується вміст фактичних смол, кислотність, утворюється осад, відбувається помутніння палива, і як наслідок, з'являється специфічний запах.

Швидкість і глибина мікробіологічного окиснення авіаційного палива залежать від його вуглеводневого складу. Вуглеводні, які мають лінійну будову молекул, швидше руйнуються, ніж їх розгалужені ізомери. Аліфатичні вуглеводні (парафіни) менш біостійкі, ніж ароматичні. Тому і палива, які містять переважно парафінові вуглеводні, можуть руйнуватись мікроорганізмами швидше, ніж ті, які містять більшу кількість ароматичних сполук.

Суттєвими факторами, що сприяють активному розвитку мікроорганізмів, є рН середовища (нейтральне або слабколужне); наявність розчинених у воді органічних речовин; неорганічних і органічних сульфатів; присутність ряду елементів (вуглецю, фосфору, калію, азоту, сірки, заліза), солі яких пришвидшують ріст мікробів; сонячної енергії. Температура навколишнього середовища є теж важливим фактором так як спори активно розмножуються при 25-60°C, а деякі залишаються життєздатними протягом декількох годин при температурі мінус 40°C (рис.2.18) [7].



Рис.2.18. Фактори розвитку мікроорганізмів у паливі [7]

2.3. Види палив, що застосовуються в експериментальному дослідженні

Біокомпонент. Біокомпонент на основі рижієвої олії, виготовлений на базі Інституту біоорганічної хімії і нафтохімії ім. В.П. Кухаря НАН України. Сьогодні рижій (*Camelina sativa L.*) є однією з найперспективніших альтернативних олійних культур (рис.2.19) і характеризується низькими вимогами до умов вирощування. Дана рослина є невибагливою до ґрунтів, клімату, не вимагає внесення великої кількості мінеральних добрив. Порівняно з ріпаком, що активно застосовується рижій дає більший вихід олії з однієї площі, при коротшому терміні дозрівання.



Рис.2.19. Рижій та його олія

Отримуються етилові ефіри жирних кислот олії рижію методом переетерифікації етанолом на лужному каталізаторі. Процес полягає у наступних кроках:

- приготування спиртового розчину каталізатора;
- переетерифікація олії етанолом;
- осадження та поділ продуктів на складний ефір і гліцеринові шари;
- випаровування етанолу з ефірного шару;
- повторне відділення шару гліцерину 2, що утворюється після етанолу, позбавлення від складних ефірів;
- промивання ефірного шару 2 гарячою водою;
- сушіння промитих ефірів з використанням нейтрального безводного Na_2SO_4 (осушувач);
- фільтрування висушених ефірів на паперовому фільтрі.

Використання цієї схеми синтезу дозволяє отримати очищені естери з вмістом етилових естерів жирних кислот більше 95 %. При цьому процес дистиляції продуктів проходить при атмосферному тиску.

Для отримання біокомпоненту використовують процес переетерифікації нерафінованої рижієвої олії (Camelina oil) від ТОВ «ВЕДАЛАН» (Україна) з використанням ТУ U 10.4- 38771490-011: 2013. В'язкість естеру рижієвої олії - 6,42 мм²/с), густина - 875 кг/м³, енергоємність – 39,84 МДж/кг. Ці показники є нижчими порівняно з іними оліями і подібними до відповідних властивостей нафтового

палива більш подібними. Ця перевага дозволить збільшити кількість біокомпоненту в суміші, яке буде застосовуватися для ПРД [16].

Реактивне паливо. Реактивне паливо, виготовлене Кременчуцьким нафтопереробним заводом згідно ТУ У 320.00149943007-97 «Паливо для реактивних двигунів РТ». Паливо відповідає нормативним документам. Воно має хороші протизносні властивості, високу хімічну і термоокислювальну стабільність, низький вміст сірки і меркаптанів.

Паливо РТ отримують, як правило, гідроочищенням прямогонних дистилатів з межами википання 135-280°C. В якості сировини для гідроочищення використовують дистилати, з яких не можна отримати паливо ТС-1 через підвищений понад норму вмісту загальної і меркаптанової сірки. Крім того, базовим компонентом для виробництва РТ може бути гасова фракція установок гідрокрекінгу.

Для поліпшення знижених в результаті застосування гідрогенізаційних процесів хімічної стабільності і протизносних властивостей в паливо вводять антиокислювальні та протизносні присадки. При переробці малосірчистих нафт паливо РТ може бути отримано прямою перегонкою з введенням присадок для покращення і підтримки рівня експлуатаційних властивостей.

Паливо має високі протизносні властивості, хімічну та термоокислювальну стабільність, не агресивне щодо конструкційних матеріалів, практично не містить меркаптанів і містить менше 0,02% загальної сірки, може зберігатися до 10 років без зміни якості і повністю забезпечує ресурс роботи двигуна. Використовується як на пасажирських повітряних суднах, так і у військових надзвукових літаках.

Авіаційне паливо, що використовується в магістерському дослідженні, відповідає вимогам Технічного регламенту щодо вимог до авіаційного бензину та палив для реактивних двигунів та документам: ГСТУ 320.00149943.007-97 «Паливо для реактивних двигунів «РТ». Технічні умови» (Табл. 2.1).

Вимоги
щодо характеристик палив для реактивних двигунів
марок Jet – А1,ТС-1 та РТ

№ з/п	Найменування показника	Значення норм		
		Jet - А1 (ДСТУ 4796:2007)	ТС-1 (ГСТУ 320. 0149943.007-97)	РТ (ГСТУ 320. 00149943.007-97)
1	Густина за температури 20 °С, не менше ніж кг/м ³	770-840	775	775
2	Фракційний склад: - температура початку кипіння, не нижче, °С - 10% переганяється за температури, не вище ніж, °С - 50% переганяється за температури, не вище ніж, °С - 90% переганяється за температури, не вище ніж, °С - 98% переганяється за температури, не вище ніж, °С	205 300	175 225 270 280	135 175 225 270 280
3	Кінематична в'язкість за температури, мм ² /с : - 20 °С - мінус 40 °С	<8	>1,25 <16	>1,25 <16
4	Нижча теплота згорання, не менше МДж/кг	42,8	43,12	43,1
5	Висота некіптявого полум'я, не менше, мм	25	25	25
6	Температура спалаху у закритому тиглі, не нижче, °С	36-38	28	30
7	Температура початку кристалізації, не вище ніж, °С	-47	55	55
8	Кислотність, не більше, мг КОН/100 см ³ палива	0,1	0,7	0,7
9	Термоокиснювальна стабільність у статичних умовах: - кількість осаду, не більше, мг/100 см ³ палива	12	18	6

10	Концентрація фактичних смол, не більше, мг/100 см ³ палива	7	5	4
11	Масова частка загальної сірки, не більше, %	0,30	0,25	0,1
12	Масова частка меркаптанової сірки, не більше, %	0,003	0,003	0,001
13	Корозія мідної пластинки (3 год ±5 хв) за температури 100 °С, не більше, бали	1	1	1
14	Термоокиснювальна стабільність JFTOT (2,5 год за температури не нижче 260 °С) - перепад тиску на фільтрі, не більше, кПа (мм.рт.ст.) - відкладення на трубці, не більше, бали	3,3 (25) 3 за відсутності відкладень, які мають незвичайний колір, або колір «павича»	3,3 (25) 3 за відсутності відкладень, які мають незвичайний колір, або колір «павича»	3,3 (25) 3 за відсутності відкладень, які мають незвичайний колір, або колір «павича»
15	Питома електрична провідність, за температури заправки техніки за температури 20 °С, пСм/м	50-600	50 - 600	50 - 600

2.4. Хімічні методи виявлення ознак біодеструкції палива

Хімічні випробування проводили на зразках паливної та водній фазах. Технічні характеристики паливних виробів ASTM включають хімічні випробування, оскільки мікробне забруднення може сприяти змінам будь-якої хімічної властивості палива. Отже, мікробну причину слід враховувати при дослідженні невідповідності пального хімічним характеристикам. Кілька додаткових стандартних тестів на хімію палива полегшують діагностику біодетеріорації палива. Основним способом для визначення ступення мікробіологічного ураження палив є проведення експериментальних визначень основних фізико-хімічних властивостей. В ході роботи

використані такі методики: «Метод визначення кислотності і кислотного числа», «Метод визначення корозійної дії на мідну пластинку».

Крім того, існує безліч комерційно доступних тестових наборів для багатьох параметрів. Зазвичай тестові набори забезпечують спрощений спосіб для отримання даних. За багатьох обставин дані з наборів тестів є достатніми для моніторингу забруднення та діагностики.

2.4.1. Метод визначення кислотності і кислотного числа

Кислотність (Методи випробувань D664, D974. I D3242) вказує, наскільки змінився склад палива внаслідок виробництва побічних продуктів жирної кислоти, вуглекислого газу або інших побічних продуктів метаболізму чи це не біологічні процеси. Кислотність визначається за ГОСТ 5985-79 (СТ СЭВ 3963-83) «Нафтопродукти. Метод визначення кислотності і кислотного числа».

Суть методу полягає в титруванні кислих з'єднань випробуваного продукту спиртовим розчином гідроксиду калію в присутності кольорового індикатора і визначенні для світлих нафтопродуктів кислотності, вираженої в мг КОН / 100 см³.

Апаратура, реактиви і матеріали. Колби Кн-1-100-29 / 32 ТС, Кн-2-100-34 ТХС, Кн-2-100-22 ТХС, Кн-1-250-29 / 32 ТС, Кн-2-250-34, КГУ- 2-1-1000-29 / 32 ТС, КДУ-2-2-1000-34 ТХС по ГОСТ25336.

Дефлегматор ялинковий довжиною не менше 400 мм.

Холодильники ХТП-1-400-14 / 23, ХШ-1-400-29 / 32 ХС, ХШ-3-400 ТХС по ГОСТ25336 або холодильник повітряний, або трубки скляні довжиною 700 -750 мм з внутрішнім діаметром 10 - 12 мм.

Циліндри по ГОСТ1770 типів 1-50; 1-100; 3-50; 3-100, 1-1000, 1-2000. Бюретки типів 1-2-25; 3-2-25; 6-2-2; 6-2-5; 7-2-3; 7-2-10. Колби 1-100-2, 2-100-2, 1-1000-2, 2-1000-2 по ГОСТ1770. Скляна чашка випарювальна по ГОСТ9147.

Електроплитка із закритою спіраллю будь-якого типу. Стаканчики для зважування (бюкси) по ГОСТ25336. Секундомір годинник пісочний ЧПН-5.

Склянка (пляшка) з темного скла або пофарбована в чорний колір. Шпатель.

Ексикатор по ГОСТ25336. Шафа сушильна або піч муфельна. Ваги лабораторні загального призначення з межею зважування 200 г не нижче 2-го класу точності. Спирт етиловий ректифікований по ГОСТ18300. Вода дистильована рН 5,4 - 6,6.

Методика визначення кислотності палива. Для випробування світлих нафтопродуктів відбирають від 50 до 100 см³ проби. В іншу конічну колбу наливають 50см³ 85% - ого етилового спирту і кип'ячать зі зворотним холодильником, водяним або повітряним, протягом 5 хв.

У прокип'ячений спирт додають 8 - 10 крапель (0,25 см³) індикатора нітритножовтого і нейтралізують в гарячому стані при безперервному перемішуванні 0,05 н. спиртовим розчином гідроксиду калію до першої зміни жовтого забарвлення в зелений. Забарвлення повинно бути стійким без перемішування протягом 30 с. Титрування проводять в гарячому стані швидко для уникнення виникнення вуглекислого газу, що міститься в повітрі [17].

Опрацювання результатів. Кислотність випробовуваного нафтопродукту (К) в мг КОН на 100 см³ розраховують за формулою:

$$K = \frac{V_2 * T * 100}{V_0}$$

де V_2 – об'єм 0,05 моль/дм³ розчину гідроксиду калію, витраченого на титрування, см³; T – титр 0,05 моль/дм³ розчину гідроксиду калію, мг/см³;

V_0 – об'єм досліджуваної проби, см³; 100 – фактор перерахунку на 100 см³ продукту[17].

2.4.2. Метод визначення корозійної дії на мідну пластинку

Випробування на корозію мідної пластинки (див. Метод випробування D130) може свідчити про наявність анаеробних мікробів, сульфат-редукторів, кластридій та інших білкових ферментерів, які також утворюють сірководень (H₂S). Випробування на корозію мідної пластинки є швидким і економічним та входить до деяких специфікацій палива.

В Україні є дійсним стандарт ДСТУ EN ISO 2160:2012 Нафтопродукти. Метод визначення корозійної дії на мідну пластинку (EN ISO 2160:1998, IDT).

