

УДК 620.92

РОЛЬ РІДКИХ БІОПАЛИВ У ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО СЕКТОРУ

Желєзна Т.А.¹, канд. техн. наук, Драгнєв С.В.², канд. техн. наук

¹Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, Київ, 03057, Україна, провідний науковий співробітник, zhelyezna@secbiomass.com, <https://orcid.org/0000-0002-9607-3022>

²Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст, 2а, Київ, 03057, Україна, старший науковий співробітник, dragnev@secbiomass.com, <https://orcid.org/0000-0003-3754-4186>

<https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2024.9>

Представлено поточний стан та перспективи виробництва рідких моторних біопалив у світі. Розглянуто цілі ЄС по декарбонізації транспорту, а також можливі заходи для досягнення цього у різних видах транспорту. Проаналізовано кліматичну політику України в розрізі використання відновлюваної енергії. Розроблено рекомендації для розвитку виробництва і споживання рідких моторних біопалив в країні.

The current state and prospects for the production of motor biofuels in the world are presented. EU's objectives for the decarbonization of transport as well as possible measures to achieve the goals for different types of transport are considered. Ukraine's climate policy regarding the use of renewable energy is analyzed. Recommendations for the development of motor biofuels production and consumption in Ukraine are developed.

Бібл. 16, табл. 3.

Ключові слова: рідкі біопалива, передові біопалива, моторні біопалива, біоетанол, біодизель, декарбонізація.

ВДЕ – відновлювані джерела енергії;

ВХО – використана харчова олія;

НВВ – національно визначений внесок;

НПЕК – Національний план з енергетики та клімату;

ПГ – парникові гази;

САП – сталє авіаційне паливо;

СПК – синтетичний парафіновий керосин;

ТЕЦ – теплоелектроцентрально;

Ф-Т – Фішер-Тропш;

н.е. – нафтовий еквівалент;

FAME – метилові естери жирних кислот;

HEFA – гідроочищення естерів та жирних кислот;

HVO – гідроочищена рослинна олія;

IATA – Міжнародна асоціація повітряного транспорту;

ІМО – Міжнародна морська організація.

Актуальність роботи обумовлена загальною необхідністю скорочення викидів парникових газів, у тому числі діоксиду вуглецю у транспортному секторі. Одним із заходів для досягнення цього є використання рідких моторних біопалив. Особливо ефективним з точки зору декарбонізації є споживання рідких біопалив другого покоління. **Метою** роботи є розробка рекомендацій для розвитку виробництва та споживання біоетанолу і дизельного біопалива в Україні. **Методи дослідження** включають проведення розрахунків, вивчення та аналіз літературних, статистичних та інших даних.

Виробництво рідких біопалив у світі

Виробництво рідких моторних біопалив у світі стало зростає протягом останніх десятиріч. Сьогодні обсяг глобального виробництва біодизелю і біоетанолу становить близько 190 млрд л/рік, що у десять разів більше показника 2000 року [1, 2]. Лідерами виробництва біоетанолу є США (46% від загального, основна сировина – кукурудза) і Бразилія (25%, цукрова тростина

і кукурудза). Крупними виробниками біодизелю є ЄС (32%, основні види сировини – ріпакова олія, пальмова олія, ВХО), США (більше 18%, ВХО, соєва олія), Індонезія (18%, пальмова олія) і Бразилія (12%, соєва олія). Протягом наступних десяти років прогнозується збільшення виробництва біоетанолу з поточних 130 до 151 млрд л/рік, біодизелю – з 59 до 67 млрд л/рік. Основний приріст очікується в США, Бразилії, Індонезії, тоді як в ЄС обсяг отримання рідких біопалив залишатиметься приблизно на існуючому рівні [3].

Наразі виробляються, головним чином, біопалива I покоління. Так, на традиційний біоетанол припадає більше 80% загальносвітового виробництва; майже весь біодизель, що отримується в ЄС (близько 20 млрд л/рік), також є біопаливом I покоління [3, 4]. В Європі діє асоціація виробників біоетанолу ePURE, яка включає компанії з ЄС-27 та Об'єднаного Королівства. Члени асоціації виробляють 85% (5,7 млрд л у 2022 р.) загального обсягу отримання біоетанолу в ЄС. Майже поло-

вина рідкого біопалива виробляється членами ePURE з кукурудзи, 22% – з пшениці, 14% – з цукровмісної сировини.

