

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.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «БАКАЛАВР»**

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

**Тема: « Властивості альтернативних авіаційних палив на основі  
пальмоядрової олії»**

Виконавець: студент(ка) 407 групи Оленич Вікторія Віталіївна \_\_\_\_\_

Керівник: доцент, 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 кваліфікаційної роботи**

Оленич Вікторії Віталіївни

1. Тема роботи: «Властивості альтернативних авіаційних палив на основі пальмоядрової олії », затверджена наказом ректора від 01.04.2021 №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 ГТД марки РТ; етилові естери жирних кислот пальмоядрової олії.
4. Зміст пояснювальної записки: Вступ. Розділ 1. Виробництво та використання альтернативних авіаційних палив в Україні та світі. Розділ 2. Технології одержання альтернативних авіаційних палив. Розділ 3. Властивості альтернативних авіаційних палив на основі пальмоядрової олії. Висновки. Список бібліографічних посилань використаних джерел.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстраційного) матеріалу.

## 6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	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 «Виробництво та використання альтернативних авіаційних палив в Україні та світі»	26.05.2021 – 28.05.2021	
4.	Підготовка Розділу 2 «Технології одержання альтернативних авіаційних палив»	29.05.2021 – 31.05.2021	
5.	Підготовка Розділу 3 «Властивості альтернативних авіаційних палив на основі пальмоядрової олії»	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	

Дата видачі завдання: « 24 » травня 2021 р.

Керівник дипломної роботи \_\_\_\_\_ доц. Яковлева А.В.

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Оленич В.В.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: «Властивості альтернативних авіаційних палив на основі пальмоядрової олії» містить 6 с., 23 рис., 8 табл., 33 літературних джерел.

Мета роботи – дослідити вплив біокомпонентів на основі етилових естерів жирних кислот пальмоядрової олії на фізико-хімічні та експлуатаційні властивості альтернативних авіаційних палив.

Об'єкт дослідження – компаундування біокомпонентів на основі етилових естерів жирних кислот пальмоядрової олії з авіаційними паливами нафтового походження.

Предмет дослідження – фізико-хімічні та експлуатаційні властивості альтернативних авіаційних палив з вмістом біокомпонентів на основі етилових естерів жирних кислот.

Методи дослідження: монографічний, аналітичний методи, порівняння, аналіз, систематизація, узагальнення, стандартні методи визначення фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей авіаційних палив.

В роботі розглянуті наступні питання: аналіз технологічних процесів синтезу альтернативних авіаційних палив, особливості використання альтернативних авіаційних палив з різним вмістом біокомпонентів на основі етилових естерів жирних кислот. Результати дипломної роботи рекомендується використовувати в технологічних процесах або під час навчального процесу.

АЛЬТЕРНАТИВНЕ ПАЛИВО, БІОПАЛИВО, АВІАЦІЙНЕ ПАЛИВО, ЕТИЛОВІ ЕСТЕРИ ЖИРНИХ КИСЛОТ, ПАЛЬМОЯДРОВА ОЛІЯ, ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, ГУСТИНА, В'ЯЗКІСТЬ, ТЕМПЕРАТУРА СПАЛАХУ, ТЕМПЕРАТУРА КРИСТАЛІЗАЦІЇ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРЕЧЬ, ТЕРМІНІВ.....	3
ВСТУП .....	4
ВИРОБНИЦТВО ТА ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ АВІАЦІЙНИХ ПАЛИВ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ .....	7
1.1. Стан забезпечення авіаційної галузі паливо-мастильними матеріалами	7
1.2. Вплив авіації на довкілля .....	9
1.3. Розвиток альтернативних авіаційних палив у світі .....	16
1.4. Висновки до розділу .....	21
РОЗДІЛ 2 .....	23
ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ АВІАЦІЙНИХ ПАЛИВ	23
2.1. Технологічні процеси одержання альтернативних авіаційних палив .....	23
2.1.1. Технологічний процес одержання ААП синтезом Фішера-Тропша .	23
2.1.2. Технологічний процес одержання ААП гідрогенізацією естерів та жирних кислот (HEFA).....	24
2.1.3. Технологічний процес одержання ААП гідроочищенням ферментованих цукрів (SIP).....	25
2.1.4. Технологічний процес отримання ААП переробленням спиртової сировини (ATJ-SPK) .....	26
2.1.5 технологічний процес одержання ААП переробкою спиртової сировини з вмістом ароматичних вуглеводнів (ATJ-SKA).....	27
2.2. Сировина для виробництва альтернативних авіаційних палив .....	29
2.3. Виробництво альтернативних авіаційних палив на основі олійної сировини.....	31
2.4. Висновки до розділу .....	34

РОЗДІЛ 3 .....	36
ВЛАСТИВОСТІ АЛЬТЕРНАТИВНИХ АВІАЦІЙНИХ ПАЛИВ НА ОСНОВІ ПАЛЬМОЯДРОВОЇ ОЛІЇ .....	36
3.1. Основні властивості сировини.....	36
3.2. Технологічний процес одержання та фізико-хімічні властивості компонентів палив на основі пальмоядрової олії .....	38
3.2.1. Технологічна схема одержання етилового естеру пальмоядрової олії .....	38
3.2.2. Порівняльна характеристика фізико-хімічних властивостей компонентів пальмоядрової, ріпакової та раїжієвої олій.....	40
3.3. Властивості авіаційних палив з компонентами на основі пальмоядрової олії.....	41
3.3.1. Визначення густини.....	42
3.3.2. Визначення в'язкості .....	45
3.3.3. Визначення температури кристалізації .....	49
3.3.4. Визначення температури спалаху .....	51
3.4. Висновки до розділу .....	53
ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ..	55

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРЕЧЬ, ТЕРМІНІВ

ААП – альтернативне авіаційне паливо;

ГТД – газотурбінний двигун;

РТ - високоякісне авіаційне пальне;

ASTM – American Society for Testing and Materials (Американська спілка випробувань матеріалів);

FT - Синтез Фішера – Тропша;

CH – catalytic hydrothermolysis (каталітичний гідротермоліз);

HEFA – Hydroprocessed Esters and Fatty Acids (гідрогенізовані естери та жирні кислоти);

SKA – Synthetic Kerosene with Aromatics (синтетичний керосин з ароматичними вуглеводнями);

CO – моноксид вуглецю;

CO<sub>2</sub> – вуглекислий газ;

C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> – неспалені вуглеводні;

H<sub>2</sub>O – водяна пара;

NO<sub>x</sub> – оксиди азоту;

SO<sub>x</sub> – оксиди сірки;

ρ – густина;

γ – в'язкість;

T<sub>кристалізації</sub> – температура кристалізації палива;

T<sub>спалаху</sub> – температура спалаху палива.

## ВСТУП

*Актуальність роботи.* Останнім часом попит на авіаційні перевезення значною мірою зростає, відповідно зростає попит на вичерпну нафтову сировину, з якої виробляють традиційне паливо. На сьогодні, авіаційна галузь займає провідне місце у світовій економіці.

Разом із зростанням кількості авіаперевезень зростають і викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Авіаційна галузь вважається сектором транспорту, який найважче декарбонізувати.

На сьогодні, авіаційні викиди діоксиду вуглецю становлять близько 2-3% від світових викидів CO<sub>2</sub>. Найшкідливішими викидами вважаються ті, які утворюються у зоні аерортів. З метою зниження постійного впливу даних викидів на живі організми – аеропорти будують у віддалених місцях від населених пунктів. Враховуючи цю тенденцію зростає необхідність у впровадженні альтернативних авіаційних палив.

В Україні одною з провідних галузей є агропромисловість. Враховуючи це Україна володіє великим потенціалом у сфері виробництва біопалива з олійної сировини. Дана сировина для виробництва альтернативних авіаційних палив дає змогу зменшити викиди, у вигляді монооксиду вуглецю та часток азоту, в атмосферне повітря на 50 % в порівнянні з традиційним викопним паливом.

Головними перевагами альтернативних авіаційних палив є екологічність та можливість синтезу палива з різноманітної сировини, як первинної так і вторинної. Сировинна база для виробництва альтернативних авіаційних палив є дуже різноманітною, проте до таких видів палив висувається значна низка вимог, що стосуються безпечності, надійності та тривалої зносостійкості авіаційного транспорту.

Беручи до уваги зростаючий попит на альтернативні палива для ГТД зростає і необхідність дослідження впливу та покращення фізико-хімічних властивостей компонентів на основі олійної сировини.



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

***Мета роботи*** – дослідити вплив біокомпонентів на основі етилових естерів жирних кислот пальмоядрової олії на фізико-хімічні та експлуатаційні властивості альтернативних авіаційних палив.

#### ***Завдання:***

- Проаналізувати сучасний стан виробництва та використання авіаційних палив в Україні та в світі;
- Проаналізувати та провести порівняльний аналіз перспективних технологічних процесів виробництва альтернативних авіаційних палив;
- Дослідити фізико-хімічні та експлуатаційні властивості біокомпонентів авіаційних палив на основі етилових естерів жирних кислот пальмоядрової олії;
- Дослідити фізико-хімічні та експлуатаційні властивості сумішевих альтернативних авіаційних палив з вмістом біокомпонентів на основі етилових естерів жирних кислот пальмоядрової олії;

***Об'єкт дослідження*** – компаундування біокомпонентів на основі етилових естерів жирних кислот пальмоядрової олії з авіаційними паливами нафтового походження.

***Предмет дослідження*** – фізико-хімічні та експлуатаційні властивості альтернативних авіаційних палив з вмістом біокомпонентів на основі етилових естерів жирних кислот.

***Методи дослідження:*** монографічний, аналітичний методи, порівняння, аналіз, систематизація, узагальнення, стандартні методи визначення фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей авіаційних палив.

#### ***Наукова новизна отриманих результатів.***

1. На основі результатів експериментальних досліджень визначено вплив відсоткового вмісту біокомпоненту виготовленого на основі пальмоядрової олії в авіаційному паливі марки РТ на його фізико-хімічні властивості.

2. На основі результатів експериментальних досліджень визначено оптимальні співвідношення біокомпоненту виготовленого на основі пальмоядрової олії та авіаційного палива марки РТ

***Практичне значення отриманих результатів.***

Показано, що на сьогоднішній день для виробництва біопалив найбільш доцільним є використання олійної сировини пальмового дерева, що виробляються методом переестерифікації даної олійної сировини у присутності каталізатора гідроксиду натрію. Такі палива можуть компаундуватися з традиційним паливом для ГТД у різних кількостях до 100%.

***Особистий внесок випускника:*** аналітичний огляд впливу авіаційної галузі на довкілля та сучасну ситуацію у галузі виробництва та використання авіаційних палив в Україні та в світі, аналітичний огляд сучасного стану використання альтернативних авіаційних палив, порівняльний аналіз сировини для виробництва альтернативних авіаційних палив на основі олійної сировини, аналіз властивостей альтернативних авіаційних палив з додаванням біокомпоненту на основі пальмоядрової олії.

***Апробація отриманих результатів.***

1. Оленич В.В. Перспективний метод одержання біопалива на основі відпрацьованих олій ресторанів швидкого харчування // Політ. Сучасні проблеми науки : тези доповідей XXI Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених. – Національний авіаційний університет. – Київ, 2021. – С. 99.

# РОЗДІЛ 1

## ВИРОБНИЦТВО ТА ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ АВІАЦІЙНИХ ПАЛИВ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

Зазвичай галузь авіації вважається як сектор транспорту, в який найважче впровадити декарбонізацію. Застосування альтернативних авіаційних палив (ААП) з низьким вмістом вуглецю є провідним варіантом скорочення викидів від авіаційного сектору. У даному розділі буде представлено вплив авіації на довкілля та розвиток альтернативних авіаційних палив у світі.

### 1.1. Стан забезпечення авіаційної галузі паливо-мастильними матеріалами

Стан забезпечення країни паливо-мастильними матеріалами слугує основною метою розвитку економіки кожної країни. На рис. 1.1. відображено світову статистику застосування палив різного призначення.

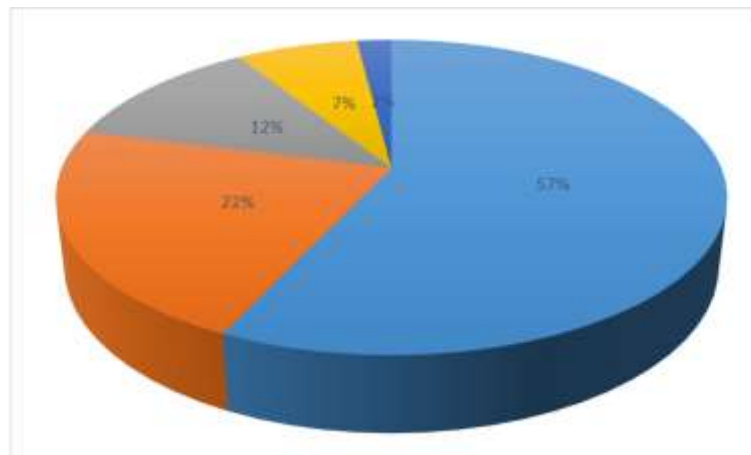


Рис 1.1 Світове використання різних видів палив: 57% -автомобільні бензини, 22% - дизельне паливо, 12% - авіаційне паливо, 7% - котельне паливо, 2% - інші види палива.

На сьогодні одною з основних проблем екології є споживання палива авіаційним транспортом, у результаті постійного збільшення перевезень. Так у розвинених країнах частка річної витрати палива на авіацію становить 30% від

загальних. Як приклад приведемо судно повітряне типу Боїнг протягом однієї години польоту при зльоті витрачає 7,8 тони палива та протягом польоту – 16 тон. У загальному авіаційний транспорт споживає 12 % світового виробництва палива [1].

Промисловий розвиток є прямозалежним від виробництва палив. Термін «паливо» в свою чергу розуміє під собою матеріали, що є джерелами енергії. Воно в свою чергу підрозділяється на: природне, яке включає нафту, газ, вугілля, природні сланці, торф, деревину; та штучне – кокс, моторні палива, генеровані гази, біогази та ін.

На сьогодні використання нафтової сировини здебільшого припадає на транспортну галузь (60%). Споживання нафтової сировини за останні роки стрімко зростає, що призводить до вичерпання невідновлюваних нафтових запасів. Це питання в свою чергу вимагає негайного вирішення, шляхом переходу на біопалива з відновлювальних джерел. Вони в свою чергу мають меншу вартість та першочергово є екологічними.

Попит на паливо авіаційне значно зріс в результаті світової кризи у 2008-2019 роках. Потреба в авіаційному паливі зросла більше ніж на третину з того часу, відповідно попит і на нафтову сировину. Нині попит на авіаційне паливо зростає з тижневою +1,5% кожного року.

Міжнародна служба повітряного транспорту запевняє, що світові авіаперевезення з кожним роком зростають на 3-5%, відповідно пасажирообіг на 6-8% та грузообіг на 2-10% [2].

Збільшення статистичних даних авіаційних перевезень є результатом зменшення вартості перевезення та зростання платоспроможності самих пасажирів. Лідерами у споживання авіаційного палива стали такі країни як: США, країна Азії, а саме Китай, Індія. На сьогодні світова статистика залежності авіації від нафтопереробної галузі представлена на рис.1.2.

