

АНАЛІЗ НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ РІДКИХ БІОПАЛИВ ДРУГОГО ПОКОЛІННЯ

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

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

¹провідний науковий співробітник, zhelyezna@secbiomass.com, <https://orcid.org/0000-0002-9607-3022>

²старший науковий співробітник, dragnev@secbiomass.com, <https://orcid.org/0000-0003-3754-4186>

<https://doi.org/10.31472/ttpe.3.2023.9>

Проведено огляд поточного стану виробництва передових рідких біопалив у світі. Виконано аналіз заходів, спрямованих на зменшення собівартості виробництва рідких біопалив другого покоління. Розглянуто техніко-економічні показники виробництва біоетанолу першого та другого покоління в Україні. Розроблено рекомендації щодо розвитку виробництва рідких біопалив другого покоління в Україні.

An overview of the current state of advanced biofuels production in the world has been conducted. An analysis of measures aimed at reducing the production cost of second generation biofuels has been carried out. The technical and economic indicators of first and second generation bioethanol production in Ukraine have been considered. Recommendations on the development of the production of second generation liquid biofuels in Ukraine have been elaborated.

Бібл. 11, табл. 4, рис. 2.

Ключові слова: рідкі біопалива, біоетанол, біодизель, передові біопалива, біопалива другого покоління.

БЕ – біоетанол;

БД – біодизель;

САП – стале авіаційне паливо;

Ф-Т – Фішер-Тропш.

Актуальність роботи обумовлена нагальною необхідністю декарбонізації транспортного сектору, зокрема за рахунок заміщення нафтових моторних палив біопаливами. Найбільше скорочення викидів діоксиду вуглецю досягається при використанні рідких біопалив другого покоління (передових біопалив), які наразі мають доволі високу собівартість. **Метою** роботи є аналіз заходів, спрямованих на зменшення собівартості виробництва передових біопалив, а також розробка рекомендацій для України по розвитку даного напрямку. **Методи дослідження** включають проведення розрахунків, вивчення та аналіз літературних, статистичних та інших даних.

Поточний стан виробництва передових рідких біопалив у світі

Згідно багатьом існуючим дослідженням, біоенергетиці відводиться значна роль у досягненні глобальних цілей декарбонізації енергетики і сектору транспорту. Так, Міжнародне енергетичне агентство прогнозує, що до 2060 р. споживання рідких біопалив на транспорті у світі збільшиться у 10 разів (до 30 ЕДж/рік), що задовольнить близько 30% загальної потреби сектору в енергії. Із загального обсягу виробництва рідких біопалив лише 17% у 2060 р. припадатиме на

традиційні, все інше – біопалива 2-го покоління, або передові біопалива. Очікується, що особливо важливу роль передові біопалива відіграватимуть у заміщенні нафтових палив в авіації і морському транспорті [1]. Згідно оцінки Міжнародного агентства з відновлюваних джерел енергії, внесок рідких біопалив до забезпечення глобальних енергетичних потреб транспорту становитиме 22% у 2050 р.. Це відповідатиме їх споживанню в обсязі близько 900 млрд л/рік, при чому більше половини складатимуть передові біопалива [2].

Біопалива 2-го покоління (передові біопалива) є сталими, оскільки отримуються з урахуванням критеріїв сталості з сировини, що не є харчовою або кормовою. Прикладами такої сировини є солома, лушпиння соняшника та інші види лігноцелюлозної сировини та відходів згідно частини А Додатку IX Директиви ЄС 2018/2001 з відновлюваних джерел енергії (Директива RED II) [3, 4]. Згідно глобальних довгострокових сценаріїв, передові біопалива мають спочатку доповнити а пізніше – замінити традиційні біопалива 1-го покоління, такі як біоетанол з цукро- та крохмалевмісної сировини, метилові етери жирних кислот (біодизель) і гідрогенізована рослинна олія. Рідкі біопалива 2-го покоління мають потужний потенціал для скорочення

викидів парникових газів – 85...90% порівняно зі споживанням нафтових палив. Це значно перевищує поточну вимогу Директиви RED II по скороченню емісії парникових газів при використанні рідких моторних біопалив – 65% для біопалив, вироблених на установках, які запущені в експлуатацію з 01.01.2021.

