

ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

Науково-технічний журнал

№ 3, 2023

Заснований у січні 1960 р. Виходить друком 4 рази на рік (том 76)

Зміст

Паливо та енергетика

- 3 Чернявський М.В., Мірошниченко Є.С., Провалов О.Ю., Косячков О.В. Переведення антрацитових котлоагрегатів ТЕЦ на спалювання газового вугілля в умовах воєнного стану
- 21 Кириченко В.І., Кириченко В.В., Нездоровін В.П. Атомна енергетика як дієвий фактор підвищення ефективності та рентабельності процесів виробництва водню та розвитку водневої економіки (Огляд)

Енергозберігаючі технології

- 35 Крутоголова І.О., Браверман В.Я., Ільєнко Б.К. Розподілені мікромережі з використанням криогенних систем зберігання електроенергії, виробленої відновлюваними джерелами, як важливий еколого-економічний чинник
- 43 Басок Б.І., Давиденко Б.В., Павленко А.М., Кужель Л.М., Новіков В.Г., Гончарук С.М., Ільєнко Б.К., Нікітін Є.Є., Веремійчук Г.М. Зменшення тепловтрат через віконні конструкції

Теплофізичні основи енергетичних процесів

- 58 Іваницький Г.К., Коник А.В., Степанюк А.Р., Демченко В.Г. Моделювання процесів теплообміну в «тепловому ядрі», заповненому теплоаккумуляційним матеріалом

Переробка сировини та ресурсозбереження

- 71 Гелетуґа Г.Г., Железна Т.А., Драгнев С.В., Кучерук П.П. Перспективи виробництва передових біопалив в Україні
- 82 Соловійов Г.І., Орлик В.М., Колесник В.В., Козюберда А.А. Біоетилен — перспективне джерело енергії та сировини для хімічної промисловості

Захист навколишнього середовища

- 91 Четвериков В.В., Россоха А.В., Сігал І.Я. Ідентифікація джерел емісії стійких органічних забруднювачів в Україні та шляхи скорочення викидів із найбільш проблемних джерел

Нанотехнології для енергетики

- 103 Moraru V.N., Komysh D.V. Emergency cooling of superheated surfaces by nanofluids additives in stop- and non-stop modes of heat load rise

Відповідальний секретар — Ільєнко Борис Кузьмич
Провідний редактор — Светна Олена Миколаївна

Матеріали номера затверджено Вченою радою Інституту газу НАНУ, протокол № 9 від 08.09.2023.

Підписано до друку 11.09.2023. Формат 84 × 108/16. Папір мел. Друк офс. Наклад 130 прим.

Надруковано ТОВ «Лазурит Поліграф», вул. Леваневського, 8/7, 03058 Київ, Україна, тел.: (044) 417 21 70.

© Інститут газу НАН України, 2023

ENERGY TECHNOLOGIES AND RESOURCE SAVING

Scientific-Technical Journal

№ 3, 2023

Founded in January, 1960. Comes out 4 times a year (volume 76)

Contents

Fuel and Energetics

- 3** Chernyavskyy M.V., Miroshnychenko Ye.S., Provalov O.Yu., Kosyachkov O.V. Conversion of Anthracite Boiler Units of CHP Plants for Combustion of Sub-Bituminous Coal in the War Conditions
- 21** Kyrychenko V.I., Kyrychenko V.V., Nezdorovin V.P. Nuclear energy as an effective factor in increasing efficiency and profitability hydrogen production processes and the development of the hydrogen economy (Review)

Energy saving technologies

- 35** Krutogolova I.O., Braverman V.Ya., Ilyenko B.K. Heat pumps as a trend of low-carbon energy development
- 43** Basok B.I., Davydenko B.V., Pavlenko A.M., Kuzhel L.M., Novikov V.G., Goncharuk S.M., Iliencko B.K., Nikitin E.E., Veremiichuk H.M. Reduced heat loss through window structures

Thermophysical basics of energy processes

- 58** Ivanitsky G.K., Konyk A.V., Stepaniuk A.R., Demchenko V.G. Simulation of Heat Exchange Processes in the Thermal Core” Filled with Heat Accumulation Material