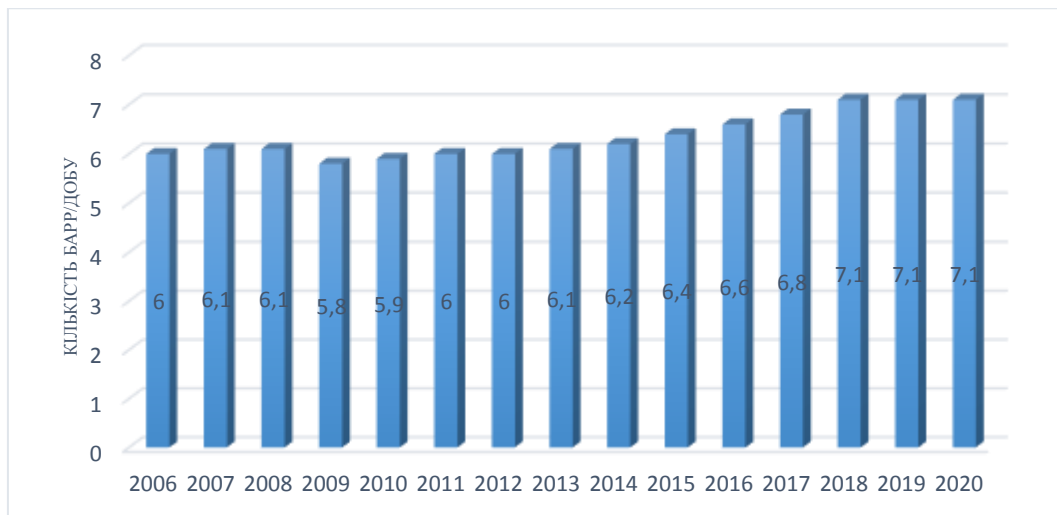


Рис. 1.2 Споживання нафтопродуктів авіаційною галуззю

За попередніми даними, які оголосила Міжнародна асоціація авіаційного транспорту, було оголошено що в результаті обмеження перевезень у 2021 році попит на авіаційні палива зменшиться до 40%. Так як інтенсивність авіаперевезень зменшиться то попит на використання авіаційного палива може сягати приблизно 330 млрд л.

International Air Transport Association (IATA) прогнозують, що 2021 році ціна за баррель палива становитиме 50 \$, тоді як у 2020 році вона становила 37 \$ за 1 баррель.

## 1.2. Вплив авіації на довкілля

Державна служба статистики України надає доступ до статистичних даних щодо кількості викидів забруднюючих речовин в атмосферу за період тривалості 2015 року від стаціонарних джерел та пересувних джерел склали 4521,3 тис. т., тоді як в 2020 р. лише – 4017,3 тис.т. (таблиця 1.1).[3]

При цьому за 2020 р. було викинуто в атмосферне повітря 109,1 тис. т., діоксиду вуглецю, що мають вплив на зміну клімату. Також з наведених даних ми можемо бачити, що в 2008 р. помітне різке зниження викидів в атмосферу, так у 2007 р. загальні викиди від стаціонарних та пересувних джерел становили 7380,0 тис. т., тоді як у 2009 р. лише – 6442,9 тис. т. Прослідкувати це можна на рис. 1.3.

Міста, які стали лідерами за викидами парникових газів та забруднюючих речовин у атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення у 2020 р. були Дніпропетровськ (534,7 тис. т.) , Донецьк (751,0 тис. т.), Запоріжжя (155,5 тис.т.), Івано-Франківськ (140,4 тис. т.) [4]/

Таблиця 1.1

Дані щодо кількості викидів забруднюючих речовин в атмосферу

Роки	Обсяги викидів забруднюючих речовин			Крім того, викиди діоксиду вуглецю		
	Усього, тис. т.	У тому числі		Усього, млн. т	У тому числі	
		Стаціонарними джерелами	Пересувними джерелами		Стаціонарними джерелами	Пересувними джерелами
2007	7380,0	4813,3	2566,7	218,1	184,0	34,1
2008	7210,3	4524,9	2685,4	209,4	174,2	35,2
2009	6442,9	3928,1	2514,8	185,2	152,8	32,4
2010	6678,0	4131,6	2546,4	198,2	165,0	33,2
2011	6877,3	4374,6	2502,7	236,0	202,2	33,8
2012	6821,1	4335,3	2485,8	232,0	198,2	33,8
2013	6719,8	4295,1	2424,7	230,7	197,6	33,1
2014 <sup>2</sup>	5346,2	3350,0	1996,2	194,7	166,9	27,8
2015 <sup>2</sup>	4521,3	2857,4	1663,9	162	138,9	23,1
2016 <sup>2</sup>	4686,6	3078,1	1608,5	150,6	150,6	-
2017 <sup>2</sup>	4230,6	2584,9	1645,7	124,2	124,2	-
2018 <sup>2</sup>	4121,2	2508,3	1612,9	126,4	126,4	-
2019 <sup>2</sup>	4108,3	2459,5	1648,8	121,3	121,3	-
2020 <sup>2</sup>	4017,3	2238,6	1778,7	109,1	109,1	-

<sup>2</sup> З 2015 р. відображаються дані по автомобільному, залізничному, авіаційному, водному транспорту та виробничій техніці.

<sup>1</sup> Без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та частини тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях.

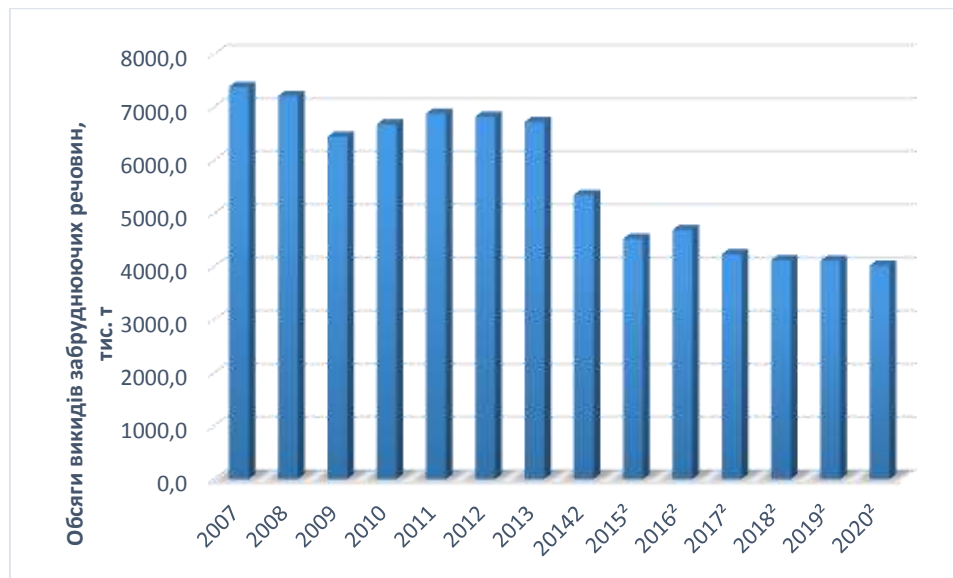


Рис. 1.3 Викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря України за 2007 -2020 р.

Внаслідок викидів шкідливих речовин разом з газами, що були відпрацьованими авіаційними двигунами, визначається вплив повітряних суден на атмосферу.

Значне забруднення атмосфери відбувається як під час польоту так і в зонах аеропортів – це є проблемою глобального масштабу забруднення. Проблема забруднення під час польоту літака є меншою за проблему забруднення в зоні аеропорту , тому що у процесі польоту, на великій висоті з великою швидкістю, відбувається розсіювання продуктів згоряння у верхніх шарах атмосфери та на великих територіях, що є наслідком зниження впливу на живі організми [5].

«Холодний хід двигуна» та малі швидкості служать одними з найбільш несприятливих режимів роботи, через те що при таких умовах відбувається викид більшої кількості забруднюючих речовин в порівнянні з навантажувальними режимами роботи. Саме через вихлопні патрубки та сопла двигунів газу потрапляють до атмосфери [6].

До складу відпрацьованих газів входять такі основні компоненти :

- Оксиди NO<sub>x</sub>;
- Оксид вуглецю CO;
- Оксиди сірки SO<sub>x</sub>;

- Альдегіди (акролеїн  $\text{CH}_2=\text{CH}_2=\text{CHO}$ , оцтовий альдегід  $\text{CH}_3\text{CHO}$ , формальдегід  $\text{HCHO}$ );

- Вуглеводні, що повністю не згоріли  $\text{C}_x\text{H}_y$  ( ацетилен  $\text{C}_2\text{H}_2$ , метан  $\text{CH}_4$ , бензол  $\text{C}_6\text{H}_6$ , етан  $\text{C}_2\text{H}_6$  та ін.);

- Сажа (чистий вуглець дрібнодисперсний) – під час зльоту літака виділяється у вигляді чорного шлейфу із сопел (виділяється не у великих кількостях).

На вміст  $\text{NO}_x$  у відпрацьованих газах двигуна авіаційного впливають декілька факторів, таких як :

- Часу перебування паливної суміші у камері згорання (залежність прямопропорційна), при невеликих швидкостях літака.

- Значення температури паливної суміші у камері згорання (залежність прямопропорційна), під час зльоту набуває максимально значення (2500....3000K).[3]

Отже, у процесі зльоту літака та близьких до нього режимах (процес набору висоті літаком) відбувається найбільший викид  $\text{NO}_x$ .

Основним компонентом газоподібних та рідких палив слугують вуглеводні  $\text{C}_x\text{H}_y$ . Різні види палива відрізняються один від одного вмістом ароматичних, нафтових, парафінових вуглеводнів та сполук сірки.

Приблизно 50% викидів, у результаті зльоту літака, розсіюються на найближчих до аеропорту територіях, у вигляді мікрочастинок, серед яких присутні важкі метали. Друга частина викидів під час декількох годин перебуває в повітрі у вигляді аерозолів, та згодом осідає на ґрунт.

Перед запуском до серійного виробництва кожний двигун проходить сертифікацію (серію випробувань), яка включає до свого переліку і перевірку на екологічну безпеку. Міжнародна організація цивільної авіації (ІКАО) впровадила жорсткі норми на емісію авіаційних двигунів.

Індекс емісії (EI) слугує кількісною характеристикою вироблених шкідливих речовин авіаційними двигунами. За допомогою EI можна визначити кількість грамів певної шкідливої речовини, що викидається у атмосферне повітря при спалювання 1 кг паливного матеріалу в двигуні. Даний показник визначають у процесі його



сертифікаційного випробування. Розмірність EI [г/кг]. Одними з найпоширеніших компоненти, що спричиняють найбільші викиди в атмосферне повітря  $EI_{C_xH_y}$ ,  $EI_{CO}$ ,  $EI_{NO_x}$  [3].

EI слугує показником якості організації процесу горіння в камері згорання кожного із зразків двигуна, також він має зв'язок з характеристиками конструкції та експлуатації камери. Тому для даного показника застосовують назву «емісійна характеристика двигуна».

Наявність таких компонентів як діоксид вуглецю та ароматичних вуглеводнів, у газоподібних викидах авіадвигунів, є результатом неповного згорання палива у авіадвигунів, а цей процес залежить від та режиму роботи двигуна і коефіцієнта повноти згорання [7].

Поняття стандартного злітно-посадкового циклу в свою чергу було введено ІКАО для нормування забруднюючих речовин відходів. Воно є єдиним для всіх та включає всі операції літака з моменту включення до моменту виключення двигуна.

Під час прогрівання двигуна після запуску, перед зльотом та після запуску руління літака - відносна тяга становить 3..9% від максимального значення служать режимом малого газу. Такий режим є тривалим та небезпечним з екологічної точки зору. Крім того цей режим відбувається в зоні аеропорту, відповідно і забруднення в цій зоні є більшим в порівнянні із зоною маршруту.

Забруднення приземного шару має більший вплив через більшу концентрованість і стійкість забруднюючих компонентів. Під час маршруту польоту літака забруднюючі елементи розсіюються і робота двигунів на високих швидкостях є стабільною.

При будівництві аеропортів найголовнішим є розрахунок емісії авіаційних двигунів, тому необхідно ретельно досліджувати це питання, беручи до уваги розташування найближчих населених пунктів.

До зони озонового шару щороку потрапляє 180 тис. т газів сірки, оксиди азоту становлять приблизно 1,5 млн. т. Усе це прискорює руйнування озонового екрану. Питомий викид забрудників у повітря при спалюванні палива наведений у таблиці 1.2.

Питомий викид забрудників у повітря  
при спалюванні палив

Забрудник	Питомий викид, мг/м <sup>3</sup>	
	Дизельне паливо	Бензин
Оксид вуглецю (II)	0,1	0,6
Оксид вуглецю (IV)	0,04	0,04
Вуглеводні	0,03	0,1
Оксид сірки (IV)	0,2	0,02
Сажа	0,0155	0,00058
Сполуки свинцю	-	0,0003
Бензапірен	$0,31 \cdot 10^{-6}$	$0,23 \cdot 10^{-6}$

*Чадний газ, або оксид карбону (II) CO* – газ без запаху та кольору, утворюється внаслідок неповного згорання палива, один з найбільших забрудників атмосферного повітря. При концентрації в повітрі понад 1% - негативно впливає на живі організми та рослини, понад 4% - викликає загибель організмів. Викликає кисневе голодування організмів внаслідок блокування з'явлення еритроцитів киснем, що призводить до смерті [8].

*Оксиди азоту (NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)* – небезпечніший за CO (у 10 р.), утворюються при недосконалому процесі спалювання палива. Викликають кислотні дощі. У випадку потрапляння в організм людини, сполучаються з молекулами води, у дихальних шляхах, утворюючи азотну кислоту, як наслідок подразнення слизових оболонок та тяжкі захворювання [4].

*Ангідриди сірки SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>* - утворюються при згорання, здебільшого, дизельного палива. При потраплянні в організм людини викликає подразнення слизових оболонок, тривала дія на організм спричиняє утворення гастритів бронхітів, ларингітів та інших подібних хвороб. На рослини впливає також негативно, результатом даного впливу є зникнення хлорофілу, яке в свою чергу призводить до відмирання клітин [4].

Авіація, крім шкідливих викидів в атмосферне повітря, спричиняє також *шумове забруднення*. Під шумом розуміють усі сторонні звуки або їх сукупність, які мають негативний вплив на працездатність та є причиною різноманітних порушень екосистем. Шуми спричиняють негативний вплив на нервову систему людини, ендокринної системи, органів слуху та серцево-судинної системи. Основними джерелами шуму, здебільшого, є транспортні засоби. Для запобігання негативного впливу шуму за здоров'я людей необхідно висаджувати зелені посадки рослин, встановлювати шумовловлюючі екрани та ін [8].

Ще одним джерелом негативного впливу авіації на організм людини є *вібрації*. Вони призводять до сильної виснаги та деяких значних порушень організму – струс мозку, порушення нервової системи, кровообігу тощо.

#### *Вплив авіації на повітря*

Масштаби впливу аеропортів на повітря залежить від багатьох факторів, таких як віддаленість аеропортів від населених пунктів, масштабів самих аеропортів, типу аеропорту, та операцій які здійснюються у ньому. Найбільший негативний вплив на повітря відбувається у процесі експлуатації літака, у вигляді продуктів згорання палива.