Передові біопалива (II покоління) виробляються з лігноцелюлозної/целюлозної біомаси та інших видів сировини, що не створюють конкуренції продуктам харчування і кормам (гній тварин, осад стічних вод, біомасова фракція твердих побутових відходів та ін.). Повний перелік видів сировини для отримання передових рідких біопалив наведено у Додатку IX Директиви ЄС 2018/2001 з відновлюваної енергетики (RED III) [5]. За даними 2022 р., в США працюють 9 комерційних установок з виробництва біоетанолу II покоління, в ЄС – 5 (табл. 1) [6]. Близько 7 заводів з отримання передового біопалива HVO працюють в ЄС (Іспанія, Швеція, Фінляндія), ще два заплановані до будівництва (Нідерланди, Фінляндія). HVO – гідроочищена рослинна олія, яка на відміну від біодизелю (FAME) являє собою вуглеводні, що не містять кисню.

Основною причиною повільного розвитку виробництва передових рідких біопалив є великі капітальні, а іноді і операційні витрати відповідних установок. Це

призводить до високої собівартості кінцевого продукту і його обмеженої конкурентоспроможності. За експертними оцінками, навіть у 2030 р. собівартість передових біопалив може бути у 1,6...2,7 разів вище, ніж у біопалив I покоління (табл. 2) [7]. З огляду на це, активно ведуться дослідження можливих шляхів скорочення інвестиційних та інших витрат на будівництво і експлуатацію заводів з виробництва рідких біопалив II покоління [8].

Окрім моторних біопалив для дорожнього і водного транспорту, у світі виробляються також рідкі біопалива для сектору авіації – сталі авіаційні палива. На сьогодні обсяг їх виробництва є відносно невеликим, але має місце непогана динаміка росту. У 2023 р. було отримано близько 600 млн л САП, що вдвічі вище, ніж у 2022 р., а прогноз на 2024 р. – 1,9 млрд л [9]. САП являє собою синтетичний парафінові керосин, отриманий різними технологіями конверсії з відповідних видів біомасової сировини. Наразі найбільш розвиненим є виробництво сталого авіаційного палива за технологією HEFA (біопаливо I покоління), оскільки воно може отримуватися як окрема фракція при виробництві гідроочищеної

Табл. 1. Параметри водовугільного палива [3]

Країна	Вид сировини*	Потужність
США (назва компанії/проєкту):		млн галонів/рік
Проект Liberty	целюлозна біомаса	25
Quad County Corn Processors	кукурудза/целюлозна біомаса	38
Ace Ethanol LLC	кукурудза/целюлозна біомаса	54
Poet Biorefining-Iowa Falls LLC	кукурудза/целюлозна біомаса	115
Louis Dreyfus Grand Junction LLC	кукурудза/целюлозна біомаса	125
Poet Biorefining-Shell Rock LLC	кукурудза/целюлозна біомаса	140
PureField Ingredients LLC	кукурудза/сорго/целюлозна біомаса	55
Pelican Acquisition LLC	кукурудза/сорго/целюлозна біомаса	60
Element LLC	кукурудза/сорго/целюлозна біомаса	70
NewEnergyBlue LLC (будується)	целюлозна біомаса	20
Verbio North America Corp. (будується)	кукурудза/целюлозна біомаса	60
Lanzatech Freedom Pines Fuels LLC (будується)	целюлозна біомаса/біогаз	10
ЄС (країна, рік запуску):		млн л/рік
Фінляндія, 2018 р.	тирса	10
Італія, 2020 р.	лігноцелюлозна біомаса	28
Австрія, 2020 р.	деревна біомаса	30
Румунія, 2021 р.	солома пшениці	65
Болгарія, 2021 р.	стебла кукурудзи	50
Польща, 2025 р. (заплановано)	лігноцелюлозна біомаса	30

* На ряді установок в США одночасно виробляється передовий і біоетанол I покоління.

рослинної олії. Мають гарні перспективи розвитку САП II покоління – СПК, отриманий за технологією газифікації з синтезом Фішера-Тропша і СПК, вироблений за технологією конверсії спиртів. В обох випадках сировиною може бути лігноцелюозна біомаса [10]. Треба зазначити, що окрім біопалив, до САП також відносять синтетичне паливо, яке отримується шляхом електролізу води із наступним застосуванням синтезу Фішера-Тропша.