Raw material processing and resource saving

- 71** Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drahnev S.V., Kucheruk P.P. Prospects for the Production of Advanced Biofuels in Ukraine
- 82** Soloveiov G.I., Orlyk V.M., Kolesnyk V.V., Kozuberda A.A. Bioethylene is a Promising Source of Energy and Raw Materials for Chemical Industry

Environment protection

- 91** Chetverykov V.V., Rossokha A.V., Sigal I.Ya. Identification Sources of Emission Persistent Organic Pollutants in Ukraine and Ways to Reduce Emissions from the Most Problematic Sources

Nanotechnology for power industry

- 103** Moraru V.N., Komysh D.V. Emergency cooling of superheated surfaces by nanofluids additives in stop- and non-stop modes of heat load rise

Переробка сировини та ресурсозбереження

УДК 620.92

DOI: 10.33070/etars.3.2023.06

Гелетуха Г.Г., докт. техн. наук, ORCID: 0000-0002-5249-3092,

Желєзна Т.А., канд. техн. наук, ORCID: 0000-0002-9607-3022,

Драгнев С.В., канд. техн. наук, ORCID: 0000-0003-3754-4186,

Кучерук П.П., канд. техн. наук, ORCID: 0000-0003-1888-0774

*Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України, Київ
вул. Марії Капніст, 2а, 03057 Київ, Україна, e-mail: geletukha@uabio.org*

Перспективи виробництва передових біопалив в Україні

Розглянуто перспективні напрямки розвитку ринку моторних біопалив в Україні. Показано, що Україна має значний потенціал виробництва рідких біопалив для сектора транспорту. На сьогодні це переважно біодизель та біоетанол 1-го покоління, оскільки технології одержання передового біопалива з лігноцелюлозної сировини ще недостатньо розвинені в країні. По мірі вдосконалення цих технологій один з напрямків розвитку ринку моторних біопалив полягатиме у розширенні можливостей виробництва біопалив 2-го покоління (передових) зі значною часткою їх експорту у країни ЄС. Директива ЄС 2018/2001 з відновлюваних джерел енергії (RED II) обмежує частку рідких біопалив 1-го покоління у досягненні цілей зі споживання відновлюваної енергії на транспорті. Частка таких біопалив у певній країні ЄС може бути не більш, ніж на 1 % вище частки цих біопалив у валовому кінцевому споживанні енергії дорожнім та залізничним транспортом цієї країни у 2020 р., але не більше 7 %. Для України це означає, що частка рідких біопалив 1-го покоління у кінцевому споживанні енергії на транспорті у 2030 р. не може перевищувати 1,85 %, оскільки у 2020 р. цей показник був 0,85 %. Можливим варіантом вирішення даної проблеми є узгодження з Єврокомісією питання збільшення квоти біопалив 1-го покоління для України до 7 % у 2030 р., що еквівалентно споживанню 503 тис. т н.е./рік. У подальшому видається доцільним розвивати одержання передового біоетанолу з побічної продукції виробництва кукурудзи на зерно та передового біодизеля з олійних енергетичних рослин, вирощених на незадіяних сільськогосподарських землях. Згідно Директиви ЄС RED II такий біодизель не підпадає під обмеження щодо рідких біопалив, вироблених з харчових або кормових культур. Перспективним напрямком впровадження відновлюваної енергії на транспорті також є виробництво та споживання біометану. Показано, що загальний потенціал виробництва біогазу в Україні становить наразі 8,16 млн т н.е./рік, з яких чверть може бути виділена для потреб транспорту. До 2050 р. потенціал виробництва біогазу як

моторного палива може збільшитися до 4,7 млн т н.е./рік головним чином за рахунок використання покривних культур як сировини для одержання біогазу. *Бібл. 21, табл. 4.*

Ключові слова: передові біопалива, потенціал біомаси, біодизель, біоетанол, біогаз, біо-метан.

