

УДК 662.7

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОПАЛИВ ДРУГОГО ПОКОЛІННЯ ЯК АВІАЦІЙНОГО ПАЛИВА

Желізна Т.А., канд. техн. наук, Драгнєв С.В., канд. техн. наук, Баштовий А.І., канд. техн. наук

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст, 2а, Київ, 03057, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2022.7>

*Проаналізовано основні технології отримання біопалив другого покоління для використання в авіації. Проведено попереднє техніко-економічне обґрунтування виробництва авіаційного біопалива у вигляді гідроочищених естерів та жирних кислот з олії рижію в Україні.*

*The main technologies for second generation biofuels intended for use in aviation are analyzed. Preliminary feasibility study is carried out for the production of jet biofuel in the form of hydro-treated esters and fatty acids from false flax oil in Ukraine.*

Бібл. 15, табл. 4, рис. 5.

**Ключові слова:** декарбонізація, відновлювані джерела енергії, біомаса, рідкі біопалива, біопалива другого покоління, авіаційне біопаливо.

БПП – біопалива II покоління;  
ВДЕ – відновлювані джерела енергії;  
НПЗ – нафтопереробний завод;  
ПГ – парникові гази;  
ТЕО – техніко-економічне обґрунтування;  
с/г – сільське господарство;

HEFA – гідроочищені естери та жирні кислоти;  
HVO – гідроочищена рослинна олія;  
SPK – синтетичний парафіновий керосин;  
н.д. – немає даних  
н.е. – нафтовий еквівалент;  
с.р. – суха речовина.

**Актуальність** роботи обумовлена нагальною необхідністю глобальної декарбонізації економіки, зокрема транспортно-го сектору. Ефективним заходом в даному напрямку є перехід на біопалива другого покоління. Особливо важливим це є для авіації – сегменту транспорту, що важко піддається декарбонізації.

**Метою** роботи є аналіз перспектив розвитку даного сектору біоенергетики у світі та для умов України.

**Методи дослідження** включають проведення техніко-економічних розрахунків, вивчення та аналіз літературних, статистичних та інших даних.

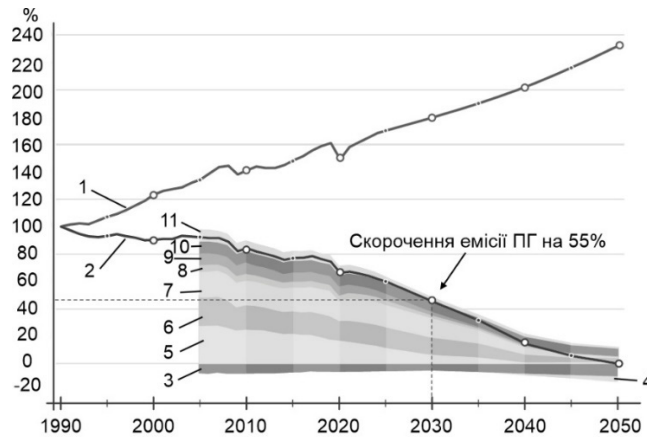
**Місце транспортно-го сектору в глобальному процесі декарбонізації**

Транспортний сектор є потужним джерелом викидів парникових газів у світі. Так, наприклад, в США його частка у загальному обсягу емісії ПГ складає близько 29%, в ЄС – 27%, а загалом по світу – 16%. Ініціатива «Європейський зелений курс» спрямована на перехід Європи до сталої економіки, чистої енергетики і кліматичної нейтральності до 2050 р. Порівняно з іншими секторами, транспортний сектор ЄС характеризується найменшою часткою вико-

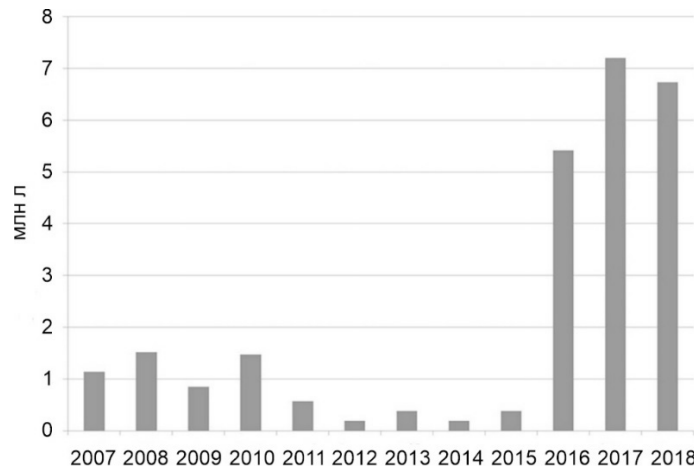
ристання ВДЕ (близько 10% у 2020 р.), тому в рамках реалізації Європейського зеленого курсу поставлено за мету підняти цей показник до 24% у 2030 р. Для цього планується суттєве збільшення споживання «зеленої» електроенергії, біопалив II покоління і низьковуглецевих палив. Для виконання амбітної мети по досягненню кліматичної нейтральності до 2050 р. Євросоюз має скоротити викиди парникових газів на 55% до 2030 р. від рівня 1990 р. До третини обсягу цього скорочення припадає на транспорт (рис. 1), що підтверджує нагальну необхідність впровадження ВДЕ у цьому секторі [1].