На сьогодні у світі налічується близько 25 діючих установок з отримання передових біопалив (табл. 1). Вони виробляють біоетанол, біометанол, біо-нафту, рідини Фішера-Тропша (суміші вуглеводнів) і стале авіаційне паливо з видів біомаси, що відповідають переліку сировини з частини А Додатку IX RED II. Перші установки почали працювати ще у 2010 р., а на 2023 р. і найближчі роки заплановано будівництво і введення в експлуатацію ще близько шести промислових установок.

Поточні обсяги виробництва рідких біопалив 2-го покоління у світі є на порядок меншими, ніж традиційних рідких біопалив з харчової/кормової сировини. Так, наприклад, члени Європейської асоціації виробників відновлюваного етанолу із загального обсягу виробляють лише близько 10% передового біоетанолу, а основною сировиною для отримання рідкого біопалива є зерно кукурудзи (рис. 1). Це пояснюється складністю і, відповідно, високою вартістю технології виробництва лігноцелюлозного біоетанолу.

Напрямки скорочення вартості передових рідких біопалив

Наразі одним з найдорожчих видів передових біопалив є біоетанол з лігноцелюлозної сировини, оскільки його собівартість може сягати майже 160 євро/МВт•год (рис. 2). Найбільший вплив на собівартість лігноцелюлозного біоетанолу мають ціна сировини, ефективність застосованої технології конверсії, а також організація виробничого процесу (окрема установка чи інтегрована). Наприклад, якщо отримання біоетанолу зі стебел кукурудзи впроваджено на підприємстві, яке вже виробляє біоетанол з зерна кукурудзи, і технології певним чином інтегровані, а лігноцелюлозна сировина є безкоштовною, то собівартість лігноцелюлозного біоетанолу зменшується майже втричі до 51...59 євро/МВт•год (див. рис. 2). Собівартість виробництва рідин Фішера-Тропша з біомаси (що не вважається відходами) шляхом термічної газифікації знаходиться в діапазоні 75...144 євро/МВт•год. Якщо ж отримувати це біопаливо за тією ж технологією з відходів, то собівартість скорочується у півтора рази до 53...104 євро/МВт•год.

Загалом, можливі шляхи здешевлення вартості виробництва передових рідких біопалив включають наступні напрямки [6]:

- Використання дешевої сировини (наприклад, відходів), оптимізація логістики постачання сировини.

Табл. 1. Перелік діючих та запланованих до будівництва установок з виробництва передового біопалива у світі [5, 6]

Назва установки / власник, країна розташування	Потужність	Технологія / ступінь готовності*	Продукт	Рік запуску
BioMCN (власник), Нідерланди	200 тис. т/рік	Паровий риформінг біогазу / 8	Біометанол	2010
Chempolis Oulu / Chempolis Ltd, Фінляндія	50 тис. т/рік	Ферментація	Біоетанол**	2010
BioTfuel pilot / BioTfuel consortium, Франція	60 т/рік	Синтез палива / 4-5	Рідини Ф-Т, САП	2012
Booster / TU Munich, Німеччина	0,15 МВт	«М'який» піроліз з гідротермальною карбонізацією та синтез палива / 4-5	Синтетичний природний газ	немає даних
Crescentino / ENI, Італія	50 тис. м ³ /рік	Ферментація	Біоетанол	2013
Bioflex 1 / GranBio, Бразилія	82 тис. м ³ /рік	Ферментація	Біоетанол	2014
EMPYRO Hengelo Twence / BTG-Bioliquids, Нідерланди	24 тис. т/рік	Піроліз / 9	Біо-нафта	2015
Vaermlandsmetanol Hagfors / Vaermlandsmetanol, Швеція	92 тис. т/рік	Газифікація та синтез метанолу / 8	Біометанол	2015
Ethanolix Ghotenburg / ST1, Швеція	5 млн л/рік	Ферментація / 4-5	Біоетанол	2015

