

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. Кустовська
« ____ » _____ 2021р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «БАКАЛАВР»

за спеціальністю: 161 «Хімічні технології та інженерія»
освітньо-професійної програми «Хімічні технології альтернативних
енергоресурсів»

**Тема: «Низькотемпературні властивості біокомпонентів авіаційних
палив на основі етилових та ізобутилових естерів жирних кислот»**

Виконавець: студент 407 групи ФЕБІТ Максимів О.Л. _____

Керівник: доцент, к.т.н. Яковлєва А.В. _____

Нормоконтролер: доцент, к.х.н. Максимюк М.Р. _____

Київ 2021

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. Кустовська
« ____ » _____ 2021р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Максимів Олег Любомирович

1. Тема роботи: «Низькотемпературні властивості біокомпонентів авіаційних палив на основі етилових та ізобутилових естерів жирних кислот», затверджена наказом ректора від 01.04.2021р. № 530/ст.

2. Термін виконання роботи: з 24 травня 2021 р. по 20 червня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: технологічний процес одержання біокомпонентів альтернативних авіаційних палив, зразки палива для ПРД марки РТ; етилові та ізобутилові естери жирних кислот пальмоядрової олії.

4. Зміст пояснювальної записки: Огляд сучасного стану галузі авіапаливо забезпечення. Розділ 2. Альтернативні авіаційні палива з біокомпонентами рослинного походження. Розділ 3. Низькотемпературні властивості біокомпонентів авіаційних палив на основі етилових та ізобутилових естерів жирних кислот. Висновки. Список використаних літературних джерел.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстраційного) матеріалу: таблиці, рисунки, діаграми.

6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Узгодження змісту дипломної роботи	24.05.2021	
2.	Проведення пошуку та аналізу літературних джерел відповідно до теми дипломної роботи	24.05.2021 – 25.05.2021	
3.	Підготовка Розділу 1 «Сучасний стан галузі авіапаливо забезпечення»	26.05.2021 – 28.05.2021	
4.	Підготовка Розділу 2 «Альтернативні авіаційні палива з біокомпонентами рослинного походження»	29.05.2021 – 31.05.2021	
5.	Підготовка Розділу 3 «Низькотемпературні властивості біокомпонентів авіаційних палив на основі етилових та ізобутилових естерів жирних кислот»	01.06.2021 – 02.06.2021	
6.	Проведення експериментальних досліджень	02.06.2021 – 04.06.2021	
7.	Опрацювання одержаних експериментальних результатів	04.06.2021 – 05.06.2021	
8.	Формулювання висновків	06.06.2021	
9.	Оформлення дипломної роботи, підготовка доповіді та презентації	07.06.2021	
10.	Попередній захист дипломної роботи	09.06.2021	
11.	Захист дипломної роботи	17.06.2021	

7. Дата видачі завдання: «24» травня 2021 р.

Керівник дипломної роботи _____ к.т.н., Яковлева А.В.

Завдання прийняв до виконання _____ Максимів О.Л.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи: «Низькотемпературні властивості біокомпонентів авіаційних палив на основі етилових та ізобутилових естерів жирних кислот» містить 58 с., 13 рис., 9 табл., 33 літературних джерел.

Мета роботи: визначити оптимальний вміст біокомпонентів на основі етилових та ізобутилових естерів жирних кислот у складі авіаційних палив для забезпечення їх достатніх низькотемпературних властивостей.

Об'єкт дослідження: використання авіаційних палив з вмістом біокомпонентів на основі етилових та ізобутилових естерів жирних кислот за понижених температур.

Предмет дослідження: низькотемпературні властивості авіаційних палив з вмістом біокомпонентів на основі етилових та ізобутилових естерів жирних кислот.

Методи дослідження: монографічний, аналітичний методи, порівняння, аналіз, систематизація, узагальнення, стандартні методи визначення температури початку кристалізації та кінематичної в'язкості.

РОСЛИННА СИРОВИНА, АВІАЦІЙНІ ПАЛИВА, БІОКОМПОНЕНТИ, ЕТИЛОВІ ЕСТЕРИ ЖИРНИХ КИСЛОТ, ІЗОБУТИЛОВІ ЕСТЕРИ ЖИРНИХ КИСЛОТ, В'ЯЗКІСТЬ, ТЕМПЕРАТУРА КРИСТАЛІЗАЦІЇ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ГАЛУЗІ	
АВІАПАЛИВОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	12
1.1. Виробництво та використання авіаційних палив в Україні та у світі....	12
1.2. Вплив авіаційної галузі на довкілля.....	17
1.3. Сучасні тенденції щодо екологізації авіаційної галузі.....	22
1.4. Висновки до розділу	24
РОЗДІЛ 2. АЛЬТЕРНАТИВНІ АВІАЦІЙНІ ПАЛИВА З	
БІОКОМПОНЕНТАМИ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ.....	25
2.1. Огляд сировинної бази для одержання біокомпонентів авіаційних палив.....	25
2.1.1. Аналіз асортименту рослинної сировини для виробництва біокомпонентів авіаційних палив.....	25
2.1.2. Аналіз спиртової сировини для виробництва біокомпонентів авіаційних палив.....	28
2.2. Технологія одержання біокомпонентів авіаційних палив.....	29
2.3. Одержання біокомпонентів на основі пальмоядрової олії, етилового та ізобутилового спиртів.....	31
2.4. Висновки до розділу	34
РОЗДІЛ 3. НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНІ ВЛАСТИВОСТІ БІОКОМПОНЕНТІВ АВІАЦІЙНИХ ПАЛИВ НА ОСНОВІ ЕТИЛОВИХ ТА ІЗОБУТИЛОВИХ ЕСТЕРІВ ЖИРНИХ КИСЛОТ.....	35
3.1. Низькотемпературні властивості палив для газотурбінних двигунів ...	35
3.2. Методи досліджень.....	41
3.2.1. Метод дослідження кінематичної в'язкості.....	42
3.2.2. Метод дослідження температури початку кристалізації.....	44
3.2.3. Характеристика досліджуваних зразків палива.....	45

3.3. Результати досліджень.....	46
3.4. Висновки до розділу	53
ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

IATA – міжнародна асоціація повітряного транспорту

ICAO – міжнародна організація цивільної авіації

IEA – міжнародне енергетичне агентство

ААП – альтернативне авіаційне паливно

ВГ – відпрацьовані гази

ГТД – газотурбінний двигун

ЕЖК – естери жирних кислот

ЕЕЖК – етилові естери жирних кислот

ЖК – жирні кислоти

Ізо-БЕЖК – ізобутилові естери жирних кислот

ЛА – літальні апарати

ВСТУП

Актуальність роботи. В останні роки відновлювані джерела енергії набувають все більшого значення через обмежену кількість регіонів, де виробляється паливо на нафтовій основі, яке постійно виснажується, та і безперервним підвищенням вартості нафти на нафтопродукти.

Сучасна авіація є одним з основних споживачів вуглеводневого палива і, як наслідок, завдає значної шкоди навколишньому середовищу, оскільки продукти згоряння авіаційного палива є джерелом забруднення атмосфери. В даний час авіаційний сектор шукає альтернативи авіаційному паливу для газотурбінних двигунів (ГТД) на нафтовій основі, як частину зусиль, спрямованих на боротьбу зі зміною клімату шляхом зменшення викидів парникових газів, зокрема вуглекислого газу (CO₂) та забезпечення безпеки постачання за доступними цінами.

Стале альтернативне авіаційне паливо може допомогти вирішити ці проблеми. Таким чином провідні країни світу та міжнародні організації з питань діяльності авіаційної галузі ставлять вимоги щодо необхідності впровадження альтернативних авіаційних палив. Відповідно до вимог Міжнародної організації повітряного транспорту викиди CO₂ необхідно до 2050 р. зменшити на 50 %. Частка авіаційних біопалив повинна становити до 2017 р. уже 10 %.

Біопаливо, яке може замінити нафтове паливо та допомогти у зниженні викидів, ретельно досліджується у розвинених країнах на предмет незалежності, створюючи кращі умови та сталість. Біопаливо, яке вже використовується для наземних транспортних засобів, також може бути впроваджене в авіаційному секторі для зменшення витрат на паливо та викидів. Загалом, авіаційне паливо, виготовлене зі стійких ресурсів, також сприятиме соціальному та економічному розвитку. Тому ведуться розробки по використанню палив ненафтового походження, які можна буде використовувати у суміші з традиційним паливом.

В останні роки спостерігається зростання інтересу до палива, яке отримують з відновлюваних енергетичних ресурсів рослинного походження, сировинна база який практично необмежена. Перш за все, це біопаливо, виготовлені з рослинної олії. Вартість такого палива не відрізняється від вартості традиційного палива або навіть нижче.

Однак використання альтернативних авіаційних палив на основі рослинної олій повинні будуть задовольняти низку вимог, пов'язаних з ефективністю, надійністю і довговічністю авіаційної техніки. Тому модифікування палив для ГТД компонентами з рослинного походження та дослідження властивостей є актуальним завданням.

Мета і завдання виконання дипломної роботи.

Мета роботи – визначити оптимальний вміст біокомпонентів на основі етилових та ізобутилових естерів жирних кислот пальмоядрової олії у складі альтернативних авіаційних палив для забезпечення їх достатніх низькотемпературних властивостей.

Завдання:

- Проаналізувати вплив авіаційної галузі на довкілля, а також стан виробництва та використання авіаційних палив в Україні та в світі;
- Проаналізувати асортимент доступної сировини для виробництва біокомпонентів авіаційних палив та обґрунтувати використання пальмоядрової олії, етанолу та ізобутанолу для синтезу біокомпонентів;
- Дослідити низькотемпературні властивості біокомпонентів авіаційних палив на основі етилових та ізобутилових естерів жирних кислот пальмоядрової олії;
- Дослідити низькотемпературні властивості сумішевих альтернативних авіаційних палив з вмістом біокомпонентів на основі етилових та ізобутилових естерів жирних кислот пальмоядрової олії;

Об'єкт дослідження – використання авіаційних палив з вмістом біокомпонентів на основі етилових та ізобутилових естерів жирних кислот пальмоядрової олії за понижених температур.

Предмет дослідження – низькотемпературні властивості авіаційних палив з вмістом біокомпонентів на основі етилових та ізобутилових естерів пальмоядрової олії жирних кислот.

Методи дослідження: монографічний, аналітичний методи, порівняння, аналіз, систематизація, узагальнення, стандартні методи визначення температури початку кристалізації та кінематичної в'язкості.

Практичне значення отриманих результатів.

Показано, що застосування ізо-БЕЖК пальмоядрової олії у кількості 20 % (об.) цілком забезпечує задовільні низькотемпературні властивості альтернативних палив для ГТД.

Особистий внесок випусника: аналітичний огляд літературних джерел, порівняльний аналіз сировинної бази для виробництва альтернативних авіаційних палив, дослідження низькотемпературних властивостей біокомпонентів на основі етилових та ізобутилових естерів жирних кислот та сумішевих альтернативних авіаційних палив на їх основі, аналіз та обґрунтування результатів, формулювання висновків.

Апробація отриманих результатів.

Перемога за участь у Всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт 2019/2020 н.р. із галузі «Техногенна безпека» диплом I-го ступеня (Україна, Львів, 24 березня, 2020 р.).

Участь у V-му Всеукраїнському конкурсі «Молодь і прогрес у раціональному природокористуванні» (Україна, Київ, 5 червня 2020 р.).

Результати дипломної роботи доповідалися на:

1. Максимів О., Бошков В. Підвищення техногенної безпеки авіаційної галузі упровадженням альтернативних авіаційних палив. / Максимів О. //

Всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт із галузі «Техногенна безпека» - Львів: ЛДУ БЖД, 2020.

2. Maksymiv O.L., Boshkov V.V., Yakovleva A.V. Improvement of environmental safety of the aviation sector by implementation of alternative jet fuels // XX Міжнародна науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених «Політ. Сучасні проблеми науки», 2020 р.: тези доповідей – К.: НАУ, 2020. – с. 75-76.

3. Maksymiv O.L., Yakovleva A.V. Technological processes of producing alternative aviation fuels from alcohol raw materials // Polit. Challenges of science today. Environmental safety, engineering and technologies: abstracts of XXI International conference of higher education students and young scientists. – National Aviation University. – Kyiv, 2021. – 97-98 P.

4. Максимів О., Яковлева А. Низькотемпературні властивості біокомпонентів авіаційних палив на основі етилових та ізобутилових естерів жирних кислот // VIII Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми хімотології. Теорія та практика раціонального використання традиційних і альтернативних енергоресурсів», 21-25 червня 2021 р.: тези доповідей, с. 80.

РОЗДІЛ 1.