#### Джерела викидів аеропортів:

- гази, що викидаються у атмосферне повітря під час зльоту та посадки літаків;
- гази що утворюються в результаті та в процесі заправки літаків,
- гази, що утворюються в процесі використання наземного обладнання, що використовують для обслуговування літаків у зоні аеропорту,
- викиди від спалювання палива наземних транспортів, що використовують для перевезення персоналу та користувачів аеропорту [5].

Утворення забруднюючих речовин в результаті згорання палив залежить, безпосередньо від хімічного складу палива. Дані забруднюючі суміші можна класифікувати за впливом, ті що впливають на клімат ( $\text{CO}_2$ ), та ті що впливають шляхом хімічних реакцій( такі як  $\text{NO}_x$ ).

#### *Вплив авіації на землекористування та ґрунти*

Найбільшим впливом на землекористування є виділення земельних угідь на розширення транспортної інфраструктури. У процесі розробки деяких проектних робіт можливе відчуження цінних сільськогосподарських угідь.

Також, присутній і вплив всіх видів транспорту на продукцію рослинництва:

- забруднення викидами двигунів сільськогосподарських культур, які певною мірою можуть поглинатися,
- уповільнення росту і розвитку рослин, внаслідок відкладання пилу,
- неможливість або/та обмеження виробництва органічних продуктів харчування.

#### *Вплив на водні ресурси*

Серед ризиків негативного впливу авіації на водні ресурси є можливий витік паливо-мастильних матеріалів у підземні або поверхневі води. Також в результаті використання хімічних речовин, призначених для боротьби з обмерзанням повітряних суден у зимовий період.

#### *Вплив на флору та фауну*

Останнім часом птахи все більше становлять загрозу для польотів суден, через збільшення частоти зіткнень з останніми. Дане явище відбувається в результаті затягування птаха реактивним двигуном і як наслідок може відбутися раптове переривання зльоту, оскільки дані зіткнення відбуваються, найчастіше, на малих висотах.

### **1.3. Розвиток альтернативних авіаційних палив у світі**

Першими у використанні альтернативного авіаційного палива (ААП) у авіації була британська компанія Virgin Atlantic, якій вдалося провести політ на альтернативному паливі. Дана подія відбулася 2008 року 24 лютого, «Боїнг-747» виконав пробний політ від Лондона до Амстердама, при цьому використовуючи в одному з двигунів біопаливо, що в своєму складі мало пальмову та кокосову олію. Була використана суміш, яка містила 20% біопалива у своєму складі. Проте

представники компанії Virgin Atlantic затвердили можливість використання суміші палива з додаванням біокомпоненту у кількості 40% [9].

За рік до вдалого випробування французька компанія CFM International провела успішні випробування авіадвигуна CFM56-7B використовуючи паливну суміш що складалася з авіаційного гасу і біопалива (30%, на основі рослинних жирів). Зміни у конструкцію двигуна не вносилися, основною метою було досягнення скорочення значень забруднюючих викидів діоксиду вуглецю на 20% та відслідкувати відсутність втрат потужності авіадвигуна.

Фахівці ВАТ "Туполєв" у 1980-х роках створили літак, яких міг працювати на рідкому водні. Даний лайнер отримав назву «Лабораторія ТУ-155» він вперше піднявся 15 квітня 1988 року. Рідкий водень вважають ідеальним екологічним паливом, через те що при згоранні утворюється лише вода та деяка невелика кількість атомів оксидів азоту. Та дане паливо має характерний недолік – вибухонебезпечність [10].

З кожним роком зростає попит на збільшення світового автомобільного парку, це в свою чергу, збільшує попит на виробництво палив. Довгий час сировиною для виробництва слугували енергоносії здебільшого нафтового походження. Нині запаси нафти становлять приблизно 1,05 трлн барелів.

Протягом останнього часу присутньою є тенденція до розширення ринку палив саме альтернативними видами палив. За статистикою у 1979 році 50% енергоресурсів, що споживалися, припадало на нафтову сировину, то на сьогодні даний показник становить близько 35%. Крім того загальне споживання нафти у світі скорочується, проте ціна нафтових палив та сирової нафти лише зростає. Все це змушує людство до створення та використання інших енергоресурсів [11].

Представниками альтернативного палива є палива, що були одержані у процесі переробки біомаси. Його можна застосовувати як альтернативу вичерпному нафтовому паливу та у вигляді суміші, вміст ААП не повинен перевищувати 50% від традиційного палива, дотримуючись відповідних вимог (вимоги до сертифікації ASTM D 7566).

Серед переваг відновлювальних джерел енергії є в першу чергу відновлюваність сировини, скорочення викидів CO<sub>2</sub> в навколишнє середовище, біодеградація є легкою у навколишньому середовищі. ААП безвинятково повинні відповідати певним вимогам до надійності ефективності авіаційної техніки [12].

Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO) надає статистичні данні щодо виробництва та використання ААП на сьогодні виглядає так:

- Приблизно 185 000 комерційних рейсів було здійснено починаючи з 2011 року.
- Було сертифіковано 8 технологічних процесів виробництва ААП;
- 0,01 % від загальної потреби у авіаційному паливі становив обсяг ААП;
- Понад 40 авіакомпаній вже використали АПП та мають відповідний досвід [13].

В результаті проведення аналізу діяльності авіакомпаній світу, представлено їх досвід використання ААП у таблиці 1.3 [14].

Введення нових видів палив для ГТД, з метою декарбонізації авіаційної галузі, вимагає відповідної сертифікації, яка регулюється основними нормами:

- Стандартна специфікація ASTM D7566 для авіаційного палива для ГТД, що містить вуглеводні [15];
- Стандартна специфікація ASTM D1655 для авіаційного палива для ГТД [16];
- Стандартна практика ASTM D4054 щодо затвердження та кваліфікації нових авіаційних палив для ГТД та додатків до палив [17].

Для проведення процесу сертифікації нового альтернативного палива необхідно подолати довгий шлях, прикласти багато зусиль і відповідно ресурсів, це було зазначено керівництвом ASTM D4054 [17].

## Перший досвід використання ААП світовими авіакомпаніями

№ з/п	Перевізник	Дата першого польоту на ААП	Інформація про політ
1	Air New Zealand	Грудень 2008	Технічний випробувальний політ на літаку Boeing 747
2	Japan Airlines	Січень 2009	Технічний випробувальний політ на Boeing 747
3	Finnair	Липень 2011	Серія рейсів літака Airbus сімейства A320 між Амстердамом та Хельсінкі
4	Interjet	Липень 2011	Комерційний рейс на літаку Airbus A320 між Мехіко та Тухтла-Гутьєррес
5	AeroMexico	Серпень 2011	Комерційний рейс на літаку Boeing 777 між Мехіко та Мадридом
6	Iberia	Жовтень 2011	Комерційний рейс на літаку Airbus A320 між Мадридом і Барселеною
7	Thomson Airways	Жовтень 2011	Комерційний рейс між Бірмінгемом та Аппісіфе на літаку Boeing 757
8	Air France	Жовтень 2011	Серія польотів на літаку сімейства Airbus A320 між Тулузою і Парижем
9	Air China	Жовтень 2011	Технічний випробувальний політ на літаку Boeing 747
10	Alaska Airways	Листопад 2011	Серія комерційних рейсів на літаках Bombardier Q400 та Boeing 737
11	Thai Airways	Грудень 2011	Комерційний рейс на літаку Boeing 777 між Бангкоком і Чіанг-Май
12	Etihad Airways	Січень 2012	Рейс-доставка на літаку Boeing 777 з Сіетла до Абу-Дабі
13	Latam Airways	Березень 2012	Серія рейсів до Латинської Америки
14	Porter Airlines	Квітень 2012	Демонстраційний політ на літаку Bombardier Q400 з Торонто до Оттави
15	Jetstar Airways	Квітень 2012	Комерційний рейс між Мельбурном та Хобаром на літаку Airbus A320
16	Air Canada	Червень 2012	Два комерційні рейси з Торонто до Мехіко
17	KLM	Травень 2014	Комерційний рейс з Амстердама в Арубу на літаку Airbus A330-200
18	GOL LineasAéreas	Червень 2014	Серія польотів під час чемпіонату світу з футболу
19	Nextjet	Червень 2014	Комерційний рейс з Карлстада в Стокгольм
20	Finnair	Вересень 2014	Комерційний рейс з Гельсінкі в Нью-Йорк на літаку Airbus A330
21	Lufthansa	Вересень 2014	Рейсовий політ з Франкфурта до Берліна

22	Scandinavian Airlines	Листопад 2014	Рейси між Стокгольмом та Остерзундом, Тронхеймом та Осло на літаку Boeing 737
23	Norwegian Airlines	Листопад 2014	Політ між Бергенем та Осло на літаку Boeing 737
24	Hainan Airlines	Березень 2015	Комерційний рейс між Шанхаєм і Пекіном на літаку Boeing 737
25	Alaska Airlines	Червень 2016	Два комерційні рейси з Сіетла до Сан-Франциско та Вашингтона
26	Alaska Airlines	Листопад 2016	Комерційний демонстраційний політ із Сіетла до Вашингтона на літаку Boeing 737-800
27	Braathens Regional Airlines	Лютий 2017	Комерційний рейс зі Стокгольма в Умео на літаку ATR 72-600
28	Air Canada	Квітень 2017	Серія з п'яти тестових польотів між Монреалем і Торонто
29	Singapore Airlines	Травень 2017	Серія транс-тихоокеанських рейсів між Сінгапуром та Сан-Франциско на літаку Airbus A350
30	Різне	Листопад 2017	Комерційні рейси на «Fly Green Day» з Чикаго від Lufthansa, United Airlines, Etihad, Cathay Pacific Airways, Emirates, Japan Airlines, Korean Air, Atlas Air та FedEx
31	Hainan Airlines	Листопад 2017	Комерційний рейс з Пекіна до Чикаго на літаку Boeing 787
32	China Airlines	Грудень 2017	Рейс-доставка літаком A350-900 з Тулузи до Тайбею
33	Qantas	Січень 2018	Комерційний рейс з Лос-Анджелеса в Мельбурн на літаку Boeing 787-9
34	Air Canada	Травень 2018	Комерційний рейс з Едмонтону до Сан-Франциско на літаку A320-200
35	SpiceJet Airlines	Серпень 2018	Демонстраційний політ на літаку Bombardier Q400 з Дехрадуна в Делі
36	jetBlue Airways	Вересень 2018	Рейс-доставка літаком A321 з Мобайла, штат Алабама в Нью-Йорк
37	Etihad Airways	Січень 2019	Комерційний рейс з Абу-Дабі в Амстердам на літаку Boeing 787
38	China Southern Airlines	Лютий 2019	Рейс-доставка літаком A320NEO з Тулузи в Гуанчжоу
39	Braathens Regional Airlines	Травень 2019	«Ідеальний політ» з Халмстада в Стокгольм на літаку ATR 72-600
40	Різне	Травень 2019	21 приватний літак вилетів до Женеви на щорічну Європейську конвенцію та виставку бізнес-авіації (EBACE)
41	United Airlines	Червень 2019	Екологічно чистий комерційний «Flight For the Planet» з Чикаго в Лос-Анджелес
42	Delta	Липень 2019	Рейс-доставка літаком A321 з Мобайла, штат Алабама до Канзас-Сіті (перший у серії 20 рейсів доставки до Дельти з використанням ААП)
43	Egyptair	Липень 2019	Рейс-доставка літаком Boeing 787 з Сіетла в Каїр
44	Finnair	Серпень 2019	Перші два рейси підтримані ініціативою «Push for change» з Сан-Франциско до Гельсінкі



#### 1.4. Висновки до розділу

Галузь авіабудування висуває низку підвищених вимог до якості, екологічності та умов експлуатації палив, як наслідок науково-технічного прогресу.

Авіація слугує одним з ключових факторів світової економіки, проте на дану галузь, що стрімко зростає, припадає близько 2-3% світових викидів CO<sub>2</sub>.

Масштаби впливу забруднюючих речовин, в результаті експлуатації аеропортів, прогнозуються і враховуються ще на етапі розробки проектного будівництва. Забруднення аеропортами прилеглих земель визначається його наближеності до населених пунктів та масштабом операцій, що проводять у зоні аеропорту.

В результаті збільшення щорічного попиту на авіаційні палива відповідно зростає попит на нафтову сировину, що є вичерпною. Отже, необхідно якнайшвидше розширювати сировинну базу для виробництва палив та, в свою чергу, впроваджувати нові технології для виробництва альтернативні видів палив, що є відновлюваними та екологічними. Враховуючи що цей процес є довготривалим необхідно негайно починати впровадження і в нашій країні.

Використання палив на основі біомаси пропонує безліч переваг, наприклад :

- Зменшення шкідливих викидів в атмосферне повітря, що несе за собою зменшення викидів діоксиду вуглецю і відповідно викид парникових газів.
- Підвищення енергетичної безпеки – можливість виготовлення палива будь-де та з різноманітної сировини, що є доступною у тому чи іншому регіоні.
- Збільшена гнучкість – альтернативне паливо слугує заміником палив на основі вичерпного нафтового палива, відповідно збільшуючи ринок сировини, для виробництва палив, та збільшення кількості технологій виробництва.

Впровадження альтернативних видів палива також пропонує нові робочі місця, в результаті створення нових технологій для виробництва.

Крім того, деякі види біопалива не потребують впровадження нових видів двигунів або переробки існуючих, що говорить про можливість застосування вже сьогодні.

За результатами світових досліджень альтернативні палива можна поділити на декілька груп:

- комерційні, вони можуть застосовуватися на сьогоднішній день з подальшою перспективою ( стиснутий природний газ, нафтовий газ зріджений, спирти та добавки до бензинів );
- перспективні (водень, біогаз);
- проблемні ( естери, водобензинові емульсії, металосуспензії).

За досвідом інших країн, ми можемо зробити висновок, що впровадження альтернативного палива довготривалий і поступовий процес. Через необхідність впровадження окремих технологій.

На сьогодні найбільш вдалими є проекти по застосуванню водню, природного газу та біопалива. Водень – паливо майбутнього, через те що в результаті згорання утворює мінімальну кількість забруднюючих речовин, але має головний недолік-вибухонебезпечність, через яку вимагає дотримання суворих вимог при транспортуванні та зберіганні.

## РОЗДІЛ 2

# ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ АВІАЦІЙНИХ ПАЛИВ

### 2.1. Технологічні процеси одержання альтернативних авіаційних палив

На сьогодні існує велика кількість технологій виробництва альтернативних авіаційних палив. У цьому розділі наведені основні технологічні процеси їх основні переваги та недоліки і основні етапи, що вони включають до свого складу.

#### 2.1.1. Технологічний процес одержання ААП синтезом Фішера-Тропша

Процес синтезу Фішера-Тропша (FT) є першим затвердженим процесом отримання саме синтетичного палива для ГТД.[18] Крім цього процес FT є високоекзотермічним промисловим процесом, Дана технологія включає в себе основні чотири етапи (рис. 2.1).