Роль відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у глобальній декарбонізації енергетики та підсиленні енергетичної безпеки зростає кожного року. Частка ВДЕ у загальному кінцевому споживанні електроенергії у світі в 2019 р. становила 28 %, у секторі опалення та охолодження – 11,2 %, на транспорті – 3,7 % [1]. Виробництво первинної енергії з ВДЕ в Європейському Союзі зросло з 2000 р. більш, ніж удвічі, сягнувши у 2020 р. близько 240 млн т н.е. Більше половини цього обсягу забезпечується біоенергетикою. Частка ВДЕ у валовому кінцевому споживанні енергії ЄС у 2020 р. склала 22,1 %, що свідчить про виконання цілей Директиви ЄС з відновлюваних джерел енергії 2009 року – 20 % ВДЕ у 2020 р. При цьому, як і загалом у світі, найбільший внесок відновлюваної енергії в ЄС був досягнутий у секторі електроенергії (37,5 %), найменший – на транспорті (10,2 %) [2].

В Україні протягом останніх 10 років до початку війни середньорічне зростання сектора біоенергетики складало 11 %. За даними Енергетичного балансу 2020 року (останні наявні дані), постачання енергії з біопалив становило 4241 тис. т н.е./рік, що на 27 % вище показника попереднього року та еквівалентно заміщенню 5,2 млрд м³/рік природного газу. Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року (НПДВЕ 2020), затверджений у 2014 р., ставив за мету досягнення 12,4 % ВДЕ в системах опалення та охолодження, 11 % в електроенергетиці та 10 % на транспорті [3]. По факту, за даними Держенергоефективності України, зазначені побажання НПДВЕ 2020 було перевиконано в електроенергетиці (13,92 % ВДЕ у

2020 р.), досягнуто непоганий прогрес у впровадженні ВДЕ в системах опалення та охолодження (9,28 %), але суттєво недовиконано у секторі транспорту – лише 2,47 % ВДЕ проти запланованих 10 % [4]. Це свідчить про необхідність приділення особливої уваги транспортному сектору в процесі «зеленого» енергетичного переходу України.

Перспективним напрямком збільшення обсягів споживання відновлюваної енергії на транспорті є перехід на біопалива, такі як біодизель, біоетанол, біометан [5–7]. Найбільший ефект декарбонізації сектора може бути досягнутий за рахунок використання передових біопалив (біопалив 2-го покоління), тобто вироблених з сировини, що не є харчовою або кормовою. Перелік таких видів сировини, а також досягнуте (по замовчуванню) скорочення викидів парникових газів від використання звичайних та передових біопалив наведено у Директиві ЄС з відновлюваних джерел енергії 2018 року (Директива RED II) [8, 9].

Метою роботи є визначення перспективних сценаріїв виробництва передових біопалив в Україні з урахуванням вимог Директиви RED II та місцевих особливостей України.

Споживання палив транспортним сектором України

Споживання рідких моторних палив в Україні протягом 2017–2021 рр. було доволі стабільним з невеликими коливаннями: бензин – 1,7–2,0 млн т/рік, дизельне паливо – 5,1–5,8 млн т/рік (табл. 1). Використання скрапленого пропану й бутану у секторі транспорту збільшилося

Таблиця 1. Споживання моторних палив та природного газу в Україні [10]

Table 1. Consumption of motor fuels and natural gas in Ukraine [10]

Вид палива	2017 р.	2018 р.	2019 р.	2020 р.	2021 р.
Газ природний, млрд м ³ , у тому числі:	31,5	31,6	27,8	29,9	28,8
транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність	2,3	2,1	1,0	1,0	немає даних
Бензин моторний, млн т*	2,0	1,8	1,7	1,8	2,0
Газойлі (паливо дизельне), млн т*	5,1	5,4	5,8	5,2	5,7
Пропан та бутан скраплені, млн т	0,89	1,0	1,2	1,4	1,3

* З урахуванням обсягів роздрібного продажу через автозаправні станції.

від 0,89 млн т у 2017 р. до 1,3 млн т у 2021 р. Загальне споживання природного газу в країні протягом цього періоду мало невелику тенденцію до зменшення, при цьому споживання газу на транспорті скоротилося більш, ніж у 2 рази, — з 2,3 млрд м³ у 2017 р. до 1,0 млрд м³ у 2020 р.