СУЧАСНИЙ СТАН ГАЛУЗІ АВІАПАЛИВО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

1.1. Виробництво та використання авіаційних палив в Україні та у світі

Сучасна цивільна авіація постійно розвивається. Світовий обсяг авіаперевезень збільшується на 4-5% щороку. Розширення парку літальних апаратів та збільшення кількості виконуваних польотів призводить до збільшення споживання авіаційного палива. На сьогодні за даними World Airfleet, у світі нараховується біля 2 тисячі авіакомпаній, котрі мають 50 тис. літаків. За прогнозами фахівців Міжнародної асоціації повітряного транспорту до 2025 р. світовий парк цивільної авіації складе 35 тис. одиниць. Як результат протягом останнього десятиліття споживання авіаційних палива для повітряно-реактивних двигунів зросло на 21% [1,2]. За даними аналітичного веб сайту www.indexmundi.com світове споживання реактивного палива становить близько 5381,4 тисяча барелів палива на день для повітряно-реактивних двигунів [3].

За даними Європейської комісії, прямі викиди від авіації становлять 3% загальних викидів парникових газів в ЄС та понад 2% глобальних викидів. У той час як пандемія коронавірусу спричинила падіння кількості польотів та пов'язаних з цим викидів, очікується повернення тенденції до збільшення повітряних перевезень, що вимагає подвоєння зусиль щодо боротьби з викидами та сприяння досягненню цілей Паризької угоди щодо утримання глобального потепління нижче 2 °С вище до індустріального рівня та продовжувати зусилля щодо обмеження підвищення до 1,5 °С.

Глобальне споживання палива комерційними авіакомпаніями щороку зростало з 2009 року і досягло найвищого рівня у 95 мільярдів галонів у 2019 році. Однак через пандемію коронавірусу споживання палива впало лише до 52 мільярдів галонів у 2020 році. Загальні витрати пального комерційними

авіакомпаніями по всьому світі між 2005 і 2021 роками зображено на рис. 1.1 [4].

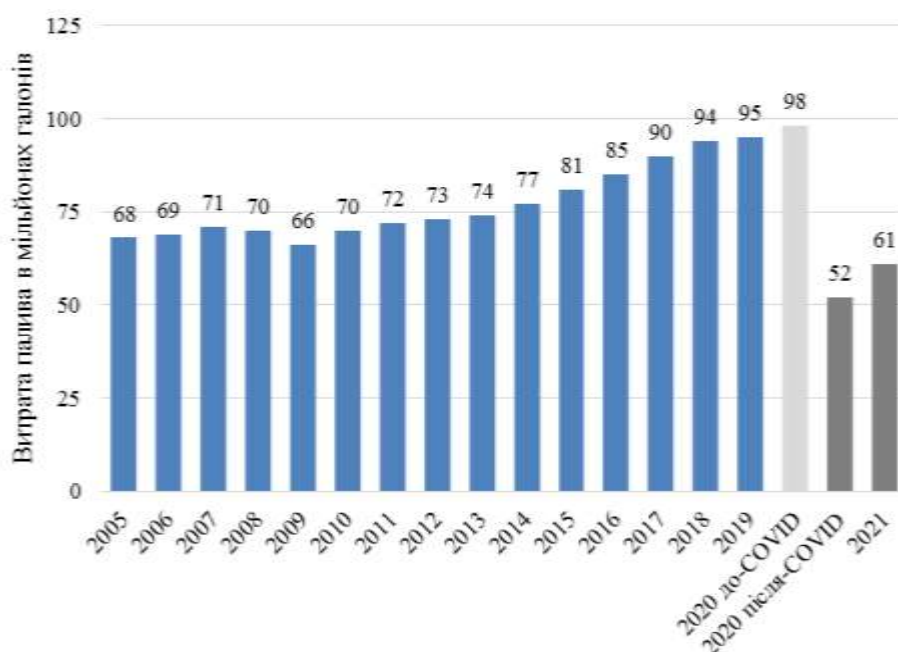


Рис. 1.1. Статистика споживання реактивного палива у світі з 2005 по 2021 роках

Таким чином, на сьогодні авіація є одним із найбільш значних споживачів реактивного палива, що отримується з нафти. Родовища нафти оцінюються приблизно в 40 років, природного газу – 70 років і вугілля - 230 років. Викиди CO_2 , що супроводжують процеси виробництва та використання палива, призводять до посилення парникового ефекту, а отже, глобального потепління. Міжурядова комісія з питань зміни клімату та Міжнародне енергетичне агентство (IEA) заявляють, що сучасна авіація є джерелом близько 2% від загального обсягу CO_2 у світі викидів. Окрім вихлопних газів літака CO_2 міститься ряд інших компонентів, які негативно впливають на стан довкілля: SO_x , NO_x , CO , CH_4 , сажа та інші.

Традиційно паливо для газотурбінних двигунів виробляють із сирової нафти, вугілля, природного газу та горючих сланців. Однак технології досить енергоємні та важкі для їх реалізації. Сприяє обмеженню світових родовищ нафти та іншого викопного палива розробка альтернативних технологій

виробництва реактивного палива. Сьогодні число організації приділяють велику увагу розслідуванню існуючих та нових, що з'явилися технології виробництва альтернативних авіаційних палив. Вчені визначають авіаційне паливо, отримане з: сира нафта, нетрадиційна нафта (нафтові піски та сланці), природний газ, вугілля або біомаса через FT-процес, відновлювані олії (біодизель, біокеросин, гідрооброблена відновлювана реактивна або гідроочищена рослинна олія - HVO) та спирти (етанол та бутанол). Однак паливо на спиртовій основі підходить лише для авіаційних поршневих двигунів. Найкращими перспективами є паливо, отримане з рослинної сировини - так зване біопаливо. Міжнародне енергетичне агентство (МЕА) прогнозує частку біопалива в загальному балансі пального у транспортному секторі досягне 4% до 6% до 2030 року. Обговорюючи стан виробництва біопалива в Україні, це слід згадати цей рівень розвитку галузі виробництва біопалива значно нижчий, ніж у країнах ЄС. За даними Калетника (2008), загальне постачання первинних джерел енергії в Україні становить більше 130 млн. тонн нафтового еквівалента, але кількість біопалива становить лише 1,48 млн. тонн 1,13% у структурі енергопостачання. Водночас у країнах ЄС цей показник сягає 6,72%. Загальний обсяг постачання первинної енергії в країнах ЄС оцінюється в 1759 млн. тонн нафтового еквіваленту із часткою біопалива 118 млн т [1].

В Україні і в усьому світі паливо для газотурбінних двигунів класифікують за такими показниками [5]:

- випаровуваність (межі википання);
- займистість (температура спалаху);
- прокачуваність (температуру кристалізації).

Авіаційний керосин є основним паливом для польотів реактивних лайнерів. Найпоширенішими на території України є три основні марки палив для ГТД: ТС-1 (вищого та першого сортів), РТ (вищого сорту) і, з недавнього часу, JetA-1 [2,5].

Основною сировиною для виробництва масових палив для ГТД є середньодистилятна фракція нафти, що википає в межах температур 140-280 °С [6]. Основним виробником палив для ГТД є Кременчуцький нафтопереробний завод. Вимоги до цих палив регулюються галузевими стандартами ГСТУ 320.00149943.007 «Паливо, для реактивних двигунів марки «РТ». Технічні умови» і ГСТУ 320.00149943.011 «Паливо ТС-1 для реактивних двигунів. Технічні умови». Вимоги до палива сорту Jet A-1, що імпортується в Україну, встановлюється державою стандарт ДСТУ 4796: 2007 «Паливо авіаційне для газотурбінних двигунів ДЖЕТ А-1. Технічні умови». Все це сорти реактивного палива отримують із звичайної нафти.

У загальному вигляді технічні вимоги до палив для ГТД можуть бути сформовані так [2,5]:

- мати рівень випаровуваності, що забезпечує надійну займистість і повноту згорання палива;
- мати низькотемпературні властивості, що забезпечують надійну прокачування палива при від'ємній температурі;
- бути хімічно й термічно стабільними з мінімальною схильністю до утворення відкладень у паливній системі двигуна;
- не впливати негативно на металеві й неметалеві деталі паливних систем двигуна, устаткування для зберігання й транспортування палива;
- мати мастильну здатність, що виключає підвищене зношування тертьових деталей паливних агрегатів;
- мати оптимальний рівень електропровідності, що виключає електризацію палива й забезпечує безпеку перекачування палива;
- не містити токсичних компонентів, домішок і присадок, містити мінімальну кількість сірчистих сполук, не утворювати екологічного небезпечних продуктів згорання.

За даними консалтингової компанії UPECO, в 2018 році баланс ринку авіаційного палива в Україні зріс на 56%, майже до 800 тис. т (рис. 1.2). Головним драйвером зростання стали імпорتنі поставки, які збільшилися на

69% до 573,5 тис. т. Вражаючими виглядають підсумки трьох років: з 2015 року імпорт авіаційного палива виріс в 5 разів до 573,5 тис. т. Зростання споживання авіапалива можна було б списати на «безвіз» і, як не хотілося б, - на військові дії (тренувальні і розвідувальні вильоти). Однак рекордні цифри ніяк не співвідносяться з польотами авіації в повітряному просторі України [7].

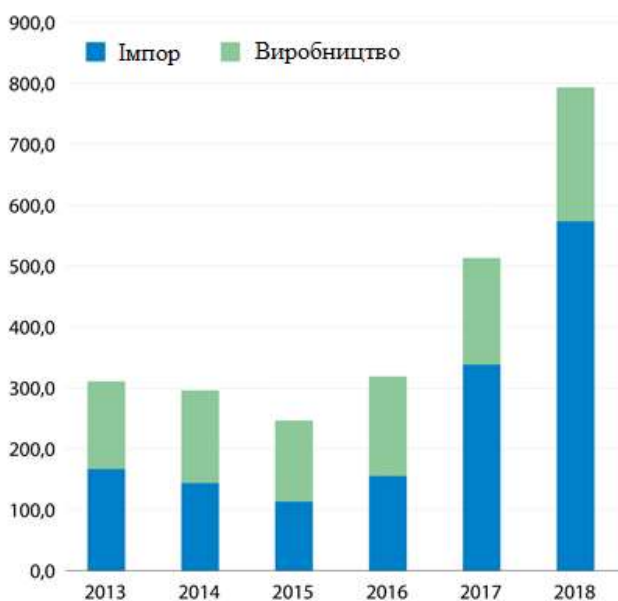


Рис. 1.2. Баланс ринку авіапалива в Україні в 2013-2018 роках, тис. т

Україна, а також інші європейські держави характеризуються дефіцитом запасів нафти. Україна щорічно споживає близько 130 млн т паливно-енергетичних ресурсів, задоволення потреби в енергетичних ресурсах приблизно на 53%. З метою задоволення потреб цивільної авіації Україна потребує близько 400 000 тонн авіаційного керосину. В той самий час сфера виробництва реактивних палив характеризується протилежною ситуацією. Виробництво авіаційного палива на українських підприємствах у 2011 році зменшилося на 16,6% порівняно з попередніми роками, що становить до 282 000 тонн.

Узагальнюючи світовий досвід розробки альтернативних авіаційних палив, можна зробити висновки, що найбільш оптимальним видом авіаційного біопалива є біокеросин, який отримують з рослинної сировини.

Технологія виробництва біокеросину здавалося найбільш раціональним як для українських, так і для усього світу. Цей вид біопалива отримують шляхом переробки олійних рослин. Біокеросин - це суміш традиційного керосину, вироблений із сирової нафти, та певні концентрації біокомпонентів. Відсоток біокомпонента може досягати 50%. Біокомпонент – це метилові або етилові естери жирних кислот (FAME або FAEE), які отримують при етерифікації рослинних олій. Це пояснюється низкою таких факторів як доступністю вихідної сировини, зрілість технології, наявність необхідного обладнання, задовільні фізико-хімічні та експлуатаційні властивості такого роду біопаливо, а також його екологічна безпека [1].

1.2. Вплив авіаційної галузі на довкілля

Екологічна безпека та охорона довкілля передбачає зменшення негативного впливу авіаційної діяльності на навколишнє середовище, визначення екологічної ємності аеропортів, посилення ролі екологічного управління, удосконалення та розробка національної нормативно-правової бази та адаптація її до міжнародних вимог.

З метою регулювання діяльності з питань охорони навколишнього середовища Державіаслужба розробляє та запроваджує нормативно-правову базу, яка дозволить реалізувати практику та рекомендації ICAO в політиці охорони навколишнього природного середовища в галузі авіації.

Серед основних проблем охорони довкілля від впливу авіації визначають [8]:

- забруднення атмосферного повітря, ґрунтів, водних об'єктів через викиди шкідливих речовин з авіадвигунів та стаціонарних джерел;
- шумове забруднення;
- негативний вплив на довкілля при перевезенні небезпечних і радіоактивних речовин, у т.ч. аварійні забруднення через використання неякісної, застарілої техніки.

- емісія (респіраторні захворювання; токсичні симптоми; дискомфорт);
- викиди парникових газів (глобальне потепління; зміна клімату)
- екологія території аеропорту (забруднення навколишнього середовища).