У результаті перетворення на першому етапі, з вихідної сировини відбувається утворення синтетичного газу, що складається з оксиду вуглецю (II) та водню.

Другою стадією, безпосередньо, відбувається стадія FT в результаті якої, отриманий на попередній стадії, синтетичний газ перетворюється на складні вуглеводні, що мають низьку селективність вуглецевого ланцюга (C1-C50) над каталізаторами. FT- синтез можна застосовувати двома шляхами: перший – це низькотемпературний в присутності кобальтового каталізатора, та другий – високотемпературний в присутності залізного каталізатора. Продуктом першого випадку будуть парафіни, другого – олефіни.

Гідрокрекінг та ізомеризація є наступними стадіями яким піддаються вуглеводні. Останнім (завершальним) етапом є перегонка та розділення продукту, в результаті якого відбувається відокремлення фракції палива для ГТД.

Процес FT може застосовуватися для різних видів сировини скерעד яких біомаса, газ, та вугілля. Залежно від класу сировини використовуються різні процеси перероблення даної сировини відповідно BtL та GtL.

Процес GtL використовується для переробки вугілля у синтетичне паливо для ГТД, яке утворюється в FT реакторі з попередньою газифікацією вугілля. Сировиною процесу VtL є біомаса, в якості якої можуть використовувати газ природний, вугілля та водень. Також у випадку використання біомаси як сировини, необхідна її попередня обробка.

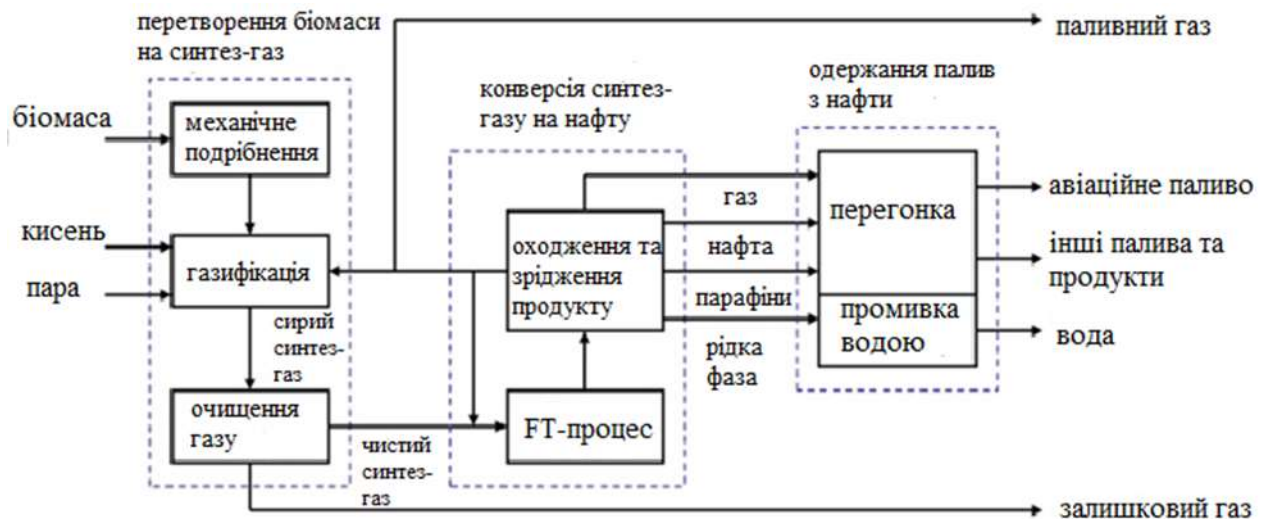


Рис. 2.1 Схема синтезу Фішера – Тропша

### 2.1.2. Технологічний процес одержання ААП гідрогенізацією естерів та жирних кислот (HEFA)

Першою назвою даного процесу була HVO (гідроочищені рослинні олії), після сертифікації ASTM у 2011 році було дано аббревіатуру HEFA, так як деякі види сировини були твердими жирами, а не тільки оліями. Продуктами даної технології є палива, що є гідро очищеними естерами та жирними кислотами [19].

Різноманітність сировини процесу HEFA дещо менша за різноманітність процесу FT. Вихідними речовинами є тригліцериди, зазвичай, тверді жири або олії, рослинного походження, що є доступними у великих об'ємах.

Процес HEFA є подібним за своєю технологією до технологічного процесу перероблення викопної нафти (рис. 2.2). Перший етап є підготовчим, на якому сировину обробляють та готують до переробки. Наступним етапом є гідрообробка (взаємодія з воднем), результатом якої є відділення кисню від сировини.

Розщеплення та ізомеризація вуглеводнів, отриманих на першому етапі – наступні етапи технологічного процесу. Як результат отримують вуглеводні, а саме суміші н-алканів та ізоалканів, що мають низькотемпературні властивості. Потім здійснюють перегонку продукту та розділення на фракції.

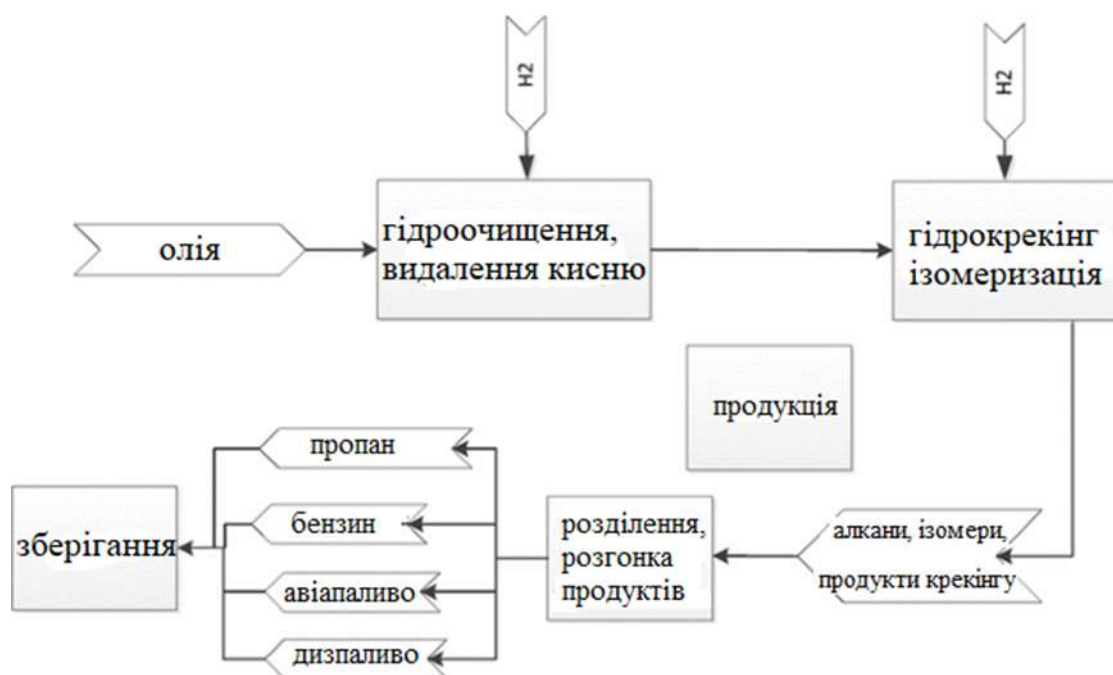


Рис. 2.2 Технологічна схема синтезу ААП гідрогенізацією естерів та жирних кислот

### 2.1.3. Технологічний процес одержання ААП гідроочищенням ферментованих цукрів (SIP)

Паливо, що вироблене за технологією SIP представляє собою синтезовані ізопарафіни. Початковою аббревіатурою процесу гідроочищення ферментованих цукрів була DSHC, що означало пряме перетворення цукрів на вуглеводні [20].

Даний технологічний процес включає в себе дві основні стадії: ферментація сахарози та гідрообробка. Ферментація сахарози, на першому етапі, відбувається під дією впливу мікроорганізмів для одержання розгалуженого алкена C15 з чотирма подвійним зв'язками, який називається «фарзенен». На наступному етапі фарзенен взаємодіє з воднем через каталітичний шар і в результаті чого він перетворюється на

відповідний алкан. Даний алкан має назву «фарнезан» та в подальшому очищається дистиляцією. Компонентний вміст даного продукту в сумішевому альтернативному авіаційному паливі може становити 10%.

Загальна технологія переробки біомаси біологічними перетвореннями включає такі стадії: концентрування сировини, біологічна конверсія, гідро очистка та олігомеризація (рис.2.3).

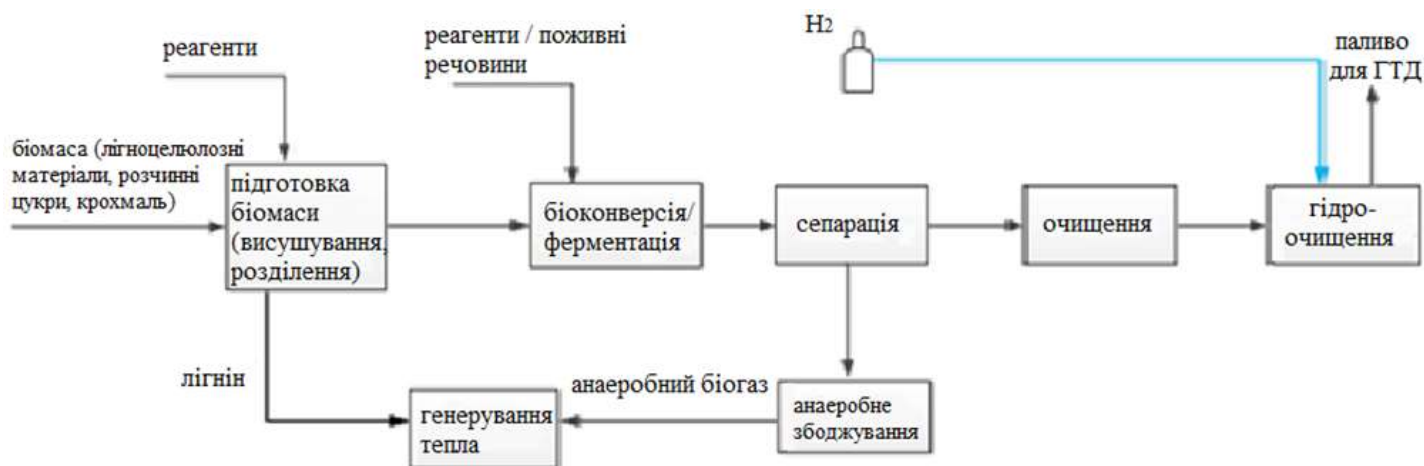


Рис. 2.3 Технологічна схема процесу одержання ААП гідроочищенням ферментованих цукрів

#### 2.1.4. Технологічний процес отримання ААП переробленням спиртової сировини (АТJ-SPK)

Альтернативне авіаційне паливо АТJ-SPK представляє собою синтетичний парафіновий керосин, який одержаний в результаті переробки спиртів. Дана технологія передбачає виробництво палив з використанням спиртів, які не мають у своєму складі ароматичних сполук, але існують технології які передбачають використання і таких спиртів, у складі яких наявні ароматичні сполуки. Представником даної технології є процес АТJ-СКА. Сировиною для процесу АТJ може бути будь-яка біомаса, а також деякі неорганічні речовини.

Технологія виробництва АТJ включає в себе два основні етапи переробки, які є незалежними одна від одної: виробництво спирту та, безпосередньо, його перетворення на паливо (рис.2.4) [21].

Другий етап, у свою чергу, до свого складу включає безліч процесів і є більш вагомим. В першу чергу спирти зневоднюють для утворення алкеного продукту, що містить атомів вуглецю однаково кількість. Далі відбувається відділення молекул води та домішок з продукту, що отримано на попередній стадії. На наступному етапі вже газоподібний продукт олігомеризують до ненасичених сполук. Ненасичені олігомери відділяють та повторно обробляють процесом гідрування над твердо фазним каталізатором у середовищі водню газоподібного. Кінцевою стадією є перегонка продукту та одержання фракції, що є паливом для ГТД.

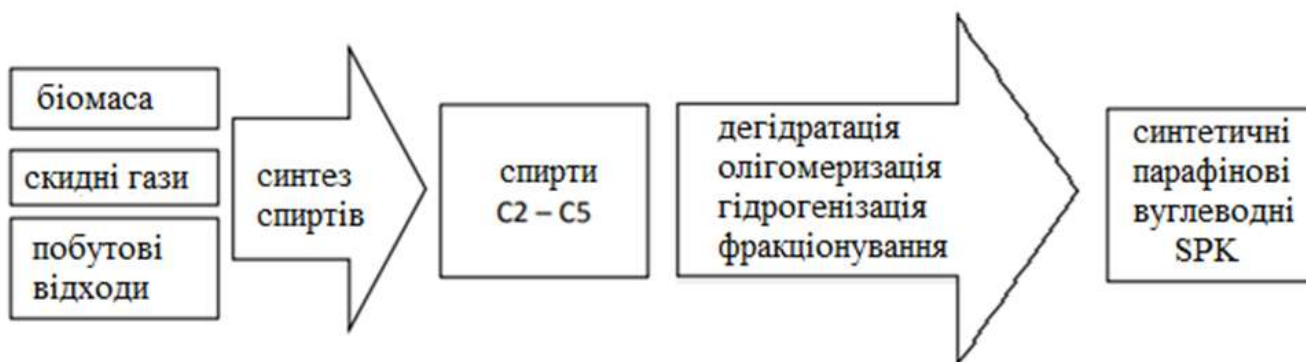


Рис. 2.4 Технологічний процес виробництва ААП переробленням спиртової сировини

### **2.1.5 технологічний процес одержання ААП переробкою спиртової сировини з вмістом ароматичних вуглеводнів (АТJ-SKA)**

Альтернативне авіаційне паливо АТJ-SKA представляє собою синтетичний парафіновий керосин, який одержаний в результаті переробки спиртів, що в своєму складі мають ароматичні вуглеводні.

Технологічний процес виробництва АТJ-SKA є однаковим з процесом АТJ-SPK, але має одну додаткову стадію – ароматизація (рис.2.5) [22].

Дана технологія застосовується у Швеції компанією Biofuels і там дана технологія отримала назву SB-JP-8.