Цілі ЄС по декарбонізації транспортного сектору

З кінця 2019 р. в ЄС реалізується Європейський зелений курс, мета якого – досягнення нульової нетто-емісії парникових газів до 2050 р. Однією з важливих передумов для цього є виконання цілі, поставленої для транспорту – скорочення викидів ПГ на 90% до 2050 р. відносно базового рівня 1990 р. Європейською Комісією розроблено Стратегію розвитку сталого і ефективного транспортного сектору, в якій зазначено основні напрямки розвитку, а також ключові показники реалізації цієї стратегії до 2030, 2035 і 2050 років. Одним із важливих заходів для декарбонізації визначено суттєве збільшення споживання відновлюваних і низьковуглецевих палив дорожнім транспортом, авіацією і водним транспортом із забезпеченням розвитку відповідної інфраструктури [11].

Поточна короткострокова мета ЄС в рамках виконання Європейського зеленого курсу – зменшити викиди парникових газів не менш як на 55% до 2030 року. Для її досягнення розроблено пакет пропозицій із зміни та оновлення відповідних розділів законодавства ЄС зі скороченою назвою «Відповідність цілі 55» (в оригіналі «Fit for 55»). Частина законодавчих пропозицій стосується транспортного сектору, частка якого у загальному обсягу емісії ПГ в ЄС складає близько 25%, у тому числі дорожній транспорт – 18%, авіація – 4%, морський транспорт – 3%. Законодавчий пакет «Fit for 55» передбачає розвиток інфраструктури, зокрема збільшення зарядних/заправних станцій для транспор-

тних засобів на альтернативних паливах. Згідно Регламенту ЄС 2023/1804, альтернативні палива включають електроенергію, водень, аміак, рідкі біопалива, біогаз, стиснений/скраплений природний газ та деякі інші види палив [12].

Важливою складовою «Fit for 55» є законодавча ініціатива із декарбонізації авіації RefuelEU, що зобов'язує постачальників авіаційного палива включати частку САП щонайменше 2% у 2025 р., 6% – у 2030 р. і 70% – у 2050 р. Регламент FuelEU для морського транспорту (також частина «Fit for 55») містить заходи, спрямовані на зменшення інтенсивності викидів парникових газів від сектору судноплавства на величину від 2% у 2025 р. до 80% до 2050 р. порівняно з середнім рівнем 2020 р. Це буде досягнуто, зокрема, і за рахунок використання відновлюваних видів палива.

Директивою ЄС 2018/2001 з відновлюваної енергетики (RED III) поставлено за мету кожній країні-члену досягти не менш як 29% відновлюваної енергії у кінцевому енергоспоживанні на транспорті до 2030 р. або зменшити інтенсивність викидів парникових газів принаймні на 14,5% до 2030 р. порівняно з базовим значенням. Методику розрахунку інтенсивності ПГ і визначення базових значень наведено в Директиві.

Перевагою застосування передових біопалив є значне скорочення викидів парникових газів, що гарантує виконання вимог RED III: зменшення емісії ПГ принаймні на 65% від споживання на транспорті біопалив, вироблених на установках, що почали роботу з 01.01.2021. Наприклад, згідно Директиви, зменшення викидів ПГ за замовчуванням складає 83% для біоетанолу, отриманого з соломи пшениці, 84% для біометанолу з деревних відходів, 89% для дизельного біопалива, отриманого конверсією Фішера-Тропша з чорного лугу (частина В Додатку IV RED III). Передові біопалива зараховуються з коефіцієнтом 2 (по енергетичному вмісту) при визначенні частки відновлюваної енергії на транспорті; для авіації і морського транспорту – коефіцієнт 1,2 [6].

Табл. 2. Прогноз собівартості рідких біопалив I і II покоління в Європі у 2030 році [7]

Вид рідкого біопалива	Собівартість, євро/т н.е.
Біоетанол I покоління з крохмалевмісної сировини	565
Біоетанол I покоління з цукровмісної сировини	915
Передовий біоетанол з целюлозної сировини	1545
Біодизель I покоління з рослинної олії (FAME)	690
Гідроочищена рослинна олія (HVO, біопаливо I покоління)	1100
HVO з використаної харчової олії (біопаливо I покоління)	1150
Передовий біодизель	1860

Напрямки скорочення викидів діоксиду вуглецю у авіації і морському транспорті

На сектор транспорту припадає близько чверті глобальних викидів діоксиду вуглецю, у тому числі на авіацію – 2,5...3%. За оцінками Міжнародної асоціації повітряного транспорту (IATA), якщо не вживати відповідних заходів, то емісія CO₂ від авіації може зрости до 2 млрд т/рік у 2050 р., що вдвічі більше показника 2010 р. Міжнародна коаліція експертів повітряного транспорту (ATAG) прогнозує, що цей ріст може бути навіть більше – до 3,1 млрд т CO₂/рік у 2050 р. Основ-

ними напрямками декарбонізації авіації вважаються використання сталих авіаційних палив і розвиток/вдосконалення технологій, що стосуються цього сектору [13].