Одним із чинників негативного впливу авіації на навколишнє середовище є шум, що регламентується вимогами міжнародного стандарту (Додаток 16, т. 1 ІСАО до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію). Під його вплив потрапляє порівняно велике число людей, що проживають поблизу аеропорту, а також обслуговуючий технічний персонал, працівники аеропорту і пасажери, працівники виробничих підприємств, розміщених у зонах з інтенсивним шумом. Авіаційний шум негативно впливає на здоров'я людей (найчастіше це погіршення слуху, стресові стани, проблеми, пов'язані з концентрацією уваги, перешкоди мовного спілкування). Політика ІСАО з проблеми авіаційного шуму передбачає розвиток заходів щодо пом'якшення акустичного забруднення: впровадження технологій скорочення шуму, наземне планування (наприклад, заборони на польоти в нічний час), жорсткість стандартів по шуму для існуючого парку літаків і розробку стандартів для нових моделей повітряних суден (ПС). В даний час розробляються принципово нові конструкції ПС і концепції двигунів, виробники прагнуть до того, щоб їхня продукція відповідала найвищим вимогам екологічних стандартів [9, 10].

Нормованим параметром авіаційного шуму літаків являється максимальне значення EPN – ефективного рівня сприйманого шуму в децибелах, що визначається за вимірюваннями шуму при зльоті, наборі висоти і посадці літака [5].

Хімічне забруднення повітря в аеропортах представлено такими авіаційними емісіями як оксиди вуглецю (CO, CO₂), азоту (NO_x), сірки (SO_x), вуглеводнями (HC) і зваженими частинками, що утворюються в результаті роботи двигунів і спалювання авіаційного палива.

Джерела емісій, пов'язані з авіацією, здатні поширюватися і приводити до погіршення якості повітря в прилеглих населених пунктах. Ці емісії представляють потенційний ризик суспільному здоров'ю і навколишньому середовищу, оскільки можуть викликати збільшення концентрації приземного озону, приводити до випадання кислотних дощів. Особливу увагу також приділяється впливу авіації на навколишнє середовище, пов'язаного з якістю води, прибиранням відходів, споживанням енергії, і впливу на локальну екологію поблизу аеропортів (особливо актуально запобігання витокам палива).

За останні кілька десятиліть були досягнуті значні успіхи в питанні скорочення емісій в зв'язку з підвищенням екологічності авіаційних палив (часткова заміна гасу на скраплений природний газ або біопаливо) і технічними удосконаленнями авіаційних двигунів (збільшенням їх тягової ефективності, який передбачає зменшення споживання палива). Однак цей прогрес може нівелюватися в майбутньому зростанням активності повітряних перевезень [10].

Основними продуктами згорання енергоресурсів, у тому числі й авіаційних палив, є CO_2 та H_2O . З досліджень Міжнародного Енергетичного Агенства (ІЕА) повідомляє, що частка викидів CO_2 в результаті діяльності авіаційного транспорту становить близько 2 % (рис. 1.3) і найближчим часом може досягнути 3 % [11].

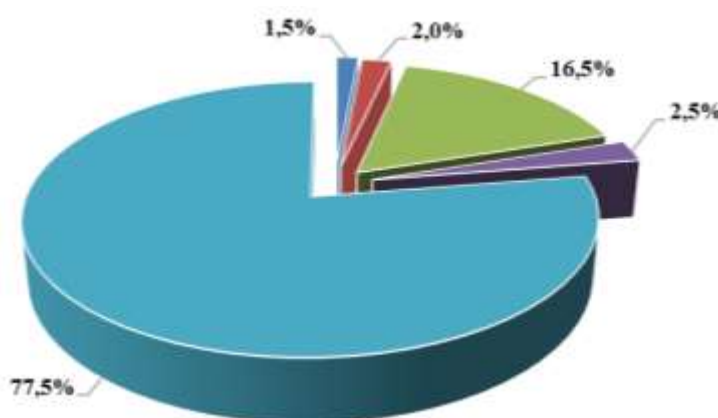


Рис. 1.3. Частка викидів CO_2 від авіації порівняно з іншими видами транспорту: 1,5 % - міжнародна авіація; 2 % - міжнародний морський

транспорт; 16,5 % - автомобільний транспорт; 2,5 % - інші види транспорту;
77,5 % - інші види енергетичних ресурсів

Крім вуглекислого газу продуктами згорання палив містять низку речовин, що негативно впливають на стан навколишнього середовища. За результатами досліджень відпрацьовані гази літальних апаратів містять близько 200 шкідливих речовин. Основними викидами, що забруднюють довкілля, у відпрацьованих газах авіаційних двигунів є оксид вуглецю (CO), різні вуглеводні C_xH_y , оксиди азоту (переважно NO та NO_2 , позначаються NO_x), оксид сірки (SO_2) та тверді частинки вуглецю у вигляді сажі (SN), що утворюються при неповному згорянні газу в вихідному соплі авіаційного двигуна, і деякі речовини в незначних кількостях (табл. 1.1) [12,13].

Таблиця 1.1

Склад відпрацьованих газів ГТД [32]

№ з/п	Сполука	Механізм утворення	Вплив на навколишнє середовище
1	CO	CO утворюється завдяки неповного згорання авіаційного палива за нестачі кисню у паливо-повітряній суміші. Сприяє утворенню озону.	Чадний газ негативно впливає на всі живі компоненти екосистем. Чадний газ найбільше впливає на серцево-судинну систему, блокує в організмі людини доступ кисню до тканин
2	CO ₂	Вуглекислий газ є продуктом повного згорання авіаційного палива. Вуглець палива окиснюється повітрям до CO ₂	CO ₂ є основним парниковим газом з довготривалим життям (50–200 pp.). Його частка від загальних викидів ГТД становить приблизно 70%. Розсіюючись в атмосфері вуглекислий газ спричиняє пряме нагрівання тропосфери під дією сонячного випромінювання
3	NO _x	NO _x утворюються під час потрапляння повітря у зону горіння з високими тиском та температурою, де молекулярний азот з'єднується з киснем з утворенням оксиду	Оксиди азоту спричиняють утворення фотохімічного смогу та руйнування озонового шару у верхніх шарах атмосфери. В організмі людини уражає центральну-нервову систему, викликає подразнення слизових оболонок

		азоту.	
4	H ₂ O	Водяна пара є іншим продуктом повного згорання палива. У процесі горіння водень окиснюється до H ₂ O	Становить приблизно 29% усіх відпрацьованих газів ГТД. Не спричиняє негативної дії на стан довкілля
5	SO _x	Оксиди сірки утворюються внаслідок окиснення сірковмісних сполук авіаційних палив киснем повітря у процесі горіння.	SO _x у вологому повітрі утворюють водні розчини сірчаної кислоти, що потрапляють на поверхню землі, знижуючи родючість ґрунту та руйнуючи хлорофілу в рослинах. Оксиди сірки знижують стійкість лакофарбувальних покриттів, спричиняють корозію металів, міцність металів, будівель
6	C _x H _y	Вуглеводні виділяються завдяки неповного згорання палива в умовах нестачі кисню у паливо-повітряній суміші	Вуглеводні є джерелами забруднень навколишнього середовища канцерогенними речовинами. В організмі людини вуглеводні чинять мутагенний, канцерогенний, наркотичний та інші токсичні ефекти
7	Сажа, тверді частинки палива		Фракції частинок до 10 мкм залишаються в атмосфері, знижують прозорість повітря, зменшують доступ ультрафіолетової радіації та погіршують мікроклімат певних регіонів. В організмі людини тверді частинки впливають на слизові оболонки та дихальну систему

Такий вплив авіаційного транспорту на довкілля змушує організації, по-перше, підвищувати екологічні вимоги до авіаційних палив, а по-друге поширювати впровадження альтернативних екологічно безпечних палив.

Міжнародна асоціація повітряного транспорту (IATA) визнає необхідність вирішення глобальних викликів, пов'язаних із зміною клімату, та прийняла низку амбіційних цілей щодо зниження рівня викидів CO₂ від повітряного транспорту [14]:

- середнє покращення паливної ефективності на 1,5% на рік з 2009 по 2020 рік;
- обмеження чистих авіаційних викидів CO₂ з 2020 року (нейтральне вуглецеве зростання);

- зменшення чистих авіаційних викидів CO₂ на 50% до 2050 року, порівняно з рівнем 2005 року.

1.3. Сучасні тенденції щодо екологізації авіаційної галузі

Занепокоєння навколишнього середовища щодо зміни клімату, газоподібних викидів та шуму стає все більш важливим політичним, економічним та соціальним питанням для авіації. Вирішення екологічної проблеми є останнім великим викликом, з яким стикається глобальна авіація. Хоча авіація становить лише 2% глобальних викидів CO₂, повітряний транспорт генерує 0,6 мільярда тонн CO₂ на рік.

Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO) є світовим лідером у питаннях екологічної авіації, розробивши низку стандартів, політики та керівних матеріалів для застосування інтегрованих заходів державами-членами. Вони стосуються шуму та викидів повітряних суден, що охоплюють технологічні вдосконалення, експлуатаційні процедури, належну організацію повітряного руху, відповідне планування використання аеропорту та землекористування та використання ринкових варіантів.

Оскільки авіаційна діяльність у Європі зростає, тиск на операторів повітряних суден, аеропорти та управління повітряним рухом (ATM) посилює дискусію щодо впливу авіації на навколишнє середовище. На міжнародному рівні ще не визначено, чи можна досягти екологічно стійкої системи повітряного руху та одночасно задовольнити попит.

Необхідність усунення несприятливого впливу авіації на навколишнє середовище є на порядку денному міжнародної галузі повітряного транспорту, і в Європі добре визнана у статті I переглянутої Конвенції ЄВРОКОНТРОЛ. Це зобов'язує договірні сторони досягти гармонізації та інтеграції системи, враховуючи, зокрема, необхідність мінімізувати будь-який несприятливий вплив на навколишнє середовище.

Ірландське авіаційне управління (ІАА) прагне мінімізувати вплив на навколишнє середовище, спричинений регулюванням безпеки та діяльністю аеронавігаційного обслуговування. Адміністрація прагне працювати з міжнародними авіаційними органами з метою захисту навколишнього середовища шляхом реалізації екологічної політики. Ця політика застосовує найкращу міжнародну практику щодо зменшення викидів, що впливають на клімат, та шкідливого впливу шуму від повітряних суден та реалізації ініціатив щодо економії енергії на всіх об'єктах ІАА.

ІАА присвячена розробці інноваційних ініціатив з управління повітряним рухом, які мінімізують вплив авіації на навколишнє середовище. Ці ініціативи у повітряному просторі працюють над зменшенням відстані, яку пролітають літаки, що, у свою чергу, зменшує їх спалення палива та викиди CO₂.

Запроваджений у 2009 році, проект ENSURE видалив незліченну кількість застарілих повітряних маршрутів та запровадив вільний повітряний простір. Це вирізало старі „зигзагоподібні” маршрути польоту і пропонує авіакомпаніям більш ефективні маршрути від точки до точки, коли вони пролітають над повітряним простором Ірландії, зменшуючи тим самим спалення палива та викиди CO₂. У 2012 році, за підрахунками, було заощаджено приблизно 14 800 тонн палива та 46 800 тонн CO₂.

Запроваджена у грудні 2012 року, Dublin Point Merge впорядковує спосіб послідовності посадки літаків в аеропорту Дубліна та використовує нові технічні засоби, щоб допомогти авіакомпаніям виконувати польоти на підходах безперервного спуску до основної злітно-посадкової смуги. Це майже викоринило необхідність переведення літаків на традиційні кругові схеми утримання в Дубліні та значно зменшує спалювання повітряного пального та викиди CO₂ [15].

Міжнародні організації, такі як ІКАО, ІАТА, САЕР повинні враховувати вимоги, щодо екологізації цивільної авіації. Серед цих вимог слід приділяти такі: зниження викидів вуглекислого газу літальними

апаратами, зменшення токсичності їх відпрацьованих газів (NO_x , SO_2 та інші речовини).

Зважаючи на ті та інші фактори, альтернативні авіаційні палива які виробляються та використовуються сьогодні у світі повинні задовольняти такі вимоги [16]:

- бути доступними та поширеними у всьому світі з метою забезпечення міжнародних польотів;
- літальні апарати в яких термін експлуатації великий (більше 30 років) вимагає альтернативні палива бути сумісними з деталями двигуна та не потребувати значних його переобладнань;
- альтернативні палива які проходять жорстку процедуру сертифікації повинні відповідати повної відповідності показникам якості традиційних реактивних палив;
- альтернативні авіаційні палива повинні бути екологічно безпечними та здатними забезпечити постійно зростаючі потреби авіації в паливі.

1.4. Висновки до розділу

За результатами роботи над першим розділом проаналізовано сучасний стан виробництва і використання палив для ГТД у світі та в Україні зокрема; проаналізовано вплив авіаційної галузі на стан навколишнього середовища, а саме авіаційний шум, емісію шкідливих речовин, об'єми та структуру викидів відпрацьованих газів повітряних суден; визначено, що одним із шляхів зменшення впливу авіації на довкілля є упровадження альтернативних палив.