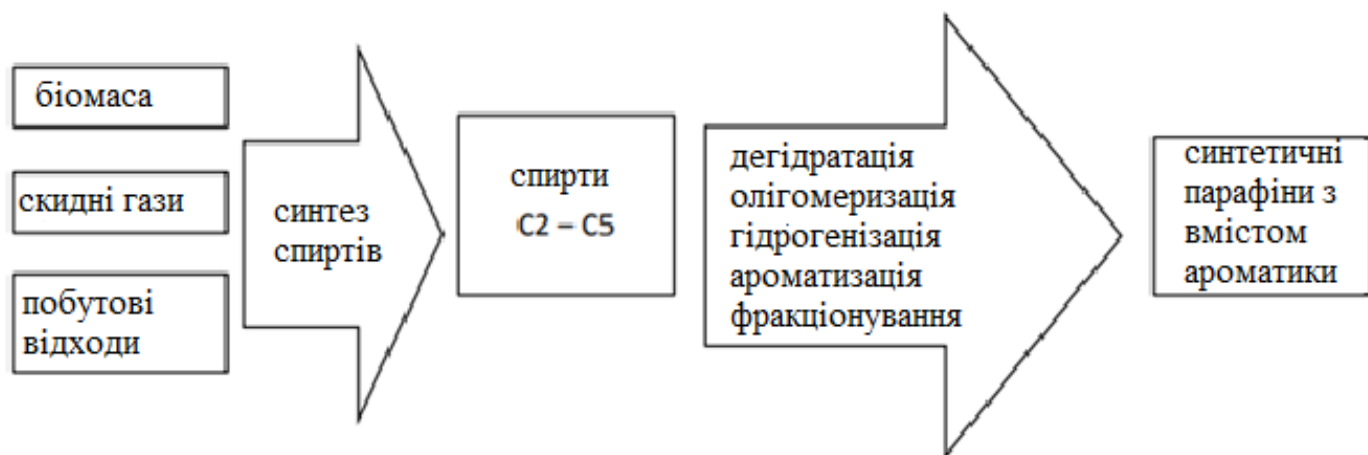


Рис. 2.5 Технологічний процес отримання ААП переробкою спиртової сировини з вмістом ароматичних вуглеводнів

### **2.1.6. Технологічний процес отримання ААП каталітичним гідротермолізом**

Паливо альтернативне авіаційне, отримане каталітичним гідротермолізом, є синтетичним, що відповідно у своєму складі містить синтетичні ароматичні вуглеводні. Для даного процесу застосовується аббревіатура СН, що розуміє під собою альтернативне паливо для ГТД, що одержане медом каталітичного гідротермолізу.

Вихідною сировиною для даного технологічного процесу є матеріали на основі тригліцеридів, а саме жири та олії (олії рижію, ятрофи, каринати, тунгова олія).

Технологічний процес виробництва ААП каталітичним гідротермолізом включає три основні етапи (рис. 2.6) [23]. Першим є каталітичний гдротермоліз, в результаті якого сировина перетворюється на ароматичні сполуки, ізо- та циклоалкани. Далі отримана суміш піддається гідро обробці, з метою видалення



атомів оксигену та насичення олефінів . кінцевим етапом є перегонка та розділення на фракції, серед яких присутня фракція палива.

Продукт, який ми отримуємо в результаті дуже подібний за своїми властивостями до нафтового палива. В своєму складі даний продукт містить від 6 до 28 атомів вуглецю, серед яких н-алкани, ізо-алкани, цикло-алкани.

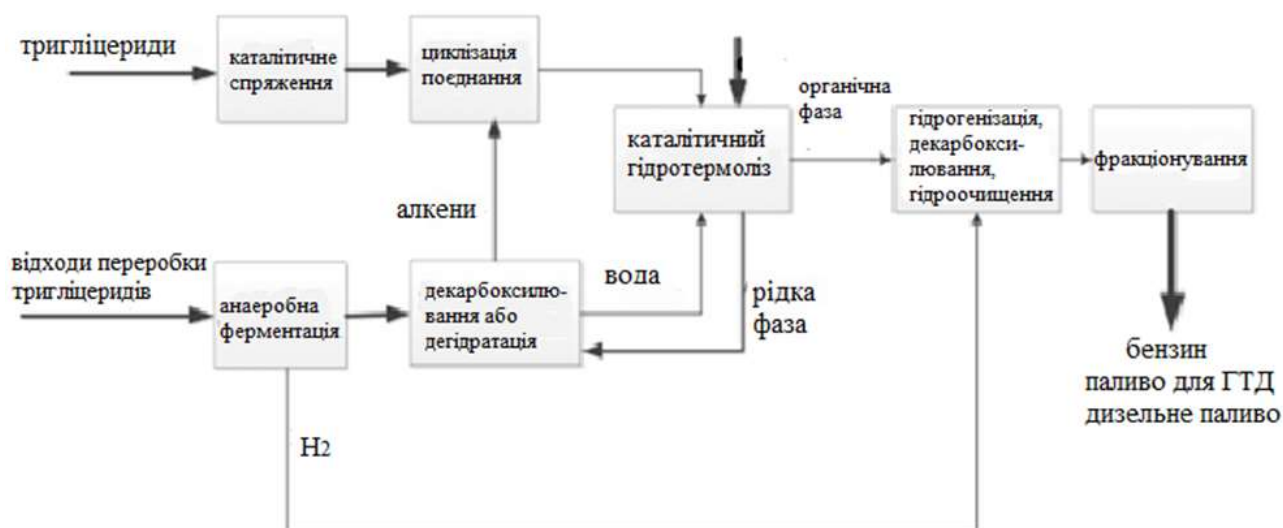


Рис. 2.6 Технологічна схема виробництва ААП каталітичним гідротермолізом

## 2.2. Сировина для виробництва альтернативних авіаційних палив

На сьогодні основним паливом для ГТД є керосин. В Україні найрозповсюдженими та найбільш вживаними марками авіаційного пального є: JetA-1, ТС-1, РТ. Враховуючи постійно зростаючу тенденцію на авіаперельоти відповідно зростає потит на паливо.

Майже все паливо в нашій країні є імпортом через недостачу власних викопних ресурсів. Запаси сирої нафти задовольняють авіаційну галузь на 15%, всі інші 85% становить імпортоване паливо.

Враховуючи вищеперераховані дані, необхідно негайно впроваджувати альтернативні технології та матеріали з біомаси.

Для авіаційного транспорту найбільш перспективними нині є такі види альтернативних палив : біоетанол, біодизель та стиснений пригородний газ (СПГ). У майбутньому можливе широке впровадження водню.

Сировиною для виробництва біопалив може стати сільськогосподарська продукція до переліку якої входять: соя, ріпак, соняшник, кукурудза, льон, цукрова тростина, пальмова тростина, мікроводорості та ін. Ця продукція може вирощуватися як спеціально, з метою виробництва альтернативного палива, так і можливе використання вже відходів сільськогосподарської промисловості. Навмисне використання вищенаведених культур не є доцільним, через додаткове виснаження земель та можливий вплив на харчову промисловість. За загальними показниками на кожен гектар землі, на якому вирощується олійна сировина з дотриманням певних вимог, припадає приблизно 1 т біодизельного палива (таблиця 2.2) [12].

Таблиця 2.2

Виробництво олії із різної сировини з 1 гектару за рік

Сировина	Маса, кг олії/га	Об'єм, л олії/га	Сировина	Маса, кг олії/га	Об'єм, л олії/га
Кукурудза	145	172	Какао	863	1026
Кеш'ю	148	176	Арахіс	890	1059
Овес	183	217	Мак	978	1163
Люпин	195	232	Ріпак	1000	1190
Календула	256	305	Олива	1019	1212
Бавовна	273	325	Кастор	1188	1413
Коноплі	305	363	Пекан	1505	1791
Соя	375	446	Жолоба	1528	1818
Кава	386	459	Ястрофа	1590	1892
Льон	402	478	Горіх макадамі	1887	2246
Лісний горіх	405	482	Бразильський горіх	2010	2392
Насіння гарбуза	449	534	Авокадо	2217	2638
Коріандр	450	536	Кокос	2260	2689
Насіння гірчиці	481	572	Пальмова олія	5000	5950
Рижик	490	583	Рис	696	828
Кунжут	585	696	Водорості	-	9500
Сафдор красильний	655	779			
Соняшник	800	952			

Тому більш раціональним є використання вже відпрацьованих продуктів промисловості, лісового господарства, побутових відхів та, безпосередньо, сільського господарства. Наприклад, стічні води, лушпиння, солома, залишки продуктів харчування, жири тварин, лісоматеріал, добриво (перегній), фритюрований жир. Анаеробне травлення дозволяє використовувати даний матеріал як сировину для біогазу. Не треба забувати про перспективний напрямок виробництва АП з вторинних ресурсів, мова йде про гази, одержані в результаті переробки нафти, кокосовий, генераторний, доменний та відходи сільськогосподарського виробництва. Найважливішим компонентом в їхньому складі є біомаса та продукти її переробки.

Для України найбільш перспективним є виробництво та застосування біопалив виготовлених на основі рослинної олії. Біодизельне паливо є найбільш економічним та є сумісним з існуючими двигунами транспорту [24].

### **2.3. Виробництво альтернативних авіаційних палив на основі олійної сировини**

Агропромисловість в Україні є потужною промисловою галуззю що за останнє десятиріччя має тенденцію до зростання. Також наша держава є великим експортером олійної сировини до країн Європи. Найпоширенішими культурами є соняшник, менше тропічні олії та найменшу частину – інші види рослинних олій [25].

Рослинні олії мають широке застосування у виробництві альтернативних палив. Вони мають у своєму складі жирні кислоти, що включають до свого складу кисень, що має вуглеводневу основу. Також через наявність кисню знижується теплота згоряння палив, але в той же час він підвищує температуру застигання.

Застосування рослинних олій як чистого палива обмежується через наявність у їхньому складі смолистих речовин, що призводять до утворення нагару на деталях двигуна. Жирні кислоти у такому паливі впливають на високу температуру застигання.

Однією з головних переваг рослинних олій це можливість їх змішування з будь-яким традиційним паливом та між собою, у різних пропорціях. Таким чином можна регулювати характеристику та фізико-хімічні показники сумішевого палива. Також біопаливо на основі рослинних олій вважається безпечним видом палива, через те, що показник запалення сягає понад 150 °С.

Використання саме олійної сировини для виробництва альтернативних палив можливе як в сумішевому вигляді з традиційним паливом так і як самостійне паливо. Крім того, можливе перероблення олійної сировини у метиловий та етиловий етер, які також придатні для застосування як у сумішевому вигляді та як самостійне паливо відповідно. Метиловий та етиловий етер отримують переетерифікацією жирних кислот, що входять до складу даної сировини, з метиловим або етиловим спиртом відповідно, у присутності відповідного каталізатора (їдкою калію). Відпрацьовану речовину – шрот (макуха), що утворюється в результаті переетерифікації, можливо утилізувати як корм для сільськогосподарських тварин, оскільки вона має в своєму складі до 40 % протеїну та 8-11 % жиру.

На рис. 2.7. зображено динаміку зміни потенціалу переходу на альтернативне паливо, що виготовлено на основі олійної сировини.

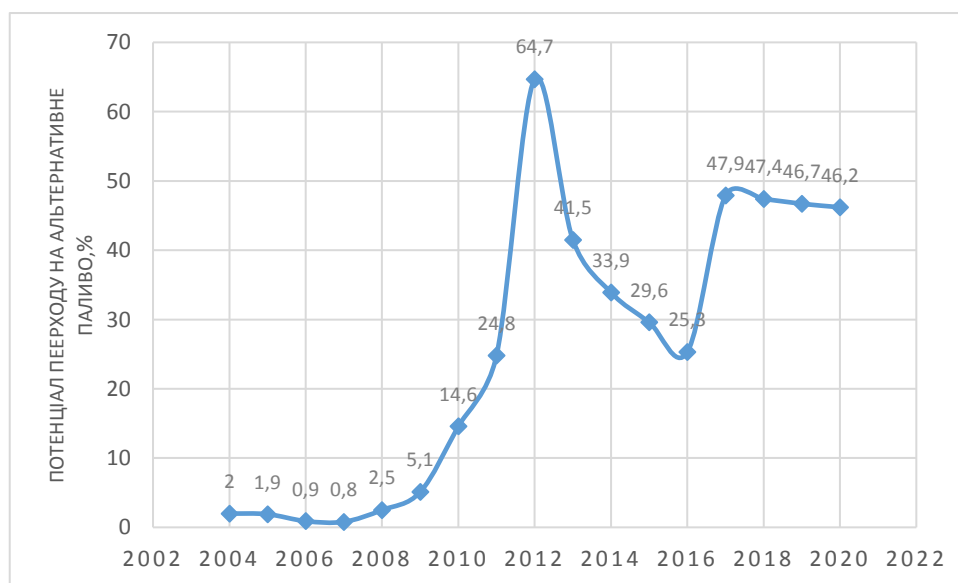


Рис. 2.7 Зміна потенціалу переходу на біопаливо, що отримане на основі олійної сировини

Обсяги виробництва біопалива залежать від попиту на використання, переробки продуктів сільського господарства, беручи до уваги рівень цін на видобувне паливо.

Ще 5 років тому ріпак був найпоширенішим видом сировини для біопалив, проте значне його вирощування призводить до швидкого виснаження родючих земель. Крім того ріпак є вибагливою до кліматичних умов рослиною. Враховуючи це використання ріпаку як олійної сировини не є доцільним.

Перспективною олійною сировиною для отримання альтернативних палив є рижій. Процес його вирощування не вимагає особливих кліматичних умов. Наявність ненасичених жирні кислоти, з наявними подвійними зв'язками, у складі ріпака сприяють відносно низькою температурою застигання, в порівнянні з іншими олійними культурами. Даний показник становить приблизно -18 °С.

Щоб обґрунтувати переваги рижію над ріпаком було наведено порівняльну таблицю 2.3 [26]. З нижченаведеної таблиці видно, що рижій представляє перспективну олійну сировину для виробництва альтернативних палив.

Не треба забувати що наша держава виступає на світовому ринку як провідний експортер олій таких культур як соняшник та ріпак. Враховуючи використання даних олій як сировини для виробництва біопалива не є доцільним. Проте нині Україна стрімко почала нарощувати тенденцію у імпортуванні тропічних олій. Вони є дешевшими за експортовану і до того ж не складають конкуренції у харчовій промисловості. Через меншу ціну їх доцільніше використовувати у промисловості.

*Таблиця 2.3*

Порівняльна таблиця основних властивостей ріпаку та рижію

№	Властивості	Вид олійної сировини	
		Ріпак	Рижій
1	Загальна характеристика	Однорічна кормова рослина	Однорічна рослина.
2	Посухостійкість	Висока потреба у воді	Низька потреба у воді
3	Потенціал проростання	Вимоглива до ґрунту	Підходять майже всі види ґрунту .

4	Загроза виснаження ґрунту	Виснажує ґрунти. Вирощувати на одному і тому ж місці можливе через 3-4 роки	Використовують як проміжну культуру, після збирання врожаю якої можна висаджувати інші культури.
5	Наявність бур'янів	Велика кількість	Виділення ефірної олії, що пригнічує ріст та розвиток бур'янів від фази утворення стебла до повної дозрілості насіння.
6	Втрати насіння	Низька стійкість	Висока стійкість
7	Вразливість посівів шкідниками	Сильно вражається шкідниками	Шкідники та хвороби не виявлені.
8	Період вегетації	90-100 діб	60-75 діб

#### 2.4. Висновки до розділу

В результаті роботи над розділом було розглянуто основні технології одержання ААП, також було розглянуто сировину з якої виготовляють дані палива та виробництво ААП на основі саме олійної сировини.

Палива на основі рослинної олії мають гарну біорозкладаємість, у випадку витоку даного виду палива, розкладання проходить на 99% за приблизно 28 днів. При використанні даного палива викиди, у вигляді монооксиду вуглецю та часток азоту, в атмосферне повітря скорочуються на 50 % в порівнянні з традиційним викопним паливом.