Згідно оцінок Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO), річне виробництво різних видів САП у регіонах світу до 2035 р. може досягти майже 60 млн т [14]. При цьому найбільші обсяги виробництва САП припадуть на США (29% від загального), Бразилію (19%) і ЄС (17%) (табл. 3). Очікується отримання САП, головним чином, за технологіями гідроочищення естерів та жирних кислот, синтезу Фішера-Тропша, конверсії

Табл. 3. Прогноз обсягів виробництва САП до 2035 р. за регіонами світу та технологіями [14]

Країна / регіон	Технологія виробництва (сировина)	Обсяг виробництва САП	
		млн т/рік	частка від загального
США	HEFA (соєва олія)	1,3	2,2%
	Конверсія спиртів/етанолу у реактивне паливо (кукурудза)	2,4	4,0%
	Синтез Ф-Т; конверсія спиртів/етанолу у реактивне паливо (міскантус)	1,6	2,7%
	Синтез Ф-Т; конверсія спиртів/етанолу у реактивне паливо (просо прутіподібне)	1,6	2,7%
	Синтез Ф-Т (тополя)	1,6	2,7%
	Інші САП, у тому числі HEFA (олія рослини Carinata*)	8,6 (0,1)	14,4% (0,25%)
	Загалом	17,0	28,7%
Бразилія	HEFA (соєва олія)	1,0	1,7%
	Синтез ізопарафінів (цукрова тростина)	2,4	4,0%
	Конверсія спиртів/етанолу у реактивне паливо (цукрова тростина)	2,4	4,0%
	Інші САП, у тому числі HEFA (олія рослини Carinata)	5,6 (0,1)	9,3% (0,25%)
	Загалом	11,4	19%
ЄС	HEFA (ріпакова олія)	1,5	2,5%
	Синтез Ф-Т; конверсія спиртів/етанолу у реактивне паливо (міскантус)	1,2	2,0%
	Синтез ізопарафінів (цукровий буряк)	1,8	3,0%
	Інші САП	5,5	9,2%
	Загалом	10,0	16,7%
Малайзія та Індонезія	HEFA (пальмова олія)	1,2	2,0%
	Інші САП	0,3	0,5%
Інші регіони світу	Різні технології та види сировини	19,8	33,2%
Всього		59,7	100%

* Олійна рослина Carinata вирощується як проміжна (покривна) культура, щоби уникнути конкуренції з основними культурами сівозміни.

спиртів, гідроочищення ферментованих цукрів (синтез ізопарафінів). Ріст виробництва і споживання САП (біопалив) має зробити найбільш вагомий внесок у виконання зобов'язання, прийнятого Міжнародною асоціацією повітряного транспорту (IATA). Світові авіалінії-члени IATA у 2021 р. прийняли зобов'язання досягти нульової нетто-емісії вуглецю від своєї діяльності до 2050 р. Це відповідає цілям Паризької Угоди 2015 р. по утриманню глобального потепління в рамках 1,5 °С. Інші напрямки декарбонізації авіації включають використання водню, електричних батарей, а також загальне підвищення енергоефективності сектору і застосування технологій уловлення вуглецю.

Міжнародне судноплавство відповідальне за близько 3% глобальних антропогенних викидів парникових газів. Крім того, щорічно цим сектором викидається 15% загального обсягу емісії оксидів сірки (SO_x) та 13% оксидів азоту (NO_x). За експертними оцінками, без запровадження дієвих заходів викиди CO_2 від судноплавства продовжать зростати і до 2050 р. можуть сягнути 90...130% рівня викидів 2008 р. Це становитиме 1...1,35 млрд т/рік. Стратегія розвитку сектору, розроблена Міжнародною морською організацією (ІМО), передбачає скорочення загальних викидів парникових газів на рівні не менше 50% до 2050 р. у порівнянні з 2008 р. ІМО розробляє заходи для скорочення викидів ПГ від міжнародного судноплавства. Так, з 01.01.2019 запрацювала система збору даних ІМО щодо споживання палив для суден валовою місткістю від 5000 т; з 01.01.2023 запроваджено індекс енергоефективності існуючого судна та індикатор інтенсивності вуглецю. За прогнозами ІМО, близько 64% загального обсягу скорочення CO_2 від судноплавства у 2050 р. буде досягнуто за рахунок використання альтернативних палив з низьким/нульовим вмістом вуглецю, у тому числі скрапленого природного газу, зрідженого нафтового газу, рідких біопалив, метанолу, аміаку, водню [15]. Інші напрямки скорочення викидів ПГ включають оптимізацію логістики судноплавства, покращення гідродинамічних та технічних характеристик суден, впровадження технологій накопичення та зберігання вуглецю.