Raizen / Cosan, Shell, Бразилія	40 тис. м³/рік	Ферментація	Біоетанол	2015
Liberty / Poet & DSM, США	76 тис. м³/рік	Ферментація	Біоетанол	2015
RenFuel Backhammer / RenFuel, Швеція	3200 т/рік	Транспортне паливо проміжне з термолітичних процесів / 6-7	Біо-нафта	2016
Cellulonix Pietarsaari / ST1, Фінляндія	10 млн л/рік	Ферментація / 8	Біоетанол	2017
GfN Lieksa / GFN OY, Фінляндія	24 тис. т/рік	Швидкий піроліз / 8	Біо-нафта	2020
Sodra biomethanol / Sodra, Швеція	5,2 тис. т/рік	Термохімічний процес / 9	Біометанол	2020
BioTfuel demo / Total, Франція	8000 т/рік	Синтез палива / 6-7	Рідини Ф-Т, САП	2021
Silva Green Fuels / Statkraft & Södra, Норвегія	5 тис. л/добу	Гідротермальне зрідження / 4-5	Біо-нафта	2021
Pyrocel Gavle / Pyrocell, Швеція	24 тис. т/рік	Швидкий піроліз / 8	Піролізна нафта	2021
To-Syn-Fuel / Fraunhofer UMSICHT, Німеччина	200 тис. л/рік	Термо-каталітичний риформінг / 4-5	Біо-нафта	2021
Bioliq project / Karlsruhe Institute of Technology, Німеччина	608 т/рік	Газифікація та синтез Ф-Т	Рідини Ф-Т	2021
Bhatinda Plant / HPCL, Індія	40 тис. м³/рік	Ферментація	Біоетанол	2020
ABRPL refinery, Індія	60 тис. м³/рік	Ферментація	Біоетанол	2021
Bargarh / Bharat Petroleum, Індія	40 тис. м³/рік	Ферментація	Біоетанол	2021 (заплановано)
Podari / Clariant Romania, Румунія	50 тис. т/рік	Ферментація / 8	Біоетанол	2022
Versalis crescentino / Versalis, Італія	25 тис. т/рік	Ферментація / 8	Біоетанол	2022
ArcelorMittal Ghent Steelanol / ArcelorMittal, Бельгія	62 тис. т/рік	Ферментація / 8	Біометанол	2022
Edmonton / Enerkem, Канада	38 тис. м³/рік	Газифікація	Біоетанол, біометанол	2023
Waste to Methanol / JV control ENI, Італія	300 т/день	Синтез палива / 8	Біометанол	2023 (заплановано)
Ecoplanta Molecular Recycling Solutions / Enerkem and Suez, Іспанія	220 тис. т/рік	Газифікація / 8	Біометанол	2025 (заплановано)
Jedlicze / Orlen Poludnie, Польща	25 тис. т/рік	Ферментація	Біоетанол	2025 (заплановано)
Lakeview / Red Rock biofuels, США	57 тис. м³/рік	Газифікація та синтез Ф-Т	Рідини Ф-Т	будівництво
Lake Tahoe / Fulcrum Biofuels, США	40 тис. м³/рік	Газифікація та синтез Ф-Т	Рідини Ф-Т	будівництво

* Рівень розвитку технології згідно шкали від 1 (усвідомлення базових принципів) до 9 (підтверджене функціонування в реальних умовах) [7]. Якщо не вказано рівень, то немає даних.

** Біоетанол з лігноцелюлозної сировини (тут і далі в таблиці).



Рис. 1. Структура виробництва біоетанолу з різних видів сировини в Європі [8]