Суть методу. Поліровану мідну пластинку занурюють у певний об'єм зразка, нагрівають та витримують за певної температури протягом часу, обумовленого для даного класу випробовуваного матеріалу. Авіаційні палива та газові бензини випробовують у бомбі, а інші продукти випробовують за атмосферного тиску. Наприкінці періоду нагрівання мідну пластинку виймають, миють та оцінюють колір згідно з еталонами ступеня корозії.

Випробування авіаційного бензину і палива для турбореактивних двигунів. Поміщають 30 см пробки (повністю очищеної, яка не містить осаду, зваженої або розчиненої води) в хімічно чисту і суху випробувальну пробірку розмірами 25x150 мм. Не пізніше ніж через 1 хв після завершення остаточної підготовки (шліфування) опускають в пробірку мідну пластинку. Поміщають пробірку з пробкою в посудину високого тиску і щільно загвинчують кришку.

При одночасному випробуванні декількох проб допускається готувати партію посудин високого тиску до повного занурення кожної посудини високого тиску в рідинну лазню при температурі $(100 \pm 1)^\circ\text{C}$ [$(212 \pm 2)^\circ\text{F}$], якщо час між підготовкою першої і останньої проб мінімальний. Після витримання в бані протягом (120 ± 5) хв витягають посудину високого тиску і занурюють його на кілька хвилин в холодну воду (водопровідну воду). Відкривають посудину високого тиску, виймають випробувальну пробірку і досліджують пластинку[18].

2.5. Методи візуального контролю біодеструкції палив

Деякі аналітичні методи можуть бути виконані на місцях за менш оптимальних умов, але багато інших потребують послуг лабораторії зі спеціалізованим обладнанням.

Приблизні спостереження, такі як колір, запах, чіткість та зовнішній вигляд межі поділу паливо / вода, проводяться під час звичайного ведення господарства. Якщо ретельно ведетьсягляд, то можна виявити зміни в експлуатаційній практиці та

екологічних умовах, що призводять до підвищення рівня мікробного забруднення. Такі дослідження повинні проводитися кожного разу, коли проба береться з бака.

Візуальний огляд зразків. Візуальний огляд зразків, зокрема зразків пального, є основоположною частиною звичайної щоденної оцінки якості палива. Це забезпечує не тільки ранню ознаку загального забруднення (бруду та води), але й наявність сильного мікробного забруднення. Це важливо для визначення способу подальшого аналізу. Зразки, найбільш вірогідні для виявлення мікробного псування шляхом візуальної оцінки - це зразки з дна резервуара або системи, але всі зразки повинні бути оглянуті на предмет знебарвлення, помутніння, емульгування або вільної води, мулу, мікробного матеріалу. Мікробне тестування зразків дна резервуарів з рекомендованими ІАТА мікробними тест-наборами може забезпечити найбільш ранні вказівки на можливість мікробного зараження.

Методика проведення: дати пробам постояти приблизно 10 хвилин до обстеження; потім тримати напроти світла і оглянути, особливо на наявність осілих частинок. Акуратно кружляти для полегшення обстеження. Створення вихру в контейнері для зразків концентрує будь-яке забруднення в центрі посудини, що сприяє візуальному виявленню та кількісній оцінці.

Видимі характеристики мікробного псування. Типи бактерій і дріжджів, що знаходяться в авіаційному паливі, часто дають липку "чіпляючу плівку", виготовлену з типу біологічно активної речовини. Ця «чіпляюча плівка» присутня на верху паливної води та прилягає до боків пляшки з зразком, як це спостерігається, коли пляшка обережно нахилиється та згортається.

Цвільна інфекція характеризується у зразках м'якими, коричневими, нерегулярними частинками, які в гіршому випадку утворюють килимок з когерентного біологічного матеріалу, особливо на межі палива та води. Дуже брудне водне дно з зваженим "м'яким" сміттям або наявність зважених "м'яких" частинок у фазі палива є свідченням "важкого" мікробного забруднення. Закручування пляшки змушує мікробіологічний матеріал підніматися з поверхні у фазу палива (рис.2.20).



Рис.2.20. Зразок палива з м'яким, коричневим ростом цвілі

Стабільна водна смуга в паливній фазі може бути свідченням мікробних біологічно активних речовин, що утворюються в результаті дії мікробів. Погано забруднене паливо часто не ясне та неяскраве. Однак забруднення може бути невізуальним, особливо якщо присутня лише паливна фаза.

Інші характеристики мікробного псування. У будь-якому одному місці будуть зміни в кількості та типах мікробів, присутніх у певних точках. Це може змінюватися з часом доби та сезоном (літо та зима тощо) через зміни часу осідання, аерації, рН, температури, солоності та наявності поживних речовин. Точне розташування точки відбору та час відбору проб є важливою інформацією, яку слід зазначити. Навіть коли мікроби присутні у великій кількості, вони можуть не бути активними через несприятливі умови (зокрема температури та рН).

Запах сірководню (тобто гнилого яйця) або якщо в зразку спостерігається почорніння дна, це також потребує спеціалізованого тестування на бактерії, що відновлюють сульфати (SRB). У цьому випадку слід отримати експертну консультацію та тимчасово припинити подачу палива з ураженого бака.

Почорніння води або палива зазвичай відбувається через наявність сульфиду заліза (наприклад, FeS) - наслідок активності SRB і є свідченням тривалої важкої інфекції (застою води) та підвищеного ризику корозії резервуара чи паливого бака.

Деякі мікроби, які у виняткових обставинах виробляють дуже сильні кислоти на місцях корозії на внутрішньому даху цистерни, можуть бути проаналізовані лише лабораторним тестом. Основною перевагою візуальних спостережень є їх швидкість та простота. Основним їх недоліком є те, що такі зміни, як правило, відбуваються пізно в процесі біодетермінації, після того, як відбулося значне ушкодження.

2.6. Біотести для визначення мікробіологічного ураження палив

На відміну від багатьох візуальних спостережень, фізичних та хімічних випробувань, не існує загально визнаних критеріїв прийнятного рівня мікробного забруднення. У багатьох програмах будь-які мікроби, що виявляються, спрацьовують на коригуючу дію паливної фази. Однак популяції, що перевищують 10⁵ клітин / мл, можуть бути переносимими у донних водах.

Для визначення мікробіологічного ураження використовують експрес-методи і довгострокові. Довгострокові передбачають наявність матеріально технічного устаткування для посіву зразків. Для визначення приналежності потрібні відповідні речовини які будуть фарбувати мікроорганізми у певний колір, та мікроскоп. Щоб визначити який представник необхідні атласи де зібрані зразки.

Експрес-методи. В галузі існують запатентовані методики визначення подібних забруднень із використанням наборів MicrobMonitor 2, Hum Bug Detector, Bug Alert, Bug Check, електронного вимірювача НМВ IV.

Так, наприклад, при використанні MicrobMonitor 2 (рис.2.21) результати тестування доступні через три дні і не вимагають подальшої розшифровки.



Рис.2.21. MicrobMonitor 2

Метод MicrobMonitor 2. Дослідження проводиться згідно *ASTM D7978 (MicrobMonitor2)*, дотримуючися процедури:

1. Додати пробу у флакон для тесту;
2. Струсити флакон для розподілу проби в гелі тесту;
3. Інкубація проби при 25°C (4 дні);
4. Перевірка тесту протягом інкубації;
5. Розрахунок колоноутворюючих організмів;

Розрахунок кількості мікробних КУО на літр можна виконати наступним чином:

$$N = \frac{n * 1000}{V}$$

n - кількість підрахованих колоній

V - тестований об'єм палива (мл)

6. Інтерпретація результатів досліджень.

Інтерпретація проводиться згідно з методикою MicrobMonitor2 для проб із паливних баків повітряних суден у відповідності з Керівництвом ІАТА (табл.2.2). Ступінь зараження палива залежно від кількості колоній може бути сильним, помірним, незначним та відсутнім. Визначається у КУО/мл – кількість колоноутворюючих організмів.

Інтерпретація результатів досліджень MicrobMonitor2 для проб із паливних баків повітряних суден у відповідності з Керівництвом ІАТА

Інтерпретація	Водна фаза (0,1 мл для випробовувань)	Паливна фаза (0,5 мл для випробовувань)
Незначне (Допустиме)	< 1000 КУО/мл (<100 колоній приблизно)	< 4000 КУО/мл (< 2 колоній приблизно)
Помірне	1000 - 10 000 КУО/мл (100 – 1000 колоній приблизно)	4000 - 20 000 КУО/мл (2 – 10 колоній приблизно)
Сильне	> 10 000 КУО/мл (>1000 колоній приблизно)	> 20 000 КУО/мл (>10 колоній пораховано або приблизно)

Метод прямого посіву Для виділення мікроорганізмів використовують методи прямого посіву. В чашки Петрі поміщають досліджуваний матеріал- згусток діаметром 4-5 мм, розподіляючи рівномірно за допомогою стерильного шпателя або петлі (рис.2.22). Таким чином беруть рідину із зразка і також поміщують в чашку Петрі і розтирають. Чашку ставлять в термостат, спостерігають і через встановлений час проводять дослідження зразків. Здебільшого для визначення виду мікроорганізмів використовують мікроскопічні методи та методи забарвлення.



Рис.2.22. Метод прямого посіву

Будь-який метод виявлення мікроорганізмів повинен бути досить простим і володіти високою специфічністю і чутливістю. Специфічний діагностичний тест повинен давати позитивну відповідь тільки на мікроорганізм або молекулу-мішень, чутливий - виявляти дуже малі кількості такої мішені навіть на тлі інших мікроорганізмів або молекул, що забруднюють зразок. Простота методу має на увазі, що він є досить продуктивним, ефективним і недорогим для практичного застосування

Мікроскопічні методи є досить поширеними і включають приготування мазків і препаратів для проведення мікроскопічного дослідження. Здебільшого результати експериментів є орієнтованими, наприклад реакція мікроорганізмів на фарбування. Будь-яке бактеріологічне дослідження починається з посіву на живильні середовища і подальшого мікроскопічного дослідження матеріалу.

Мікроскоп не може вирішити всіх проблем у виявленні мікроорганізмів бо вони є досить прозорими. «Проявити» їх допомагають різноманітні методи фарбування бактерій, що допомагають досліджувати та аналізувати зовнішню і внутрішню будову мікробів.

Датський біолог Крістіан Грам в кінці XIX століття запропонував вирішення цієї проблеми. Суть полягала в тому, щоб те що невидиме зафарбовувати і дивитися що вийде. Даний метод і нині використовується у мікробіологічних дослідженнях. А мікроорганізми поділяють на грампозитивні (утримують забарвлення) і грамнегативні (що знебарвлюються після обробки спиртом) (рис.2.23).

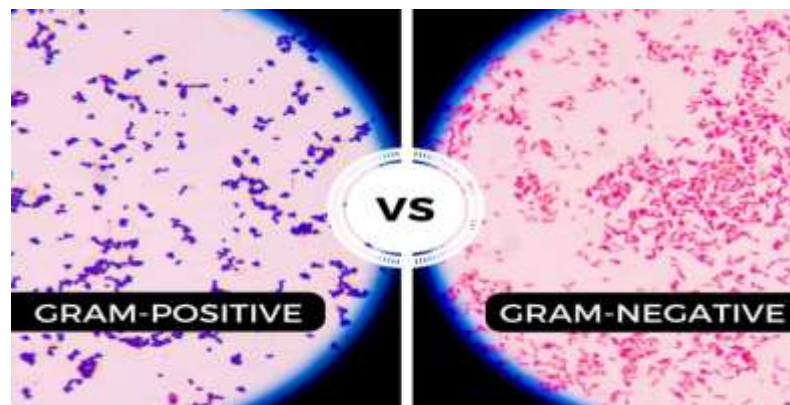


Рис. 2.23. Метод Грамма

Бактерії мають різну товщину зовнішньої стінки клітини, щільність і хімічний склад. Метод Грама базується на цій властивості клітинних оболонок. Відштовхуючись від робіт Крістіана Грама, біологи розробили нові методи, що дозволяють не тільки визначити форму і розмір клітин, але і розглянути деякі подробиці їх будови[15]. Мікроорганізми можуть бути однакові за зовнішнім виглядом, але водночас порізному реагувати на барвники, що дозволяє точно і швидко визначити до якого виду належать бактерії.