Порівняно з іншими секторами, транспорт важко піддається декарбонізації; особливо це стосується таких сегментів як авіаційний і водний транспорт, де, на відміну від дорожнього транспорту, обмежені можливості по запровадженню електрифікації. Отже, у цих сегментах необхідно переходити, в першу чергу, на використання рідких біопалив II покоління.

До 2015 р. виробництво БПП для потреб авіації складало менше 1 млн л/рік, а з 2016 р. збільшилося до близько 7 млн л/рік (рис. 2). Прогнозується, що цей обсяг може зрости до 1 млрд л/рік у 2023 р. і до



**Рис. 1. Очікувана динаміка скорочення викидів парникових газів в ЄС до 2050 р., % [1]:**  
 1 – валовий внутрішній продукт; 2 – емісія ПГ (нетто); 3 – землекористування та ліси; 4 – технології видалення вуглецю; 5 – енергетика; 6 – промисловість; 7 – транспорт; 8 – сфера послуг; 9 – населення; 10 – сільське господарство (не CO<sub>2</sub>); 11 – інше (не CO<sub>2</sub>)



**Рис. 2. Виробництво біопалив II покоління для авіації у світі, млн л [2]**

8 млрд л/рік у 2030 р. Однак, цього вкрай недостатньо, оскільки для помітного зменшення вуглецевого сліду авіації світовий обсяг споживання БПП має становити понад 100 млрд л/рік. Наразі всі БПП в авіації можуть застосовуватися тільки у суміші з традиційним авіапаливом, хоча ряд компаній працює над отриманням синтетичних біопалив, які можуть використовуватися в чистому вигляді. Основною перешкодою для нарощування виробництва біопалив II покоління для потреб авіації є повільна комерціалізація відповідних технологій, оскільки сьогодні більшість механізмів підтримки спрямовані на розвиток інших видів БПП, наприклад відновлюваного дизелю [2].

Авіаційні біопалива II покоління можуть бути отримані з лігноцелюлозної сировини, нехарчо-

вих олій та жирів за допомогою термохімічних, біохімічних, олеохімічних та гібридних технологій. Треба зазначити, що такі біопалива сепаруються як окрема фракція в процесі конверсії, і ця фракція може становити 10...70% в залежності від виду технології [3]. Кінцевим продуктом є синтетичний парафіновий керосин, синтетичний керосин з ароматичними складовими та інші біорідини, які можуть використовуватися у суміші з традиційним авіапаливом (рис. 3).

На сьогодні єдиною технологією отримання альтернативних авіаційних палив, яка повністю досягла комерційного рівня, є технологія, пов'язана з виробництвом гідроочищених естерів та жирних кислот (HEFA – Hydro-treated esters and fatty acids). Причиною можливості комерціалізації став розвиток технології

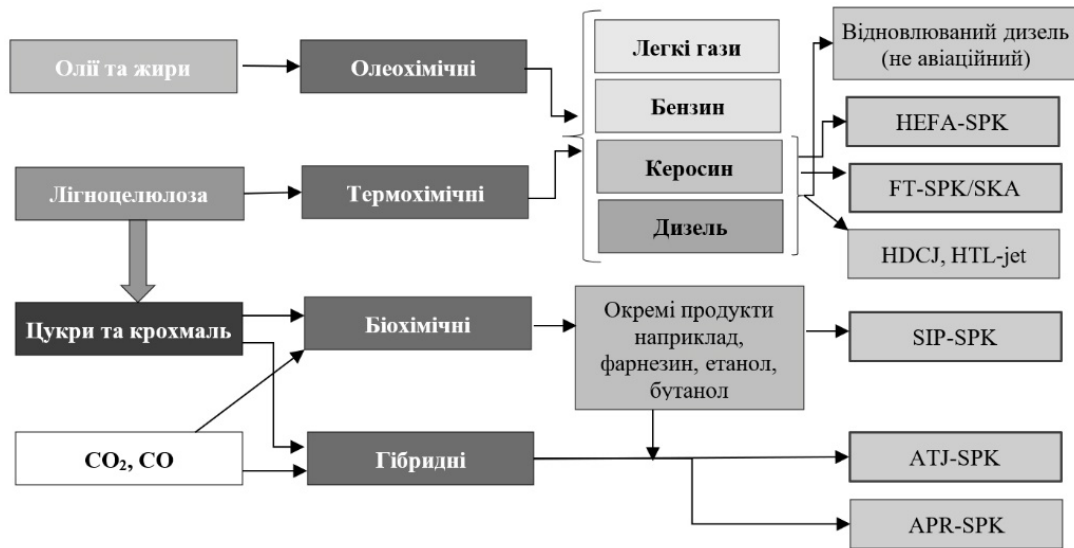


Рис. 3. Технології виробництва біопалив II покоління для потреб авіації [2]:

*HEFA-SPK\** – синтетичний парафіновий керосин, отриманий з гідроочищених естерів жирних кислот; *FT-SPK/SKA\** – синтетичний парафіновий керосин/синтетичний керосин з ароматичними складовими, отриманий за технологією газифікації з синтезом Фішера-Тропша; *HDCJ* – гідроочищене деполімерізоване целюлозне паливо; *HTL-jet\** – паливо, отримане гідротермічним зрідженням; *SIP-SPK\** – синтетичний ізопарафіновий керосин; *APR-SPK* – синтетичний парафіновий керосин, отриманий реформінгом водної фази; *ATJ-SPK\** – синтетичний парафіновий керосин, отриманий за технологією конверсії спиртів (етанолу, ізобутанолу); \* – технології, сертифіковані за стандартом *ASTM D1655* для біопалив, призначених для змішування з авіапаливом

отримання відновлюваного дизелю – гідроочищеної рослинної олії (HVO – hydro-treated vegetable oil). Кожна установка з виробництва HVO може сепарувати 15...50% фракції гідроочищених естерів та жирних кислот, з яких можна отримати авіаційне біопаливо – синтетичний парафіновий керосин (HEFA-SPK) [2]. За своїми характеристиками це синтетичне паливо близьке до традиційного керосину – палива для реактивних двигунів (табл. 1). Технологія виробництва керосину HEFA-SPK була сертифікована у 2011 р. за стандартом ASTM D1655 для біопалив, призначених для змішування з авіапаливом, з максимально дозволеною часткою у суміші – 50% (табл. 2). За оцінками експертів, керосин HEFA-SPK може бути найдешевшим авіаційним біопаливом II покоління [4]. Прогнозується, що технологія HEFA залишатиметься основним джерелом для отримання БПШ для авіації протягом, щонайменше, 10 років.

Технологією, близькою до досягнення комерційного рівня, є газифікація з синтезом Фішера-Тропша (рис. 4). Ця технологія включає газифікацію біомаси, очищення виробленого синтетичного газу, конверсію газу у рідину

Фішера-Тропша, гідрообробку та/або гідрокрекінг рідини з отриманням низки кінцевих продуктів, у тому числі фракції авіаційного біопалива. Інші технології (піроліз, гідротермічне зрідження, каталітичний гідротермоліз, синтез з використанням «зеленого» водню та  $\text{CO}_2$ ) також мають значний потенціал розвитку, але, за експертними оцінками, вийдуть на ринок у період 2030-2040 рр.

Найближчими роками різними компаніями планується будівництво більше десяти нових установок для виробництва авіаційних біопалив II покоління (табл. 3). На більшості з них буде отримуватися синтетичний парафіновий керосин за технологією HEFA, також будуть впроваджуватися технології конверсії спиртів (етанолу, ізобутанолу) і газифікація з синтезом Фішера-Тропша.

#### Ситуація в Україні

В Україні прийнято ціль досягти кліматичної нейтральності до 2060 р., що зазначено в Національній економічній стратегії на період до 2030 року (2021 р.) [9]. Для досягнення цієї мети буде реалізовуватися декарбонізація економіки, впровадження ВДЕ та

Табл. 1. Основні характеристики палив для реактивних двигунів Jet A-1, ТС-1, HEFA-SPK та гідроочищеної рослинної олії (HVO)

Параметр	Паливо для реактивних двигунів марки Jet A-1 <sup>1</sup> [5]	Паливо для реактивних двигунів марок ТС-1 <sup>1</sup> [5]	Синтетичний парафіновий керосин (HEFA-SPK) <sup>2</sup> [6]	Гідроочищена рослинна олія (HVO) Класу А <sup>3</sup> [7]
1. Густина за температури 15°C, кг/м <sup>3</sup>	775...840	не менше 775*	730...772	765...800
2. Фракційний склад:				
10% переганяється за температури, не вище °C	205	175	205	н.д.
50% переганяється за температури, не вище °C	-	225	н.д.	н.д.
90% переганяється за температури, не вище °C	-	270	н.д.	н.д.
95% переганяється за температури, не вище °C	-	-	н.д.	360
98% переганяється за температури, не вище °C	-	280	н.д.	н.д.
температура кінця кипіння, не вище °C	300	-	300	н.д.
залишок від дистиляції, не більше %	1,5	-	1,5	н.д.
втрати під час перегонки, не більше %	1,5	-	1,5	н.д.
3. Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с	за температури мінус 20 °C не більше 8	за температури 20 °C не менше 1,25; за температури мінус 40 °C не більше 16	н.д.	за температури 40 °C 2...4,5
4. Нижча теплота згорання, не менше МДж/кг	42,8	43,12	н.д.	н.д.
5. Температура спалаху у закритому тиглі, °C	не нижче 38	не нижче 28	не нижче 38	вище 55
6. Температура початку кристалізації, °C	не вище мінус 40	не вище мінус 55	не вище мінус 40	н.д.
7. Кислотне число	не більше 0,015 мг КОН на 1 г	не > 0,7 мг КОН на 100 см <sup>3</sup> палива	не більше 0,015 мг КОН на 1 г	н.д.
8. Частка ароматичних вуглеводнів:	об'ємна не більше 25%	масова не > 22 %; об'ємна не більше 20	н.д.	масова не більше 1,1%
9. Концентрація фактичних смол, мг на 100 см <sup>3</sup> палива	не більше 7	не більше 5	не більше 7	н.д.
10. Масова частка загальної сірки	не більше 0,3%	не більше 0,25%	н.д.	не більше 5 мг/кг
11. Метиллові естери жирних кислот	не більше 50 мг/кг	-	не більше 5 мг/кг	не більше 7% об'ємних