Собівартість виробництва,
євро/МВт·год

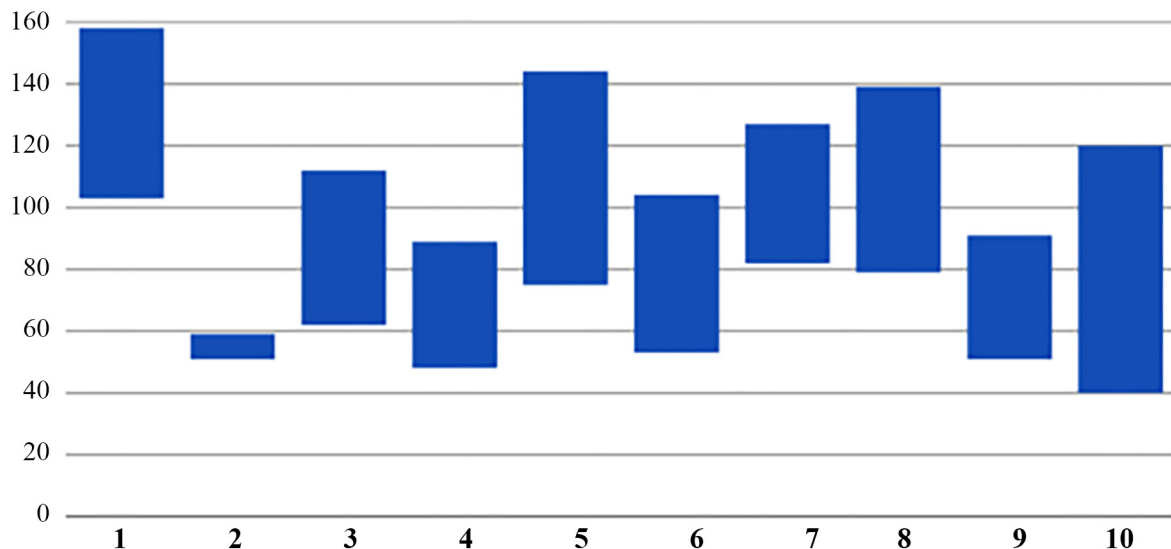


Рис. 2. Собівартість виробництва різних видів біопалив, євро/МВт·год [6], де: 1 – біоетанол з лігноцелюозної біомаси, 2 – біоетанол з лігноцелюозної біомаси при нульовій вартості сировини (виробництво, інтегроване з традиційним біоетанолом), 3 – біометанол і біометан з біомаси, що не вважається відходами, 4 – біометанол і біометан з відходів, 5 – рідини Фішера-Тропша з біомаси, що не вважається відходами, 6 – рідини Фішера-Тропша з відходів, 7 – біо-нафта з покращенням якості, реалізованим на цій же установці, 8 – біо-нафта з покращенням якості, інтегрованим в роботу нафтопереробного заводу, 9 – гідрогенізована рослинна олія, 10 – біометан, отриманий шляхом анаеробного зброджування біомаси

- Вдосконалення та підвищення ефективності відповідних технологічних процесів.
- Будівництво більш потужних установок із врахуванням та практичною реалізацією потенційних переваг масштабування.

- Врахування переваг і недоліків роботи існуючих потужних установок з отримання передових біопалив при будівництві та запуску в експлуатацію нових виробництв.
- Отримання фінансування на будівництво нових установок на вигідніших умовах через поступове зниження ризиків таких виробництв.

- Інтегрування процесу виробництва передових біопалив в існуючі підприємства, де є відповідні умови для цього.

- Валоризація та ефективніше використання побічних продуктів.

Використання дешевої сировини, скорочення капітальних і операційних витрат та більш ефективне використання побічних продуктів відносять до середньострокових заходів, які можна реалізувати протягом 10...15 років. Інші заходи, наприклад, вивчення та врахування «уроки» функціонування попередніх установок, вважаються довгостроковими, які будуть реалізовані у період понад 15 років.

Проведені дослідження показують, що для установки з виробництва лігноцелюлозного біоетанолу зменшення питомих капітальних витрат на рівні 25...50% можна досягти шляхом нарощування виробничої потужності, оптимізації технологічних процесів (наприклад, поєднання етапів ензимного гідролізу і ферментації в одному апараті), а також завдяки інтегруванню у вже існуючі виробництва біоетанолу 1-го покоління [6]. Останнє дає можливість сумісного використання певного обладнання та інфраструктури. Скорочення операційних витрат в діапазоні 10-20% можна забезпечити шляхом створення умов для ефективнішого функціонування ензимів і дріжджів в апаратах установки, впровадження технічних прийомів, що вже відомі і застосовуються при виробництві біоетанолу 1-го покоління, вироб-

ництва палива з лігніну та його продажу. Таким чином, собівартість виробництва лігноцелюлозного біоетанолу можна зменшити з поточних 103...158 євро/МВт•год до 76...122 євро/МВт•год (табл. 2).

Аналогічні підходи з оптимізації виробничих процесів можуть бути застосовані до інших видів передових біопалив. Ще більший ефект скорочення собівартості передових біопалив (до 60%) очікується від можливості отримання кредитів та інших видів фінансування будівництва нових установок на більш вигідних умовах, ніж поточні (табл. 3).