РОЗДІЛ 2

АЛЬТЕРНАТИВНІ АВІАЦІЙНІ ПАЛИВА З БІОКОМПОНЕНТАМИ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ

2.1. Огляд сировинної бази для одержання біокомпонентів авіаційних палив

Одним з широко відомих способів одержання біокомпонентів, що можуть використовуватися для компаундування з традиційними авіаційними паливами є переестерифікація рослинних олій простими спиртами з подальшим облагородженням одержаних естерів. У той же час перспективними напрямками розвитку технологій одержання біокомпонентів авіаційних палив є розширення сировинної бази для їх одержання.

2.1.1. Аналіз асортименту рослинної сировини для виробництва біокомпонентів авіаційних палив

Вихідною сировиною для виробництва біокомпонентів є олії, отримані з насіння різних сільськогосподарських маслянистих рослин: ріпак, соняшник, ятрофа, ріпак, пальмова олія тощо. При виборі необхідної вихідної сировини слід враховувати такі фактори: обсяги видобутку певного виду олії (плодючість культури, основні споживачі продукції, вміст олії в рослині, потенціал її вирощування), а також це фізико-хімічні характеристики. Сьогодні у всьому світі є великий досвід у вирощуванні та переробці різних олійних рослин. Головним фактором вибору сировини є, безперечно, географічні та кліматичні умови, типові для країни-виробника і оптимальні для певного вирощування олійних рослин. Найпоширеніша рослина в США – соя, у Канаді – ріпак. Пальмова олія популярна в Мексиці, а також ятрофа, яка вважається бур'яном і може рости на найбідніших ґрунтах. Такі країни як Азії, Індонезія, Філіппіни, Малайзія, використовують

для виробництва пальмової та кокосової олія, Індія – ятрофа, країни Африки – ятрофа, соя, Бразилія – касторова олія. Наприклад, для вирощування ріпаку на 1 га території потрібно близько 170 л дизельного палива; в той же самий час урожай з цієї території можна переробити на 1,2 - 1,5 тонни біопалива [1,17].

Ріпак на протязі останніх 10-15 років залишається основною сільськогосподарською культурою для виробництва біопалив. Провідними виробниками ріпакової олії протягом 2000-2010 роках були Канада, США і такі європейські країни як Франція, Польща, Німеччина та Чехія. Найактивніше виробництво ріпаку в Україні спостерігалось протягом 2004-2008 роках. Ріпакова олія за хімічним складом та технічними характеристиками є придатною для виробництва біопалив. Однак постає питання про доцільність вирощування ріпаку як біопаливної сировини. Вчені звертають увагу на те, що культура ріпаку є вимогливою до умов вирощування, ґрунти, що традиційно використовувалися на територіях агропромислових комплексів постійно потребували внесення добрив та іншого догляду та істотно виснажували їх [18].

Ріпак (лат. *Brassica napus* L. var *oleifera* Metzg.) – однорічна олійна рослина родини хрестоцвітих. Дві форми ріпаку вирощують в Україні: ярий ріпак та озимий ріпак, який є домінуючим у нашій країні. Озимий ріпак – найбільш поширена олійна культура з родини купустяних. Насіння озимого ріпаку містять 45–50% олії, 24–31% білків і 6–12% клітковини, 24–26% безазотистих екстрактних речовин [19]. Культивування площі озимого ріпаку в 2011 р. становили понад 1 млн. га; ярий ріпак вирощували приблизно на 100 тис. га. Така нерівність пояснюється головним чином значно вищою родючістю озимого ріпаку. Сьогодні плодючість озимих порід становить близько 15–17 ц/га, тоді як ярий ріпак дає близько 7,4 ц/га. У той же час вирощування у Франції та Німеччині становить понад 30 ц/га в Чехії та Польща – понад 24 ц/га. Середня врожайність ріпакової олії становить близько 1190 л/га. Порівнюючи з соняшниковою олією, ріпакова олія не

потребує попереднього очищення від різних супутніх компонентів. Ось чому вона вважається більш доцільним для виробництва біопалив для ГТД. Більше того, певні породи ріпаку мають низький вміст ерукової кислоти вже вибрані; це ще один позитивний фактор виробництва біопалива. Кілька років тому ріпак культивували в Україні лише з метою експорту. Його внутрішня обробка була майже відсутня і не перевищувала 10%. Однак, порівняно з попередніми роками, у 2011 році спостерігалось значне збільшення обсягів внутрішньої обробки [18].

Рижій належить до капустяних культур з високим вмістом олій. Зазвичай рижій використовують у сільському господарстві як проміжну та після жнивну культуру. Рижій невибагливий до кліматичних умов і не потребує ретельної обробки та догляду. Також ці рослини витримують весняні приморозки, і у період вегетації малочутливі до посухи. Насіння рижію містить 40–50% олії, що забезпечує вихід олії близько 1250 л/га. Добре росте на всіх видах ґрунтів, окрім важких глинистих. Порівняно з іншими капустяними культурами, у посівах рижію практично немає шкідників і хвороб [20, 21].

Соняшник – основна масляниста рослина, що культивується в Україні. Його частка у загальному врожаї становить близько 70%. Насіння звичайних порід містять 50 - 52% олії, тоді як вибрані породи містять до 60%. Порівнюючи для інших олійних рослин соняшник дозволяє отримувати досить великий обсяг олії – 952 л/га (890 - л/га на середній по Україні). Останні роки характеризуються значним зростанням виробництва соняшнику. В основному це обумовлено збільшенням оброблюваних площ, а також збільшенням родючості. Сьогодні соняшникова родючість становить близько 18,4 ц/га, що набагато вище порівняно з 2002 - 2004 роками (близько 11 – 13 ц/га). Основна частина соняшнику використовується для харчової промисловості, виробництва високобілкового корму, олійної муки та інші технічні потреби. Крім цього, експортується значна сума, яка приносить цінний дохід для країни. Таким чином, незважаючи на такі величезні обсяги

виробництва, не раціонально розглядати соняшник як вихідну сировину для біопаливної промисловості, переважно виробництво реактивного біопалива [1].

Пальмоядрова олія належить до сімейства пальмових - квіткові рослини. Це тверда рослинна олія, яка виробляється з ядер плодів олійної пальми. В даний час відомо 181 рід з приблизно 2600 видами. Має приємний запах і смак. За складом і властивостями близька до кокосової олії. Ця рослина зростає в основному в тропічних та субтропічних країнах, особливо в Малайзії, Нігерії та Таїланді. Відходи пальмової олії можна використовувати як біомасу. Пальмова олія та пальмове ядро отримують із пальмової рослини, яка містить 40-50% олії. Пальмова олія містить насичені пальмітиновими жирними кислотами, лауринову та лінолеву кислоти та ненасичену олеїнову кислоту [22].

2.1.2. Аналіз спиртової сировини для виробництва біокомпонентів авіаційних палив

Етанол може вироблятися із найрізноманітніших видів сировини, як викопних, так і відновлюваних джерел. Нинішніми комерційними джерелами викопних речовин для етанолу є природний газ, нафта та вугілля. Більша частина етанолу виробляється з відновлюваної сировини. Сировиною для виробництва біоетанолу може бути целюлозо-, цукро- та крохмальвмісна сировина. Целюлозовмісна сировина являє собою лігноцелюлозні і деревні матеріали. В якості сировини можуть використовуватися енергетичні культури, сільськогосподарські, деревні та побутові відходи. Цукровмісна сировина являє собою сільськогосподарські продукти, такі як цукровий буряк, цукрова тростина та солодке сорго. Як цукровмісну сировину можуть також використовувати продукти (відходи) цукрового виробництва: меляса, буряковий сік та інші побічні продукти. Крохмальвмісна сировина являє собою сільськогосподарські продукти, такі як картопля, маніока та різні види

зернистих (кукурудза, пшениця, жито, ячмінь). Як крохмальовмісну сировину для виробництва біоетанолу найчастіше використовують кукурудзу, пшеницю, жито і ячмінь [23].

Ізобутанол. Для виробництва біобутанолу можуть бути використані звичайні типи сировини, такі як цукровий очерет, цукровий буряк, кукурудза, пшениця, кассава і сорго, що підтримає їх глобальної поширення.

У майбутньому з'являться способи отримання біопалива з лігноцелюлозної сировини швидкозростаючих енергоємних зернових культур (наприклад, трав) або сільськогосподарських відходів (наприклад, стрижні кукурудзи) [24].

Етанол за своїми фізико-хімічними властивостями суттєво відрізняється від ізобутанолу (має нижчу температуру застигання $-114\text{ }^{\circ}\text{C}$ порівняно з ізобутанолом $-108\text{ }^{\circ}\text{C}$).

До основних переваг бутанолу, можна віднести вищу теплоту згоряння у порівнянні з етанолом, що дозволяє використовувати його в більш високій концентрації в паливах навіть у чистому вигляді. Крім того, його можна отримувати з нехарчової рослинної сировини, що є ефективним способом утилізації відходів сільського господарства та лісопереробної промисловості. Бутанол безпечніший у використанні, оскільки в шість разів менше випаровується, ніж етанол. Етанол – менш токсичний, не містить канцерогенних компонентів; розшаровується за наявності води. Ізобутанол – суміш не розшаровується в присутності води, не володіє корозійними властивостями [33].

2.2. Технологія одержання біокомпонентів авіаційних палив

Технологія отримання біокомпонентів для авіаційних палив з рослинних олій полягає в реакції їх переестерифікації простим спиртом. Основним компонентом олій є повні складні естери гліцерину та вищих жирних кислот – триацилгліцериди. У результаті реакції між складним

естером та простим спиртом утворюються нові складні естери жирних кислот та вільний гліцерин. Утворені складні естери жирних кислот містять спиртовий радикал та радикал кислоти вихідного естеру [25, 32].

Переестерифікація складається з ряду послідовних реакцій з ди- та моногліцеридами як проміжними продуктами. Для проведення реакції використовують прості спирти. Сумарне рівняння переестерифікації наведено на рис. 2.1.

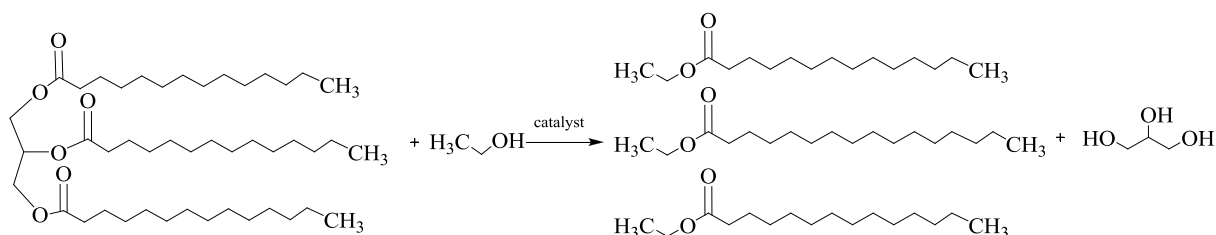


Рис. 2.1. Схема естерифікації триацилгліцеридів простим спиртом (етанолом)

Біокомпоненти для використання в авіаційних паливах отримували естерифікацією пальмоядрової олії етиловим та ізо-бутиловим спиртами. Принципова схема одержання біокомпонентів складається з низки етапів (рис. 2.2). Дослідження з синтезу біокомпонентів на основі етилових та ізобутилових естерів жирних кислот проведено співробітниками Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П. Кухаря НАН України.

Перший етап процесу передбачає підготовку вихідної сировини. Для одержання естерів жирних кислот - олія, що використовується, має бути належної якості: бути профільтрованою, не містити механічних домішок або забруднень, мати певні фізико-хімічні характеристики. Окрім того, готується спирт як агент переестерифікації, і його якісні показники повинні відповідати вимогам технології.

На другому етапі готується розчин каталізатора переестерифікації – алкоголяту лужного металу (найчастіше Na або K), зазвичай розчиняючи у всьому об'ємі вихідного спирту розраховану згідно з регламентом наважку луку [32].

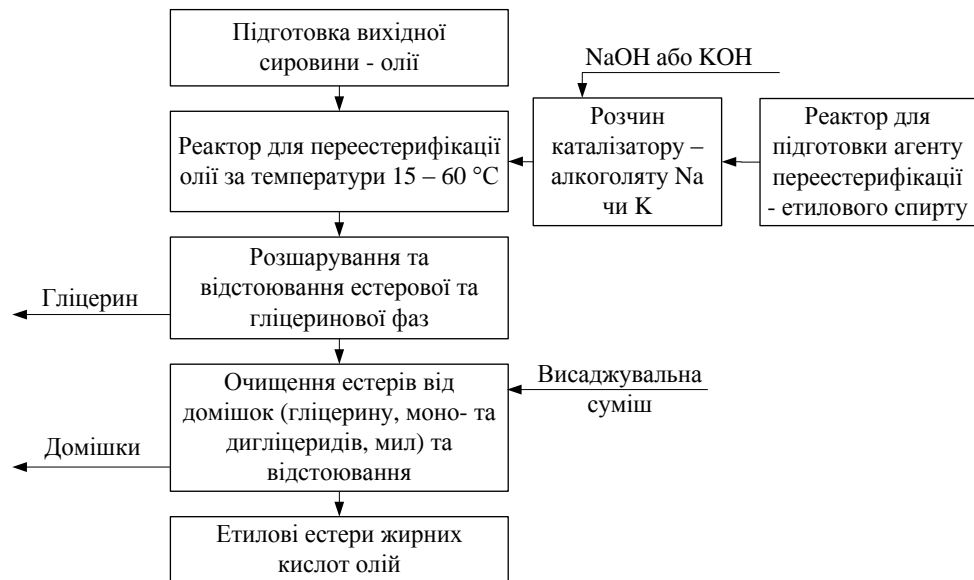


Рис. 2.2. Принципова блок-схема одержання ЕЖК олій методом алкоголізу

Наступним етапом є власне алкоголіз олії. Олія завантажується у реактор, куди при постійному перемішуванні додається спирт з розчиненим каталізатором. Реакція алкоголізу перебігає за температури 15–60 °C. У результаті перебігу цільової реакції утворюються естери та гліцерин.