\* – Густина палива для реактивних двигунів марок ТС-1 за температури 20 °С.

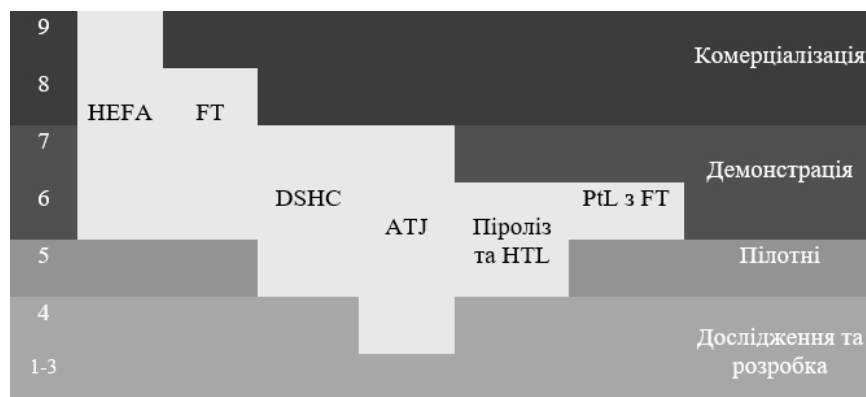
<sup>1</sup> – Значення показників палив для реактивних двигунів марки Jet A-1 та ТС-1 відповідають вимогам чинного в Україні технічного регламенту щодо вимог до авіаційного бензину та палив для реактивних двигунів.

<sup>2</sup> – Значення показників HEFA-SPK відповідають вимогам стандарту ASTM D7566 Додаток А2.

<sup>3</sup> – Значення показників HVO відповідають вимогам стандарту BS EN 15940.

Табл. 2. Сертифіковані за стандартом ASTM D1655 технології отримання біопалив II покоління для потреб авіації [2, 8]

Біопаливо, технологія	Сировина	Максимальна частка у суміші з авіапаливом	Рік сертифікації
Синтетичний парафіновий керосин, отриманий за технологією газифікації з синтезом Фішера-Тропша (FT-SPK)	Тверді побутові відходи, відходи с/г, лісові відходи, енергетичні культури	50%	2009
Синтетичний парафіновий керосин, отриманий з гідроочищених естерів та жирних кислот (HEFA-SPK)	Використана харчова олія, нехарчові рослинні олії (наприклад, олія ятрофи), тваринні жири	50%	2011
Синтетичний ізопарафіновий керосин (SIP-SPK)	Цукри з лігноцелюлозної сировини	10%	2014
Синтетичний керосин з ароматичними складовими, отриманий за технологією газифікації з синтезом Фішера-Тропша (FT-SKA)	Тверді побутові відходи, відходи с/г, лісові відходи, енергетичні культури	50%	2015
Синтетичний парафіновий керосин, отриманий за технологією конверсії спиртів (наразі тільки етанолу та ізобутанолу) (ATJ-SPK)	Цукри з лігноцелюлозної сировини	50%	2016 (для ізобутанолу) 2018 (для етанолу)
Гідрооброблені вуглеводні (HC-HEFA)	Олія з водоростей	10%	2020
Паливо, отримане гідротермічним зрідженням (HTL-jet)	Відпрацьована олія	50%	2020



**Рис. 4. Стадії розвитку різних технологій отримання біопалив II покоління для авіації [8]: HEFA – гідроочищені естери та жирні кислоти; FT – технологія Фішера-Тропша; DSHC – пряме перетворення цукрів у вуглеводні; ATJ – паливо для реактивних двигунів, отримане за технологією конверсії спиртів; HTL – гідротермальне зрідження; PtL – рідке паливо з електричної енергії**