Ситуація в Україні

Власне виробництво біоетанолу в Україні складає, в середньому, близько 100 тис. т/рік, хоча наявні встановлені потужності дозволяють отримувати до 400 тис. т/рік. Це біопаливо 1-го покоління, яке виробляється з зерна кукурудзи, меляси та інших видів цукро- і крохмалевсмислової сировини. Прикладами сучасних виробництв є Теофіпольський (120 м³ БЕ/добу), Гнідавський (60 м³ БЕ/добу) та інші біоетанольні заводи, побудовані Українською технологічною компанією. Щодо біодизелю, треба зазначити, що свого часу в Україні було побудовано 14 великих заводів загальною потужністю 300 тис. т БД/рік, проте ці заводи, у першу чергу, через економічні фактори фактично не експлуатувалися. Інформація про поточний стан їх обладнання та можливість запуску в роботу відсутня. Виробництво біоетанолу 2-го покоління або інших передових біопалив в Україні поки не було впроваджено.

Табл. 2. Потенціал скорочення собівартості виробництва лігноцелюлозного біоетанолу [6]

Показники	Низька вартість сировини (13 євро/МВт•год)			Висока вартість сировини (20 євро/МВт•год)		
	Поточний рівень [9]	Рівень після впровадження заходів		Поточний рівень [9]	Рівень після впровадження заходів	
		мінус 25%*	мінус 50%*		мінус 25%*	мінус 50%*
Питомі капітальні витрати, євро/кВт (по готовому продукту)	2570	1928	1285	3650	2738	1825
Виробнича собівартість лігноцелюлозного біоетанолу, євро/МВт•год, у тому числі за складовими:	103	90	76	158	122	104
капітальні витрати	42	32	21	60	45	30
сировина	33	33	33	50	50	50
операційні витрати	28	25	22	48	27	24

* Досягнутий рівень скорочення питомих капітальних витрат.

Табл. 3. Потенціал скорочення собівартості рідких та газоподібних біопалив [6]

Вид біопалива	Поточний рівень, євро/МВт•год	Рівень після заходів зі скорочення, євро/МВт•год	
		Оптимізація технологічних процесів	Отримання фінансування на вигідніших умовах
Біоетанол з лігноцелюлозної сировини	103...158	76...122	71...112
Метанол з біомаси	62...112	46...102	42...94
Метанол з відходів	48...89	36...80	29...68
Рідини Фішера-Тропша з біомаси	75...144	64...125	56...112
Рідини Фішера-Тропша з відходів	53...104	40...94	32...79
Біо-нафта	79...139	75...132	66...119
Гідрогенізована рослинна олія	51...91	51...91	50...88
Біометан (анаеробне зброджування біомаси)	40...120	40...120	34...113

Технології отримання передових біопалив у порівнянні з біопаливами 1-го покоління є набагато складнішими. Наприклад, для можливості виробництва біоетанолу з целюлозовмісної сировини ця сировина перед зброджуванням має пройти значну попередню обробку для полегшення доступу ферментів до целюлозних волокон. Така обробка може бути біологічною, хімічною, фізичною та їх комбінацією. На попередню обробку лігноцелюлозної сировини припадає 30...35% загальної вартості технології [10].

Складність технології відображається на інвестиціях, необхідних для будівництва відповідної установки, і на собівартості отриманого рідкого біопалива. Так, питомі капітальні витрати заводу з виробництва біоетанолу з соломи становлять 2800 євро/т БЕ (передове біопаливо), а з зерна кукурудзи – всього 640 євро/т БЕ (біопаливо 1-го покоління) при однаковій продуктивності 50 тис. т БЕ/рік (табл. 4). Операційні витрати на виробництво лігноцелюлозного біоетанолу також вищі, хоча вартість сировини є меншою. Це пояснюється потребою у більшій кількості сировини, а також у додаткових хімічних речовинах для реалізації процесу гідролізу целюлози та геміцелюлоз. Оцінка, виконана для умов України, показує, що виробництво біоетанолу 1-го покоління є рентабельним з терміном окупності 4-5 років. Отримання передового біоетанолу наразі є економічно непривабливим, оскільки термін окупності складає більше 10 років.