По закінченні перемішування реакційну суміш відправляють на відстоювання. Упродовж певного проміжку часу, що залежить від того, які спирт та олію взято, відбувається самовільне розшарування з утворенням двох фаз – естерової та гліцеринової.

Останнім етапом процесу є очищення естерів, відгонка з естерового шару надлишкового неконвертованого спирту, якщо це потрібно, та утилізація або перероблення гліцеринової фази [32].

2.3. Одержання біокомпонентів на основі пальмоядрової олії, етилового та ізобутилового спиртів

Пальмоядрова олія (РКО або Palm Kernel Oil) добувається з насіння (волоського горіха або мигдалю) африканської пальми або олійної пальми.

Це дуже стабільна олія, яку називають лауриною через високий вміст цієї жирної кислоти.

Серед тригліцеридів в олії пальмових ядер 99% з них містять принаймні одну молекулу лауринової кислоти.

Частка загальної кількості лаурину досягає максимального рівня через 14 тижнів дозрівання, пальмітинової, стеаринової, олеїнової та лінолевої кислот, які становили 80% через 10 тижнів після плодоношення, зменшуються до 20% за чотири тижні.

При дистиляції отримують продукт, що має високий вміст вільних середньоланцюгових жирних кислот (понад 70%), серед них 48-50% лауринової кислоти (LA), та інших сполук олії пальмових ядер, таких як моно- та дигліцериди, стерини та токоферолі [26].

Основні жирні кислоти, що містяться в пальмоядровій олії є $C_{12:0}$ (лауринова кислота), яка становить приблизно 48%, $C_{14:0}$ (міристинової кислоти) приблизно 16% і $C_{18:1}$ (олеїнова кислота) близько 15%.

Як показано в таблиці 2.1, пальмоядрова кислота містить 85% насичених жирних кислот, переважно лауринову та міристинову кислоти, меншу кількість мононенасичених жирних кислот 15,4% олеїнової кислоти та 2,4% поліненасичених жирних кислот, переважно лінолевої кислоти [27].

Таблиця 2.1

Жирнокислотний склад пальмоядрової олії, %

№ з/п	Жирні кислоти	Масова частка жирних кислот, %
1	Капронова кислота $C_{6:0}$	0,2
2	Каприлова кислота $C_{8:0}$	3,3
3	Капринова кислота $C_{10:0}$	3,5
4	Лауринова кислота $C_{12:0}$	47,8
5	Міристинова кислота $C_{14:0}$	16,3
6	Пальмітинова кислота $C_{16:0}$	8,5

7	Стеаринова кислота C _{18:0}	2,4
8	Олеїнова кислота C _{18:1}	15,1
9	Лінолева кислота C _{18:2}	2,4
10	Ліноленова кислота C _{18:3}	-
11	Арахідонова кислота C _{20:0}	0,1
12	Усього насичених жирних кислот	82,1
13	Усього мононенасичених жирних кислот	15,4
14	Усього поліненасичених жирних кислот	2,4

Між ріпаковою олією та пальмоядровою олією існують великі відмінності за фізико-хімічними характеристиками. Ріпакова олія містить переважно пальмітинову (16:0) та олеїнову (18:1) кислоти, 2 загальні жирні кислоти і близько 50% насичених, тоді як олія пальмових ядер містить переважно лауринову кислоту (12:0) і насичена більш ніж на 89%.

Пальмоядрова олія містить в собі більше насичених жирних кислот, а тоді як в ріпаковій та соняшниковій олій переважають більше ненасичених жирних кислот.

Пальмоядрова олія умовно належить до легкої групи і переважно містить в собі жирнокислотні залишки до C₁₆, а інші олії такі як соняшникова, кукурудзяна входять до середньої групи у складі якої домінують жирнокислотні залишки C₁₆-C₁₈, та ріпакова яка належить до важкої групи у складі якої містяться жирнокислотні залишки більші за C₁₈ [28].

Температура застигання естерів жирних кислот, як правило, зростає з подовженням ланцюга жирних кислот і різко спадає зі збільшенням ненасиченості. Встановлено, що насичені жирні кислоти з довгим ланцюгом промотують кристалізацію. Порівняно з естерами насичених жирних кислот, що мають однакову кількість атомів вуглецю в молекулі, естери ненасичених жирних кислот мають нижчу температуру плавлення. Для ненасичених естерів з однаковою довжиною вуглеводневого ланцюга температура

плавлення та застигання зменшується із збільшенням кількості подвійних зв'язків [28, 32].

Використання як переестерифікуючого агенту етанол (температура замерзання -114 °C) і ізобутанол (температура замерзання -108) дозволяє значно покращити низькотемпературні характеристики біокомпонента. Збільшення довжини спиртового ланцюга естерів насичених жирних кислот C8–C18 сприяє пониженню температури застигання [28].

2.4. Висновки до розділу

В даному розділі розглянуто технологію одержання біокомпонентів до авіаційних палив переестерифікацією пальмоядрової олії етиловими та ізобутиловими спиртами. Розглянуто та обгрунтовано перспективні види відновлюваної рослинної сировини для одержання біокомпонентів авіаційних палив, зокрема пальмоядрову олію.

РОЗДІЛ 3

НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНІ ВЛАСТИВОСТІ БІОКОМПОНЕНТІВ АВІАЦІЙНИХ ПАЛИВ НА ОСНОВІ ЕТИЛОВИХ ТА ІЗОБУТИЛОВИХ ЕСТЕРІВ ЖИРНИХ КИСЛОТ

Сучасна авіаційна техніка експлуатується в різних кліматичних і метеорологічних умовах.

Паливна система літака повинна стійко працювати в діапазоні зовнішніх тисків від 1 кгс/см² (100кПа) при роботі двигуна на землі, до 0,1 кгс/см² (10 кПа) і менше при польоті повітряного судна на висоті 15 км і вище. Наприклад, наземна техніка працює в діапазоні тисків від 0,9 кгс/см² (90кПа) до 1 кгс/см² (100 кПа). Діапазон робочих температур літального апарату дуже широкий і становить мінус 40–130 °С. Протягом одного польоту повітряного судна перепад температур навколишнього повітря становить 50–80 °С, а в окремих випадках може досягати 120 °С.

3.1. Низькотемпературні властивості палив для газотурбінних двигунів

В наземних умовах і при дозвукових швидкостях польоту паливо може піддаватися значному охолодженню, особливо в баках-кесонах, аж до температури початку його кристалізації. Це явище небажано із-за можливого утворення кристалів високомолекулярних алканів нормальної будови, кристалів льоду з вологи, яка перебувала в розчиненому стані в нагрітому паливі, і підвищення в'язкості палива. З даних льотних випробувань слідує, що з підйомом на висоту паливо охолоджується повільніше навколишнього середовища. У польоті температура палива в баках встановлюється для різних повітряних суден і різних груп баків на 5–25 °С вище температури навколишнього повітря. Найбільш швидке зниження температури палива (10–20 °С/год) спостерігається в перші години польоту, потім швидкість

оохолодження зменшується до 5 °С/год, а температура палива може знизитися до мінус 47 °С. У переважній більшості випадків мінімальна температура палива при довгих польотах складає мінус 43,5 °С, що підтверджено реєстрацією температур палива в баках літаків «Боїнг-707», «Боїнг-747», Іл-62 та Іл-18 при польотах над усією територією земної кулі, включаючи полярні області.

Ступінь оохолодження палива на кожному типі ЛА апаратура залежить від ряду факторів, основними з яких являються: температура навколишнього повітря, компоновка і конструктивне виконання паливних баків, швидкість, висота і тривалість польоту, порядок вироблення палива з баків, початкова температура і об'єм палива [5].

Сучасні повітряні судна характеризуються великими обсягами палива, розміщеними на борту літального апарату, і його витратами під час польоту, необхідністю багаторазового перекачування палива по паливній системі в ході польоту і можливість його значно оохолодження і нагрівання в умовах різкого зниження атмосферного тиску при наборі висоти. Все це визначає важливість такої експлуатаційної властивості палив, як прокачуваність.

Прокачуваність реактивного палива визначається в основному його в'язкістю і в ідеальному випадку для зазначеної мети досить визначати в'язкість палива в температурному діапазоні його застосування. Однак реактивне паливо містить різні домішки, потрапляючи в нього в процесі виробництва, транспортування, зберігання і застосування, які можуть істотно впливати на якість палива.

До таких домішок, зокрема, відносяться вода (кристали води) і механічні включення, зазвичай представляють собою продукти корозії і ґрунтові забруднення (пил), а також продукти окислення вуглеводнів.

Подача палива, особливо проходження його через фільтри, сильно залежить від наявності в ньому ПАР. Ці речовини зазвичай утворюють стійкі емульсії з водою, а також адсорбують на поверхні розділу фаз інші

забруднення. Певною мірою на прокачуваність впливає схильність палива до утворення відкладень, що утворюються особливо при високих температурах.

Наявність гетерогенної фази в паливі, що визначає його прокачуваність, може бути пов'язано не тільки з домішками, а й з природою самого палива, тобто з його вуглеводневим складом. У паливі можуть перебувати вуглеводні, що мають порівняно високу температуру плавлення, які при достатньому охолодженні виділяються з рідини у вигляді кристалів.

Прокачуваність реактивних палив оцінюють такими показниками: кінематичною в'язкістю, температурою початку кристалізації, наявністю ПАР (взаємодією з водою), вмістом води і механічних домішок.

При позитивних температурах в'язкість реактивних палив не визначає їх прокачуваності. При охолодженні в'язкість палив зростає і може досягти значень, при яких нормальна заправка літального апарату паливом і його подача в двигун можуть бути порушені. Прокачування високов'язких палив по паливній системі супроводжується високими гідравлічними втратами, зменшенням подачі підкачуючих паливних насосів, порушенням нормальної роботи паливно-регулюючої апаратури, зниженням тиску упорскування палива і погіршенням якості його розпилювання в камері згоряння, тобто зниженням повноти згоряння [5].

Негативні наслідки високої в'язкості палива проявляються не тільки для палив, призначених для дозвукової авіації, але і для палив надзвукових літаків при перекачування і заправки, в умовах зльоту і набору висоти, а також в тих випадках, коли температура палива не встигає підвищитися, наприклад, при аеродинамічному нагріванні фюзеляжу літака при надзвуковому польоті.

Як правило, в'язкість для всіх реактивних палив регламентують при температурах 20 і мінус 20 °С. Виняток становить паливо Т-6, для якого встановлено додаткову вимогу до в'язкості при температурі мінус 40 °С.

Вплив в'язкості на подачу палива в значній мірі залежить від конструкції паливної системи і режиму роботи її агрегатів. У загальному

випадку зі зростанням в'язкості палива збільшуються втрати тиску насоса ΔP через гідравлічних опорів, знижується коефіцієнт корисної дії η насоса і подача. Вплив в'язкості на ΔP і η відцентрового насоса, що підкачує при постійній подачі 15 м³/год характеризують дані, наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Впливу кінематичної в'язкості палива на ΔP і η насоса

Показники	В'язкість, мм ² /с			
	1	50	100	150
ΔP	7	8	10	11
η	0,40	0,30	0,20	0,15

Максимально допустимі значення в'язкості для паливних систем різних літаків становлять 85, 160 і 210 мм²/с. Перекачування реактивних палив в наземних умовах при зберіганні і транспортуванні не викликає ускладнень, так як їх температура не опускається нижче температури, при якій палива втрачають рухливість.

При температурі нижче мінус 40 °С в'язкість палива Т-6 може підвищитися до 60-80 мм²/с, що значно збільшує гідравлічну опору при його русі по паливопроводах, але не викликає порушень в перекачуванні. Ускладнення в подачі можуть бути при фільтруванні палива Т-6 через фільтри тонкої очистки, так як при його в'язкості 20-25 мм²/с перепад тиску на фільтрі досягає граничного значення (5-6 МПа).

З ростом молекулярної маси вуглеводнів відзначена загальна тенденція підвищення в'язкості, однак бувають і аномальні закономірності. Серед вуглеводнів різних груп найменшою в'язкістю і найбільш пологою в'язкісно-температурною кривою володіють алкани і алкени нормальної будови. Сильно розгалужені алкани, як правило, мають більш високу в'язкість, яка різкіше зростає з пониженням температури.