Спосіб фарбування мікроорганізмів за методом Грама (рис.2.24):

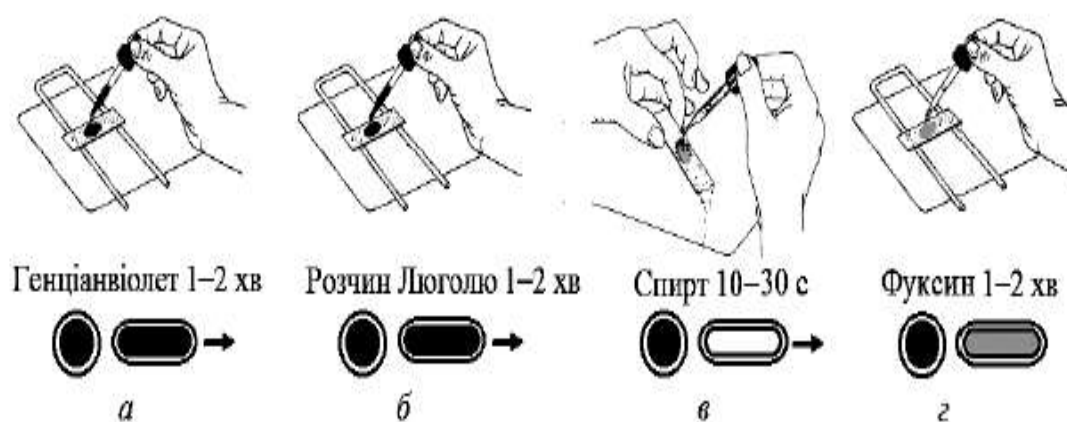


Рис. 2.24. Спосіб фарбування мікроорганізмів за методом Грама

Мазок, зафіксований вогнем або метанолом, покривають генціанвіолетом (1-2 хв), фіксують йодом (1-2 хв), просушують і промивають спиртом. На цьому етапі, в залежності від властивостей клітинної мембрани, бактерії стають:

- яскраво-синіми (грампозитивні);
- безбарвними (грамнегативні).

Товщина оболонки клітин, що залишилися безбарвними, не доє фарбі потрапити всередину, і вона легко змивається з поверхні мікроорганізмів. Тоді використовується фуксин або сафранін (1-2 хв), який залишається на поверхні клітинної мембрани і надає їй рожевий або червоний відтінок. Скло змивається водою, висушується і може використовуватися для мікроскопічного дослідження.

2.7. Висновки до розділу

Під час випробовувань необхідно враховувати всі показники за допомогою яких визначається стійкість до мікробіологічного ураження палива. Лабораторні випробування мають проводитися для отримання показників, відповідно до установлених нормативних документів, з використанням стандартизованих методів випробувань, або атестованих методик вимірювання.

На даний час немає чітких вказівок про оптимальні методи мікробіологічного аналізу палива. Для визначення мікробіологічного ураження використовуються хімічні методи (визначення кислотності, корозійності) та візуальні (колір, вміст біомаси).

РОЗДІЛ 3

ОЦІНКА СХИЛЬНОСТІ ДО БІОДЕГРАДАЦІЇ ТРАДИЦІЙНИХ ТА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ

Дослідження вуглеводневих палив та біопалив являє собою цілий комплекс випробувань і досліджень, який забезпечує контроль якості, відповідність нормам. Проведення досліджень за темою «Порівняльна оцінка схильності до біодеградації традиційного та альтернативного авіаційного палива» проходило у два етапи. На першому проводилося дослідження зразків палив на одному з підприємств авіатранспорту. Другий етап полягав у проведенні порівняльної оцінки схильності до біодеградації альтернативного палива, традиційного та їх суміші.

Стійкість палива в роботі визначається за допомогою досліджень таких властивостей як: кислотність, корозійна дія на мідну пластинку, інтенсивність забруднення, час проведення експерименту, температура зберігання зразка, колір (фото фіксація), наявність ТДФ тощо.

3.1. Визначення біодеструкції палива в умовах аеропорту

Важливим елементом інтерпретації всіх даних є вимірювання змін. Це, у свою чергу, залежить від окремих факторів. Тести слід вибирати виходячи з їх здатності керувати рішеннями системного управління. Це означає, що результати випробувань повинні вказувати на умови системи, які при неправильному контролі можуть призвести до біодеградації палива.

Насамперед потрібно знати точність і варіацію кожного методу випробувань, щоб визначити, чи спостерігаються небажані зміни чи знаходяться в межах експериментальної помилки. Різні мікробіологічні середовища росту дадуть різні результати. Отже, послідовність в процедурі відбору проб та випробувань є важливою для встановлення вихідних та особливих умов.

Для визначення здатності мікробіологічного ураження палив проведено дослідження зразків взятих в аеропорту міста Харків (зразки взяті з різних засобів, які використовуються в процесі заправки повітряних суден). При проведенні досліджень було використано методику MicrobMonitor 2 (рис.3.25).

При використанні MicrobMonitor 2 результати тестів доступні через три дні і не потребують подальшого розшифрування [3]. Яскравий приклад цього методу - це приклади зразків, які показують мікробіологічне пошкодження палив різними типами мікроорганізмів для ідентифікації, яких використовують методи прямого посіву.



Рис. 3.25. Загальний вигляд тест-зразків за методикою MicrobMonitor2, мікробіологічно ушкодженого реактивного палива Jet-A1(09.09.2020)

Були відібрані проби з водної та паливної фаз з резервуарів для зберігання палива, а також з баків літаків та з паливозаправника. Всі зразки демонструють мікробіологічне ураження різного ступеню. Результати проведення досліджень та їх інтерпретація наведена в таблиці 3.3

Результати проведення дослідження

№ Проби	Місце	Фаза	Тип палива	КУО	Ступінь забруднення
135 (16.09.2019)	Резервуар №5; Донна проба	Відстій	Jet-A1	10 000 000	Сильне
104 (21.08.2018)	Бак літака B-737 UR-CPY	Відстій	Jet-A1	Забруднення відсутнє	Відсутнє
136 (12.09.2019)	Паливозаправник	Відстій	Jet-A1	Забруднення відсутнє	Відсутнє
148 (24.09.2019)	Резервуар №9; Донна проба	Водна	Jet-A1	100 000	Сильне
147 (24.09.2019)	Резервуар №9; Донна проба	Паливна	Jet-A1	108 000	Сильне
148 (01.08.2018)	Резервуар №4; Донна проба	Відстій	Jet-A1	6 000	Помірне
141 (18.09.2019)	Резервуар №4; Донна проба	Відстій	Jet-A1	14 000	Помірне

Порівнявши донні проби з резервуарів можна сказати, що у водній фазі (зразок №148) забруднення сильніше ніж у паливній (зразок №147).

Проби палива взяті із баку літака B-737 (№104) та паливозаправника (№136) показали відсутність мікробіологічного забруднення. Результати досліджень зразків донних проб з резервуарів 5 і 4 (№135 і №141) показали сильний і помірний рівень забруднення відповідно.

Усі зразки демонструють мікробіологічне ураження різного ступеню. Станом на 09 вересня 2020 року кількість та інтенсивність мікроорганізмів зросла, а в окремих випадках з'явилися представники мікроорганізмів (№104).

Забруднення донної проби з резервуарів є найбільш активним. Через 1 рік спостерігали мікроорганізм з специфічними сітчастими переплетеннями, що характерні для «керосиного гриба» (рис.3.26).



Рис. 3.26. «Керосиновий гриб»(09.09.2020)

Це свідчить про те, що спори мікроорганізмів можуть розпочати свій ріст при настанні сприятливих умов для їх активної життєдіяльності. Враховуючи отримані дані можна стверджувати про необхідність контролю якості палив зокрема при довготривалому зберіганні через високу здатність до мікробіологічного ураження.

3.2. Візуальний контроль біодеструкції палив

У ємності з паливом додавали мікробні забруднення з уже уражених палив, та воду (100 мл) для того щоб експеримент був ближчий до того в яких умовах зберігається та експлуатується паливо у баках літаків, які можуть мати спори та воду, яка конденсується. Термін проведення – 2 місяці; температура проведення експерименту відповідає температурі навколишньому середовища, при якій зазвичай зберігається паливо.

Початок дослідження біодеструкції палива, зокрема його зараження проводилося 09 вересня 2020 року (рис.3.27). Використовували реактивне паливо, біокомпонент на основі рижієвої олії: зразок №1 - 100% РТ; зразок №2 - 50% біокомпоненту та 50% РТ; зразок №3 – 100% біокомпонент.



Рис.3.27. Зразки палива (вода+мікробіологічне забруднення) станом на 09.09.2020

Станом на 13 жовтня 2020 року зразки мали дещо інший вигляд (рис.3.28). У всіх спостерігалася біоплівка, яка є межею поділу «паливо-вода». У зразків присутнє помутніння водного шару, на дні наявні угруповування мікроорганізмів. Після проведення візуальних спостережень, що включають огляд та фотофіксацію спостерігали що ріст мікроорганізмів у чистому біопаливі набагато активніше відбувається. По інтенсивності ураження зразки можна поставити в такому порядку: Біо(№3) > Суміш 50x50 (№2) > PT (№1).

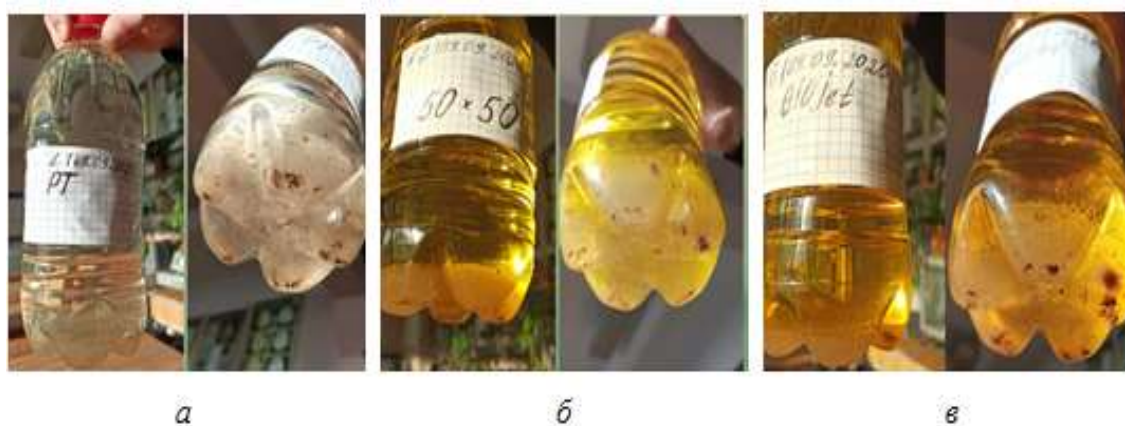


Рис.3.28. Досліджувані зразки станом на 13 жовтня 2020р.:

а - №1 - 100% PT; б- №2 - 50% біокомпоненту та 50% PT; в - №3 – 100% біокомпонент.

Через 2 місяці був повторний візуальний огляд зразків та проведено фотофіксацію. Станом на 15 листопада 2020 року зовнішній вигляд зразків досить змінився:

Зразок №1 (PT 100%) – утворилася біоплівка з помітними нерівностями. В водному шарі зафіксовано досить низький ріст мікроорганізмів (рис.3.29).



Рис.3.29. Зразок №1 через 2 місяці (станом на 15 листопада 2020 р.)

Зразок №2 (50x50) - утворилася біоплівка з нерівностями, невеликими пухирцями, що свідчить про активний ріст мікроорганізмів. На дні спостерігається невелике збільшення об'єму колоній мікроорганізмів (рис.3.30).

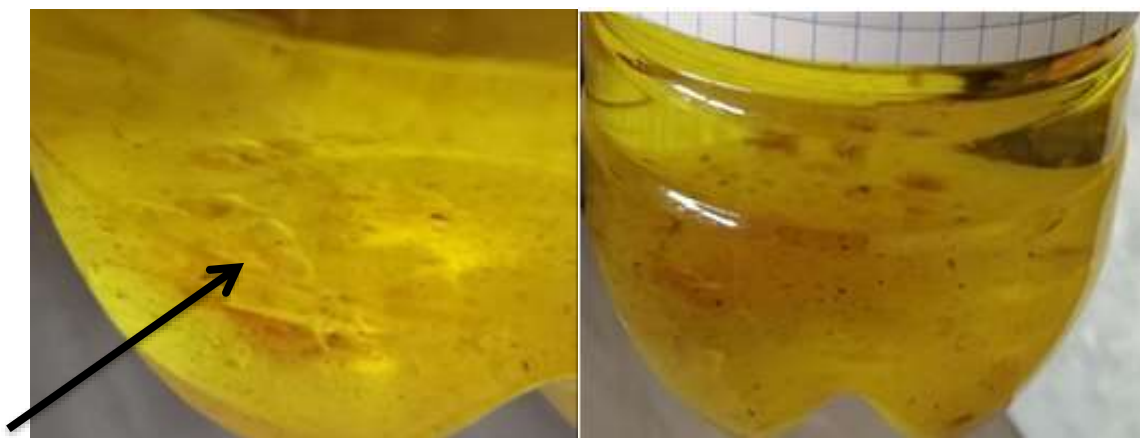


Рис.3.30. Зразок №2 через 2 місяці (станом на 15 листопада 2020 р.)