Незважаючи на складність технології і високу собівартість, виробництво біоетанолу 2-го покоління є важливим і перспективним напрямком розвитку

біоенергетики України. Науково-дослідні роботи з питань оптимізації та підвищення ефективності технології виробництва біоетанолу з лігноцелюлозної сировини виконувалися в Інституті технічної теплофізики (ІТТФ) НАН України, Інституті біології клітини НАН України, Інституті харчової біотехнології та геноміки НАН України. Зокрема, співробітниками ІТТФ НАН України розроблено універсальний роторно-пульсаційний апарат, призначений для приготування суцеля з цукро-, крохмале- та целюлозовмісної сировини при виробництві біоетанолу [11]. Впровадження розробок вітчизняних науковців сприятиме вдосконаленню технологій виробництва передових біопалив і зменшенню їх собівартості.

Висновки та рекомендації для України

Для розвитку виробництва рідких біопалив другого покоління в Україні необхідно встановити відповідну ціль. Наприклад, Директивою ЄС RED II поставлено за мету досягти частки передових рідких біопалив та біогазу, вироблених з сировини із Частини А Додатку IX Директиви, щонайменше 3,5% в кінцевому енергоспоживанні сектору транспорту ЄС у 2030 р. Необхідно імплементувати у законодавство України обов'язкові критерії сталості для біопалив та гармонізувати відповідні міжнародні стандарти. Важливо розробити механізм залучення малопродуктивних і невикористовуваних у сільському господарстві земель для вирощування енергетичних рослин, які можуть бути перероблені у біопалива. Крім цього, для економічного стимулювання таких виробництв доцільно ввести премію за скорочення викидів CO₂ для виробників сталих біопалив. Також необхідно запровадити систе-

Табл. 4. Техніко-економічна оцінка виробництва біоетанолу з різних видів сировини

Показники	Біоетанол з зерна кукурудзи (1-го покоління)		Біоетанол з соломи (2-го покоління)
Продуктивність по біоетанолу, тис. т/рік	25	50	50
Продуктивність біоетанолу, млн л/рік	32	63	63
Тривалість роботи, год/рік	8000	8000	8000
Річні потреби у сировині, тис. т/рік	76	152	250
Закупівельна ціна сировини, євро/т без ПДВ	155	155	35
Капітальні витрати, млн євро	17	32	140
Питомі капітальні витрати, євро/т біоетанолу	680	640	2800
Операційні витрати, млн євро/рік	17,8	35,0	61,64
Витрати на виробництво БЕ, євро/л, за складовими:	0,564	0,553	0,974
- основна сировина (біомаса)	0,372	0,372	0,138
- інша сировина	—	—	0,691
- оплата праці	0,007	0,005	0,010
- витрати на електроенергію	0,032	0,030	0,000
- витрати на природний газ	0,113	0,107	0,000
- витрати на ремонт і технічне обслуговування	0,027	0,026	0,111
- інші витрати	0,014	0,013	0,024
Амортизаційні відрахування, євро/л	0,021	0,020	0,088
Продажна ціна сухої барди (DDG)*, євро/т без ПДВ	112,5	112,5	—
Дохід від продажу сухої барди (DDG), млн євро/рік	2,6	5,1	—
Продажна ціна кукурудзяної олії*, євро/т без ПДВ	1145,8	1145,8	—
Дохід від продажу кукурудзяної олії, млн євро/рік	1,1	2,2	—
Продажна ціна електроенергії, євро/кВт·год без ПДВ	—	—	0,15
Дохід від продажу електроенергії, млн євро/рік	—	—	6,6
Виробнича собівартість біоетанолу, євро/л	0,47	0,46	0,96
Ціна реалізації біоетанолу, євро/л без ПДВ	0,65	0,65	1,2
Частка кредитування від капітальних витрат, %	70		
Тривалість кредитування, років	5		
Ставка по кредиту у євро, %	6		
Внутрішня норма дохідності (IRR), %	29,8%	32,9%	9,8%
Простий термін окупності, років	4,5	4,1	10,6

* Побічні продукти.

му збирання відходів, які можна використати як сталу сировину для біопалив, зокрема, систему збирання відпрацьованої харчової олії.