Аналогічна картина спостерігається для алкілованих цикланів і особливо ароматичних вуглеводнів. Біциклічні вуглеводні в порівнянні з моноциклічними однакової молекулярної маси володіють вищою в'язкістю і гіршою в'язкісно-температурною залежністю.

При низькій температурі в паливі може спостерігатися випадання кристалів вуглеводнів з палив при їх охолодженні, що обумовлено обмеженою розчинністю в паливах н-парафінових вуглеводнів. Наявність твердої фази в паливі віддзеркалюється насамперед на його фільтрованості, яка визначається як розмірами частинок твердої фази, так і величиною пор фільтруючого елемента і конструкцією фільтра. Температура, при якій з реактивних палив виділяються кристали н-парафінових вуглеводнів, називається температурою початку кристалізації.

Температура початку кристалізації характеризує низькотемпературні властивості авіаційних палив (бензинів та реактивних палив), в складі яких практично немає н-алканів. Вона визначається аналогічно, як і температура помутніння. За температуру початку кристалізації приймають максимальну температуру, за якої у досліджуваному паливі неозброєним оком виявляють кристали нафтових та ароматичних вуглеводнів, насамперед бензолу, який за температури 5,5 °C переходить у твердий стан. Утворенні кристали не впливають на текучість палив, однак вони небезпечні для експлуатації двигунів, оскільки можуть забивати їх паливні фільтри і перешкоджати подаванню до них палива. Тому згідно зі стандартами температура початку кристалізації авіаційних бензинів та реактивних палив не повинна перевищувати мінус 60 °C [29].

Реактивні палива, одержувані з нафт парафінової основи і містять в зв'язку з цим підвищену кількість н-парафінових вуглеводнів в порівнянні з паливами, виробленими з нафт нафтової основи, при однаковому фракційному складі мають більш високу температуру початку кристалізації. Цією обставиною пояснюється більш низька температура кінця кипіння палива ТС-1 (не вище 250 °C), одержуваного, як правило, з сірчистих

парафіністих нафт. Вплив фракційного і вуглеводневого сполучення реактивних палив на температуру початку кристалізації приведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Вплив фракційного і вуглеводневого складу на температуру кристалізації палив ТС-1 і Т-2

Паливо	Межі википання, °С	Вміст вуглеводнів, %				Температура початку кристалізації, °С
		алкани	Циклани	ароматичні	тетралін	
ТС-1	120-250	50,7	31,6	13,6	4,1	Мінус 56
ТС-1	120-260	51,2	30,9	13,5	4,4	Мінус 51
ТС-1	120-280	51,5	31,3	12,3	4,9	Мінус 46
Т-2	60-260	55,0	29,6	12,2	3,6	Мінус 56
Т-2	60-280	55,6	28,6	11,6	4,2	Мінус 52

Вплив ПАР, що знаходяться в паливі, може проявитися різним чином, однак ці речовини погіршують прокачуваність. Вони сприяють зростанню частинок забруднень, адсорбуються на фільтруючих поверхнях, ускладнюють видалення з палива води, так як в їх присутності підвищується стійкість водних емульсій. Тому вміст у паливі ПАР має побут оптимальним, достатнім для забезпечення хороших протизносних властивостей, але і не сприяти сильному емульгуванню води і дезактивації водовідділяючих поверхонь фільтрів-сепараторів. Наявність ПАР в реактивних паливах контролюється при випробуванні їх на взаємодію з водою.

Механічні домішки або мікробруднення в реактивних паливах в умовах експлуатації авіаційної техніки можуть засмічувати і заклинювати прецизійні пари паливорегулюючої апаратури, забивати паливні фільтри і форсунки, сприяти збільшенню відкладень в агрегатах паливних систем, підвищувати абразивний знос деталей паливних агрегатів, посилювати корозію паливного обладнання, надавати каталітичну дія на окислення

палива в зонах підвищених температур, сприяти накопиченню стичної електрики при перекачуванні і фільтруванні палива [5].

Таким чином, низькотемпературні властивості палив для ГТД відіграють надзвичайно важливу роль у процесах експлуатації ЛА. У зв'язку з цим, дослідження низькотемпературних властивостей альтернативних авіаційних палив з вмістом біокомпонентів рослинного походження є актуальним завданням.

3.2. Методи дослідження

Фізико-хімічні та експлуатаційні властивості біокомпонентів та їх суміші із традиційним нафтовим паливом для ГТД визначали з використанням стандартних методів (табл. 3.3) [30, 31].

Таблиця 3.3

Стандартні методики дослідження фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей палив

№ з/п	Показник	Метод випробування	Засіб вимірювання
1	Кінематична в'язкість	ДСТУ ГОСТ 33-2003. Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости [30] Нафтопродукти. Прозорі і непрозорі рідини. Визначення кінематичної в'язкості і розрахунок динамічної в'язкості	Прилад для визначення кінематичної в'язкості нафтопродуктів, термостат КВ-002 Модель кріотермостату
2	Температура початку кристалізації	ГОСТ 5066–91 (ИСО 3013–74) Топлива моторные. Методы определения температуры помутнения, начала кристаллизации и кристаллизации (метод Б) [31] Палива моторні. Метод визначення температури помутніння, початку кристалізації і кристалізації (метод Б)	Установка для визначення низькотемпературних властивостей нафтопродуктів, модель УТФ 70

3.2.1. Метод дослідження кінематичної в'язкості

Методика дослідження кінематичної в'язкості біокомпонентів та їх сумішей з паливом для ГТД. Кінематичну в'язкість зразків палива досліджували за допомогою термостата КВ-002, який призначений для термостатування проб при визначенні кінематичної в'язкості по ДСТУ ГОСТ 33-2003 за допомогою віскозиметрів. Випробувальний прилад показано на рис. 3.1; він оснащений змієвиковим охолоджувачем, мішалкою, освітлювачем в серединні бані та зажимами для 4-х віскозиметрів типу ВПЖ-2 або ВПЖ-4. Система контролю включає в себе мікропроцесорний блок управління, що забезпечує цифру індикацію і стабільність підтримки температури по всьому об'єму термостата, а також відлік часу вимірювання.

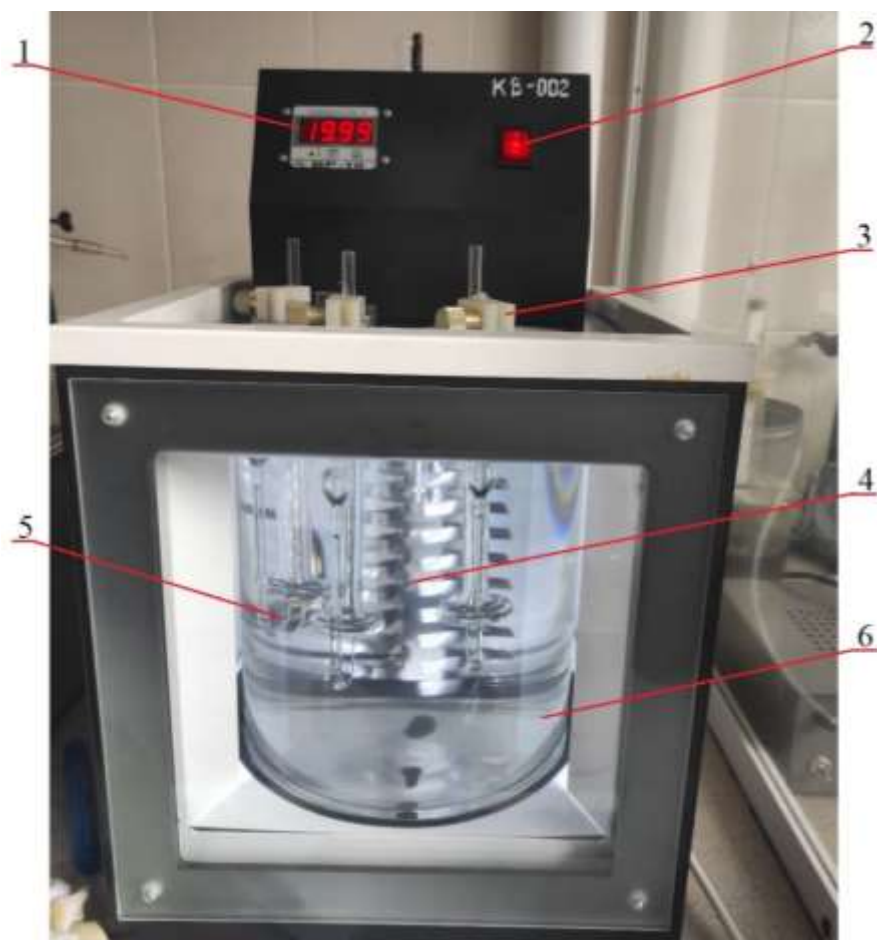


Рис. 3.1. Термостат КВ-002: 1 – блок управління; 2 – кнопка ВКЛ/ВИКЛ; 3 – зажимами для віскозиметрів; 4 – мішалка; 5 – змієвиковий охолоджувач; 6 – баня

Метод дослідження кінематичної в'язкості проводили у такому порядку. Включаємо термостат КВ-002 та встановлюємо температуру бані (20 °С) і підтримуємо її протягом усього випробування. При досягненні заданої температури чистий, сухий віскозиметр (рис. 3.2) заповнюємо досліджуваним зразком. Для цього опускаємо кінець коліна 1 з капіляром в пробу. Отвір 2 віскозиметра затискаємо гумовою грушою, а вільний отвір другого коліна закриваємо пальцем та засмоктуємо зразок у віскозиметр до мітки M_1 [30].

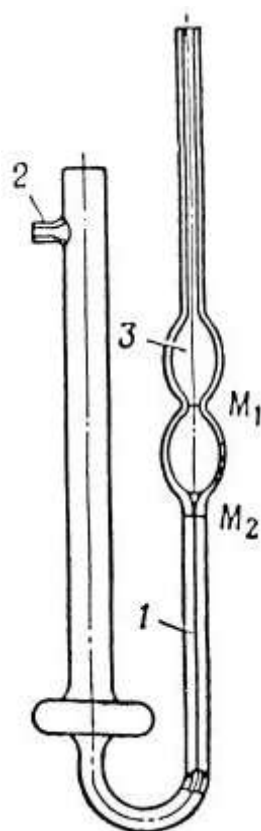


Рис. 3.2. Віскозиметр типу ВПЖ-2

Встановлюємо по чергово три заповнені віскозиметри в баню термостату і витримуємо у бані 20 хв.

Після того, як зразок досяг температурної рівноваги, доводимо об'єм зразку до $1/3$ верхнього резервуару 3. При вільному стіканні зразка, секундоміром визначаємо з точністю до 0,1 с час, необхідний для переміщення меніску від мітки M_1 до мітки M_2 . Час стікання рідини повинен бути не менше 200 с. Проводимо повторне визначення часу стікання зразка.

Вимірювання проводимо три рази та розраховуємо середнє арифметичне цих трьох результатів [30].

Кінематичну в'язкість досліджуваних зразків ν , мм²/с, розраховуємо за формулою:

$$\nu = C \cdot \tau, \quad (3.1)$$

де C – калібрована постійна віскозиметра, мм²/с², τ – середнє арифметичне значення трьох послідовних вимірювань часу витікання досліджуваних зразків, с.

3.2.2. Метод дослідження температури початку кристалізації

Методика дослідження температури початку кристалізації біокомпонентів та їх сумішей з паливом для ГТД. Температуру початку кристалізації біокомпонентів, палива для ГТД та їх сумішей визначали на установці УТФ 70. Зовнішній вигляд приладу представлений на рис. 3.3.



Рис. 3.3. Установа для визначення низькотемпературних властивостей нафтопродуктів, модель УТФ 70

Температури застигання визначали використовуючи скляну пробірку з подвійними стінками, внутрішній діаметр якої 25–33 мм, а зовнішній – 35–43 мм.

У внутрішню частину пробірки наливаємо досліджуване паливо до кільцевої мітки. Пробірку закривають пробкою з термометром.

Термометр розташовують так, щоб його ртутний резервуар знаходився в пробірці на відстані 15 мм від дна і на однаковій відстані від стінок. Пробірку опускаємо в кріостат. Після зменшення температури на 1 °С пробірку виймаємо з кріостата і візуально проводимо порівняльний аналіз прозорості палива, що охолоджується, з паливом, яке заливалося у пробірку. Тривалість візуального спостереження не повинна перевищувати 12 с у зв'язку з підвищенням температури палива і утворенням роси на поверхні пробірки. За температуру початку кристалізації приймаємо показ термометра під час появи перших кристалів, які спостерігаються неозброєним оком. Паливо втрачає рухомість, коли окремі кристали утворюють просторову решітку. Температуру замерзання палива фіксують, якщо нахил пробірки на 45 ° не впливає на зміну положення меніска [31].

Дослідження проводимо з трикратним повторенням і визначаємо середнє арифметичне значення вимірюваної температури.