Табл. 3. Існуючі та заплановані до будівництва установки з виробництва біопалив II покоління для потреб авіації [2]

Компанія, рік запуску	Технологія	Виробництво БПП (загальний обсяг продуктів), млн л/рік
World Energy (Paramount, США), 2020 р.	HEFA	25 (95)
Neste (Porvoo, Фінляндія), 2020 р.	HEFA	34 (128)
Gevo (Silsbee, США), 2020 р.	конверсія ізобутанолу	демонстраційна
Total (La Mede, Франція), 2020 р.	HEFA	немає даних
Fulcrum Bioenergy (Sierra, США), 2021 р.	газифікація з синтезом Фішера-Тропша	7 (26)
Red Rock Biofuels (Lakeview, США), 2021 р.	газифікація з синтезом Фішера-Тропша	6 (23)
Neste (Сінгапур і Роттердам), 2022 р.	HEFA	480 (1816)
SkYNRG (Delfzijl, Нідерланди), 2022 р.	HEFA	33 (125)
Lanzajet (Freedom Pines, США), 2022 р.	конверсія етанолу	10 (38)
World Energy (Paramount, США), 2022 р.	HEFA	150 (568)
Gevo (Luverne, США), 2023 р.	конверсія ізобутанолу	19 (72)
Go Sunshine (New Orleans, США), 2023 р.	HEFA	29 (110)
Fulcrum #2 (Indiana, США), 2023 р.	газифікація з синтезом Фішера-Тропша	21 (80)
Readifuels (США), 2023 р.	каталітичний гідротермоліз	24 (91)
Phillips 66 (San Francisco, США), 2024 р.	HEFA	290 (1098)
Total (Grandpuits, Франція), 2024 р.	HEFA	56 (212)
Preem (Gothenburg, Швеція), 2024 р.	HEFA	70 (265)
Lanzajet (США), 2024 р.	конверсія етанолу	90 (340)
Velocys (Altalto, Об'єднане Королівство), 2025 р.	газифікація з синтезом Фішера-Тропша	16 (60)

синхронізація із ініціативою «Європейський зелений курс». На сьогодні транспортний сектор в Україні відповідальний за 12% загального обсягу викидів парникових газів; внесок цього сектору у загальне скорочення емісії ПГ до 2030 р. очікується на рівні 11% [10].

За даними 2019 р., частка відновлюваної енергії в кінцевому споживанні на транспорті складала 3,1% (при плановому показнику 9%). Єдиним рідким біопаливом, що виробляється зараз в Україні, є біоетанол (88,1 тис. т н.е. у 2019 р.) [11]. Національною транспортною стратегією України на період до 2030 року (2018 р.) поставлено завдання збільшити рівень застосування альтернативних видів палива та електроенергії до 50% до 2030 року [12]. Досягнення такої амбітної мети у транспортному секторі потребує широкого впровадження ВДЕ, у тому числі біопалив другого покоління.

Україна, разом з іншими країнами-членами Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО) добровільно представила в ІКАО План дій щодо зменшення викидів CO<sub>2</sub> в авіації (2021 р.) [13]. В документі зазначено, що комплексний підхід до питання скорочення викидів CO<sub>2</sub> в авіації має включати використання низьковуглецевих сталих альтернативних палив.

У 2021 р. баланс вітчизняного ринку авіаційного палива склав майже 365 тис. т, включаючи 204 тис. т авіапалива, виробленого на Кременчуцькому НПЗ (ПАТ «Укртатнафта») та 161 тис. т імпорту, зокрема, 81,4 тис. т з Білорусі, 57,1 тис. т з Литви та 22,5 тис. т – морські постачання. У 2020 р. споживання авіапалива в Україні становило 270 тис. т [14].

Вітчизняний агропромисловий комплекс виробляє різні види олійних культур, частина з яких не використовується для отримання харчових олій і може

бути перероблена у гідроочищені естери та жирні кислоти HEFA. Згідно із стандартом ASTM D1655, до 50% HEFA (за об'ємом) дозволяється змішувати з нафтовим реактивним паливом. Розглянемо попереднє ТЕО виробництва в Україні HEFA з нехарчової олії рижію. Орієнтуючись на середню врожайність насіння цієї культури 1,5 т/га, можна отримати від 500 кг олії рижію з гектару. Схема технологічного процесу виробництва HEFA зображена на рис. 5.

За оцінками [15], питомий вихід керосину HEFA з олії рижію складає 768,9 л/т с.р. олії, бензину – 417,2 л/т с.р. олії, дизельного палива – 19,6 л/т с.р. олії та пропану – 4,2 л/т с.р. олії. Таким чином, з гектару рижію

в Україні можна виробити від 344 л авіапалива HEFA. Результати попереднього ТЕО виробництва HEFA з олії рижію на базі заводу із переробки 715 т с.р. олії/добу [15], виконане для умов України та актуальних цін на паливо, представлено в табл. 4. Отримані результати показують, що за поточних умов проект не є життєздатним з огляду на високу вартість олії рижію. Для можливості прибуткового виробництва і продажу авіаційного біопалива HEFA на внутрішньому ринку необхідно працювати в напрямку здешевлення капітальних та операційних витрат проекту та/або увести тимчасову державну субсидію на виробництво сталих рідких біопалив.