Зразок №3 (Bio 100%) – утворення щільної біоплівки з досить великими пухирами. У водному шарі, зокрема на дні ємності спостерігається найбільша кількість утворених колоній мікроорганізмів порівняно з іншими зразками (рис.3.31).

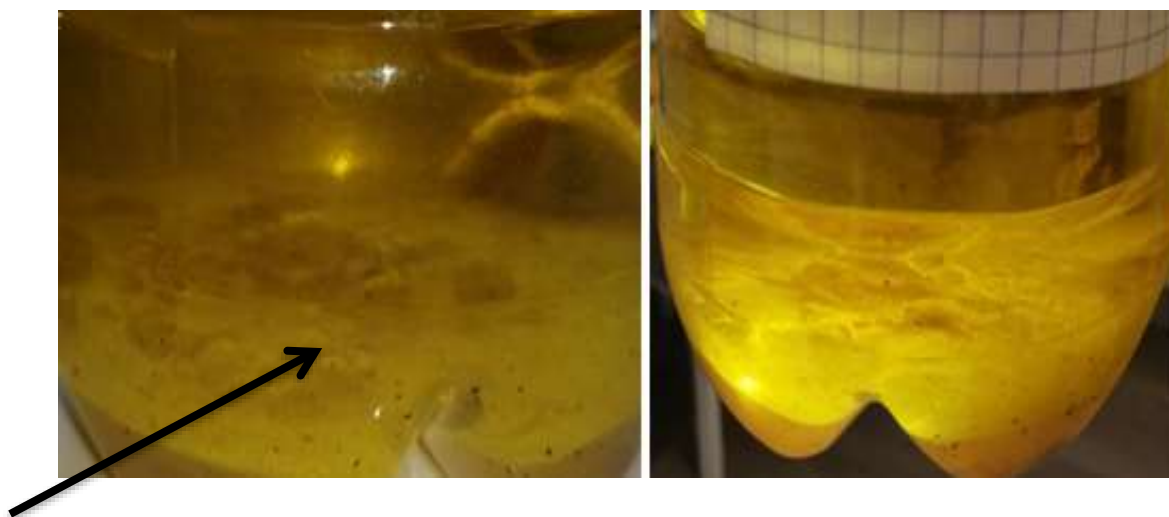


Рис.3.31. Зразок №3 через 2 місяці (станом на 15 листопада 2020 р.)

Експериментальне дослідження тривало 2 місяці, але результати помітні, і їх аналіз дозволяє зробити окремі висновки. Зокрема візуальне дослідження, що полягало в огляді показало, що традиційне реактивне паливо є найменш вразливим до мікробіологічного ураження, а чистий біокомпонент в свою чергу є найбільш уразливим.

В результаті візуальних досліджень через 2 місяці отримано такі результати:

- Кількість твердої дисперсної фази та ріст колоній мікроорганізмів у зразках(в порядку збільшення): №1 (РТ) < №2 (50x50) < №3 (BIO);
- Інтенсивність запаху (сірка, аміак) зразків (в порядку збільшення): №1 (РТ) < №2 (50x50) < №3 (BIO);
- Здатність зразків палив до мікробіологічного ураження (у порядку збільшення): №1 (РТ) < №2 (50x50) < №3 (BIO).

3.3. Зміна фізико-хімічних властивостей палив при біодеструкції палив

Визначення корозійної дії на мідну пластинку. Було проведено визначення корозійної дії на мідну пластинку. Для дослідження взято заражені зразки після 2 місяців зберігання (№1 (РТ), №2 (50x50) , №3 (BIO)) та № 10 незаражене РТ. Пробірка №К – мідна відшліфована пластинка, що виступає контролем. Разом із досліджуваними зразками та незараженим РТ в посудину високого тиску поміщали

також пробірку з пічним паливом та мідною пластинкою для порівняння. Випробування тривало 120 хв при температурі 100°C, що підтримувалася водяною банею.

Зразок №1 майже такого кольору як свіжовідполірована мідна пластинка, що відповідає легкому потускнінню: корозія мідної пластинки, 2год/100°C, клас 1а.

Зразок №2 темно-оранжевого кольору, що відповідає легкому потускнінню: корозія мідної пластинки, 2год/100°C, клас 1б.

Зразок №3 золотого кольору, що відповідає помірному потускнінню: корозія мідної пластинки, 2год/100°C, клас 1е.

Зразок №10 має колір свіжовідполірованої пластини що відповідає легкому потускнінню: корозія мідної пластинки, 2год/100°C, клас 1.

Результати дослідження показують, що чистий біокомпонент має найбільшу корозійну активність порівняно з іншими зразками. Здатність зразків палив до корзійного ураження, проведене на мідній пластинці можна поставити в такому порядку: №1 (РТ) < №2 (50x50) < №3 (БІО) (рис.3.33).

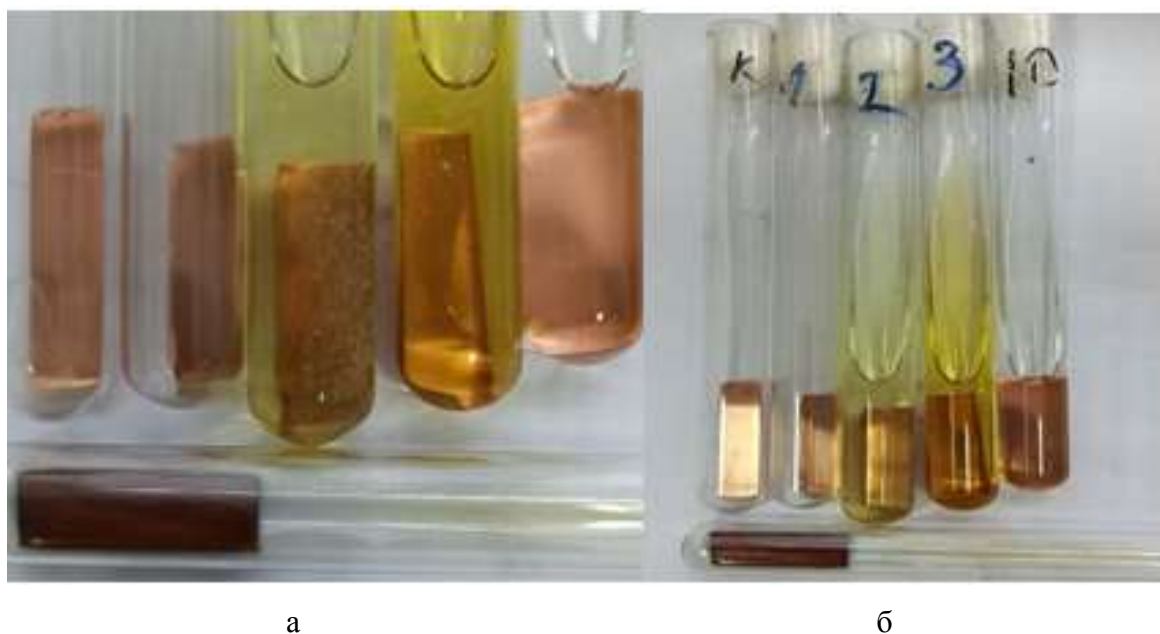


Рис.3.33. Результати дослідження кислотності на мідній пластинці

а – зразки у приближеному вигляді; б – №1- 100% РТ, №2 – 50% БІО+50%РТ, №3 – 100% БІО, №К – контроль, №10 – 100% РТ(чисте)

Визначення кислотності. Визначення кислотності проводили ГОСТ 5985-79 (СТ СЭВ 3963-83) «Нафтопродукти. Метод визначення кислотності і кислотного числа». Дослідження проводили на початку – 09.09.2020 та через два місяці 15.09.2020. Згідно ГОСТ10227-2013 кислотність палива марки РТ має бути в межах до 0,7 мг КОН/100 см³ (табл.3.4).

Таблиця 3.4

Кислотність досліджуваних зразків

№ проби	Вид палива	Кислотність мг КОН/100см ³ (09.09.2020)	Кислотність КОН/100 см ³ (15.11.2020)
1	100% РТ (забруднене)	0,2	0,52
2	50% РТ+50% біокомпоненту (забруднене)	1,66	4,99
3	100% біокомпонент (забруднений)	3,12	8,47
4*	100% РТ (чисте)	0,2	0,2
5*	50% РТ+50% біокомпоненту (чисте)	1,66	1,66
6*	100% біокомпонент (забруднений)	3,12	3,12

Отримані дані свідчать про те, що кислотність змінюється при мікробіологічному ураженні досить інтенсивно. Паливо РТ на початку мало кислотність – 0,2 мг КОН/100 см³, а через 2 місяці – 0,52 мг КОН/100 см³. Суміш РТ та біокомпонента (50х50) станом на 09.09.2020 р. мала значення кислотності 1,66 мг КОН/100 см³, а через два місяці 4,99 мг КОН/100 см³. Кислотність чистого біокомпоненту підвищилася найбільше: з 3,12 мг КОН/100 см³ до 8,47 мг КОН/100 см³. Паливо що було чисте не змінило показника кислотності (рис.3.34).

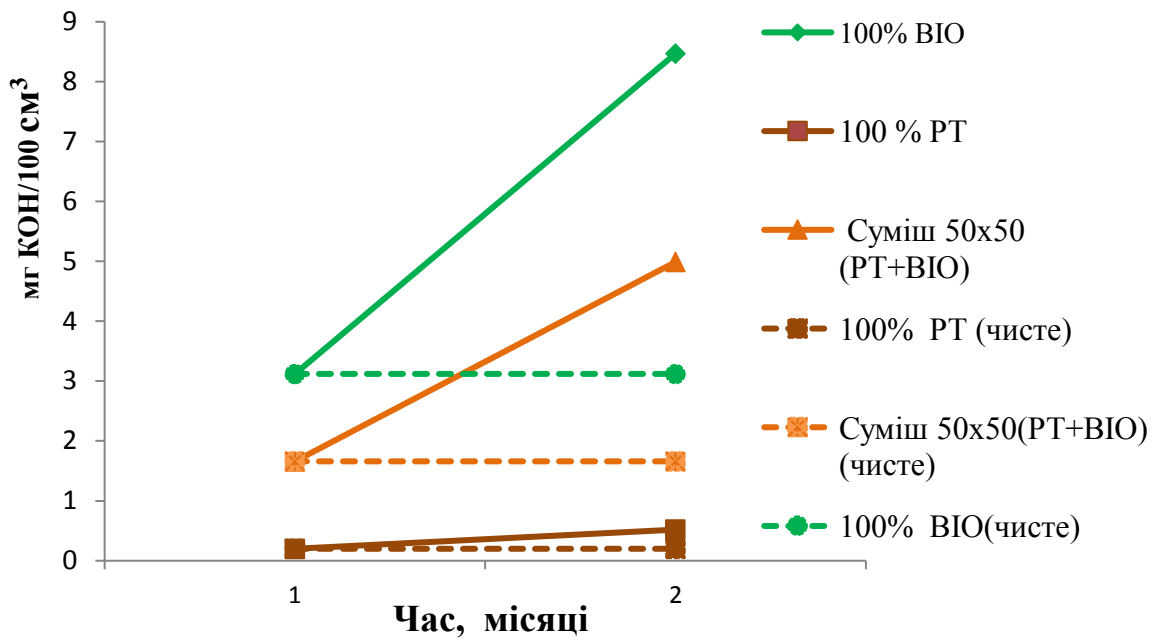


Рис.3.34. Зміна кислотності досліджуваних зразків

Динаміка зміни кислотності уражених палив (рис.3.35).