Україна володіє великим потенціалом у сфері виробництва біопалива з олійної сировини. Можливий варіант збільшення обсягів посівів олійних культур з метою отримання приблизно 3,0 млн. т біопалива. Нажаль, сьогодні майже увесь врожай ріпаку та соняшнику відправляється на експорт, через те що в Україні виробництво біопалив є збитковим. Рижій на сьогодні є перспективною сировиною для виробництва ААП. Він не вимагає особливих умов для вирощування, не виснажує землю та має низку переваг над ріпаком. Використання біопалив, як

альтернатива традиційному викопному паливу, допоможе зекономити приблизно 2 млрд грн щорічно.

Метод переетерифікації рослинних олій слугує найбільш вживаним промисловим методом отримання екологічного та якісного альтернативного палива.

Використання продуктів переробки рослинних олій, як палива, є доцільнішим в порівнянні з чистою олійною сировиною, через поліпшення фізико-хімічних властивостей, що робить їх подібними до традиційного палива та відповідно дає можливість застосування на існуючих двигунах.

## РОЗДІЛ 3

### ВЛАСТИВОСТІ АЛЬТЕРНАТИВНИХ АВІАЦІЙНИХ ПАЛИВ НА ОСНОВІ ПАЛЬМОЯДРОВОЇ ОЛІЇ

#### 3.1. Основні властивості сировини

Пальмоядрова олія є представником твердої олійної сировини, що є продуктом переробки плодів олійної пальми з приємним смаком та запахом. Колір коливається від безбарвного до жовтуватого. Основні властивості пальмоядрова олія має подібні до кокосової олії. Перша включає до свого складу більше процентів олеїнової та ленолевої кислот. До свого складу включає такі вітаміни як Е та А, а також бета-керотин [27].



Рис. 3.1 Плоди олійної пальми

*Elaeis guineensis* – представник пальмових дерев, з різних видів якої отримують пальмоядрову та пальмову олії. Дана рослина здебільшого росте в Центральній Африці, також Індії та деяких тропічних областях. Термін росту пальмового дерева становить 3 роки, термін плодоносності становить близько 35



років. Плоди представляють собою невеликі «сливки», що формуються у грона. Плоди складаються з твердої кістки ( ядра ) та м'якоті. Пальмоядрова олія має головну відмінність від пальмової, хоча їх здебільшого плутають, пальмоядрову олію добувають переробкою з ядер – кісток (що включають до свого складу близько 50% жиру) , відповідно, пальмову – з м'якоті (що включають до свого складу близько 49% жиру). Також відмінністю є різні жирні кислоти, що входять до складу тригліцеридів даних олій (таблиця 3.1) [27].

*Таблиця 3.1*

Кількісний склад жирних кислот, що входять до складу пальмоядрової олії

Назва кислоти	Вміст жирних кислот, %
Каприлова кислота (C 8: 0)	2,89
Капринова кислота (C 10: 0)	3,21
Лауринова кислота (C 12: 0)	47,04
Міристинова кислота (C 14: 0)	16,64
Пальмітинова кислота (C 16: 0)	8,95
Стеаринова кислота (C 18: 0)	2,43
Олеїнова кислота (C 18: 1)	15,97
Лінолева кислота (C 18: 2)	2,49

Майже половину пальмового горіха займає ядро, їх відокремлюють від оболонки та в результаті віджиму на шнековому пресі, екстракцією розчинником, отримують пальмоядрову олію.

До свого складу пальмоядрова олія включає насичені жири, що займають більшу частину, поліненасичені жирні кислоти та мононенасичені жирні кислоти, що обумовлює вищу температуру плавлення. Основними компонентами, що входять до складу є міристинова та лауринова кислота. Вона має менше жирних кислот з середньою довжиною ланцюга і дещо більше олеїнової кислоти, в порівнянні з кокосовою олією. У таблиці 3.2 наведено порівняльну характеристику фізико – хімічних властивостей кокосової та пальмоядрової олій [27].

Порівняльна таблиця основних фізико-хімічних властивостей кокосової та пальмоядрової олій

Властивості	Кокосова олія	Пальмоядрова олія
Температура плавлення, °С	23-26	25-30
Масова частка вологи та летких речовин, %	0,1	0,1
Йодне число, г I <sub>2</sub> /100 г	8-11	11-33
Перекисне число, ммоль <sup>1/2</sup> O/кг	0,5	2
Кислотне число, мг КОН/г	0,1	0,2
Показник переломлення при 40 °С	1,4497	1,452

Температура застигання, при якій пальмоядрова приймає вигляд твердої нерухої однорідної речовини, пальмоядрової олії становить від +19 °С до +24 °С. температура плавлення, в свою чергу, приймає значення від +25 °С до +30 °С. Дана олія є сильним антиоксидантом, добре вбирається. Пальмоядрова олія відрізняються гарною окисною стійкістю, результатом чого є можливість тривалого зберігання.

Пальмоядрова олія знайшла застосування у харчовій промисловості у якості виробництва маргарину. Також застосовується у виробництві гліцерину, свічок та мильних засобів.

### **3.2. Технологічний процес одержання та фізико-хімічні властивості компонентів палив на основі пальмоядрової олії**

#### **3.2.1. Технологічна схема одержання етилового естеру пальмоядрової олії**

Технологічний процес отримання етилового ефіру пальмоядрової олії представляє собою процес переестерифікації даної олійної сировини у присутності каталізатора гідроксиду натрію. У якості переестерифікуючого агента використано зразки етилового спирту.

Основних етапів що входять до складу технологічного процесу є вісім (рис. 3.2) [28]. Першим етапом є приготування спиртового розчину каталізатора. Його

готують у конічній колбі з постійним перемішуванням за кімнатної температури додаючи розчин лугу до олії. Наступним етапом є, безпосередньо, процес переестерифікації пальмоядрової олії етиловим спиртом.

Потім одержані продукти необхідно відстояти та розділити на два шари гліцериновий та естеровий шари. Наступним етапом є відпарбвання етиловго спирту з естерового шару. Отриманий естеровий шар необхідно повторно відпарити від етанолу та гліцеринового шару 2. Після цього естеровий шар 2 необхідно відмити за допомогою гарячої води 7 разів у співвідношенні 1/1 вода/естер.

Сьомим етапом є осушення вже відмитих естерів нейтральним осушувачем  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  безводний, взятого у пропорції 10% від завантаженого естеру. Останнім етапом є осушення на паперовому фільтрі.

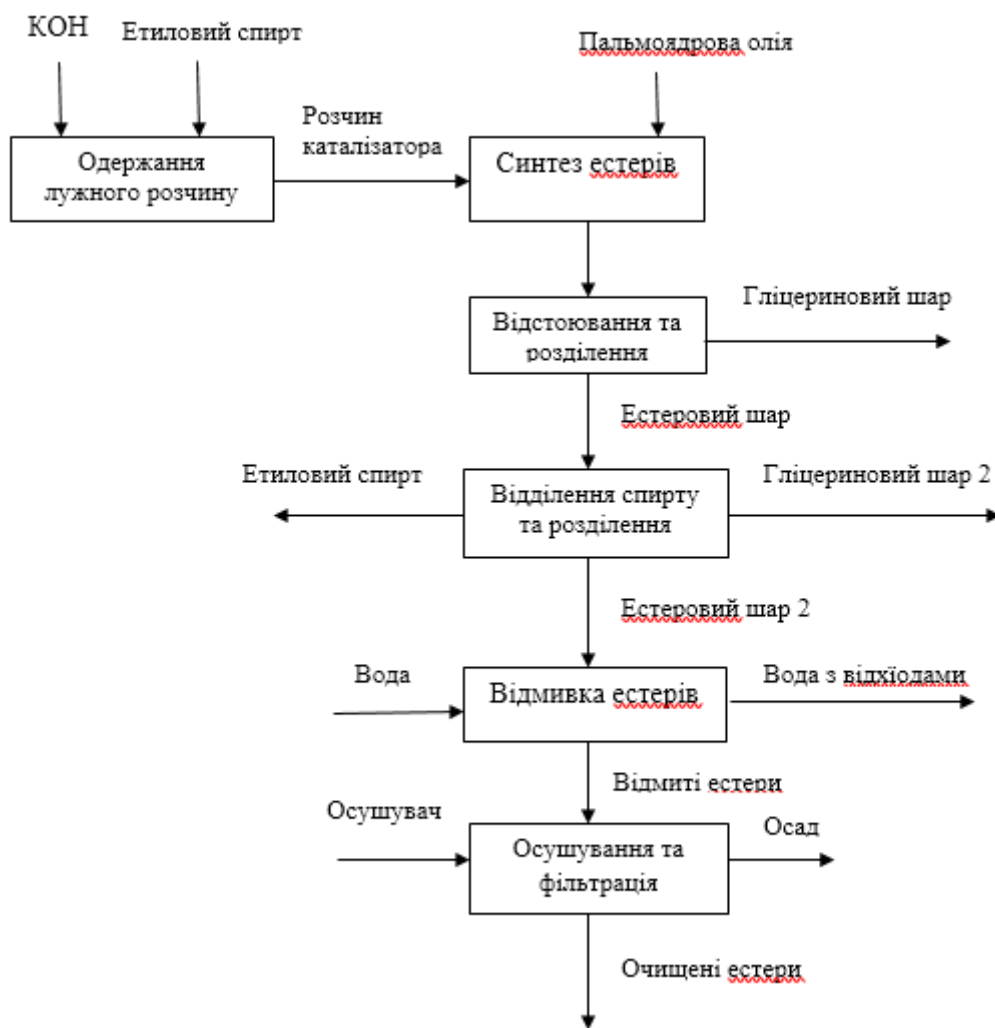


Рис. 3.2 Технологічна схема одержання етилових естерів пальмоядрової олії

### 3.2.2. Порівняльна характеристика фізико-хімічних властивостей компонентів пальмоядрової, ріпакової та раїжієвої олій

Виробництво альтернативного палива з олійної сировини є перспективним напрямком у розвитку альтернативної енергетики. Як було описано раніше провідними сільськогосподарськими культурами для отримання рослинної олії, так званого «палива першого покоління», в Україні є ріпак та ріжій. З метою розширення сировинного ринку біопалива було досліджено пальмоядрову олію.

У таблиці 3.3 [26] наведено порівняльну характеристику фізико-хімічних властивостей етилових естерів на основі пальмоядрової, ріпакової та ріжійєвої олій. Вимірювання густини та в'язкості проводилися за температури 20 °С.

Таблиця 3.3

Порівняльна таблиця основних фізико-хімічних властивостей етилових естерів на основі пальмоядрової, ріпакової та ріжійєвої олій

Етиловий естер	В'язкість, сСт	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Температура кристалізації, °С	Температура спалаху, °С
Пальмоядрової олії	4,55	860,14	-13	110
Ріпакової олії	7,27	752,5	-18	40,27
Ріжійєва олії	6,42	871,64	-18,5	39,84

Враховуючи дані таблиці 3.3 бачимо, що в'язкість етилового естеру пальмоядрової олії має найменше значення, в порівнянні з іншими. Даний результат є позитивним, оскільки в'язкість впливає на подальшу повноту згорання вуглецю. При великих значеннях показника в'язкості виникає зменшення міри розпилуваності палива, і як наслідок пошкодження деталей двигуна.

Проаналізувавши показники густини можна прослідкувати, що кращий показник має етиловий естер ріпакової олії, його значення подібне до традиційного палива. Густина є важливим показником при аналізі палива. Найгірший показник

860,14 кг/м<sup>3</sup> має етиловий естер пальмоядрової олії, що свідчить про передбачено низьку швидкість утворення паливно-повітряної суміші,

Краще значення температури кристалізації  $-18,5$  °C показав етиловий естер рижієвої олії, але воно не дуже відрізнялося від показника етилового естера ріпакової олії. Отримані дані свідчать про неможливість застосування даних компонентів у зимовий період без вмісту відповідних присадок, для пониження температури кристалізації.

Показник температури спалаху етилових естерів ріпакової та рижієвої олій мають майже подібні значення, в той час як температура спалаху етилового естеру пальмоядрової олії має кардинально відмінне значення. Висока температура спалаху свідчить про безпечність етилового естеру пальмоядрової олії в порівнянні з іншими естерами.

### **3.3. Властивості авіаційних палив з компонентами на основі пальмоядрової олії**

Як зазначалося раніше, метою дипломної роботи є порівняння модифікованих палив із наявними. Для цього було необхідно провести ряд експериментів, результати яких наведені нижче.

Для проведення експерименту необхідно було для початку приготувати проби сумішей альтернативних палив, властивості яких безпосередньо визначалися. Для цього було взято сім попередньо очищених ємності у які було розміщено суміші палив. Вони склалися з авіаційного палива РТ та біокомпонента – етиловий ефір пальмоядрової олії (рис. 3.3).

Суміші палив змішувалися у відповідних відсоткових співвідношеннях, а саме: 1 проба – 90% РТ + 10% біокомпонент;

2 проба – 80% РТ + 20% біокомпонент;

3 проба – 70% РТ + 30% біокомпонент;

4 проба – 60% РТ + 40% біокомпонент;

5 проба – 50% РТ + 50% біокомпонент;

6 проба – 100% біокомпонент;

7 проба – 100% РТ.



Рис. 3.3 проби палива з різним відсотковим вмістом біокомпоненту

### 3.3.1. Визначення густини

Густина – це фізична величина, що дорівнює відношенню маси речовини до її об'єму. Даний показник є одним з основних показників що входять до паспорту якості палива. Вимірюється у  $\text{кг}/\text{см}^3$ . Значення для дизельних палив мають знаходитись у межах  $790 - 970 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Значення густини залежить від фракційного складу палива, так велике значення густини, свідчить про наявність у паливі тяжких вуглеводнів. Вони погіршують швидкість утворення паливної суміші, що призводить до погіршення роботи двигуна, підвищує нагароутворення та підвищує споживання палива.

Густину визначають за допомогою приладів: ареометрів або пікнометрів та гідростатичних ваг. Ареометри та гідростатичні ваги дають можливість визначенню густини нафтопродуктів зі значенням в'язкості, яке не перевищує  $200 \text{ мм}^2/\text{с}$  при  $50^\circ\text{C}$ .

Найбільш вживаним є метод визначення густини за допомогою ареометрів. Випробування проводять за ГОСТ 3900 [29].

*Проведення експерименту.*

До чистого та сухого мірного циліндру додають 100 мл палива, доливаючи так, щоб уникнути утворення бульбашок. Пропоновано витримати паливо у циліндрі 2-3 хв, з метою досягання паливом температури навколишнього середовища. Потім

обережно не торкаючись стінок циліндра опустити сухий та чистий ареометр, тримаючи за верхній кінець ареометра. Зафіксувати результат по верхньому краю меніска на ареометрі [30].

У результаті проведення даного вимірювання було отримано такі значення густини, при температура 10 °С:

$$\rho (100\% \text{ PT})=800 \text{ г/см}^3;$$

$$\rho (90\% \text{ PT} + 10\% \text{ біокомпонент}) = 806 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho (80\% \text{ PT} + 20\% \text{ біокомпонент})= 813 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho (70\% \text{ PT} + 30\% \text{ біокомпонент})= 820 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho (60\% \text{ PT} + 40\% \text{ біокомпонент})= 826 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho (50\% \text{ PT} + 50\% \text{ біокомпонент})= 834 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho (100\% \text{ біокомпонент})= 867 \text{ г/см}^3.$$

Визначення густини палива необхідно проводити за температури 20 °С. У випадку відхилення значення температури застосовують формулу (3.1).

$$\rho_{20} = \rho + \gamma(t - 20), \quad (3.1)$$

Де  $\rho$  – густина палива,  $t$  – температура палива,  $\gamma$  – температурна поправка.