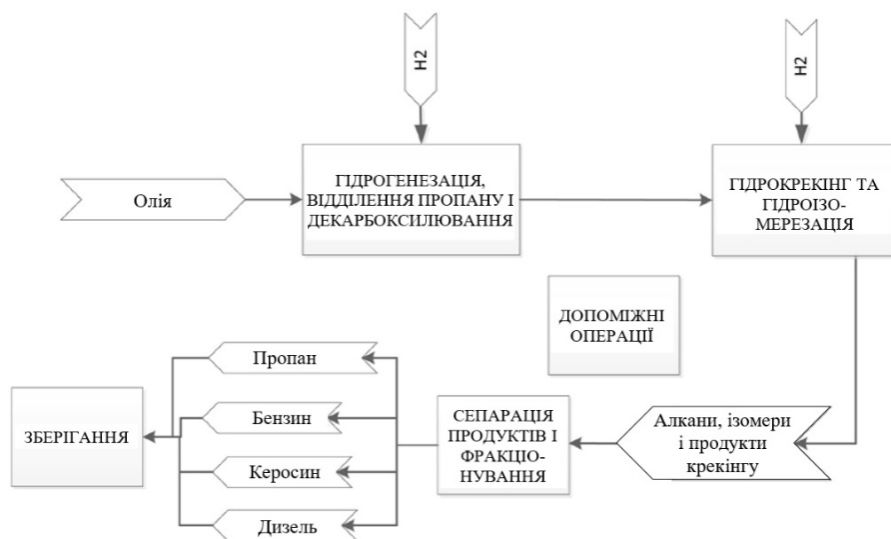


Рис. 5. Схема технологічного процесу виробництва HEFA [15]

Табл. 4. Попереднє ТЕО виробництва біопалива HEFA з олії рижію в Україні

Показники	Величина
Продуктивність заводу по HEFA, млн. л/рік	181
Вартість олії рижію, дол. США/т	1486
Споживання сировини (олія рижію), тис. т с.р./рік	235
Капітальні витрати*, млн. дол. США	354
Експлуатаційні витрати*, млн. дол. США/рік	427
Ціна продажу HEFA, дол. США/л	1,23
Ціна продажу бензину, дол. США/л	1,18
Ціна продажу дизельного палива, дол. США/л	1,19
Ціна продажу пропану, дол. США/л	0,67
Дохід від продажу біопалив, млн. дол. США/рік	344
Простий термін окупності, років	>10

\* За даними [15].

\*\* Продаж HEFA, бензину, дизельного палива та пропану прийнято відповідно до актуальних цін на ринку України у лютому 2022 р.

**Висновки та рекомендації**

Виробництво та використання рідких біопалив другого покоління для транспортного сектору є важливим і перспективним сегментом біоенергетики України. Розвиток цього напрямку сприятиме досягненню національних цілей в сферах відновлюваної енергетики та клімату, зокрема, Плану дій щодо скорочення викидів CO<sub>2</sub> в авіації із використанням низьковуглецевих сталих альтернативних палив. Україна має великий потенціал біомаси, у тому числі лігноцелюлозної та іншої нехарчової сировини, включаючи, нехарчові олії, доступної для виробництва рідких біопалив другого покоління. Наразі досягла комерціалізації тільки технології виробництва гідроочищених естерів та жирних кислот (HEFA) для отримання альтернативних авіаційних палив. Але поки що собівартість HEFA з вітчизняної олійної сировини вище за ринкову ціну традиційного палива для реактивних двигунів. Для можливості успішної реалізації проектів у цьому секторі необхідне вдосконалення законодавчої бази, наприклад, щодо уведення державної субсидії на виробництво сталих рідких біопалив, і виконання науково-практичних робіт, спрямованих на здешевлення відповідних технологій та обладнання.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. *EU Climate Target Plan 2030. Key contributors and policy tools.* European Commission, 2020. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs\\_20\\_1610](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_20_1610)
2. *Susan van Dyk, Jack Saddler.* Progress in Commercialisation of Biojet fuels/SAF: Technologies, potential and challenges. IEA Bioenergy Task 39, 2021. <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2021/06/IEA-Bioenergy-Task-39-Progress-in-the-commercialisation-of-biojet-fuels-May-2021-1.pdf>
3. *Van Dyk et al.* Assessment of likely maturation pathways for production of biojet fuel from forest residue, 2019. <http://task39.sites.olt.ubc.ca/files/2019/11/GARDN-NEC-21-ATM-project-final-report-public-release.pdf>
4. *Malthe Fredsgaard et al.* Process simulation and techno-economic assessment of Salicornia sp. based jet fuel refinery through Hermetia illucens sugars-to-lipids conversion and HEFA route // Biomass and Bioenergy.– 2021, v. 150, 106142. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106142>