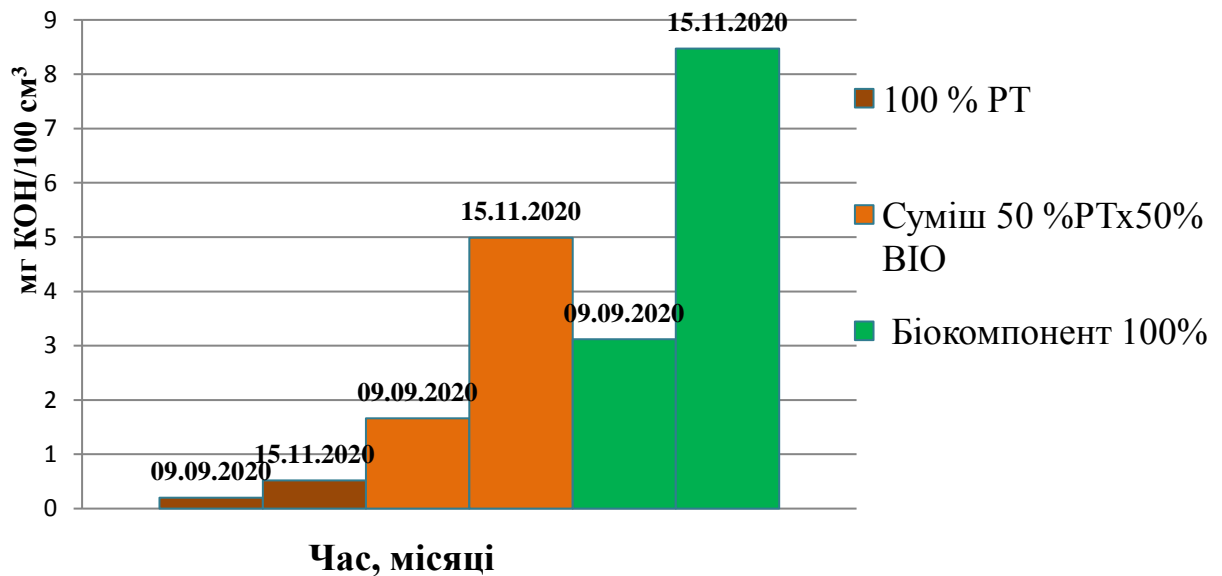


Рис.3.35. Динаміка зміни кислотності палива

Кислотність 100% палива РТ змінилася на 0,32 одиниці, що становить 38 %, суміш РТ і ВІО змінила кислотність на 3,33 одиниці або 67%, 100 % біокомпонент змінив кислотність на 5,36 одиниць, що відповідає 63%.

Реактивне паливо нафтового походження найменш піддалося впливу мікробіологічному ураженню в плані зміни кислотності. Найбільше кислотність збільшилася у суміші РТ+ВІО.

3.4. Рекомендації, щодо запобігання мікробіологічного ураження палива при тривалому зберіганні на об'єктах паливозабезпечення

Для мінімізації впливу мікробіологічного забруднення слід дотримуватися таких заходів:

1. Контролювати рівень підтоварної води в засобах зберігання і транспортування палива.
2. Проводити візуальний огляд технологічного на наявність ознак мікробіологічного ураження палива (особливо в літній період).
3. Проводити періодичний контроль корозійності та кислотності, як таких показників, що додатково характеризують наслідки мікробіологічного ураження палив (резервуарів для зберігання палив).
4. В разі виявлення мікробіологічного забруднення палив проводити додаткові заходи щодо знезараження технологічного обладнання, у тому числі з додаванням біоцидних присадок.
5. Запровадити систематичний контроль на мікробіологічне ураження палива в придонній частині резервуарних ємностей.
6. При необхідності зливання палива з баків літаків і подальшого розміщення на об'єкті паливозабезпечення слід обов'язково контролювати показник мікробіологічного забруднення палива.

3.5. Висновки до розділу

Альтернативним видам палива приділяється значна увага, особливо біопаливам, які мають екологічні переваги порівняно з нафтовим. Однією з таких є його біологічна здатність до розкладання. Однак біологічний розпад може

дозволити паливу бути більш сприйнятливим до мікробного забруднення, особливо під час зберігання. Схильність до мікробіологічного ураження РТ, біокомпонентата їх суміші, оцінювали за допомогою мікроорганізмів отриманих з проб палива виділених із забруднених нафтових систем. Біокомпонент легше піддається біодеструкції, ніж нафтове паливо, оскільки це природний продукт і складається з чистих жирних кислот, які легко метаболізуються. Мікроорганізми, якими заражалось паливо змогли вирости, використовуючи реактивне паливо, біокомпонент та їх суміші, як єдине джерело енергії.

Додавання біокомпоненту до традиційного палива підвищує екологічні властивості, але погіршує фізико-хімічні показники. До них належить кислотність та корозійність, що були досліджені в ході роботи.

Враховуючи отримані дані зміни фізико-хімічних властивостей зразків необхідно документально затвердити методи та методики ідентифікації мікробіологічного ураження. Вони мають ґрунтуватися на необхідності контролю вмісту води, зокрема у біопаливі, яке є більш схильним до біодеструкції.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Мета розділу «Охорона праці» полягає у визначенні небезпечних факторів на робочому місці, під час проведення дослідження біодеструкції традиційних та альтернативних авіаційних палив. Також завданням є розробка заходів та способів для створення умов праці які б відповідали нормативним документам з техніки безпеки та охорони праці, що діють в Україні.

Експериментальне дослідження виконувалося у декілька етапів, на кожному з яких присутня небезпека: палива, що є токсичними та мікроорганізми; електронагрівальні прилади, тощо. Дослідження дотримання умов праці та безпеки при проведенні досліджень проводилися в лабораторії Національного Авіаційного Університету, де всі умови відповідають законам.

4.1. Аналіз умов праці

4.1.1. Організація робочого місця

Згідно з наказом Міністерства Надзвичайних Ситуацій України від 25.01.2012 № 67 «Про затвердження Загальних вимог стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» робоче місце – місце постійного або тимчасового перебування працівника або групи працівників в процесі трудової діяльності, оснащене всім необхідним для успішного здійснення роботи[20].

Організація робочого місця має відповідати вимогам ДСТУ 8604:2015 «Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги» [21] та ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення» [22]тощо.

В лабораторії де проходили дослідження:

- робоча площа на одного працівника лабораторії відповідає нормативним документам (в межах 10-12 м²);

- облицювання стін, стелі, підлоги та конструктивних елементів приміщення оброблене спеціальними матеріалами;
- встановлені зливні та мийні раковини;
- встановлено індивідуальну витяжну систему для витяжних шаф.

Експеримент проходив у 104 лабораторії 12 корпусу Національного Авіаційного Університету. Загальна площа робочого місця лабораторії становить 45 м², що в перерахунку на одну людину відповідає нормі 4,5 - 6 м².

4.1.2. Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих чинників

Природне та штучне освітлення

У лабораторії для створення задовільних умов праці та проведення досліджень використовується освітлення, яке відповідає нормативним вимогам, зокрема ДБН В.2.5-28-2006 [20].

Освітлення є важливим фактором для ефективної роботи при проведенні досліджень. Природне освітлення представлене вікном (4 шт), штучне - 12 люмінесцентних ламп, розміром 0,5x0,5 м.

Джерелом недостатнього освітлення являються заставлені вікна, неправильне розташування робочого місця, а також некоректна робота джерел штучного освітлення.

Шкідливі речовини в повітрі робочої зони

Основними речовинами з якими проводилася робота в експериментальному дослідженні були реактивне паливо та біокомпонент на основі рижієвої олії.

При проведенні різних досліджень на виявлення якості авіаційного палива, не використовують сильно небезпечні речовини. Але в складі реактивних палив може міститися сірка і сірчисті з'єднання. Також при дослідженні біодеструкції палива мікроорганізми в процесі життєдіяльності можуть виділяти сірковмісні сполуки, а також аміак та оксид вуглецю.

Сірковмісні речовини відносяться до високо небезпечних речовин (2-й клас небезпеки), гранично допустима концентрація (ГДК) шкідливих речовин даного класу небезпеки в повітрі робочої зони : ГДК=0,1-1,0 мг/м³. Аміак, і оксид вуглецю, які мають ГДК = 20 мг/м³, віднесені до IV-го класу небезпеки.

Вони можуть пошкодити дихальні шляхи людини, яка має контакт з ним. Для запобігання забруднення повітря виробничих приміщень необхідно забезпечити герметичність ємностей, обладнання, комунікацій та засобів відбирання згідно з ДСТУ 4488[27].

4.2. Електробезпека

Електробезпека лабораторного приміщення повинна забезпечувати працівнику безпечне перебування під час роботи на робочому місці в різних ситуаціях. Тому перед початком виконання своїх обов'язків необхідно виключити такі джерела електричної небезпеки як:

- оголені частини проводів або відсутність ізоляції;
- відсутність заземлення;
- замикання;
- статичну електрику.

Електробезпека обслуговуючого персоналу і сторонніх осіб повинна забезпечуватися виконанням заходів, що містяться в нормативних документах. Обладнання має бути захищене від статичної електрики засобами захисту відповідно до ГОСТ12.4.124 [25]. Під час проведення робіт все технологічне обладнання повинно бути надійно заземлене згідно з вимогам НПАОП 40.1-1.32, ПУЕ [26,27].

Електробезпека обслуговуючого персоналу і сторонніх осіб має забезпечуватися виконанням наступних заходів:

1. Дотримання відповідних відстаней до струмоведучих частин або шляхом закриття;
2. Огородження струмоведучих частин;

3. Застосування блокування апаратів і захисних пристроїв для запобігання помилкових операцій і доступу до струмоведучих частин;
4. Застосування попереджувальної сигналізації, написів і плакатів;
5. Застосування пристроїв для зниження напруженості електричних і магнітних полів до допустимих значень;
6. Використання засобів захисту і пристосувань, в тому числі для захисту від впливу електричного і магнітного полів в електроустановках, в яких їх напруженість перевищує допустимі норми.

4.3. Пожежна безпека

Категорія приміщень, де проводяться роботи з паливом, за ступенем вибухопожежної та пожежної безпеки, розраховуються у відповідності: до вимог ДСТУ Б В.1.1-36. Приміщення повинні бути обладнані первинними засобами пожежогасіння відповідно до вимог "Правил пожежної безпеки в Україні"[28].

Для ліквідації невеликих осередків пожежі на території об'єкта є первинні засоби гасіння пожежі - вогнегасники, ящики з піском, азбестові ковдри (кошми). У приміщенні встановлені електричні сирени пожежної сигналізації.

З метою забезпечення надійності та безпеки роботи, нормативними документами передбачається ряд заходів, що забезпечують безпечне ведення роботи:

- герметичність обладнання і ємностей з паливом;
зовнішнє пожежогасіння забезпечується від системи пожежного водопостачання;
- захист будівель, споруд, апаратів, устаткування та трубопроводів від вторинних проявів блискавок і статичної електрики;
- запобігання вибухів в приміщеннях з нормальним середовищем, внаслідок проникнення горючих газів і парів, забезпечується витяжними вентиляційними системами.

4.4. Обґрунтування заходів щодо захисту дослідника від дії небезпечних і шкідливих факторів

Для того щоб виконавець міг провести експериментальне дослідження в безпечних мовах необхідно щоб було виконано певні заходи і застосовано окремі засоби захисту, відповідно до тих факторів які можуть вплинути на здоров'я та життя людини.

Враховуючи специфіку роботи в лабораторії необхідно знати план евакуації з приміщення (рис.4.36).

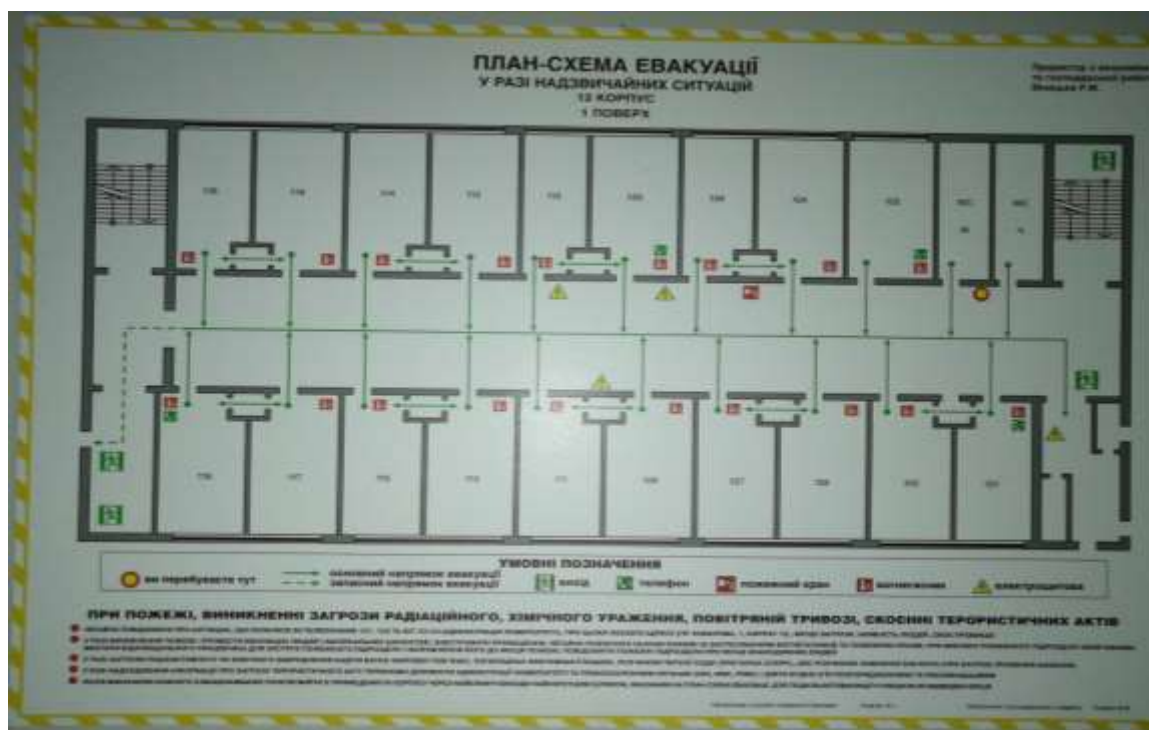


Рис. 4.36. План-схема евакуації

Забруднення повітря робочої зони. Через виділення шкідливих речовин при проведенні експерименту необхідна наявність справної вентиляції та витяжних шаф. Важливим є також проведення замірів повітря на вміст токсичних речовин і їх відповідність згідно з гранично допустимими концентраціями.