Значення температурної поправки знаходимо з рис. 3.4.

Густина, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Температурна поправка, $\gamma$ , кг (м <sup>3</sup> ·°С)	Густина, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Температурна поправка, $\gamma$ , кг (м <sup>3</sup> ·°С)
690—699	0,910	850—859	0,699
700—709	0,897	860—869	0,686
710—719	0,884	870—879	0,673
720—729	0,870	880—889	0,660
730—739	0,857	890—899	0,647
740—749	0,844	900—909	0,633
750—759	0,831	910—919	0,620
760—769	0,818	920—929	0,607
770—779	0,805	930—939	0,594
780—789	0,792	940—949	0,581
790—799	0,778	950—959	0,567
800—809	0,765	960—969	0,554
810—819	0,752	970—979	0,541
820—829	0,738	980—989	0,528
830—839	0,725	990—1000	0,515
840—849	0,712	—	—

Рис. 3.4 Довідникові дані температурної поправки для визначення густини

Використовуюючи формулу 3.1 отримаємо:

$$\rho (100\% \text{ PT})= 800 + 0,765(10-20) = 792,35 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho (90\% \text{ PT} + 10\% \text{ біокомпонент}) = 806 + 0,765(10-20) = 798,35 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho (80\% \text{ PT} + 20\% \text{ біокомпонент})= 813 + 0,752(10-20) = 805,48 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho (70\% \text{ PT} + 30\% \text{ біокомпонент})= 820 + 0,738(10-20) = 812,62 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho (60\% \text{ PT} + 40\% \text{ біокомпонент})= 826 + 0,738(10-20) = 818,62 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho (50\% \text{ PT} + 50\% \text{ біокомпонент})= 834 + 0,725(10-20) = 826,75 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho (100\% \text{ біокомпонент})= 867 + 0,686(10-20) = 860,14 \text{ кг/м}^3.$$

На рис. 3.5 наведено графік залежності густини палива від вмісту в ньому біокомпонента.

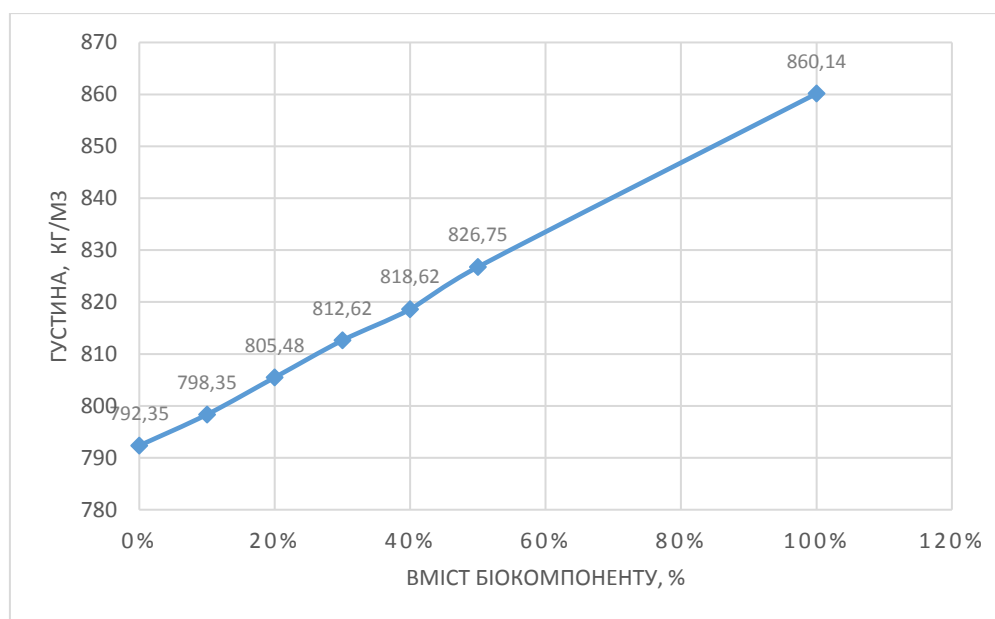


Рис. 3.5 Залежність густини палива від вмісту біокомпонента

З даного графіку видно, що значення густини зростає при зростанні відсоткового вмісту біокомпоненту у паливі.

На рис.3.6 та рис.3.7 зображено процес проведення визначення густини палива РТ 100%-го та суміші палива РТ з додаванням біокомпоненту 10%.





Рис. 3.6 Визначення густини палива РТ



Рис.3.7 Визначення густини палива РТ з додавання біокомпоненту 10%

### 3.3.2. Визначення в'язкості

В'язкість – це властивість рідини чинити опір переміщенню, що обумовлений внутрішніми молекулярними взаємодіями у середовищі, що рухається. Має розмірність  $\text{м}^2/\text{с}$  або сантистокс (сСт);

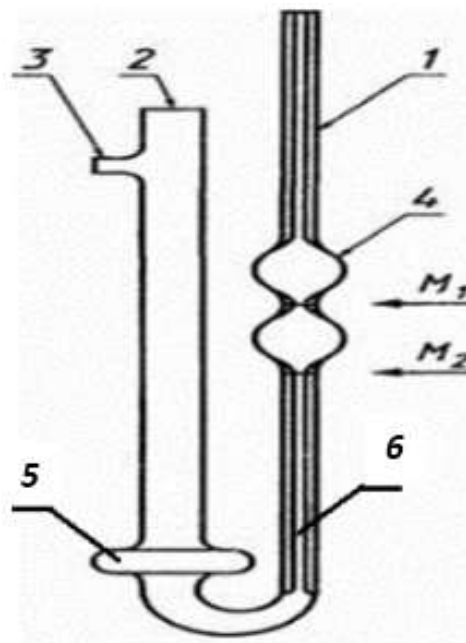
$$1 \text{ сСт} = 1 \text{ мм}^2/\text{с} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

В'язкість слугує показником прокачуваності та протизносних властивостей палив. Показник в'язкості є залежним від вуглецевого складу палив. Для дизельних палив такі процеси як випаровування, зносостійкість систем впорскування та сумішоутворення – визначаються в'язкістю. Чим більше значення в'язкості, тим гірше розпилювання палива, знижується повнота його згорання, зростає опір похитування палив у паливній системі. В той же час при великій в'язкості збільшується зносостійкість через відсутність протікання палив через щілини.

Оптимальне значення в'язкості палива коливається від 1,8 до 7,0 сСт [29].

*Проведення експерименту.*

В'язкість визначають за допомогою приладів – віскозиметрів за температури 20 °С. Вони являють собою скляну U-подібну трубку, що в середині мають тонкий капіляр через який протікатиме випробовуване паливо, за певний час від матки М1 до мітки М2 (рис.3.8).



1,2 – трубки, 3- відвідна трубка, 4,5 – розширення, 6- капіляр.

Рис. 3.8 Будова віскозиметра

Перед початком випробування необхідно підібрати відповідний за діаметром капіляра віскозиметра. Віскозиметр промивають хромовою сумішшю, після чого промивають дистильованою водою і сушать повітрям.

Перед початком випробування проби палива необхідно відфільтрувати через паперовий фільтр. Перед кожним послідовним визначенням віскозиметри необхідно декілька разів промивати розчинником, що повністю випаровується.

До термостату (рис.3.10) віскозиметри необхідно занурювати так, щоб паливо що зміститься у віскозиметрі, було занурене не менше як на 20 мм нижче за рівень рідини у бані та не менше, ніж на 20 мм над дном бані. Термостат повинен забезпечувати постійну температуру 20 °С, температурні відхилення не мають перевищувати  $\pm 0,01$  °С.

Заповнений віскозиметр залишають у термостаті на протязі 30 хв. Після цього за допомогою гумової груші, яку встановлено через гумову трубку до отвору 1, піднімаємо паливо через капіляр 6 вище мітки М1. Як тільки паливо досягне мітки М1 необхідно на секундомірі заміряти час за який паливо опуститься до мітки М2 [31].

Випробування одного зразка необхідно проводити 3 рази. Значення в'язкості знаходимо за формулою 3.2:

$$\gamma = \frac{t_1+t_2+t_3}{3} * c, \quad (3.2)$$

де  $t_1, t_2, t_3$  – час першого, другого та третього випробування відповідно;  $c$  – стала віскозиметра.

Під час виконання експерименту мною було застосовано три різні віскозиметри, а саме №415 ( $c= 0,1186$  мм<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>), №3839 ( $c= 0,02767$  мм<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>) та №2777 ( $c= 0,02887$  мм<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>). Визначення в'язкості проводилося за допомогою апарату КВ-002.

Використовуючи формулу 3.3.2. отримано такі значення в'язкості:

$$\gamma (100\% \text{ PT}) = 54 * 0,028887 = 1,55898 \text{ сСт};$$

$$\gamma (90\% \text{ PT} + 10\% \text{ біокомпонент}) = 59,67 * 0,028887 = 1,723 \text{ сСт};$$

$$\gamma (80\% \text{ PT} + 20\% \text{ біокомпонент}) = 68,33 * 0,02767 = 1,89 \text{ сСт};$$

$$\gamma (70\% \text{ PT} + 30\% \text{ біокомпонент}) = 71,33 * 0,02887 = 2,069 \text{ сСт};$$

$$\gamma (60\% \text{ PT} + 40\% \text{ біокомпонент}) = 86,33 * 0,02767 = 2,389 \text{ сСт};$$

$$\gamma (50\% \text{ PT} + 50\% \text{ біокомпонент}) = 93,33 * 0,02767 = 2,58 \text{ сСт};$$

$$\gamma (100\% \text{ біокомпонент}) = 38,333 * 0,1186 = 4,5463 \text{ сСт.}$$

За отриманими даними було побудовано графік залежності в'язкості від відсоткового вмісту біокомпоненту у паливі (рис.3.9). Отримані дані знаходяться у допустимих межах. З графіку бачимо, що значення в'язкості зростають зі збільшенням відсоткового вмісту біокомпонента.

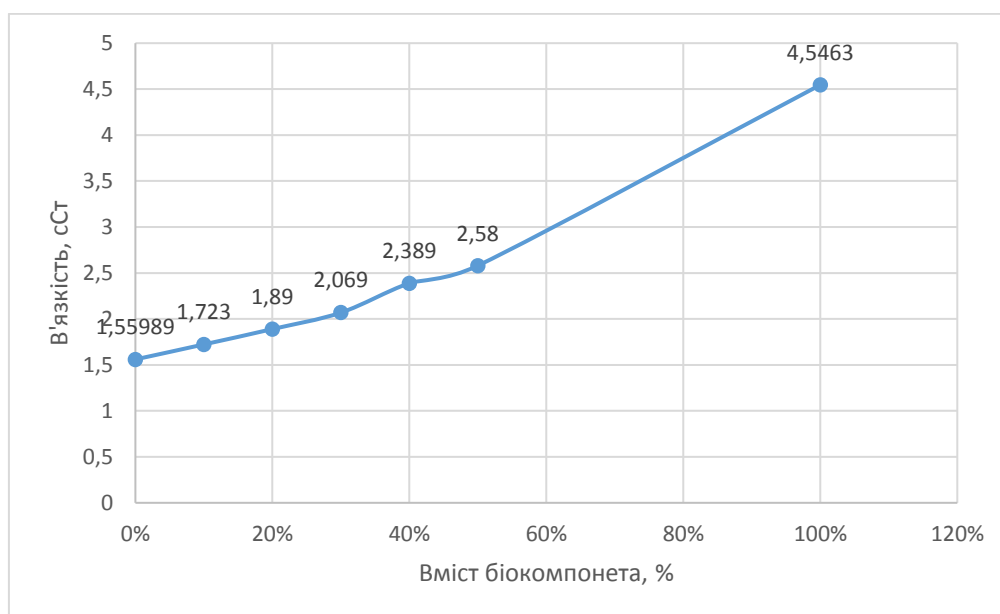


Рис.3.9 Графік залежності в'язкості від відсоткового вмісту біокомпоненту у паливі



Рис.3.10 Визначення в'язкості апаратом KV-002

### 3.3.3. Визначення температури кристалізації

Температура кристалізації палива – це показник, який дозволяє визначити температуру, за якої паливо втрачає рухливість з утворенням кристалів в умовах випробувань. Метою випробування є охолодження зразка до температури, за якої спостерігається утворення перших кристалів парафінових вуглеводнів. Випробування проводимо за ГОСТ 5066-91(ИСО 3013-74).

Низькотемпературну плинність дизельних палив та відповідно умови їх складського зберігання характеризує даний показник. Він, безпосередньо, залежить від фракційного та вуглеводневого складу дизельного палива. Також він впливає на в'язкісну характеристику палива. При утворенні кристалів палива, вони викликають порушення роботи насосу, а саме забивають фільтри і відповідно порушується подача нафтопродукту.

Для забезпечення необхідного значення температури кристалізації та застигання палива, до літніх палив додають спеціальні дисперсні присадки або фракції, що в порівнянні з літніми мають більш низькі температурні показники википання [29].

#### *Проведення експерименту.*

Дослід проводився на установці УТФ-70 (рис.3.12). До свого складу вона включає: охолоджуючу баню, компресорну систему охолодження та вакуумну систему. Випробування палива проводиться у скляній пробірці з подвійним стінками ( $d=25-33\text{мм}$ ,  $D=35-43\text{мм}$ ). Внутрішній шар пробірки має кільцеву позначку на висоті 40мм від дна, що позначає необхідну кількість випробовуваного палива.

До пробірки наливають досліджуване паливо та закривають пробкою з термометром. У шахту мікрохолодильника опускають пробірку. При кожному зменшенні температури на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  проводять візуальний порівняльний аналіз проби палива з початковою пробкою, виймаючи пробірку з холодильника. Тривалість процесу аналізу не повинна перевищувати 12 с.

За температуру кристалізації палива приймають значення, за якого неозброєним оком можна простежити утворення кристалів. При подальшому

зменшенні температури паливо втрачає свою рухомість через утворення кристалами просторової решітки [32].

У результаті проведення даного вимірювання було отримано такі значення температури спалаху:

$$T_{\text{кристалізації}} (100\% \text{ РТ}) = - 60^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{кристалізації}} (90\% \text{ РТ} + 10\% \text{ біокомпонент}) = - 54^{\circ}\text{C};$$

$$T_{\text{кристалізації}} (80\% \text{ РТ} + 20\% \text{ біокомпонент}) = - 41^{\circ}\text{C};$$

$$T_{\text{кристалізації}} (70\% \text{ РТ} + 30\% \text{ біокомпонент}) = - 36^{\circ}\text{C};$$

$$T_{\text{кристалізації}} (60\% \text{ РТ} + 40\% \text{ біокомпонент}) = - 32^{\circ}\text{C};$$

$$T_{\text{кристалізації}} (50\% \text{ РТ} + 50\% \text{ біокомпонент}) = - 28^{\circ}\text{C};$$

$$T_{\text{кристалізації}} (100\% \text{ біокомпонент}) = - 13^{\circ}\text{C} .$$

На рис.3.11 наведено графік впливу кількості біокомпонента у складі палива на температуру кристалізації палива.