Імпорт природного газу протягом 2017–2020 рр. коливався у межах 9–14 млрд м³/рік (30–40 % загального обсягу споживання) із різким падінням до 3,2 млрд м³ у 2021 р. (11 %). Власне виробництво природного газу в Україні у період 2017–2021 рр. було стабільним на рівні близько 20 млрд м³/рік. Статистичні дані щодо власного виробництва бензинів моторних та палива дизельного не оприлюднюються з 2015 р., однак співставлення даних щодо імпорту та річного обсягу споживання дає можливість зробити висновок про те, що більш 80 % дизпалива та більш 50 % бензину імпортуються. Останніми роками в Україні має місце споживання біоетанолу (БЕ) на транспорті у відносно невеликих обсягах, зокрема у 2020 р. спожито 51,1 тис. т н.е., у 2019 р. — 88,1 тис. т н.е., у попередні роки — 35–45 тис. т н.е./рік [4]. Споживання біодизеля (БД) в Україні практично відсутнє, також поки не реалізовано використання біогазу/біометану у секторі транспорту.

За результатами моделювання, виконаного в роботі [11], до 2040 р. в Україні очікується доволі значне збільшення споживання основних нафтопродуктів, зокрема бензину моторного — до 5,8 млн т/рік, палива дизельного — до 10,4 млн т/рік, пропану й бутану скраплених — до 4,4 млн т/рік. Зазначені результати необхідно враховувати при прогнозуванні розвитку сектора моторних біопалив в Україні.

Стан виробництва рідких та газоподібних біопалив в Україні

У 2000 р. в Україні було затверджено програму «Етанол», спрямовану на розширення використання етилового спирту як енергоносія та сировини для промисловості [12]. Основними напрямками Програми, яка мала реалізовуватися протягом 10 років, було виробництво високооктанової кисеньвмісної добавки до бензинів, етилтретбутилового етеру, етилену, ацетону, синтетичного каучуку, біодизеля. На жаль, виконання Програми не було успішним, поставлених цілей не вдалося досягти в повному обсязі. Тим не менш, зараз в Україні існують 22 невеликі біо-

етанольні заводи, які сумарно можуть виробляти більш 380 тис. т/рік біопалива. З них 7 підприємств — це нові приватні виробництва, інші — реконструйовані старі державні заводи. Прикладами сучасних заводів є біоетанольні виробництва на базі Гнідавського (48 т БЕ/добу) та Теофіпольського (96 т БЕ/добу) цукрових заводів. Зараз в країні стабільно функціонують на повну потужність лише декілька біоетанольних заводів. Загальні виробничі потужності державного підприємства «Укрспирт» складають близько 110 тис. т БЕ/рік, але на сьогодні є незадіяними.

Якість біоетанолу для виготовлення палива моторного сумішевого та добавок до палив на основі біоетанолу в Україні регламентує ДСТУ 7166:2010 «Біоетанол. Технічні умови», який діє з 01.01.2011. Крім того, в Україні гармонізовано ДСТУ EN 15376:2015 «Палива автомобільні. Етанол як складник бензину. Вимоги та методи випробування (EN 15376:2014, IDT)» та низку європейських стандартів на визначення показників якості етанолу та сумішевих палив.

Протягом 2007–2010 рр. в Україні діяла Програма розвитку виробництва дизельного біопалива [13]. Цією Програмою було визначено перспективу розвитку розвитку рідкопаливництва, зокрема створення регіональних зон концентрованого вирощування озимого та ярого ріпаку площею від 50 до 70 тис. га та технічної бази з виробництва дизельного біопалива. Вважалося, що збільшення площі посівів ріпаку до 10 % загальної площі ріллі в Україні та переробка 75 % вирощеного врожаю на дизельне біопаливо дасть можливість розв'язати проблему стабільного постачання енергоресурсів аграрному сектору економіки з використанням власного відновлюваного джерела. Для досягнення прогнозованих показників необхідно було побудувати до 2010 р. не менш 20 заводів річною продуктивністю від 5 тис. т до 100 тис. т, загальною річною потужністю не менш 623 тис. т біопалива.