Пожежна безпека. Безпечна система пожежного захисту включає в себе запобігання пожежі, протипожежний захист, а також комплекс необхідних заходів

щодо забезпечення безпеки. Основними вимогами до створення ефективної пожежної безпеки є:

- Застосування вентиляційних систем і систем, які будуть виключати поширення горючого середовища в приміщенні;
- Установка систем пожежної сигналізації, оповіщення та управління при евакуації;
- Застосування первинних засобів пожежогасіння (вогнегасники порошкові, пінні, вуглекислотні і ін., пожежні крани, пісок, азбестова ковдра);
- Проведення первинного інструктажу з техніки безпеки і правил користування засобами пожежогасіння.

Електробезпека. Електробезпека повинна забезпечуватися шляхом організаційних і технічних заходів, а також технічними способами і засобами захисту:

- Для забезпечення захисту при ураженні електричним струмом повинні використовуватися способи захисного заземлення та занулення;
- Необхідна захисна ізоляція всіх проводів, наявність рубильників;
- Необхідно проведення первинного інструктажу з техніки безпеки і надання першої долікарської допомоги при ураженні електричним струмом.

Освітленість. На робочому місці необхідно встановлення нормованого штучного освітлення з використанням розрядних або ламп розжарювання з інтенсивністю освітленості яка буде відповідати вимогам виконавця/працівника та задовольняти нормативним документам.

4.5. Розрахункова частина

Система вентиляції і кондиціонування повітря в лабораторії повинна відповідати особливим, виключно суворим вимогам з безпеки, оскільки однією з її

найважливіших функцій є захист персоналу, працюючого в лабораторії. Експериментальне дослідження проводилося в лабораторії об'ємом 135 м³, з використанням керосину (реактивне паливо), яке належить до 4 класу небезпечних і токсичних речовин. Може знаходитися по відношенню до працівників у рідкому стані та у вигляді випарів. Використовувалося 100 % паливо (t); гранично допустима концентрація 300 мг/м³ в перерахунку на вуглець. Маса палива m=1,5 кг. Кількість людей що працюють в лабораторії n=4.

Згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 5 серпня 2020 р. № 686 «Про затвердження норм втрат нафтопродуктів під час їх приймання, зберігання, відпуску, перевантаження та транспортування» обсяг палива що може випаруватися в осінньо-зимовий період, коли проводилася робота становить q = 0,00048%. Враховуючи відомі дані можна розрахувати необхідний повітрообмін в приміщенні лабораторії, враховуючи те що вміст парів зовні C_{прит}=0.

Визначаємо кількість палива, яке випарується за 1 годину при роботі з ним:

$$W = t \times m \times q \times 10^6 \text{ мг/год}$$

де 10⁶ – коефіцієнт для переведення із кг/год в мг/год:

$$W = 1 \times 1,5 \times 0,00048 \times 10^6 = 720 \text{ мг/год}$$

Кількість повітря яке необхідно подати в робочу зону , щоб ГДК не перевищувала встановлених норм:

$$G = \frac{W}{C_{ГДК} - C_{прит}}; \quad G = \frac{720}{300 - 0} = 2,4 \text{ м}^3/\text{год}$$

Кількість повітря для працівників, яке необхідно подати в робочу зону для комфортної роботи: G₁ = n × G_{чол}

де G_{чол} – норма подачі припливного повітря на 1 чоловіка при об'ємі приміщення більше 20м³:

$$G_{чол} = 20 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$G_1 = 4 \times 20 = 80 \text{ м}^3/\text{год}$$

Порівнявши норми подачі G і G₁ для подальших розрахунків приймаємо більше значення. Знаходимо кратність повітрообміну:

$$k = \frac{G}{V}; \quad k = \frac{80}{135} = 0,6 \text{ год}^{-1}$$

4.6. Висновки до розділу

Під час виконання розділу «Охорона праці» проведено аналіз приміщення лабораторії де відбувалося дослідження. Розглянуто та проаналізовано умови робочого місця, визначено фактори, що можуть впливати на життя та здоров'я виконавця. Зокрема рівень забруднення повітря робочої зони, електробезпека, пожежна безпека. Надано рекомендації для їх послаблення та усунення. Робота має проходити при справній вентиляційній системі та при достатньому освітленні. Виконавець повинен бути обережним із електроприладами при роботі оскільки паливо є досить горючою речовиною і вимагає безпечного поводження з ним. Проведено розрахунок кратності повітрообміну при вентиляції виробничого приміщення для комфортного і безпечного перебування виконавця в лабораторії, враховуючи те що реактивне паливо є токсичним.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

В межах кваліфікаційної роботи розглядається традиційне реактивне паливо та альтернативне, що вважається порівняно безпечним для довкілля. В ході роботи також були використанні колонії мікроорганізмів, якими заражали зразки. Останні в процесі своєї життєдіяльності в паливі виділяють такі речовини як аміак та сірководневі сполуки.

Виробництво авіаційного палива не є особливо небезпечним процесом щодо впливу на навколишнє середовище. Однак існує ряд загроз для стану довкілля в цілому. Авіація багато в чому впливає на навколишнє середовище: люди, які мешкають поблизу аеропортів, окремі ділянки гідросфери можуть зазнавати впливу забруднювальних речовин, що потрапляють в природні водойми в результаті поверхневого стоку з аеропортів та від роботи авіаційних двигунів (рис.5.37). Експериментальні дослідження авіаційних палив також завдають шкоди навколишньому середовищу.



Рис.5.37. Вплив авіації на навколишнє середовище

Авіація є одним із ключових факторів глобальної економіки, однак на цю галузь припадає приблизно 2-3% глобальних викидів CO₂ [30]. У зв'язку з цим, прийнято рішення щодо скорочення викидів на 50% до 2050р. У 2018 році в результаті роботи повітряного транспорту утворилося 895 мільйонів тонн вуглекислого газу (CO₂). Це може здатися дуже багато, але це лише близько 2% від 42 мільярдів тонн CO₂, що утворюється внаслідок діяльності людини щороку [30].

У міру зростання авіації для задоволення зростаючого пасажирського попиту - особливо на ринках, що швидко розвиваються, та в міру зменшення викидів забруднювальних речовин в інших галузях економіки, частка авіації в загальних викидах, ймовірно, збільшиться.

Якщо розглянути енергетичні викиди CO₂ - без викидів від сільського та лісового господарства, на які припадає близько чверті глобальних парникових газів, - найбільший внесок у викиди CO₂ має енергетична галузь (44%). Друге місце займає автомобільний транспорт - 17%, за ним – експлуатація будівель - 10% [29].

Авіація, виробляючи 2% всього спричиненого людиною CO₂, викидає менше, ніж металургійна промисловість (5%), виробництво цементу (4%) та судноплавний сектор (3%) (рис.5.38)[30].

CO₂ - не єдиний парниковий газ, який викидають літаки. Вихлопні гази авіаційних двигунів складаються від 7% до 8% з CO₂ і водяної пари, близько 0,03% оксидів азоту, незгорілих вуглеводнів, оксидів вуглецю та оксидів сірки, слідів сімейства гідроксилів та сполук азоту та невеликої кількості частинок сажі (кілька десятих відсотка). Між 91,5% та 92,5% вихлопних газів авіаційного двигуна є нормальним атмосферним киснем та азотом [31].

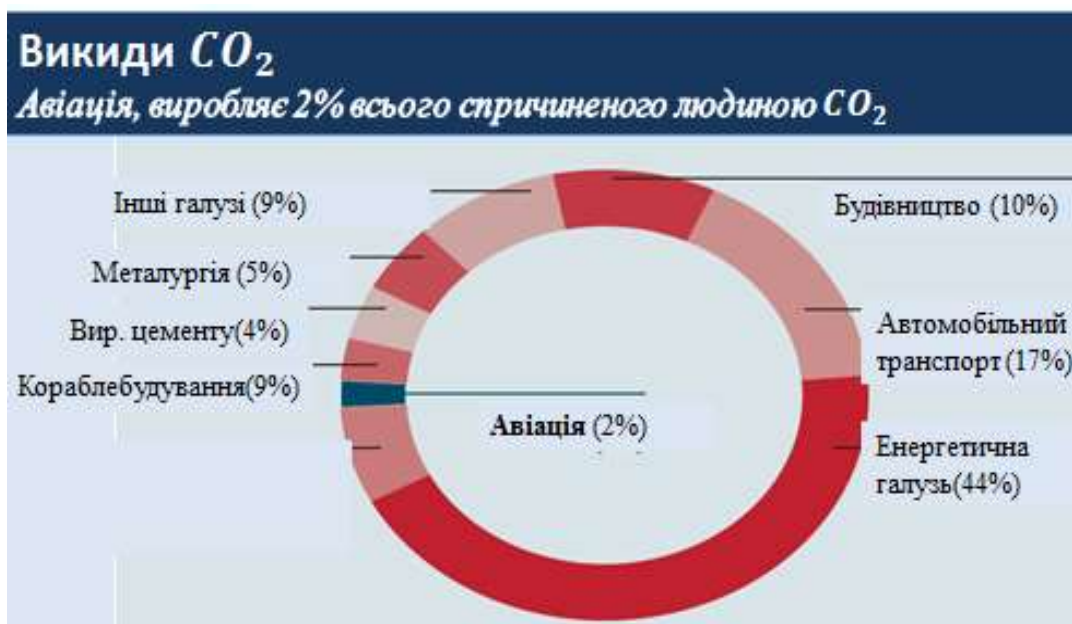


Рис.5.37. Порівняльна оцінка викидів CO₂ різними галузями [31]

Сліди водяної пари, створені літаками, також мажуть мати вплив, пов'язаний з ефектом зігрівання чи охолодження на землі. За певних метеорологічних умов вони можуть залишатися в атмосфері та утворювати хмари, а це може впливати на кліматичні процеси. Наприклад, деякі дослідження показують, що ці хмари можуть мати різний ефект охолодження та потепління залежно від того, коли здійснюються польоти: вдень чи вночі. Такий напрям досліджень може визначити, чи є переваги від зміни часу проведення польотів, враховуючи час доби. Водночас авіаційна промисловість допомагає у дослідженні впливу негативних наслідків на зміну клімату, включаючи встановлення висотного обладнання для випробувань атмосфери на деяких пасажирських літаках [31].

Є багато посилань на авіацію, що має більший ефект, ніж інші галузі, через висоту викидів. Найбільш значний парниковий газ, CO₂, не має жодного додаткового впливу через різницю у висоті, вплив однаковий. Однак інші викиди, такі як оксид азоту та водяна пара, можуть мати більший ефект на більших висотах.

Недавні дослідження показують, що авіаційні викиди CO₂ слід помножити в 1,9 рази, враховуючи додатковий вплив цих газів на висоті. Однак важливо усвідомити, що більшість інших випромінювачів також виділяють гази, що не

містять CO₂, і потребують додаткових досліджень для визначення загального впливу кліматичних змін. Наприклад, рівень автомобільного транспорту в 1,5 рази перевищує викиди CO₂. Якщо врахувати ці викиди, не пов'язані з викидами CO₂, Міжурядова комісія з питань зміни клімату оцінює, що авіація становить близько 3% від загального техногенного впливу на клімат[21].

5.1. Вплив викидів авіаційного транспорту на атмосферу

Забруднення атмосферного повітря внаслідок викидів авіаційного транспорту та допустимий рівень хімічного забруднення визначаються згідно з вимогами законів України:

- «Повітряний Кодекс України», Відомості ВВР зі змінами, 2011;
- «Про охорону навколишнього природного середовища»;
- «Про охорону атмосферного повітря», 16.10.1992;
- «Про забезпечення санітарного та епідеміологічного

благополуччя населення» від 28.02.1994 [33];

Реактивне паливо не регламентується спеціально як забруднювач повітря в навколишньому середовищі. Але сполуки що входять у його склад, та продукти згоряння регулюються нормативними документами на міжнародному рівні [32].