3.2.3. Характеристика досліджуваних зразків палив

Під час експерименту використовувалось попередньо приготовленні зразки авіаційних палив у певних співвідношеннях, а саме:

- РТ 100 % – нафтове реактивне паливо;
- ізо-БЕЖК 100 % – ізобутилові естери жирних кислот пальмоядрової олії;
- ЕЕЖК 100 % – етилові естери жирних кислот пальмоядрової олії;
- РТ + 10 % ЕЕЖК – суміш палива для ГТД з 10 % (об.) вмістом етилових естерів жирних кислот;
- РТ + 20 % ЕЕЖК – суміш палива для ГТД з 20 % (об.) вмістом етилових естерів жирних кислот;

- РТ + 30 % ЕЕЖК – суміш палива для ГТД з 30 % (об.) вмістом етилових естерів жирних кислот;
- РТ + 40 % ЕЕЖК – суміш палива для ГТД з 40 % (об.) вмістом етилових естерів жирних кислот;
- РТ + 50 % ЕЕЖК – суміш палива для ГТД з 50 % (об.) вмістом етилових естерів жирних кислот;
- РТ + 10 % ізо-БЕЖК – суміш палива для ГТД з 10 % (об.) вмістом ізобутилових естерів жирних кислот;
- РТ + 20 % ізо-БЕЖК – суміш палива для ГТД з 20 % (об.) вмістом ізобутилових естерів жирних кислот;
- РТ + 30 % ізо-БЕЖК – суміш палива для ГТД з 30 % (об.) вмістом ізобутилових естерів жирних кислот;
- РТ + 40 % ізо-БЕЖК – суміш палива для ГТД з 40 % (об.) вмістом ізобутилових естерів жирних кислот;
- РТ + 50 % ізо-БЕЖК – суміш палива для ГТД з 50 % (об.) вмістом ізобутилових естерів жирних кислот;

3.3. Результати досліджень та їх обговорення

Експериментальною частиною роботи було отримання результатів дослідження низькотемпературних властивостей біокомпонентів:

- Етилові естери жирних кислот (ЕЕЖК) пальмоядрової олії;
- Ізо-бутилові естери жирних кислот (ізо-БЕЖК) пальмоядрової олії;

Стабільна робота паливної системи за низьких температур значною мірою залежить від текучості палива, яка вимірюється в'язкістю – властивість рідин чинити опір при її русі. Цей опір існує завдяки силі притягання між молекулами палива. Як правило, в'язкість зменшується із збільшенням температури та незначно зростає із збільшенням зовнішнього тиску. В'язкість вуглеводнів палив для ГТД залежить від структури молекул, їх взаємодії та меншої молекулярної маси. Ароматичні речовини мають найбільшу

в'язкість, а парафін-циклоалкани - найменшу в'язкість. У міру збільшення ароматичних речовин в'язкість палив для ГТД збільшується [1].

Біокомпоненти на основі ЕЕЖК та ізо-БЕЖК пальмоядрової олії мають значно вищі значення в'язкості порівняно з нафтовими паливами для ГТД (табл. 3.4). Такі значення в'язкості досліджуваних зразків біокомпонентів, що лежать у діапазоні 4,5–5,7 мм²/с є достатньо високими порівняно з традиційним нафтовим паливом для ГТД (1,5 – 1,7 мм²/с).

Таблиця 3.4

Кінематична в'язкість палива для ГТД та зразків біокомпонентів

№ з/п	Позначення зразка палива	В'язкість за $t=20^{\circ}\text{C}$, мм ² /с
1	Паливо для ГТД марки РТ	1,56
2	ЕЕЖК пальмоядрової олії	4,55
3	ізо-БЕЖК пальмоядрової олії	5,69

Причиною цього є їх хімічна будова естерів жирних кислот. Довжина ланцюга визначає великий розмір сполуки, що призводить до більшої енергії для їх міжмолекулярних взаємодій. Крім того, близько 80% біокомпоненти складаються з ненасичених ЕЖК з одним і двома подвійними зв'язками, що ще більше збільшує їх в'язкість. Очевидно, ЕЕЖК пальмоядрової олії володіють найнижчими значеннями в'язкості. Найвище значення в'язкості ізобутилового естеру жирних кислот пояснюється довжиною бутилового радикалу.

В'язкість, як і густина, є характеристикою, яка може точно характеризувати сили взаємодії між молекулами в паливі. Чим вища енергія взаємодії між молекулами палива, тим вища їх в'язкість. Це пояснює більшу залежність в'язкості складного естеру від температури (рис. 3.4).

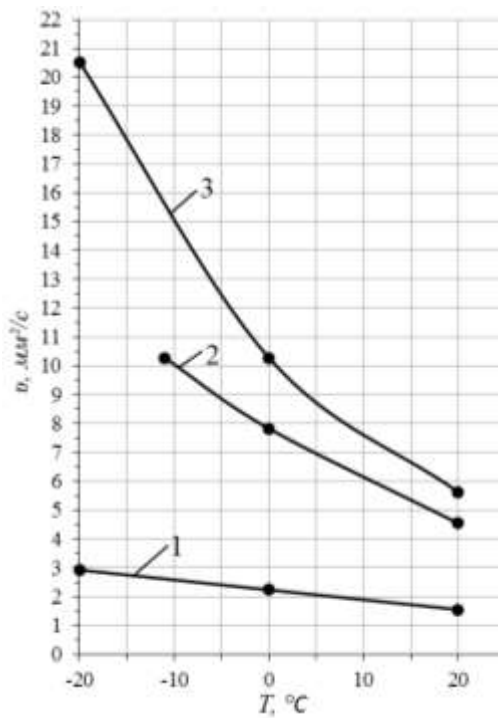


Рис. 3.4. Вплив температури на в'язкість: 1 – паливо для ГТД РТ;
2 – ЕЕЖК; 3 – ізо-БЕЖК

Цю залежність в'язкості від температури складних ефірів можна пояснити тим, що із зменшенням температури енергія теплового руху та рухливість молекул зменшується, асоціація збільшується і зв'язки між молекулами ефіру збільшуються. Зі зниженням температури асоціація збільшується, а в'язкість ефіру поступово зростає. Молекули вуглеводнів не містять у своєму складі карбоксильних груп і характеризуються набагато меншими розмірами, тому між ними існує лише дисперсія взаємодії, і їх енергія набагато нижча, ніж у молекул складних ефірів. Можна відзначити, що ізо-БЕЖК, мають дещо вищі значення в'язкості.

Надалі досліджували вплив ЕЖК на в'язкість модифікованих палив для ГТД (рис. 3.5) за температури 20 °С.

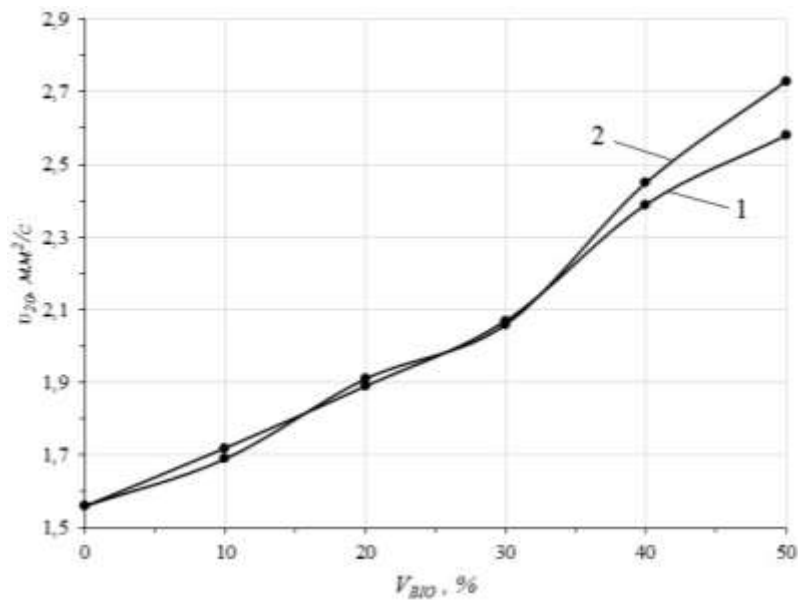


Рис. 3.5. Залежність зміни в'язкості зразків палив від вмісту біокомпонента за температури 20 °С: 1 – паливо для ГТД РТ+ ЕЕЖК; 2 – паливо для ГТД РТ+ізо-БЕЖК

Досліджували вплив ЕЖК на в'язкість модифікованих палив для ГТД (рис. 3.6) за температури 0 °С.

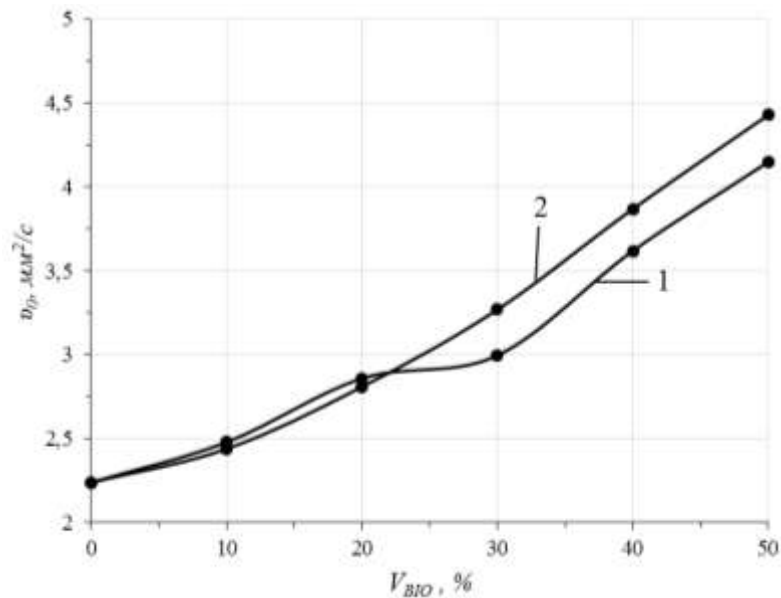


Рис. 3.6. Залежність зміни в'язкості зразків палив від вмісту біокомпонента за температури 0 °С: 1 – паливо для ГТД РТ+ ЕЕЖК; 2 – паливо для ГТД РТ+ізо-БЕЖК

Досліджували вплив ЕЖК на в'язкість модифікованих палив для ГТД (рис. 3.7) за температури - 20 °С.

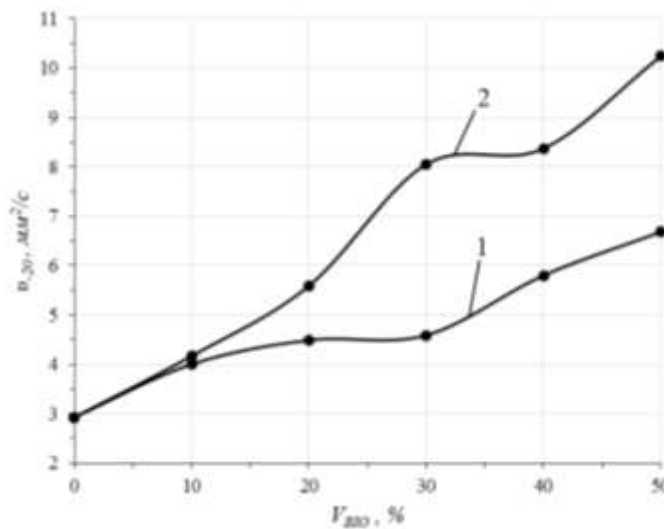


Рис. 3.7. Залежність зміни в'язкості зразків палив від вмісту біокомпонента за температури - 20 °С: 1 – паливо для ГТД РТ+ЕЕЖК; 2 – паливо для ГТД РТ+ізо-БЕЖК

Низькотемпературні властивості палива, що використовується в ГТД, характеризують їх поведінку за від'ємних температур. Це можна пояснити тим, що ГТД зазвичай повинні працювати при дуже низьких температурах в робочих умовах, особливо взимку. Влітку в умовах висотного польоту дозвукових реактивних літаків паливо також може сильно охолоджуватися. Причиною є температура навколишнього середовища повітря на висоті 9–12 км досягає мінус 50–70 °С.

Коли паливо, що використовується для ГТД, охолоджується, нормальна робота системи подачі палива порушується. Зазвичай на це вказує забивання паливного фільтра, яке може супроводжувати аварії та катастрофи.

У цій роботі низькотемпературні властивості палив для ГТД оцінювали за температурою кристалізації та в'язкістю за від'ємних температур.

Біокомпоненти на основі етилових та ізобутилових естерів жирних кислот пальмоядрової олії відрізняються значно вищими значеннями температури кристалізації порівняно з нафтовим паливом для ГТД (норма для яких становить не вище -47 °С) (табл. 3.5). Такі високі температури застигання біокомпонентів викликаюні хімічною будовою молекул, тому що

довжина вуглеводневого ланцюга ($C_{15}-C_{25}$) та спиртового радикала ЕЖК визначає великий розмір сполук і викликає міцну взаємодію між молекулами.