На виконання Програми розвитку виробництва дизельного біопалива було побудовано 14 великих біодизельних заводів загальною потужністю 300 тис. т БД/рік. Ці заводи, у першу чергу, через економічні фактори практично не експлуатувалися; інформація про стан їх обладнання та можливість запуску виробництва відсутня. За експертними даними, в Україні існує ще близько 50 менших підприємств, здатних виробляти до 25 тис. т БД/рік, але достовірної інформації про

їх функціонування немає [14]. Деякі з цих підприємств на сьогодні вже припинили свою діяльність, зокрема ТОВ «Біодизель Бессарабії», ТОВ «Біодизель Груп». З іншого боку, відомо, що у 2014 р. в Львівській обл. на базі фермерського господарства «Кільгана І.С.» запрацювала установка з виробництва біодизеля на основі ріпакової олії потужністю 25 т/добу. Установку було впроваджено з використанням грантових коштів проекту GEF/UNIDO.

В Україні якість біодизеля регламентують:

– ДСТУ 6081:2009 «Паливо моторне. Ефіри метилові жирних кислот олій та жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги»;

– ДСТУ EN 14214:2019 (EN 14214:2012 + A2:2019, IDT) «Автомобільне паливо. Метилові ефіри жирних кислот (FAME) для дизельних двигунів. Вимоги та методи випробування», який повністю відповідає аналогічному європейському стандарту;

– ДСТУ 7178:2010 «Паливо альтернативне. Етери етилові жирних кислот олій та жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги та методи контролювання», що поширюється на етилові етери жирних кислот та не має аналогів у ЄС.

Необхідно досліджувати та враховувати вплив від застосування альтернативних палив на роботу двигунів внутрішнього згоряння транспортних засобів. Алгоритм дослідження впливу складу та властивостей палива на робочий процес двигунів запропоновано у роботі [15].

Сектор виробництва біогазу почав активно розвиватися в Україні з 2013 р. із впровадженням «зеленого» тарифу для електричної енергії, виробленої з біогазу. При цьому перші промислові біогазові установки (БГУ) в агропромисловому комплексі було побудовано у 2004 р. (БГУ компанії «Агро-Овен» у Дніпропетровській обл.) та у 2009 р. (БГУ «Української молочної компанії» та БГУ компанії «Еліта» в Київській обл.). Станом на кінець 2021 р. в агросекторі було побудовано 29 біогазових станцій, що сумарно виробляли близько 180 млн nm^3 біогазу [16]. На переважній більшості цих установок біогаз використовується для комбінованого виробництва електричної та теплової енергії в когенераційних установках (КГУ), загальна встановлена електрична потужність яких складає 86,4 МВт_е. На частині біогазових станцій біогаз застосовується лише для виробництва теплової енергії.

Перший проект з виробництва біометану в Україні потужністю близько 3 млн m^3 /рік був

реалізований компанією «Галс Агро» у Чернігівській обл. у 2023 р. Відомо також про наміри інших діючих біогазових станцій перейти з виробництва електричної енергії в КГУ на виробництво біометану, зокрема ТОВ «Юзефо-Миколаївська біогазова компанія», «МХП-Екоенерго», «Діюніс Біогаз Енерджі» та ін.

В Україні досі немає практики споживання біометану на транспорті, отже питання стандартизації якості біометану як автомобільного палива не є належно унормованим. Використання біометану в стисненому вигляді при заправці на автомобільних газонаповнювальних компресорних станціях, під'єднаних до мережі природного газу, означатиме, що на нього поширюються ті ж нормативні вимоги, що і на природний газ. При подачі біометану в газову мережу він має відповідати вимогам Кодексу газотранспортної системи або Кодексу газорозподільчої системи.

Визначення передових біопалив у Директиві ЄС RED II

Згідно визначення Директиви ЄС RED II, передові біопалива (advanced biofuels) — це рідкі біопалива, вироблені із сировини, зазначеної в частині А Додатку IX цієї Директиви. Частина А включає види сировини для виробництва біогазу для транспорту та передових рідких біопалив, при використанні яких застосовується подвійний залік (по енергетичному вмісту) у виконання мети ЄС по частці ВДЕ на транспорті. Серед іншого до цього переліку належать [8]:

- водорості, вирощені в наземних ставках або фотобіореакторах;
- солома, лушпиння, пусті стрижні кукурудзи;
- гній тварин та стічні води;
- вичавки виноградні та винний осад;
- біомасова фракція промислових відходів, що не може бути використана для виробництва продуктів харчування або кормів, включаючи речовини з роздрібною та гуртовою торгівлі, агрохарчової та рибної промисловості;
- біомасова фракція відходів та залишків лісового господарства та лісопромислових галузей;
- інші лігноцелюлозні матеріали (крім пиловочних колод та фанерних кряжів), у тому числі деревоподібні енергорослини, згідно визначенню «лігноцелюлозного матеріалу» у Директиві ЄС RED II;
- інші нехарчові целюлозні матеріали, у тому числі трав'янисті енергорослини з низьким

вмістом крохмалю (свічграс, міскантус та ін.), а також покривні культури, згідно визначенню «нехарчового целюлозного матеріалу» у Директиві ЄС RED II.