На атмосферу можуть чинити шкідливий вплив неочищені викиди з вентиляційних труб. Авіаційні палива випаровуються досить швидко, при цьому в атмосферу виділяються шкідливі речовини зокрема сірка, а при мікробіологічному ураженні - оксид вуглецю та аміак, як продукти життєдіяльності мікроорганізмів. Оцінка величини викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря здійснюється відповідно до ГОСТ17.2.3.02 чинного законодавства в галузі охорони атмосферного повітря [26].

Основним призначенням реактивного палива є його спалювання для отримання енергії. Для основної частини авіаційного палива це відбувається не в приземному шарі поблизу аеропортів, а в більш високих шарах атмосфери. На

екологічний стан всіх шарів атмосфери основний вплив роблять продукти згоряння, склад яких визначається компонентами палива (рис.5.39).

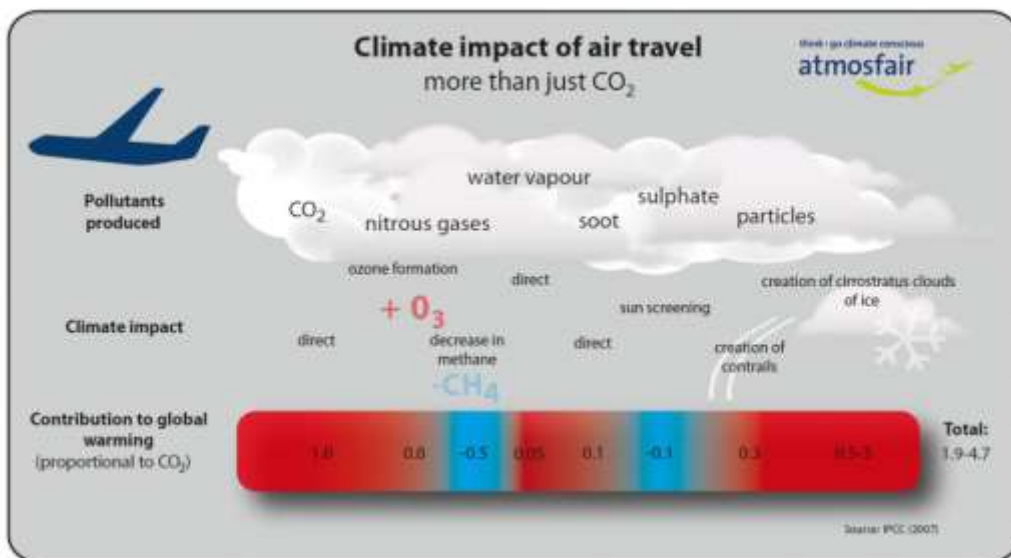


Рис.5.39. Вплив авіації на атмосферу

Крім забруднення навколишнього середовища продуктами згоряння, вихлопний струмінь створює механічний вплив, що призводить до утворення потужних вихрових потоків в приземному шарі, що можуть перерости в урагани чи смерчі (рис.5.40).



Рис.5.40 Конденсаційний слід літака

Фахівці вважають, що щорічно зростаюча емісія вуглекислого газу, води і метану двигунами літаків змінює хімічний і радіаційний баланс атмосфери [26, 27, 28], що поряд з емісією сажових сульфатних аерозолів може впливати на клімат.

Особливе значення мають такі компоненти, як двоокис вуглецю і оксиди азоту. Оксиди азоту беруть участь в хімічних змінах озону (його збільшення може призводити до нагрівання верхньої тропосфери) та збільшення кількості гідроксильних радикалів (ОН), основного атмосферного окислювача.

Збільшення ОН призводить до скорочення терміну існування метану CH_4 , результатом чого може стати охолодження, а в масштабах десятиліть – скорочення тропосферного озону [26]. Оксиди сірки і сажа призводять до утворення аерозолів, які збільшують хмарність у формі лінійних конденсаційних слідів і перистих хмар. Залежно від стану навколишньої атмосфери ці сліди можуть існувати іноді кілька хвилин, а іноді - години, розтягуючись в ширину на кілька кілометрів.

5.2. Вплив на гідросферу

Аварійні ситуації можуть чинити негативний вплив на гідросферу. Іноді в деяких надзвичайних ситуаціях для негайного повернення в аеропорт вильоту або при посадці на запасний аеропорт з метою досягнення максимальної посадкової маси трапляються випадки, коли необхідно провести процедуру скидання палива.

Пальне, як правило, скидається в море або над сільською місцевістю, в ідеалі на висоті близько 2000 метрів, що дозволяє паливу розсіюватися у вигляді пари. Паливо видаляється через клапани на задній кромці крил, далеко від двигунів, щоб уникнути можливості загоряння (рис.5.41).



Рис.5.41. Процедура скидання палива

Аеропорти можуть генерувати значне забруднення води через їх широке використання і поводження з реактивним паливом, мастильними матеріалами та іншими хімічними речовинами (рис.5.42). Аеропорти встановлюють структури контролю розливів і відповідне обладнання (наприклад, вакуумні вантажівки, переносні берми, абсорбенти) для запобігання хімічних розливів і пом'якшення наслідків розливів, які дійсно відбуваються.



Рис.5.42. Проведення технологічних процесів в аеропорту

У холодному кліматі використання проти кристалізаційних рідин також може викликати забруднення води, так як більшість рідин, що застосовуються до літаків, згодом падають на землю і можуть також змивати паливно-мастильні матеріали і згодом потрапляють через зливовий стік в довколишні стоки, річки або прибережні води. Цей процес може негативно вплинути на життя флори і фауни водних об'єктів, внаслідок утворення плівки яка перешкоджатиме доступ повітря.

Достатні рівні розчиненого кисню в поверхневих водах мають вирішальне значення для виживання риби, та інших водних організмів. Якщо концентрація кисню падає нижче мінімального рівня, організми емігрують, якщо це можливо, в райони з більш високим рівнем кисню або вмирають.

При розливі компонентів реактивного палива або товарної продукції відбувається неконтрольоване скупчення рідкої фази на об'єкті. Згідно ДСТУ 8606-1:2015 при попаданні розливів нафтопродуктів в стічні води необхідно провести їх аналіз на вміст шкідливих домішок, тому що не допускається витік нафти і нафтопродуктів. Для екологічної безпеки існує встановлена норма вмісту забруднень у стоках -0,1 мг/л [33]. Охорона поверхневих та стічних вод від забруднення здійснюється відповідно до ДСТУ 8606-1 та СанПіН 4630.

5.3. Покращення екологічного впливу авіації на довкілля

Зростаючий вуглецевий слід є неприйнятним для будь-якої галузі, тому авіація, від виробників технологічного обладнання до авіакомпаній, наполегливо працює над обмеженням викидів парникових газів.

Незважаючи на те, що кількість пасажирів зростає в середньому на 5% щороку, авіація зуміла обмежити зростання викидів приблизно до половини цього показника. Це відбувається за рахунок масових інвестицій у нові технології та скоординованих дій щодо впровадження нових операційних процедур та інфраструктурних заходів.

З 2016 року САЕР (Комітет ІКАО з охорони навколишнього середовища від впливу авіації) рекомендував два нові стандарти: щодо емісій діоксиду вуглецю і

нелетких зважених часток. Рекомендований стандарт по CO₂ запропонований для стимулювання більш ефективних технологій спалювання палива при експлуатації повітряних суден. Стандарти планується застосовувати до моделей нового типу дозвукових і турбогвинтових літаків, які будуть вводитися в експлуатацію з 2020 року, а до тих що вже використовуються - з 2023 р. Якщо використовувані моделі, які не відповідають поки вимогам по стандартам CO₂, не зможуть бути модернізовані належним чином до 2028 р. то після цього терміну їх експлуатація буде заборонена. Регулювання емісій буде проводитися за допомогою, запропонованої «Глобальної системи ринкових заходів», під назвою CORSIA [35] .

Перевищення квот емісії (за базовий рівень передбачається прийняти емісії 2019-2020 рр.) буде обкладатися значним штрафом, який піде на відновлення навколишнього середовища і компенсаційні заходи. Такий підхід до квотування емісій не новий, він застосовувався в країнах Євросоюзу з початку 2000-х років. Наприклад, в квітні 2014 року Німеччина виставила штрафів за перевищення емісійних квот на 2,7 млн євро 61 авіакомпанії.

Україна бере участь у експериментальному (2021- 2023 рр.) та першому (2024-2026 рр.) етапах програми CORSIA, що призводить до необхідності розпочати моніторинг емісії від міжнародних польотів українських літаків з січня 2019 року (рис.5.43) [35]

Починаючи з 2019 року, 73 держави впроваджують CORSIA. Вони представляють 87,7% міжнародної авіаційної діяльності. Ці держави отримають більше досвіду та дадуть змогу вуглецевому ринку швидше адаптуватися до зростаючого попиту на компенсацію. Решта світу розпочне впроваджувати CORSIA в 2027 році, коли розпочнеться обов'язковий етап.

Етапи впровадження CORSIA



Рис.5.43. Участь країн у програмі CORSIA [35]

Мета полягає в тому, щоб до 2050 року зменшити чисті авіаційні викиди CO₂ до 50% від викидів 2005 року. Це означає *підвищення паливної ефективності на 1,5% щороку до 2020 року, а потім стабілізацію викидів CO₂ з 2020 року* (рис.5.44).

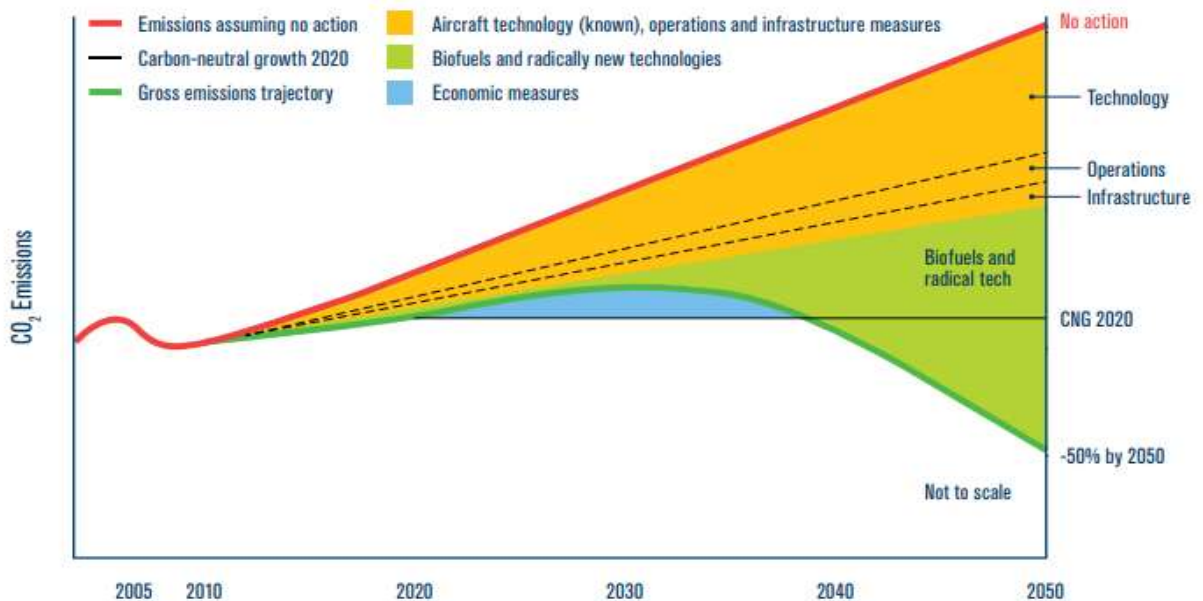


Рис.5.44. Технологічна карта CORSIA [35]

Для стабілізації викидів CO₂ при зростаючому попиті пасажирів у повітряному сполученні (від 5 до 8% з 2010 року) авіаційна промисловість спирається на стратегію чотирьох з напрямів:

- покращення технології, такі як продуктивність двигуна або біопаливо;
- оперативні вдосконалення, такі як моніторинг паливної ефективності;
- покращення інфраструктури, наприклад, більш ефективна інфраструктура аеропорту;
- ринкова схема, якою є CORSIA.

Традиційне паливо для повітряних суден негативно впливає на навколишнє середовище. Саме тому світова спільнота починає впроваджувати альтернативні палива, що майже не мають негативного впливу на довкілля і зменшують техногенне навантаження на навколишнє середовище. Це призводить до зниження токсичності відпрацьованих газів літальних апаратів та зменшення об'ємів викидів вуглекислого газу.