Як було зазначено вище, одним із засобів скорочення собівартості біопалив 2-го покоління є інтегрування технологій їх отримання у вже існуючі виробництва. В Україні це може бути реалізовано шляхом запровадження виробництва передового біоетанолу на існуючих сучасних заводах із виробництва біоетанолу

1-го покоління, наприклад, на Теофіпольському заводі. На цьому підприємстві біоетанол виробляється з зерна кукурудзи і меляси, а целюлозна сировина (солома) використовується у виді гідролізату. Половина сухих речовин з утвореної барди переробляється на суху зернову барду (DDGS), а половина як декантат разом з соломою переробляється у біогаз. Завод вже зараз працює з продуктивністю вище проектною, а в подальшому планується досягти потужності виробництва, що

удвічі перевищує проєктну. Теофіпольський завод можна розглядати як потенційний майданчик для реалізації пілотного проєкту з отримання передового біоетанолу із запровадженням новітніх напрацювань українських вчених в даному напрямку. Враховуючі наявні в Україні значні обсяги біомаси, для запровадження виробництва інших видів передових біопалив вітчизняному бізнесу потрібно налагодити співпрацю з компаніями, які володіють відповідними технологіями із високим ступенем готовності та мають досвід успішної реалізації таких проєктів.

Стаття підготовлена в рамках виконання бюджетної теми Інституту технічної теплофізики НАН України.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Technology Roadmap – Delivering Sustainable Bioenergy*. IEA, 2017. https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2017/11/Technology_Roadmap_Delivering_Sustainable_Bioenergy.pdf
2. *Global Energy Transformation: a Roadmap to 2050*. IRENA, 2018. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Report_GET_2018.pdf
3. *Directive (EU) 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast)*, 2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>
4. Гелету́ха Г.Г., Же́lezна Т.А., Драгнєв С.В. Аналіз перспектив та питань сталості виробництва рідких моторних біопалив в ЄС та в Україні // Теплофізика та теплоенергетика. – 2023, т. 45, № 1, с. 46-54. DOI: 10.31472/tpe.1.2023.6
5. *Advanced Biofuels in the European Union*. JRS, 2022. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC130727>
6. *Advanced Biofuels – Potential for Cost Reduction*. IEA Bioenergy, 2020. https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2020/02/T41_CostReductionBiofuels-11_02_19-final.pdf
7. *Horizon 2020 Work Programme 2014-2015: 19. General Annexes Revised*. European Commission, 2014. https://ec.europa.eu/research/participants/portal4/doc/call/h2020/common/1617621-part_19_general_annexes_v.2.0_en.pdf
8. *Biofuels. Bioenergy Europe Statistical Report*, 2022. <https://bioenergyeurope.org/article/377-biofuels-for-transport-2022.html>
9. K. Maniatis, I. Landau, L. Waldheim, E. van den Heuvel, S. Kalligeros. Building up the Future Cost of Biofuel. European Commission, Directorate-General for Transport, 2017. http://artfuelsforum.eu/wp-content/uploads/2018/06/Building-up-the-Future_SGAB.pdf
10. Дубровін В.О. та ін. Навчальний модуль «Біодизель та біоетанол». Проєкт UNIDO/GEF «Підвищення енергоефективності та стимулювання використання відновлюваної енергії в агро-харчових та інших малих та середніх підприємствах (МСП) України», 2015. http://ir.znau.edu.ua/bitstream/123456789/5143/1/Biodizel_TM6.pdf
11. Долінський А.А., Ободович О.М. Реалії сьогодення та перспективи виробництва біоетанолу як компонента сумішевих палив // Вісник НАН України. – 2019, № 11, с. 29-37. doi: <https://doi.org/10.15407/visn2019.11.029>

ANALYSIS OF DIRECTIONS FOR INCREASING THE COMPETITIVENESS OF SECOND GENERATION BIOFUELS

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.), Ukraine, orcid.org/0000-0002-9607-3022, e-mail: zhelyezna@secbiomass.com