Принциповою відмінною сировини з частини В Додатку IX Директиви ЄС RED II є те, що вироблені з неї біопалива для транспорту не вважаються передовими, але подвійний залік у виконання мети ЄС з ВДЕ на транспорті залишається. Ця сировина включає використану харчову олію (ВХО) та тваринні жири категорій 1 й 2, згідно Регламенту ЄС № 1069/2009.

У Директиві ЄС RED II наведено значення величин скорочення викидів парникових газів (ПГ) для моторних біопалив, вироблених з різних видів сировини за відсутності емісії ПГ від зміни землекористування. Ці дані свідчать про те, що більшість біопалив 1-го покоління не від-

повідає вимозі по скороченню викидів ПГ — 65 % для установок, що почали роботу з 01.01.2021. Натомість усі передові біопалива, а також біопалива, одержані із сировини з частини В Додатку IX RED II, повністю задовольняють цій вимозі. Так, наприклад, скорочення викидів ПГ (по замовчуванню) від використання етанолу з соломи пшениці складає 83 %, біодизеля з ВХО — 84 %, біодизеля з топленого тваринного жиру — 78 % (табл. 2).

Існуючі пропозиції по розширенню видів сировини з Додатку IX Директиви ЄС RED II

На сьогодні існують проект пропозицій Європейської Комісії по розширенню переліку сировини з Додатку IX Директиви ЄС RED II та від-

Таблиця 2. Скорочення викидів парникових газів для вибраних рідких біопалив 1-го покоління та передових біопалив при нульових викидах від зміни землекористування згідно Директиви ЄС RED II [8]

Table 2. Greenhouse gas emission reductions for selected 1st generation and advanced biofuels under zero emissions from the land use change according to the EU RED II Directive [8]

Вид рідкого біопалива	Скорочення викидів ПГ, %	
	типове значення	значення по замовчуванню
Біопалива 1-го покоління		
Етанол з цукрового буряку без біогазу зі стоків; природний газ як технологічне паливо у традиційному котлі	67	59
Етанол з кукурудзи; природний газ як технологічне паливо у традиційному котлі	48	40
Етанол з інших зернових (крім кукурудзи); природний газ як технологічне паливо у традиційному котлі	47	38
Етанол з інших зернових (крім кукурудзи); лісові залишки як технологічне паливо на теплоелектроцентралі	67	67
Біодизель з ріпаку	52	47
Біодизель з соняшнику	57	52
Біопалива 1-го покоління із сировини з частини В Додатку IX RED II		
Біодизель з використаної харчової олії	88	84
Біодизель з тваринних жирів категорій 1 й 2 (Регламент ЄС № 1069/2009)	84	78
Передові біопалива з сировини з частини А Додатку IX RED II		
Етанол із соломи пшениці	85	83
Дизель Фішера-Тропша з відходів деревини (окремо розташована установка)	85	85
Дизель Фішера-Тропша зі спеціально вирощеної деревини (окремо розташована установка)	82	82
Бензин Фішера-Тропша з відходів деревини (окремо розташована установка)	85	85
Бензин Фішера-Тропша зі спеціально вирощеної деревини (окремо розташована установка)	82	82

гук Європейської біогазової асоціації (ЄБА) на ці пропозиції [17]. Єврокомісія має намір доповнити частину А Додатку ІХ трьома новими позиціями, частину В — чотирнадцятьма (табл. 3).