5. *Постанова КМУ «Про затвердження Технічного регламенту щодо вимог до авіаційного бензину та палив для реактивних двигунів» № 523 від 26.05.2021.* <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/523-2021-%D0%BF#Text>

6. *Перелік характеристик відновлюваного реактивного палива Neste, 2019.*

[https://www.neste.com/sites/neste.com/files/attachments/pds\\_neste\\_my\\_renewable\\_jet\\_fuel.pdf](https://www.neste.com/sites/neste.com/files/attachments/pds_neste_my_renewable_jet_fuel.pdf)

7. *Перелік характеристик HVO, 2021.* <https://watsonfuels.co.uk/media/2703/hvo-technical-data-sheet.pdf>

8. *Jenny Trinh et al.* What Are the Policy Impacts on Renewable Jet Fuel in Sweden? // Energies. – 2021, v. 14 (21), 7194. <https://doi.org/10.3390/en14217194>

9. *Постанова КМУ «Про затвердження Національної економічної стратегії на період до 2030 року» № 179 від 03.03.2021.* <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2021-%D0%BF#n25>

10. *Аналітичний огляд Оновленого національно визначеного внеску України до Паризької угоди.* Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, липень 2021. <https://bit.ly/3hOKZzE>.

11. *Звіт про результати стимулювання та використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел, в Україні за 2018-2019 рр.* Держенергоефективності.

<https://sae.gov.ua/sites/default/files/Report%20to%20Energy%20Commun%20RES%20Ukraine%202018-2019%20%28final%29.pdf>

12. *Розпорядження КМУ «Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року № 430-р від 30.05.2018».* <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>

13. *Action plan of Ukraine for reducing aviation CO<sub>2</sub> emissions.* State Aviation Administration of Ukraine, 2021. [https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2021/07/Action-plan-of-Ukraine-for-reducing-aviation-CO<sub>2</sub>-emissions-2021\\_compressed-1.pdf](https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2021/07/Action-plan-of-Ukraine-for-reducing-aviation-CO2-emissions-2021_compressed-1.pdf)

14. *Підсумки-2021: ринок авіагасу зріс до 365 тис. т.– ENKORR, 2022.*

[https://enkorr.ua/uk/news/itogi-2021\\_rynok\\_aviakerosina\\_vyros\\_do\\_365\\_tys\\_t/249545](https://enkorr.ua/uk/news/itogi-2021_rynok_aviakerosina_vyros_do_365_tys_t/249545)

15. *L. Tao, A. Milbrandt, Y. Zhang et al.* Techno-economic and resource analysis of hydroprocessed renewable jet fuel // Biotechnol Biofuels. – 2017, 10, 261. <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0945-3>

## PROSPECT FOR THE USE OF SECOND GENERATION BIOFUELS AS JET FUEL

Zheliezna T.A., Drahniiev S.V., Bashtovyi A.I.

*Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, vul. Marii Kapnist, 2a, Kyiv, 03057, Ukraine*

<https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2022.7>

The aim of the work is to analyze the prospects for the development of bioenergy sector related to the production of second-generation aviation biofuels in the world and in Ukraine. The transport sector is a powerful source of greenhouse gas emissions. To meet the ambitious goal of achieving climate neutrality by 2050, the EU must reduce greenhouse gas emissions by 55% by 2030 from 1990 levels. According to experts, up to a third of this reduction is accounted for transport. Compared to other sectors, transport is difficult to decarbonize; this is especially true in segments such as aviation and water transport where electrification opportunities are limited. Therefore, in these segments it is necessary to move, first of all, to the use of second generation liquid biofuels. Today, the only technology for alternative aviation fuels that has fully reached the commercial level is the production of hydro-treated esters and fatty acids (HEFA). The reason for the possibility of commercialization was the development of technology for obtaining renewable diesel – hydro-treated vegetable oil (HVO). Each HVO plant can separate 15-50% of the fraction of hydro-treated esters and fatty acids, from which it is possible to obtain such aviation biofuel as synthetic paraffin kerosene (HEFA-SPK). The results of the preliminary feasibility study for the production of HEFA from false flax oil in Ukraine show that under the current conditions, such a project is not profitable given the high cost of this oil. To ensure profitable production and sale of HEFA aviation biofuel on Ukraine's domestic market, it is necessary to work towards reducing the capital and operating costs of the project and/or introduce a temporary state subsidy for the production of sustainable liquid biofuels.

References 15, tables 4, figures 5.

**Key words:** decarbonization, renewable energy sources, biomass, liquid biofuels, second generation biofuels, jet biofuel.