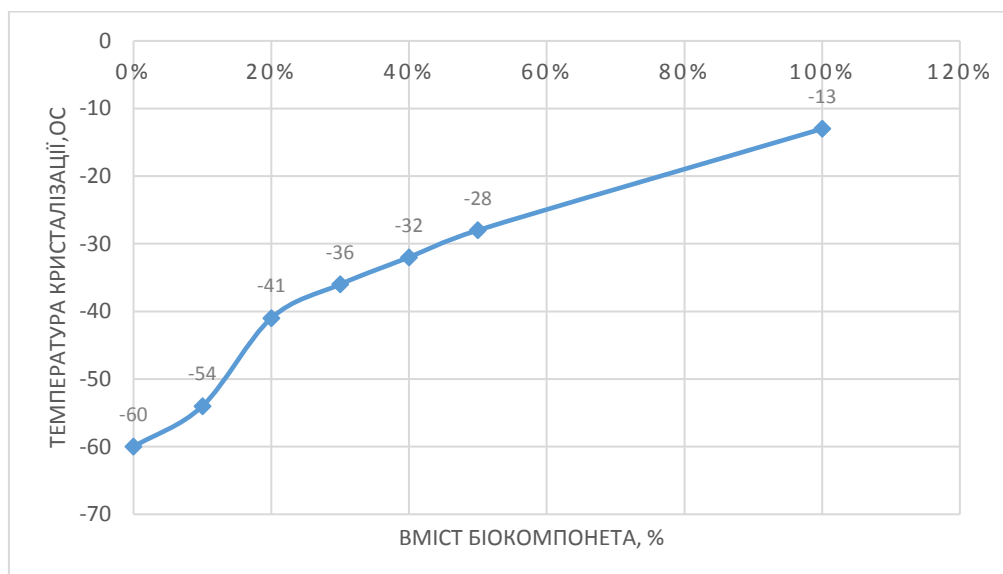


Рис.3.11 Графік залежності температури кристалізації від вмісту біокомпонента у паливі.

З графіку видно, що зі збільшенням вмісту біокомпонента у складі палива зростає і температура кристалізації палива, що свідчить про те що даний вид палив вимагає додавання антифризів.

На рис. 3.12 наведено установку УТФ-70 для визначення температури кристалізації палива.



Рис.3.12 Визначення температури кристалізації на приладі УТФ-70

### 3.3.4. Визначення температури спалаху

Температура спалаху – показник, що характеризує максимальну температуру горючої речовини, за якої в умовах випробування утворилась газо-повітряна суміш, що здатна запалюватись (спалахувати) у повітрі від джерела запалення але швидкість її утворення ще не достатня для подальшого горіння. Випробування необхідно проводити в апаратах з відкритим чи закритим тиглем за ГОСТ 4333 або ГОСТ 6356 відповідно.

Даний показник залежить від фракційного складу палива. Також характеризує пожежонебезпеку палив. Для дизельних палив значення регламентується залежно від області застосування палива [29].

### *Проведення експерименту.*

Випробування проводилося у приладі для визначення температури спалаху у закритому тиглі. Даний прилад встановлюють та у затемненому місці, де немає потоку повітря на стійкому столі.

Паливо, що випробовують, наливають у тигель до кільцевої мітки. Закривають тигель кришкою та встановлюють у нагрівальну баню. Кришка має два отвори, в один з яких встановлюється термометр. Вона обладнана заслонкою, мішалкою та пружинним важелем, поворот якого здійснює відкриття заслонки. Термометр ТН-1 має межі вимірювання від 0°C до 170°C з ціною поділки 1°C.

Прилад підключають до мережі і нагрівають пробу палива у тиглі. Перемішування здійснюють постійно, щоб за 1 хз температура зростала на 1°C.

У момент перевірки проби на спалах, перемішування припиняється, заслонку відкривають та підносять джерело вогню у паровий простір. Час перебування пальника у паровому просторі має становити 1 с.

За температуру спалаху палива беруть температуру при якій було зафіксовано чітку появу полум'я над поверхнею продукту.

Проведення експерименту можливе при підвищенні температури не меншу ніж на 17°C нижчу за прогнозовану температуру спалаху [33].

У результаті проведення даного вимірювання було отримано такі значення температури спалаху:

$$T_{\text{спалаху}} (100\% \text{ РТ}) = +53^{\circ}\text{C};$$

$$T_{\text{спалаху}} (90\% \text{ РТ} + 10\% \text{ біокомпонент}) = +54^{\circ}\text{C};$$

$$T_{\text{спалаху}} (80\% \text{ РТ} + 20\% \text{ біокомпонент}) = +55^{\circ}\text{C};$$

$$T_{\text{спалаху}} (70\% \text{ РТ} + 30\% \text{ біокомпонент}) = +55^{\circ}\text{C};$$

$$T_{\text{спалаху}} (60\% \text{ РТ} + 40\% \text{ біокомпонент}) = +60^{\circ}\text{C};$$

$$T_{\text{спалаху}} (50\% \text{ РТ} + 50\% \text{ біокомпонент}) = +60^{\circ}\text{C};$$

$$T_{\text{спалаху}} (100\% \text{ біокомпонент}) = +110^{\circ}\text{C}.$$

На рис.3.13 наведено графік впливу кількості біокомпонента у складі палива на температуру спалаху.



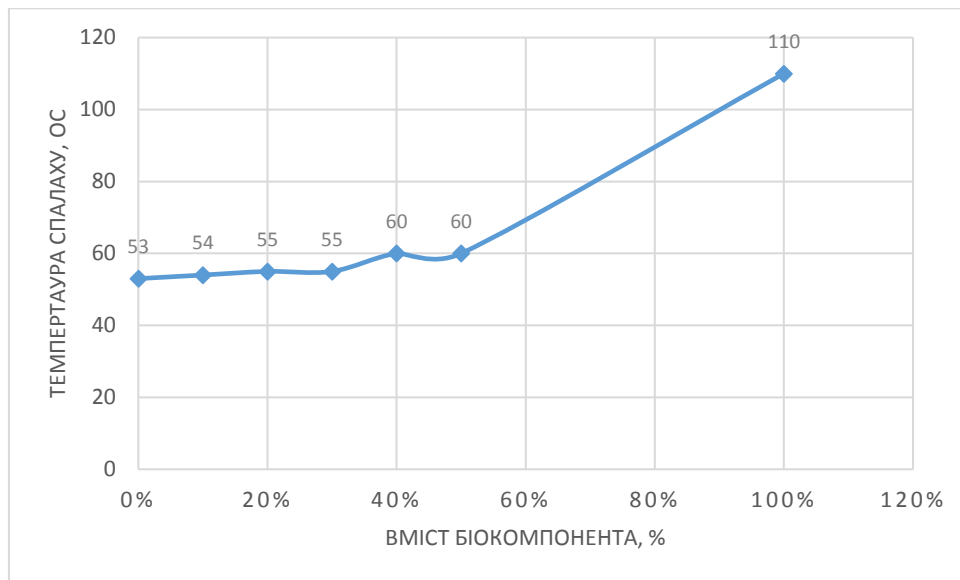


Рис. 3.13 Графік залежності температури спалаху від вмісту біокомпонента у паливі

Враховуючи дані графіка робимо висновок, зі збільшенням вмісту біокомпонента у складі палива, зростає і температура спалаху палива, що робить його безпечнішим.

### 3.4. Висновки до розділу

В результаті проведення досліджень було наведено основні властивості пальмоядрової олії, а саме аналіз зовнішнього вигляду, температури застигання та плавлення та склад. Проведено порівняльну характеристику пальмоядрової та кокосової олій. Наведено порівняльну характеристику основних фізико-хімічних властивостей етилових естерів пальмоядрової, ріпакової та рижієвої олій. У результаті роботи над розділом було досліджено основні фізико-хімічні показники палив з додаванням біокомпоненту у різних пропорціях та дослідження його фізико-хімічних властивостей у чистому виді.

## **ВИСНОВКИ**

Проаналізувано сучасний стан виробництва та використання авіаційних палив в Україні та в світі.

Проаналізувано та проведено порівняльний аналіз перспективних технологічних процесів виробництва альтернативних авіаційних палив.

Досліджено фізико-хімічні та експлуатаційні властивості біокомпонентів авіаційних палив на основі етилових естерів жирних кислот пальмоядрової олії.

Досліджено фізико-хімічні та експлуатаційні властивості сумішевих альтернативних авіаційних палив з вмістом біокомпонентів на основі етилових естерів жирних кислот пальмоядрової олії.

## СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ

### ДЖЕРЕЛ

1. Біопаливо: ефективність його виробництва та споживання в АПК України: навч. посіб. / Г. М. Калетнік, В. М. Пришляк. — К. : Хай-Тек Прес, 2011. — 312 с. : іл.
2. Вовк, О. О., А. В. Яковлева, and Т. Л. Овчаренко. "Сучасний стан забезпеченості авіаційної галузі України паливами для повітряних суден." *Наукоємні технології* 3 (2013): 258-262.
3. Державна статистична служба [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>
4. Звіт про стратегічну екологічну оцінку проекту Авіаційної транспортної стратегії України на період до 2030 року [Електронний ресурс] - Режим доступу: [https://mtu.gov.ua › files › Dok\\_PROEKT](https://mtu.gov.ua › files › Dok_PROEKT)
5. Бойченко С. В. Химмотология. Свойства и применение топлив, смазочных и специальных материалов. / С. В. Бойченко, В. Г. Спиркин, И. Р. Татур, Б. П. Тонконогов. – Москва: Российский гос. Университет нефти и газа им. И. М. Губкина. – 2014. – 246 с.
6. Калетник, Г. М. "Розвиток світового ринку біопалива." *Економіка та держава* 11 (2008): 52-54.
7. Медведєва Т. В. Альтернативні палива для авіаційної техніки / Т. В. Медведєва, М. С. Бойченко // Новітні досягнення біотехнології: тези МНТК. — 21–22.10.2010. — С. 24–25/
8. Пюрко І.М., Задерієнко С.І. Використання альтернативних видів палива як засіб підвищення готовності військ // Наука і оборона. – 2008.– № 1.– С. 47-49.
9. Задерієнко, С. І. "Світові тенденції використання альтернативного палива в авіації." *Системи озброєння і військова техніка* 2 (2008): 33-35.
- 10.А. Яковлева, А. Семенюк, Я. Герасименко. Перспективы применения гидрогенизационных процессов для производства моторных биотоплив // Transport engineering and management: 22-th conf. for Lithuania Junior researchers, 22-23 November 2019: abstracts. Vilnius, 2019. – P. 50–53.

11. Крылов И.Ф., Емельянов В.Е.: Альтернативные моторные топлива. Производство, применение, перспективы. Лекция 10. Перспективы производства альтернативных моторных топлив. Мир нефтепродуктов. № 1, 2008, с. 38–42.]
12. Внукова, Н. В., and М. В. Барун. "Альтернативне паливо як основа ресурсозбереження і екобезпеки автотранспорту." *Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит* 9 (91) (2011).
13. Семенов В. Г. Покращення економічних та екологічних показників дизельного двигуна, що працює на біодизельному паливі, присадками / В. Г. Семенов, А. І. Атамась // Проблеми хімотології: матеріали III МНТК, 20–24 вересня 2010 р. — К., 2010. – С. 231—232
14. Герасименко Я. В. Порівняльна характеристика фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей альтернативних палив для газотурбінних двигунів на основі різних видів сировини. – кваліфікаційна праця на здобуття освітнього ступеня магістр, Київ, НАУ, 2020, 103с
15. ASTM D7566-16, Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons
16. ASTM D1655-11b. Standard Specification for Aviation Turbine Fuels/
17. ASTM D4054-09 Standard Practice for Qualification and Approval of New Aviation Turbine Fuels and Fuel Additives
18. Караханов, Э. А. "Синтез-газ как альтернатива нефти. 1. Процесс Фишера-Тропша и оксо-синтез." *Соросовский образовательный журнал* 19.3 (1997): 7-69.
19. «L. Starck, L. Pidol, N. Jeuland, T. Chapus, P. Bogers, J. Bauldrey. Production of Hydroprocessed Esters and Fatty Acids (HEFA) – Optimisation of Process Yield. Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP Energies nouvelles, 2014 DOI: 10.2516/ogst/2014007».
20. «Total, Amyris, USAFRL: Evaluation of Synthesized Iso-Paraffins produced from Hydroprocessed Fermented Sugars (SIP Fuels), February 2014, p. 15 – 21; personal communication».
21. «Wright. Michael: ATJ-SPK Annex Options, presentation at ASTM D02 Committee week – San Diego, 9th December 2014».

22. «Edward N. Coppola: Evaluation of Hydroprocessed Esters and Fatty Acids (HEFA) Synthetic Kerosene containing Aromatics (SKA) Readijet Renewable Jet Fuel, June 2014, p.1».
23. «Yakovlieva, A.V., Boichenko, S.V., Leida, K., Vovk, O.A., Kuzhevskii, Kh. (2017). Influence of Rapeseed Oil Ester Additives on Fuel Quality Index for Air Jet Engines. Chemistry and Technology of Fuels and Oils, 53, 3, 308–317».
24. Яковлева А.В., Бойченко С.В.: Потенциал использования биотоплив на основе растительных масел в авиации. Охрана окружающей среды и природопользование. № 2, 2013, с. 18–27.
25. Агропромисловий комплекс України: стан, тенденції та перспективи розвитку // Інформаційно-аналітичний збірник. Вип. 6 / За ред. П.Т.Саблука та ін. — К.: ІАЕ УААН, 2003. — 764 с.
26. Яковлева, Анна Валеріївна, et al. "Фізико-хімічні властивості біодизельних палив на основі етилових естерів рижієвої олії." (2020).
27. Тютюнников Б.Н., Химия жиров, М., 1974; Беззубов Л. П., Химия жиров, 3 изд., М., 1975;
28. Яковлева, Анна Валеріївна, et al. "Фізико-хімічні властивості біодизельних палив на основі етилових естерів рижієвої олії." (2020).
29. Газ природний, палива та оливи : монографія / М. П. Андрієшин, Я. С. Марчук, С.В. Бойченко, Л.А. Рябоконт. – Одеса : Астропринт, 2010. – 232 с.
30. ДСТУ ГОСТ 31072:2006 Нафта і нафтопродукти. Метод визначення густини, відносної густини та густини в градусах АРІ ареометром (ГОСТ 31072-2002, ІДТ)
31. ДСТУ ГОСТ 33-2003 Нафтопродукти. Прозорі і непрозорі рідини. Визначення кінематичної в'язкості і розрахунок динамічної в'язкості (ГОСТ 33-2000 (ІСО 3104-94), ІДТ)
32. ГОСТ 5066-91 (ІСО 3013-74) Топлива моторные. Методы определения температуры помутнения, начала кристаллизации и кристаллизации.
33. ДСТУ ISO 2719:2006 Визначення температури спалаху горючих речовин методом Пенського-Мартенса в закритому тиглі (ISO 2719:2002, ІДТ).