Кліматична політика України і місце відновлюваної енергетики в ній

Кліматична політика України спрямована на систематичне скорочення викидів парникових газів, перехід до низьковуглецевого розвитку, збільшення у структурі загального кінцевого енергоспоживання частки енергії, виробленої з відновлюваних та низьковуглецевих джерел. Так, згідно Стратегії формування та

реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2035 року (Розпорядження КМУ № 483-р від 30.05.2024), оновлений НВВ України до Паризької угоди має не перевищувати 35% викидів ПГ рівня базового 1990 р., із забезпеченням подальшого перегляду рівня амбітності такого показника з урахуванням показників соціально-економічного розвитку держави. Прикладами інших важливих цілей Стратегії є досягнення скорочення на 85% викидів ПГ при виробництві теплової та електричної енергії порівняно з базовим 1990 р., збільшення до 20% частки виробництва електроенергії з ВДЕ в загальному енергобалансі, впровадження національної системи торгівлі квотами на викиди парникових газів.

Розвиток використання ВДЕ, у тому числі ріст обсягів споживання рідких біопалив на транспорті, є одним з засобів досягнення стратегічних кліматичних та енергетичних цілей України. Національною транспортною стратегією України на період до 2030 року (Розпорядження КМУ № 430-р 30.05.2018) заплановано збільшення рівня застосування альтернативних видів палива та електроенергії до 50% до 2030 р.

Важливі та амбітні цілі міститься також у Національному плані з енергетики та клімату на період до 2030 року (схвалено Кабінетом Міністрів України 25.06.2024), зокрема:

- скорочення викидів парникових газів на 65% порівняно з рівнем 1990 року;
- досягнення 27% частки ВДЕ у загальному кінцевому енергоспоживанні, у тому числі 25% в електриці, 35% в теплі, 14% на транспорті;
- поглиблення диверсифікації джерел і шляхів постачання енергоресурсів – не більше 30% від одного постачальника;
- первинне споживання енергії – не більше 72224 тис. т н.е./рік, кінцеве споживання енергії – 42168 тис. т н.е./рік.

Значним кроком на шляху розширення використання ВДЕ на транспорті є прийняття у 2024 році Закону України про обов'язковий вміст рідкого біопалива (біокомпонентів) у бензинах, що продаються на території України [16]. Згідно Закону, з 1 травня 2025 року обов'язкова частка рідкого біопалива (біокомпонентів) в автомобільних бензинах повинна становити не менш як 5% об'ємних, крім бензинів з октановим числом 98 і вище та бензинів, що поставляються для потреб Міністерства оборони України, центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері державного матеріального резерву, та для створення мінімальних запасів нафти та нафтопродуктів.

Невиконання вимоги щодо обов'язкового вмісту рідкого біопалива (біокомпонентів) у бензинах тягне за собою накладання штрафу.

Важливо, що рідке біопаливо (біокомпоненти) та біогаз, призначені для використання у галузі транспорту, незалежно від місця вирощування сировини для їх виробництва, мають відповідати критеріям сталості, передбаченим цим Законом. Критерії сталості вимагають не використовувати для вирощування біомасової сировини земельні ділянки, що мають підвищене значення для біологічного різноманіття, містять високий вуглецевий запас, на 01.01.2008 належали до торфовищ та деякі інші. Крім того, технічні вимоги щодо скорочення обсягів викидів парникових газів від виробництва і використання рідкого біопалива (біокомпонентів) та біогазу, призначених для використання на транспорті, визначаються відповідно до національного стандарту.