До частини А серед іншого планується додати непродовольчі культури, вирощені на сильно деградованих землях, що не придатні для вирощу-

вання продовольчих та кормових культур. ЄБА пропонує додати до зазначених видів земель також невикористовувані та покинуті землі. Щодо 14 нових видів сировини, які Єврокомісія планує додати до частини В, ЄБА вважає, що 9 з них мають увійти до частини А. Прикладами такої сировини є проміжні культури (сидерати та по-

Таблиця 3. Пропозиції по доповненню переліку видів сировини з частин А й В Додатку ІХ Директиви ЄС RED II [17]

Table 3. Proposals for supplementing the list of feedstock from parts A and B of Appendix IX of the EU RED II Directive [17]

Пропозиції Європейської Комісії	Позиція Європейської біогазової асоціації
Залишки та відходи спиртових заводів (сивушні масла), не придатні для використання у харчовому або кормовому ланцюгу (частина А)	Співпадає
Неочищений метанол з крафт-целюлози, одержаної від виробництва деревної маси (частина А)	Співпадає
Непродовольчі культури, вирощені на сильно деградованих землях, що не придатні для вирощування продовольчих та кормових культур (частина А)	Пропонується додати невикористовувані та покинуті землі
Проміжні культури (сидерати та покривні культури), що вирощуються в районах, де через короткий вегетаційний період вирощування продовольчих та кормових культур обмежено одним урожаєм, за умови, що їх використання не викликає попиту на додаткові землі, та за умови, що вміст органічної речовини в ґрунті підтримується (частина В)	Пропонується включити до частини А
Фруктові та овочеві залишки та відходи, не придатні для використання у харчовому та кормовому ланцюгах, за винятком кінчиків, листя, стебел та лушпиння (частина В)	Пропонується включити до частини А
Залишки та відходи виробництва напоїв, не придатні для використання у харчовому та кормовому ланцюгах (частина В)	Пропонується включити до частини А
Барда, за винятком фільтрованої барди та барди з цукрових буряків (частина В)	Пропонується включити до частини А
Залишки та відходи хлібобулочних та кондитерських виробів, що не придатні для використання у харчовому та кормовому ланцюгах (частина В)	Пропонується включити до частини А
Знежирені оливкові вичавки (частина В)	Пропонується включити до частини А
Пошкоджені культури, що не придатні для використання в харчовому або кормовому ланцюгу, за винятком субстанцій, які були навмисно модифіковані або забруднені, щоб відповідати цьому визначенню (частина В)	Пропонується включити до частини А
Муніципальні стічні води та їх похідні, крім осаду стічних вод (частина В)	Пропонується включити до частини А
Коричневий жир (частина В)	Пропонується включити до частини А
Крохмалисті стоки з вмістом крохмалю менш 20 %, не придатні для використання в харчовому та кормовому ланцюгах (частина В)	Співпадає
Пивоварне зерно, не придатне для використання в харчовому та кормовому ланцюгах (частина В)	Співпадає
Рідкий пермеат молочної сироватки (частина В)	Співпадає
Ціанобактерії (частина В)	Співпадає
Рентграт ультрафільтрації декстрази, одержаний після рафінування цукру (частина В)	Співпадає

кривні культури), що вирощуються в певних райо-нах, пошкоджені культури, що не придатні для використання в харчовому або кормовому ланцюгу, муніципальні стічні води та їх похідні, крім осаду стічних вод (див. табл. 3).

Стратегія розвитку ринку моторних біопалив в Україні

Основними напрямками розвитку ринку моторних біопалив в Україні вбачаються такі:

- створити внутрішній ринок та розширити експорт біопалив 1-го покоління;
- розширити можливості виробництва біопалив 2-го покоління (передових) зі значною часткою їх експорту в країни ЄС;
- адаптувати додаток IX Директиви ЄС RED II для умов України.

Наразі найбільш важливими для України видами сировини з Додатку IX Директиви ЄС RED II для виробництва передових біопалив і біогазу для транспорту є сільськогосподарські залишки (солома, лушпиння, стрижні кукурудзи), трав'янисті та деревоподібні енергетичні рослини та покривні культури. Це пояснюється наявністю потенціалу даних видів біомаси, який є стабільно великим протягом останніх десятиріч, а до 2050 р. може ще збільшитися [18, 19]. Основними факторами збільшення потенціалу є ріст врожайності зернових культур, а також ріст площ під вирощування енергетичних рослин та покривних культур. Потенціал виробництва рідких моторних біопалив в Україні оцінюється у 1,73 млн т н.е./рік (у тому числі передових – 0,29 млн т н.е./рік), за даними 2021 р., із ростом до 2,53 млн т н.е./рік (у тому числі передових – 1,42 млн т н.е./рік) у 2050 р. (табл. 4).