Сталі види авіаційного палива (SAF) повинні грати важливу роль в справі скорочення емісії двоокису вуглецю, що створюється повітряним транспортом. Такі альтернативні види авіаційного палива включені в план заходів ICAO для вкладу авіаційного сектора в справу зменшення впливу авіації на навколишнє середовище. Хоча потрібно певний час для масштабного впровадження таких видів палива, варто відзначити, що вже сьогодні існують такі технології.

Українські військово-транспортні літаки Ан-32, які стоять на озброєнні ВПС Індії, отримали сертифікацію для польотів з використанням біопалива. До 2024 року ВПС Індії мають намір скоротити споживання авіакеросину на 4 млрд. дол. США, в зв'язку чим планується широкий перехід на біопаливо. Був успішно проведений політ двохдвигунного транспортного літака Ан-32 з паливом, 10% якого становили біокомпоненти [32].

Вперше біопаливо використовувалося в авіації в 2008 році. Це була авіакомпанія Virgin Atlantic, що змішала 20% біопалива зі звичайним паливом. За минулі роки ще кілька компаній тестували цю технологію (Air New Zealand, KLM), але найостанніші досягнення в цій галузі за китайською авіакомпанією Hainan

Airlines, яка в 2017 році використовувала відпрацьовану рослинну олію в суміші зі звичайним реактивним паливом для польоту з Китаю в США [32].

У 2018 було проголошено ініціативу BIOjet Abu Dhabi після того як авіакомпанія Etihad Airways провела демонстраційний політ літака Boeing 777, який був заправлений виробленим в ОАЕ біокеросином з рослинної біомаси. Біопаливо було частково перетворено з біомаси компанією Total та його партнером Amyris Takreer (дочірнє підприємство Abu Dhabi National Oil Co) (рис.5.45).



Рис.5.45. Заправка Boeing 777 біопаливом [32]

Завданням дослідників полягає в тому, щоб збільшити масштаби і швидкість впровадження, а також знизити їх вартість. Пріоритетним завданням є розширення використання альтернативних видів авіаційного палива, оскільки в авіації є менша кількість технічних альтернатив щодо скорочення емісії двоокису вуглецю в порівнянні з іншими видами транспорту, незважаючи на перші спроби створити гібридні і електричні повітряні судна.

Природоохоронні переваги і загальна стійкість таких видів палива мають першочергове значення. У той же час правила, що визначають стійкість виробництва альтернативних видів авіаційного палива, повинні бути глобальними, з тим щоб забезпечити справедливую конкуренцію і рівні умови для перевізників і постачальників палива.

Альтернативні палива мають переваги в плані скорочення емісії, створюваної існуючим парком повітряних суден. Можливості застосування деяких видів біологічного палива вже добре продемонстровані в авіації, і конкретні способи виробництва, в яких суміші займають близько 50%, вже сертифіковані.

5.4. Висновки до розділу

Необхідно забезпечити, щоб підтримка альтернативних палив була спрямована на ті види палива, які дозволяють нам з упевненістю забезпечити істотне скорочення емісії парникових газів, а також внесуть позитивний вклад в екологічну стійкість в цілому. Екологічні переваги, особливо з точки зору скорочення емісії парникових газів і екологічної стійкості, необхідно засновувати на аналізі повного життєвого циклу з урахуванням прямих і непрямих наслідків змін в землекористуванні і стійких критеріїв екологічності.

Скорочення емісії парникових газів в значній мірі залежить від виду сировини, і в окремих випадках, коли виробництво палива прямо або побічно витісняє існуючі культури. Існує ризик, що його використання може привести до більшої емісії парникових газів, ніж використання керосину. Жоден вид альтернативного авіаційного палива не слід просувати або підтримувати, не будучи повністю впевненим в тому, що він дає значно кращі результати, ніж керосин, з точки зору природоохоронних і кліматичних наслідків.

З цієї причини політика повинна будуватися на обґрунтованих наукових і реальних припущеннях про наявність відповідних сировинних матеріалів для виробництва таких видів палива. У разі наявних наукових прогалин або невизначеності слід займати консервативний підхід з тим, щоб мінімізувати негативні екологічні, соціальні та економічні наслідки.

ВИСНОВКИ

1. В результаті виконання кваліфікаційної магістерської роботи показано, що біодеструкція вуглеводневих палив є актуальною проблемою сьогодення, а його мікробіологічне ураження погіршує якість палива та здійснює негативний вплив на працездатність технологічного обладнання паливної системи транспортних засобів.

2. Розкрито основні проблеми, які спричиняє мікробіологічне ураження, а також визначено, що основними показниками якості палив, які можуть погіршуватися є кислотність та корозійність.

3. Показано, що основними мікроорганізмами, які можуть призводити до активної біодеградації палив є бактерії: *Pseudomonas*, *Microsossis*, *Mycobacterium*; гриби: *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria* та інші. Найбільш розповсюджене забруднення палива *Cladosporium Resinae* («керосиновий гриб»).

4. Візуальний контроль динаміки ураження експериментальних зразків палива показав:

- Кількість твердої дисперсної фази та ріст колоній мікроорганізмів у зразках(в порядку збільшення): №1 (РТ) < №2 (50x50) < №3 (ВІО).
- Інтенсивність запаху (сірка, аміак) зразків (в порядку збільшення): №1 (РТ) < №2 (50x50) < №3 (ВІО).
- Здатність зразків палив до мікробіологічного ураження (у порядку збільшення): №1 (РТ) < №2 (50x50) < №3 (ВІО).

5. Дослідження корозійної активності палив показало, що біокомпонент проявляє більшу корозійну активність в порівнянні з РТ, хоча в цілому задовольняє вимогам ДСТУ.

6. Дослідження впливу мікробіологічного ураження на кислотність палива показало, що кислотність РТ підвищилася на 38%, РТ+ВІО – на 67 %, біокомпонента - на 63%.

7. За результатами роботи було показано, що додавання біокомпоненту до традиційних палив потребує експлуатації транспортних засобів під посиленням технічним наглядом, враховуючи можливість погіршення ряду фізико-хімічних показників палив.

8. За результатами науково-дослідної роботи розроблені Рекомендації, щодо запобігання мікробіологічного ураження палива при тривалому зберіганні на об'єктах паливозабезпечення.

СПИСОК БІБЛЮГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Technical Information Document: Microbial – Monitoring- Strategies/ October 2015. <http://www.jigonline.com/wp-content/uploads/2018/09/TID-Microbial-Monitoring-Strategies-Oct-2015.pdf> (дата звернення: 07.10.2020).
2. IATA FUEL BOOK, Guidance Material on Microbiological Contamination in Aircraft Fuel Tanks, 5rd edition, 2015. URL: https://www.concawe.eu/wp-content/uploads/2017/01/1-3_westphal_lufthansa-2011-00790-01-e.pdf. (дата звернення: 08.10.2020).
3. Кривушина, А. А., Чекунова, Л. Н., Мокеєва, В. Л., Полякова, А. В. Изучение микромицетов, обнаруженных в топливных баках эксплуатирующихся самолетов. Микология и фитопатология. 2016. 50(2). С. 108-114.
4. Beginner’s Guide to Aviation Biofuels. URL: https://www.verifavia.com/bases/ressource_pdf/124/BeginnersGuide-BiofuelsWebRes.pdf (дата звернення: 20.10.2020).
5. Behbahani-Pour MJ, Radice G (2017) Fuel Contamination on the Large Transport Airplanes. J Aeronaut Aerospace Eng 6: 200. doi: 10.4172/2168-9792.1000200.
6. Матвеева Е.Л., Васильченко О.А., Демянко Д.А. Микробиологическое поражение авиационных топлив. Системи озброєння і військова техніка. 2011. № 2(26). С. 152–156.
7. Bacterial growth detection and removal: URL <https://www.sealaviation.com/bacterial-growth>. (дата звернення: 20.10.2020).
8. Renewable Hydrocarbon Biofuels. U.S. Department of Energy - Energy Efficiency and Renewable Energy Alternative Fuels Data Center. URL: https://afdc.energy.gov/fuels/emerging_hydrocarbon.html. (дата звернення: 25.10.2020).

9. Matvyeyeva O.L., Vasylctenko O.A., Aliieva O.R. Microbioal Biosurfactants Role in Oil Products Biodegradation. *International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation*. 2014. Vol. 2. Issue 2. P. 69-74.
10. Матвеева Е. Л. Микробиологическое поражение авиационных топлив. Е. Л. Матвеева, О. А. Васильченко, Д. А. Демянко. Системи озброєння і військова техніка. - 2011. - № 2. - С. 152-156.
11. W. Siegert. Microbial contamination in diesel fuel – are new problems arising from biodiesel blends R.E. Morris (Ed.), *Proceedings of the 11th International Conference on the Stability and Handling of Liquid Fuels; 18–22 October 2009, Czech Republic, Prague ,2009.*
12. Matvyeyeva O.L., Vasylctenko O.A., Aliieva O.R. Microbioal Biosurfactants Role in Oil Products Biodegradation// *International Journal of Environmental Bioremediation & Biodegradation*. – 2014. – Vol. 2.– Issue 2.– P. 69-74.
13. IIZUKA, H., AND K. KOMAGATA. 1964. Microbiological studies on petroleum and natural gas. I. Determination of hydrocarbon-utilizing bacteria. *J. Gen. Appl. Microbiol.* 10:207-221
14. Геохімічна діяльність мікроорганізмів та її прикладні аспекти: навч. посіб. / І. П. Козлова, О. С. Радченко, Л. Г. Степура, Т. О. Кондратюк. — К. : Наук. думка, 2008. — 528 с.
15. Boichenko, Sergii & Zubenko, Stepan & Konovalov, Serhii & Yakovlieva, Anna. (2020). Synthesis of Camelina oil ethyl esters as components of jet fuels. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 1. 42-49. 10.15587/1729-4061.2020.196947.
16. ГОСТ 5985-79 (СТ СЭВ 3963-83) «Нафтопродукты. Метод визначення кислотності і кислотного числа» (Інформація та документація).
17. ДСТУ EN ISO 2160:2012 Нафтопродукты. Метод визначення корозійної дії на мідну пластинку (EN ISO 2160:1998, IDT) (Інформація та документація).
18. Passman, F. J., 2003. Introduction to fuel microbiology. In: Passman, F. J. (Ed.), *Manual 47 - Fuel and fuel system microbiology: fundamentals, diagnosis and contamination control*, ASTM International, West Conshohocken, pp. 1- 13.

19. НПАОП 0.00-7.11-12 «Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» (Інформація та документація)
20. ДСТУ 8604:2015 «Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги» (Інформація та документація).
21. ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення» (Інформація та документація).
22. ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення Зміна № 1» (Інформація та документація).
23. ДСТУ 4488:2005 «Нафта і нафтопродукти. Методи відбирання проб» (Інформація та документація).
24. ГОСТ12.4.124-83. «ССБТ. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования» (Інформація та документація).
25. НПАОП 40.1-1.32-01. «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» (Інформація та документація).
26. ПУЕ:2006. «Правила улаштування електроустановок» (Інформація та документація).
27. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» (Інформація та документація).
28. ГОСТ 17.2.3.02-78 «Охрана природы. Атмосфера правила встановлення допустимих викидів шкідливих речовин промисловими підприємствами» (Інформація та документація)
29. Lee D., Fahey D.W., Forster P.M. et al. Aviation and global climate change in 21st century // *Atm. Environ.* 2009. Vol. 43. P. 3520-3537.
30. Olsen S.C., Brasseur G.P., Wuebbles D.J., Barret S.R.H. et al. Comparison of model estimates of the effects of aviation emissions on atmospheric ozone and methane // *Geophys. Res. Let.* 2013. Vol. 40. P. 6004-6009. doi:10.1002/2013GL057660.

31. On Board. A sustainable future. Environmental Report. – ICAO, 2016. (Інформація та документація).

32. ДСТУ 8606-1:2015 «Вода природних джерел. Захист від забруднювання. Частина 1. Основні положення» (Інформація та документація).

33. Aviation's impact on the environment URL[^]
<https://aviationbenefits.org/environmental-efficiency/aviations-impact-on-the-environment> (Дата звернення 20.11.2020)

34. Agency for Toxic Substances and Disease Registry Division of Health Education, E33 1600 Clifton Road, NE Atlanta, GA 30333(Інформація та документація).

35. Проблеми забруднення атмосферного повітря при експлуатації аеропортів цивільної авіації: брошура / [О. Запорожець, К. Синило, К. Ульянова, А. Крупко, В. Парашанов]; за ред. К. Синило. – Київ : НЕЦУ, 2018. – 20 с.