Запровадження вимоги щодо обов'язкового вмісту рідкого біопалива (біокомпонентів) у бензинах, що продаються на території України, є важливим досягненням, оскільки невдалі спроби прийняття аналогічних законів робилися в країні вже протягом більше 20 років. При цьому, норму у 5% об'ємних вмісту рідкого біопалива (біокомпонентів) не можна вважати дуже високою, оскільки в ЄС з 2009 р. успішно розвивається ринок бензину E10 із вмістом біоетанолу до 10%. На сьогодні E10 активно споживається у 19 країнах ЄС і займає високу або навіть всю частку загального ринку бензинів. Наприклад, в Болгарії і Румунії ця частка складає 100%, у Нідерландах – 96%, в Данії – 92%, в Фінляндії, Угорщині, Бельгії, Словаччині – більше 75%.

За даними 2021 р., споживання бензинів в Україні становило 2 млн т/рік. Біоетанол використовувалася в обсязі близько 81 тис. т/рік (2020 р.), а його власне виробництво складало в межах 100 тис. т/рік. П'ять відсотків від 2 млн т бензину на рік – це 100 тис. т, з чого витікає, що теоретично українські біоетанольні заводи здатні самостійно забезпечити виконання законодавчої вимоги щодо обов'язкового вмісту біоетанолу у бензинах. Інший аспект питання полягає у тому, що в Україні виробляється лише біоетанол I покоління, тоді як значні скорочення викидів парникових газів досягаються при використанні передових біопалив. Як вже зазначалося, Директивою ЄС 2018/2001 вимагається скорочення викидів ПГ від споживання на транспорті рідких біопалив і біогазу принаймні на 65% для установок, що виробляють ці біопалива і були уведені в експлуатацію з 01.01.2021. Цю вимогу можуть виконати далеко не всі установки з виробництва рідких біопалив I покоління,

тоді як передові біопалива здатні забезпечити скорочення емісії ПГ у порівнянні з викопним паливом на 80% і більше.

Виконання законодавчої норми щодо 5% вмісту біоетанолу в бензинах дасть можливість зменшити викиди діоксиду вуглецю в Україні на більш ніж 120 тис т/рік. Ця оцінка відповідає умові скорочення викидів ПГ на 65% порівняно з використанням викопних палив. Згідно Директиви ЄС 2018/2001, такого показника може досягти, наприклад, біоетанольний завод, який виробляє біопаливо з кукурудзи або інших зернових і використовує порубкові залишки як паливо на ТЕЦ. Інші можливі варіанти – виробництво біоетанолу з цукрового буряка з використанням природного газу як палива на ТЕЦ, виробництво біоетанолу з цукрового буряка із паралельним отриманням біогазу з рідкої фракції відходів та споживанням природного газу в котлі та деякі інші.

Висновки та рекомендації для України

Україна має значний потенціал для виробництва рідких моторних біопалив I і II покоління, якого достатньо для задоволення власних потреб і для експорту. За оцінками авторів, економічний потенціал виробництва моторних біопалив становить:

- біоетанол I покоління (з кукурудзи, меляси) – 1,42 млн т/рік;
- передовий біоетанол (з побічних продуктів виробництва кукурудзи на зерно) – 1,18 млн т/рік;
- дизельне біопаливо I покоління (з ріпаку, використаної харчової олії, некондиційних олій, рослинних і тваринних жирів) – 750 тис. т/рік;
- передове дизельне біопаливо (з олійних енергетичних рослин, вирощених на незадіяних сільськогосподарських землях) – 330 тис. т/рік.

Нагальною задачею для країни є практичний розвиток виробництва рідких моторних біопалив. Це включає нарощування обсягів отримання біоетанолу і відновлення виробництва дизельного біопалива. Встановлена потужність існуючих біоетанольних заводів складає близько 400 тис. т/рік, отже, обсяги виробництва можна збільшити у 4...5 разів порівняно з довоєнним періодом. Для відновлення виробництва дизельного біопалива необхідно перевірити технічний стан заводів, побудованих у 2008-2010 рр. на виконання державної Програми розвитку виробництва дизельного біопалива. Оскільки виробництво цього виду біопалива в Україні взагалі відсутнє протягом останнього десятиріччя, рекомендується прийняття нової державної програми. Іншою рекомендацією є розробка стратегії виробництва передових біопалив в Україні, яка включатиме вико-