²PhD (Engin.), orcid.org/0000-0003-3754-4186, e-mail: dragnev@secbiomass.com

<https://doi.org/10.31472/ttpe.3.2023.9>

The purpose of the work is analysis of measures aimed at reducing the production cost of second-generation biofuels (advanced biofuels), as well as elaboration of recommendations for Ukraine on the development of this area. One of today's challenges is decarbonization of the transport sector. Among other things, this can be achieved by replacing traditional petroleum fuels with biofuels. At the same time, the biggest effect of decarbonization can be achieved from the use of advanced biofuels, as they provide a significant reduction in greenhouse gas emissions. The current global production volumes of second generation biofuels are ten times lower than that of traditional biofuels from food and feed feedstock. This is due to the complexity of production technologies and high cost of advanced biofuels. Right now, there are ways to reduce the production cost of second-generation biofuels, which can be divided into medium and long-term measures. The use of cheap feedstock, reduction of capital and operating costs and more efficient use of by-products are classified as medium-term measures that can be implemented within 10...15 years. Other measures, for example, learning lessons from the operation of previous installations, are considered long-term, which will be implemented over a period of more than 15 years. One of the means for reducing the cost of second-generation biofuels is co-location and integration of advanced technologies in existing fuel or industrial production infrastructures. In Ukraine, this can be implemented by integrating the production of advanced bioethanol in existing modern plants for the production of traditional bioethanol. Research and development work on optimizing and increasing the efficiency of lignocellulosic bioethanol production was carried out at the Institute of Engineering Thermophysics, Institute of Cell Biology

and Institute of Food Biotechnology and Genomics of the National Academy of Sciences of Ukraine. Implementing findings of domestic researchers will contribute to the improvement of technologies for the production of advanced biofuels and the reduction of their cost.

References 11, table 4, figures 2.

Key words: biofuels, bioethanol, biodiesel, advanced biofuels, second generation biofuels.

1. *Technology Roadmap – Delivering Sustainable Bioenergy*. IEA, 2017. https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2017/11/Technology_Roadmap_Delivering_Sustainable_Bioenergy.pdf

2. *Global Energy Transformation: a Roadmap to 2050*. IRENA, 2018.

https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_Report_GET_2018.pdf

3. *Directive (EU) 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast)*, 2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>

4. Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drahnev S.V. Analiz perspektyv ta pytan stalosti vyrobnytstva ridkykh motornykh biopalyv v YeS ta v Ukraini [Analysis of prospects and sustainability issues of liquid motor biofuels production in the EU and in Ukraine]. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*, 2023. V. 45(1). P. 46-54. DOI: 10.31472/ttpe.1.2023.6 (Ukr.)

5. *Advanced Biofuels in the European Union*. JRS, 2022. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC130727>

6. *Advanced Biofuels – Potential for Cost Reduction*. IEA Bioenergy, 2020.

https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2020/02/T41_CostReductionBiofuels-11_02_19-final.pdf

7. *Horizon 2020 Work Programme 2014-2015*: 19. General Annexes Revised. European Commission, 2014.

https://ec.europa.eu/research/participants/portal4/doc/call/h2020/common/1617621-part_19_general_annexes_v.2.0_en.pdf

8. *Biofuels. Bioenergy Europe Statistical Report*, 2022. <https://bioenergyeurope.org/article/377-biofuels-for-transport-2022.html>

9.K. Maniatis, I. Landalv, L. Waldheim, E. van den Heuvel, S. Kalligeros. Building up the Future Cost of Biofuel. European Commission, Directorate-General for Transport, 2017. http://artfuelsforum.eu/wp-content/uploads/2018/06/Building-up-the-Future_SGAB.pdf

10. Dubrovin V.O. et al. Navchalnyi modul «Biodyzel ta bioetanol». [Educational module "Biodiesel and bioethanol"]. UNIDO/GEF project "Improving Energy Efficiency and Promoting Renewable Energy in the Agro-Food and Other Small and Medium Enterprises (SMEs) in Ukraine", 2015.

http://ir.znau.edu.ua/bitstream/123456789/5143/1/Biodizel_TM6.pdf (Ukr.)

11. Dolinskyi A.A., Obodovych O.M. Realii sohodennia ta perspektyvy vyrobnytstva bioetanolu yak komponenta sumishevykh palyv [The realities of the present and the prospects of the production of bioethanol as a component of mixed fuels]. Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2019. (11). P. 29-37. doi: <https://doi.org/10.15407/vsn2019.11.029> (Ukr.)

Отримано 01.05.2023

Received 01.05.2023

Прийнято до друку 15.08.2023
Accepted for publication 15.08.2023