1. *EU Climate Target Plan 2030. Key contributors and policy tools.* European Commission, 2020. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs\\_20\\_1610](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_20_1610)

2. *Susan van Dyk, Jack Saddler.* Progress in Commercialisation of Biojet fuels/SAF: Technologies, potential and challenges. IEA Bioenergy Task 39, 2021. <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2021/06/IEA-Bioenergy-Task-39-Progress-in-the-commercialisation-of-biojet-fuels-May-2021-1.pdf>

3. *Van Dyk et al.* Assessment of likely maturation pathways for production of biojet fuel from forest residue, 2019.

<http://task39.sites.olt.ubc.ca/files/2019/11/GARDN-NEC-21-ATM-project-final-report-public-release.pdf>

4. *Malthe Fredsgaard et al.* Process simulation and techno-economic assessment of Salicornia sp. based jet fuel refinery through *Hermetia illucens* sugars-to-lipids conversion and HEFA route // *Biomass and Bioenergy.* – 2021, v. 150, 106142. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.106142>

5. *Postanova KMU «Pro zatverdzhennia Tekhnichnoho rehlamentu shchodo vymoh do aviatsiinoho benzynu ta palyv dlia reaktivnykh dvyhuniv» № 523 vid 26.05.2021* [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine «On approval of the Technical Regulation on the requirements for aviation gasoline and jet fuel» No. 523 of 26.05.2021] (Ukr.) <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/523-2021-%D0%BF#Text>

6. *Neste MY Renewable Jet Fuel.* Product Data Sheet, 2019.

[https://www.neste.com/sites/neste.com/files/attachments/pds\\_neste\\_my\\_renewable\\_jet\\_fuel.pdf](https://www.neste.com/sites/neste.com/files/attachments/pds_neste_my_renewable_jet_fuel.pdf)

7. *Hydrotreated Vegetable Oil (HVO).* Technical Data Sheet, 2021. <https://watsonfuels.co.uk/media/2703/hvo-technical-data-sheet.pdf>

8. *Jenny Trinh et al.* What Are the Policy Impacts on Renewable Jet Fuel in Sweden? // *Energies.* – 2021, v. 14 (21), 7194. <https://doi.org/10.3390/en14217194>

9. *Postanova KMU «Pro zatverdzhennia Natsionalnoi ekonomichnoi stratehii na period do 2030 roku» № 179 vid 03.03.2021* [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine «On approval of the National Economic Strategy for the period up to 2030» No. 179 of 03.03.2021] (Ukr.) <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2021-%D0%BF#n25>

10. *Analitychnyi ohliad Onovlenoho natsionalno vyznachenoho vnesku Ukrainy do Paryzkoï uhody.* Ministerstvo zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy [Analytical review of the Updated nationally determined contribution of Ukraine to the Paris agreement, Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine], July, 2021. (Ukr.) <https://bit.ly/3hOKZzE>.

11. *Zvit pro rezultaty stymuliuvannia ta vykorystannia enerhii, vyroblenoi z vidnovliuvanykh dzherel, v Ukraini za 2018-2019 rr.* Derzhenerhoefektyvnosti [Report on the Promotion and Use of Energy from Renewable Sources in

Ukraine in the years of 2018-2019, State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine] (Ukr.)

<https://sae.gov.ua/sites/default/files/Report%20to%20Energy%20Commun%20RES%20UKraine%202018-2019%20%28final%29.pdf>

12. *Rozporiadzhennia KMU «Pro skhvalennia Natsionalnoi transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku» № 430-r vid 30.05.2018* [Executive Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine «On approval of the National Transport Strategy of Ukraine for the period up to 2030» No. 430-p of 30.05.2018] (Ukr.)

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>

13. *Action plan of Ukraine for reducing aviation CO<sub>2</sub> emissions*. State Aviation Administration of Ukraine, 2021.

[https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2021/07/Action-plan-of-Ukraine-for-reducing-aviation-CO<sub>2</sub>-emissions-2021\\_compressed-1.pdf](https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2021/07/Action-plan-of-Ukraine-for-reducing-aviation-CO2-emissions-2021_compressed-1.pdf)

14. *Pidsumky-2021: rynek aviahasu zris do 365 tys. t* [Results 2021: the aviation fuel market has grown up to 365 thousand tons]. ENKORR, 2022 (Ukr.)

[https://enkorr.ua/uk/news/itogi-2021\\_rynok\\_aviakerosina\\_vyros\\_do\\_365\\_tys\\_t/249545](https://enkorr.ua/uk/news/itogi-2021_rynok_aviakerosina_vyros_do_365_tys_t/249545).

15. *L. Tao, A. Milbrandt, Y. Zhang et al. Techno-economic and resource analysis of hydroprocessed renewable jet fuel // Biotechnol Biofuels. – 2017, 10, 261.* <https://doi.org/10.1186/s13068-017-0945-3>

*Отримано 16.02.2022*

*Received 16.02.2022*