нання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт. На перших етапах впровадження цей напрямок може потребувати певних фінансових пільг або державних субсидій.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Global Bioenergy statistics report*. WBA, 2023.
<https://www.worldbioenergy.org/uploads/231219%20GBS%20Report.pdf>
2. *Production of biofuels worldwide in 2022 with a forecast until 2030*. Statista, 2024.
<https://www.statista.com/statistics/1440696/biofuel-production-forecast-by-product-type/>
3. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2022-2031*. OECD/FAO, 2022.
<https://www.oecd-ilibrary.org/deliver/f1b0b29c-en.pdf?itemId=%2Fcontent%2Fpublication%2Ff1b0b29c-en&mimeType=pdf>
4. *Advanced biofuels in the European Union*, JRC, 2022.
<https://www.etipbioenergy.eu/images/Advanced%20Biofuels%20-%20CETO%20Report%202022.pdf>
5. *Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). Consolidated amended version*.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02018L2001-20231120>
6. Broda M., Yelle D., Serwanska K. Bioethanol Production from Lignocellulosic Biomass – Challenges and Solutions // *Molecules*. – 2022, v. 27, issue 24, 8717. <https://doi.org/10.3390/molecules27248717>
7. Szabo Z. Biofuel Policy-Making Based on Outdated Modelling? The Cost of Road Transport Decarbonisation in EU // *Fuels*. – 2023, v. 4, N 3, p. 354-362. <https://doi.org/10.3390/fuels4030022>
8. Желєзна Т.А., Драгнєв С.В. Аналіз напрямків підвищення конкурентоспроможності рідких біопалив другого покоління // *Теплофізика та теплоенергетика*. – 2023, т. 45, № 3, с. 78-87. <https://doi.org/10.31472/tpe.3.2023.9>
9. Hemant Mistry. Sustainable Aviation Fuel. IATA, 2023.
<https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/presentations/saf-gmd2023/>
10. Желєзна Т.А., Драгнєв С.В., Баштовий А.І. Перспективи використання біопалив другого покоління як авіаційного палива // *Теплофізика та теплоенергетика*. – 2022, т. 44, №2, с. 54-63 <https://doi.org/10.31472/tpe.2.2022.7>
11. *Sustainable and Smart Mobility Strategy – putting European transport on track for the future*. COM (2020) 789 final, 2020. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0789>
12. *Regulation (EU) 2023/1804 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on the deployment of alternative fuels infrastructure*.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A32023R1804>
13. Doliente S.S., Narayan A., Tapia J.F.D. et al. Bio-aviation Fuel: A Comprehensive Review and Analysis of the Supply Chain Components // *Front. Energy Res.* – 2020, v. 8, art. 110. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.00110>
14. *CORSIA Eligible Fuels – Life Cycle Assessment Methodology*, version 4, November 2021. bit.ly/3XbmFxr
15. *Fourth IMO GHG Study 2020*. IMO, 2021. https://greenvoyage2050.imo.org/wp-content/uploads/2021/07/Fourth-IMO-GHG-Study-2020-Full-report-and-annexes_compressed.pdf
16. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо обов'язковості використання рідкого біопалива (біокомпонентів) у галузі транспорту» № 3769-IX від 04.06.2024. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3769-IX#Text>

ROLE OF BIOFUELS IN TRANSPORT SECTOR DECARBONIZATION

Zheliezna T.A.¹, Drahnev S.V.²

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

¹PhD (Engin.), Institute of Engineering Thermophysics of
the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii
Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine, orcid.org/0000-0002-9607-3022, e-mail: zhelyezna@secbiomass.com

²PhD (Engin.), Institute of Engineering Thermophysics of
the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii
Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine, orcid.org/0000-0003-3754-4186, e-mail: dragnev@secbiomass.com

<https://doi.org/10.31472/tpe.4.2024.9>

The purpose of the work is to develop recommendations for the development of production and consumption of bioethanol and diesel biofuel in Ukraine as a component of the general process of the transport sector decarbonization. The production of motor biofuels in the world has been growing during the last decades. Today, the volume of global production of biodiesel and bioethanol is about 190 billion liters per year, which is ten times more than in 2000. In addition to motor biofuels for road and waterborne transport, there is also in the world the production of biofuels for the aviation sector – sustainable aviation fuels. Today, the volume of their production is relatively small, but the growth dynamics is quite good. The opportunities for using alternative fuels with low or zero carbon content in marine transport are investigated. Since the end of 2019, the EU has been implementing the European Green Deal, the goal of which is to achieve zero net emissions of greenhouse gases by 2050. One of the important prerequisites for this is the fulfillment of the target set for transport, namely to reduce greenhouse gas emissions by 90% by 2050. The climate policy of Ukraine is aimed at systematic reducing greenhouse gas emissions, transitioning to low-carbon development, and increasing the share of energy produced from renewable and low-carbon sources in the structure of the total final energy consumption. The development of renewable energy sources, including biofuels consumption growth in transport, is one of the means of achieving the country's strategic climate and energy goals. Ukraine has a

considerable potential for the production of motor biofuels of the first and second generations, which is sufficient to meet its own needs and also be exported. An urgent task for the country is the practical development of the production of motor biofuels. This includes increasing the production of bioethanol and resuming the production of diesel biofuel. It is recommended that a strategy for the production of advanced biofuels in Ukraine should be elaborated, which will include intensive research and development activity. At the first stages of its implementation, this sector may require certain financial benefits or government subsidies.