Таблиця 3.5

Температура застигання палив для ГТД та біокомпонентів

№ з/п	Позначення зразка палива	Температура застигання, °С
1	Паливо для ПРД марки РТ	-60
2	ЕЕЖК пальмоядрової олії	-13
3	ізо-БЕЖК пальмоядрової олії	-21

Як показали результати дослідження, введення біокомпонентів підвищує температуру застигання палив для ГТД (рис. 3.8). За концентрації біокомпонентів до 20 % (об.) їх вплив на температуру застигання є відносно незначним. За малих концентрацій біокомпонентів вони рівномірно розподілені в об'ємі вуглеводневого палива і перебувають на відстанях, недостатніх для їх взаємодії. З подальшим збільшенням вмісту естеру температура застигання збільшується і поступово наближається до характерного значення чистого ЕЖК. Враховуючи той факт, що згідно зі стандартом, температура застигання палив для повітряно-реактивних двигунів не повинна перевищувати $-47\text{ }^{\circ}\text{C}$, ми вважаємо, що біопаливо з вмістом біокомпонента не більше 20% відповідає стандартним вимогам.

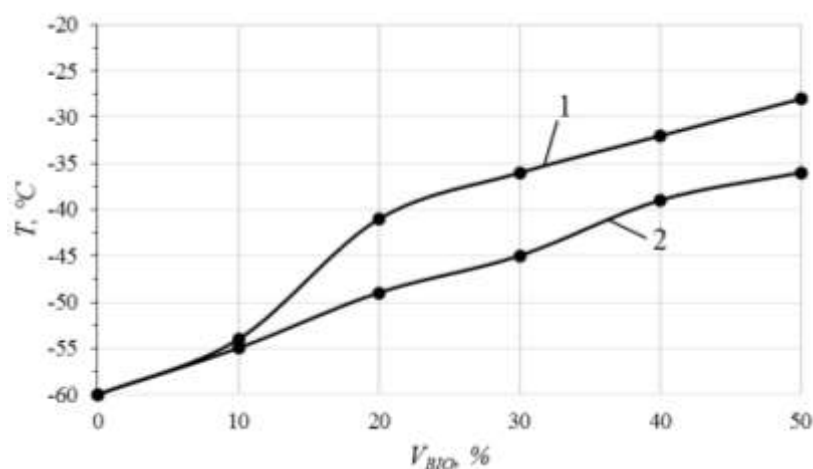


Рис. 4.8. Залежність температури застигання зразків палив для ГТД від вмісту біокомпоненту 1 – паливо для ГТД +ЕЕЖК; 2 – паливо для ГТД + ізо-БЕЖК

Таблиця 3.6

Порівняльна характеристика показників якості палива для ГТД марки РТ, біокомпонента ізо-БЕЖК та палив з вмістом ізо-БЕЖК у кількості до 50%

№ з/п	Характеристика	Паливо для ГТД РТ	Біокомпонент	Паливо для ГТД +10% біокомпонента	Паливо для ГТД +20% біокомпонента	Паливо для ГТД +30% біокомпонента	Паливо для ГТД +40% біокомпонента	Паливо для ГТД +50% біокомпонента
1	В'язкість, мм ² /с, за <i>t</i> :							
	- 20 °С	2,93	20,52	4,17	5,59	8,05	8,37	10,24
	0 °С	2,24	10,28	2,44	2,81	3,27	3,87	4,43
	20 °С	1,56	5,69	1,69	1,91	2,06	2,45	2,73
2	Температура кристалізації, °С	- 60	- 21	- 55	- 49	- 45	- 39	- 36

Таблиця 3.7

Порівняльна характеристика показників якості палива для ГТД марки РТ, біокомпонента ЕЕЖК та палив з вмістом ЕЕЖК у кількості до 50%

№ з/п	Характеристика	Паливо для ГТД РТ	Біокомпонент	Паливо для ГТД +10% біокомпонента	Паливо для ГТД +20% біокомпонента	Паливо для ГТД +30% біокомпонента	Паливо для ГТД +40% біокомпонента	Паливо для ГТД +50% біокомпонента
1	В'язкість, мм ² /с, за <i>t</i> :							
	- 20 °С	2,93	10,28 (-11)	4,003	4,49	4,59	5,80	6,68
	0 °С	2,24	7,83	2,48	2,86	2,997	3,62	4,15
	20 °С	1,56	4,55	1,72	1,89	2,07	2,39	2,58
2	Температура кристалізації, °С	- 60	- 13	- 54	- 41	- 36	- 32	- 28

3.4. Висновки до розділу

У результаті проведених досліджень показано, що введення біокомпонентів призводить до загального погіршення низькотемпературних властивостей палив для ГТД, що виражається підвищенням їх температури застигання та кінематичної в'язкості. Хоча у разі введення біокомпонентів до палива для ГТД у кількості до 20% зазначені показники цілком відповідають вимогам нормативних документів. При цьому, введення ізо-БЕЖК до складу палив більш позитивно відображається на низькотемпературних властивостях сумішевих палив порівняно з ЕЕЖК. Таким чином, показано, що використання ізо-БЕЖК є більш доцільним для модифікування складу палив для ГТД з точки зору низькотемпературних властивостей.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано вплив авіаційної галузі на довкілля, а також стан виробництва та використання авіаційних палив в Україні та в світі;
2. Проаналізовано асортимент доступної сировини для виробництва біокомпонентів авіаційних палив та обґрунтовано використання пальмоядрової олії, етанолу та ізобутанолу для синтезу біокомпонентів з урахуванням їх хімічної будови та властивостей;
3. Досліджено низькотемпературні властивості біокомпонентів авіаційних палив на основі етилових та ізобутилових естерів жирних кислот пальмоядрової олії;
4. Досліджено низькотемпературні властивості сумішевих альтернативних авіаційних палив з вмістом біокомпонентів на основі етилових та ізобутилових естерів жирних кислот пальмоядрової олії;
5. Показано, що застосування ізо-БЕЖК пальмоядрової олії у кількості 20 % (об.) цілком забезпечує задовільні низькотемпературні властивості альтернативних палив для ГТД.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Iakovlieva A. Potential of jet biofuels production and application in Ukraine and Poland / A.Iakovlieva, S. Boichenko, O. Vovk, K. Lejda. // International Journal of Sustainable Aviation. – 2015. – No.4. – P. 313–323. DOI:10.1504/IJSA.2015.074728
2. Андіїшин М.П. Газ природний, палива та оливи / М.П. Андіїшин, Я.С. Марчук, С.В. Бойченко, Л.А. Рябоконт – Одеса: Астропринт. – 2010. – 232 с.
3. Jet Fuel Consumption by Country [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.indexmundi.com>
4. Mazareanu E. Environmental impact of the aviation industry worldwide - statistics & facts [Електронний ресурс] / E. Mazareanu. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.statista.com>.
5. Авиационная химмотология: топлива для авиационных двигателей. Теоретическое и инженерные основы применения: учебник / [Н. С. Кулик, А. Ф. Аксенов, Л. С. Яновский та ін.]. – Киев: НАУ, 2015. – 560 с.
6. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справочник / [И. Г. Анисимов, К. М. Бадыштова, С. А. Бнатов та ін.]; Под ред. В.М. Школьников. Изд. 2-е перероб. и доп. – М: Издательский центр "Техинформ", 1999. – 596 с.
7. Полетели? Поехали! [Електронний ресурс] // НафтоРинок. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.nefterynok.info/stati/poleteli-poechali>.
8. Захист навколишнього середовища [Електронний ресурс] // Державна авіаційна служба України – Режим доступу до ресурсу: <https://avia.gov.ua/zahist-navkolishnogo-seredovishha/>.
9. Токарев В. І. Авіаційний шум як проблема охорони навколишнього середовища / В. І. Токарев, О. І. Запорожець. // Том 1. – 1998. – №1. – С. 457–465.

- 10.Иванова А. Р. Влияние авиации на окружающую среду и меры по ослаблению негативного воздействия / А. Р. Иванова. // Труды Гидрометцентра России. – 2017. – №365. – С. 5–14.
- 11.Energy and Climate Change. World Energy Outlook Special Report [Електронний ресурс] // International Energy Agency. – 2015. – 200 p. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-24754-rapport-aie.pdf>.
- 12.Порівняльна характеристика екологічних ризиків під час використання традиційних та альтернативних палив / А. К. Антропченко, А. В. Яковлева, В. О. Хрутьба, В. О. Бойченко. // Вісник Національного транспортного університету. – 2016. – №2 (35). – С. 3–12.
- 13.Франчук Г. М. Екологія, авіація, і космос: Навчальний посібник / Г. М. Франчук, В. М. Ісаєнко. – К: НАУ, 2004. – 465 с.
- 14.Working Towards Ambitious Targets [Електронний ресурс] // Climate Change, IATA – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iata.org/en/programs/environment/climate-change/>.
- 15.Aviation and the Environment [Електронний ресурс] // Irish Aviation Authority – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iaa.ie/who-we-are/aviation-and-the-environment>.
- 16.Вовк О. О. Сучасний стан забезпеченості авіаційної галузі України паливами для повітряних суден / О. О. Вовк, А. В. Яковлева, Т. Л. Овчаренко. // Наукоємні технології. – 2013. – №3 (19). – С. 258–262. ISSN 2075-0781.
- 17.Iakovlieva A. Peculiarities of the development and implementation of aviation biofuels in Ukraine / A. Iakovlieva, K. Lejda, O. Vovk, S. Boichenko // World Congress on Petrochemistry and Chemical Engineering. Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology. November 2013, San Antonio. – 2013. – Vol.4. – Iss.6. – P. 47.

- 18.Патриляк К.І., Патриляк Л.К., Охріменко М.В. та ін. Біодизельне паливо на основі етанолу та соняшникової олії // Катализ и нефтехимия. 2012. № 21. С. 100-103.
- 19.Юрчук Н. П. Перспективні виробництва та переробки на біопаливо ріпаку в Україні / Н. П. Юрчук, С. С. Юрчук. // Збірник наукових праць ВНАУ. – 2011. – №1 (48). – С. 59–64.
- 20.Rajagopal D. Environmental, Economic and Policy Aspects of Biofuels / D. Rajagopal, D. Zilberman. – New Publishers Inc, 2008. – 115 p.
- 21.Бойченко С. В. Сировинний потенціал рижю для отримання компонентів модифікування складу авіаційного палива / С. В. Бойченко, А. В. Яковлева, А. В. Бондарук. // Наукоємні технології. – 2016. – №1. – С. 123–127.
- 22.Ghazanfari J. Limiting factors for the use of palm oil biodiesel in a diesel engine in the context of the ASTM standard / Jalal Ghazanfari. // Cogent Engineering. – 2017. – №1. – С. 1–17.
- 23.Галузинский О. Г. Этанол новое направление компания [Електронний ресурс] / О. Г. Галузинский, И. В. Щуцкий // Цукор України № 1. – 2008. – Режим доступу до ресурсу: <http://base.dnsgb.com.ua>
- 24.Эковатт: Биобутанол [Електронний ресурс] // Greenwatt Альтернативная энергетика – Режим доступу до ресурсу: <http://greenwatt.ru/biodiesel/biobutanol/d72/>.
- 25.Iakovlieva A., Lejda K., Vovk O., etc. Improvement of technological scheme of fatty acids ethyl esters production for use as jet fuels biocomponents // International Journal of Theoretical and Applied Science. 2014. Iss. 11(19). P. 44–55. DOI: 10.15863/tas.2014.11.19.9.
- 26.El aceite de palmiste [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://nutricionanimal.info>.
- 27.Mancini A. Biological and Nutritional Properties of Palm Oil and Palmitic Acid: Effects on Health / A. Mancini, E. Imperlini. // Molecules. – 2015. – №20. – С. 24.
- 28.Зубенко С. О. Порівняння фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей біодизельного палива на основі метанолу та біоспиртів / С.

- О. Зубенко, Л. К. Патриляк, С. В. Коновалов. // Катализ и нефтехимия. – 2018. – №27. – С. 1–94.
- 29.Топільницький П. Технологія первинної переробки нафти і газу / П. Топільницький, О. Гринишин, О. Мачинський // Технологія первинної переробки нафти і газу. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. – С. 95. ISBN 978-617-617-607-678-0.
- 30.ДСТУ ГОСТ 33-2003. Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости: чинний з 2003-07-01. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 23. (Межгосударственный Стандарт).
- 31.ГОСТ 5066-91 (ИСО 3013-74). Топлива моторные. Методы определения температуры помутнения, начала кристаллизации и кристаллизации: действующий с 1993-01-01. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1992. – 16 с. (Межгосударственный Стандарт).
- 32.Яковлева А. В. Фізико-хімічні властивості палив для повітряно-реактивних двигунів, модифікованих компонентами рослинного походження: дис. канд. техн. наук : 05.17.07 / Яковлева Анна Валеріївна – Київ, 2016. – 177 с.
- 33.Вплив добавок аліфатичних спиртів на властивості бензинів: аналітичний огляд / С. В.Бойченко, М. С. Бойченко, О. Г. Личманенко, С. М. Кабан. // НАУ. – 2015. – Наукоємні технології №1 (25). – С. 86–92.