References 16, tables 3.

Key words: liquid biofuels, advanced biofuels, motor biofuels, bioethanol, biodiesel, decarbonisation.

1. *Global Bioenergy statistics report*. WBA, 2023. <https://www.worldbioenergy.org/uploads/231219%20GBS%20Report.pdf>
2. *Production of biofuels worldwide in 2022 with a forecast until 2030*. Statista, 2024. <https://www.statista.com/statistics/1440696/biofuel-production-forecast-by-product-type/>
3. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2022-2031*. OECF/FAO, 2022. <https://www.oecd-ilibrary.org/deliver/f1b0b29c-en.pdf?itemId=%2Fcontent%2Fpublication%2Ff1b0b29c-en&mimeType=pdf>
4. *Advanced biofuels in the European Union*, JRC, 2022. <https://www.etipbioenergy.eu/images/Advanced%20Biofuels%20-%20CETO%20Report%202022.pdf>
5. *Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). Consolidated amended version*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02018L2001-20231120>
6. Broda M., Yelle D., Serwanska K. Bioethanol Production from Lignocellulosic Biomass – Challenges and Solutions // *Molecules*. – 2022, v. 27, issue 24, 8717. <https://doi.org/10.3390/molecules27248717>
7. Szabo Z. Biofuel Policy-Making Based on Outdated Modelling? The Cost of Road Transport Decarbonisation in EU // *Fuels*. – 2023, v. 4, N 3, p. 354-362. <https://doi.org/10.3390/fuels4030022>
8. Zheliezna T.A., Drahnev S.V. Analiz napriamkiv pidvyshchennia konkurentospromozhnosti ridkykh biopalyv druhoho pokolinnia [Analysis of directions for increasing the competitiveness of second generation biofuels.]. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*. – V. 45, № 3 (2023), P. 78-87. (Ukr.) <https://doi.org/10.31472/tpe.3.2023.9>

9. Hemant Mistry. Sustainable Aviation Fuel. IATA, 2023. <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/presentations/saf-gmd2023/>
10. Zheliezna T.A., Drahnev S.V., Bashtovyi A.I. Perspektyvy vykorystannia biopalyv drugoho pokolinnia yak aviatsiinoho palyva [Prospect for the use of second generation biofuels as jet fuel.]. Thermophysics and Thermal Power Engineering. – V. 44, № 2 (2022), P. 54-63. (Ukr.) <https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2022.7>
11. Sustainable and Smart Mobility Strategy – putting European transport on track for the future. COM (2020) 789 final, 2020. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0789>
12. Regulation (EU) 2023/1804 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on the deployment of alternative fuels infrastructure. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A32023R1804>
13. Doliente S.S., Narayan A., Tapia J.F.D. et al. Bio-aviation Fuel: A Comprehensive Review and Analysis of the Supply Chain Components // Front. Energy Res. – 2020, v. 8, art. 110. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.00110>
14. CORSIA Eligible Fuels – Life Cycle Assessment Methodology, version 4, November 2021. bit.ly/3XbmFxr
15. Fourth IMO GHG Study 2020. IMO, 2021. https://greenvoyage2050.imo.org/wp-content/uploads/2021/07/Fourth-IMO-GHG-Study-2020-Full-report-and-annexes_compressed.pdf
16. Zakon Ukrainy «Pro vnesennia zmin do deiakykh zakonodavchykh aktiv Ukrainy shchodo oboviazkovosti vykorystannia ridskoho biopalyva (biokomponentiv) u haluzi transportu». [Law of Ukraine "On Amendments to Certain Legislative Acts of Ukraine Regarding Mandatory Use of Liquid Biofuel (Biocomponents) in the Transport Industry".]. No. 3769-IX dated 04.06.2024. (Ukr.) <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3769-IX#Text>

Отримано 24.07.2024

Received 24.07.2024

Прийнято до друку 14.11.2024
Accepted for publication 14.11.2024