На сьогодні Україна має можливості виробництва переважно рідких біопалив 1-го покоління, оскільки технології одержання передових біопалив з лігноцелюлозної сировини ще недостатньо розвинені. При цьому Директива ЄС RED II суттєво обмежує частку рідких біопалив, вироблених з харчової/кормової сировини, у досягненні цілей 2030 р. з ВДЕ на транспорті. Для України це означає, що частка рідких біопалив 1-го покоління у валовому кінцевому споживанні енергії на транспорті у 2030 р. не може перевищувати 1,85 %, оскільки у 2020 р. цей показник був 0,85 % [4, 9]. Додатковий 1 % біопалив 1-го покоління дає можливість збільшення їх споживання від 51,1 тис. т н.е./рік до 123 тис. т

н.е./рік. Крім того, Україна має доволі обмежену квоту на експорт до ЄС спирту етилового (100 тис. т/рік у 2021 р.), що також може стримувати розвиток виробництва біопалив 1-го покоління в країні.

Можливі рішення цих проблем включають:

- узгодження з Єврокомісією підняття квоти біопалив 1-го покоління до 7 % у 2030 р., що еквівалентно споживанню 503 тис. т н.е./рік;
- збільшення квоти на експорт біопалив 1-го покоління;
- розвиток виробництва передових моторних біопалив із видів сировини, зазначених у Додатку IX Директиви ЄС RED II.

Загальний потенціал виробництва біогазу становить 8,16 млн т н.е./рік, за даними 2021 р., та до 2050 р. прогнозується його збільшення до 18,65 млн т н.е./рік (див. табл. 4). З цього обсягу для сектора транспорту наразі може бути виділено близько 2 млн т н.е./рік (25 %) із збільшенням до 4,7 млн т н.е./рік у 2050 р. Основними факторами значного збільшення потенціалу біогазу в Україні у 2050 р. є споживання покривних культур як сировини для анаеробного зброджування, а також використання частини термічної біомаси для одержання біогазу шляхом термічної газифікації [20, 21].

Україна має найбільші в Європі площі сільськогосподарських земель та, відповідно, один з найкращих у світі потенціал аграрної сировини для виробництва біометану. З урахуванням біомаси з покривних культур, які можуть бути вирощені на 20 % площі ріллі, потенціал виробництва біометану в Україні складає 21,8 млрд м³/рік. Покривні культури – це культури, які можуть бути вирощені між збиранням та посівом двох основних сільськогосподарських культур протягом періоду, коли земля знаходиться під паром. Як такі культури розглядаються енергетичне жито або кукурудза на силос.

З виробництва біометану Україна може конкурувати з будь-якими країнами, оскільки може запропонувати найдешевшу сировину для його виробництва. На сьогодні це найдешевший з можливих відновлюваних газів. Ціна продажу біометану, за якої його вигідно виробляти, складає 800–900 євро/1000 м³. На ринку ЄС ціни на біометан становлять до 1200 євро/1000 м³. Біометанові заводи, окрім біометану, генерують дигестат, який може стати основним органічним добривом, необхідним для відродження українських ґрунтів.

Таблиця 4. Оцінка потенціалу виробництва рідких біопалив та біогазу в Україні*

Table 4. Assessment of the potential for the production of biofuels and biogas in Ukraine*

Вид біомаси/біопалива	Потенціал, доступний для енергетики (економічний), млн т н.е./рік	
	2021 р.	2050 р.
Рідке біопаливо		
Біодизель із сільськогосподарського ріпаку (70 % врожаю насіння)	0,58	0,58
Передовий біодизель з олійних енергетичних рослин на незадіяних сільськогосподарських землях (2021 р. – 0,5 млн га, 2020 р. – 1 млн га)**	0,29	0,59
Передовий біодизель з використаної харчової олії ²⁾	–	0,07
Біоетанол із сільськогосподарської кукурудзи (2021 р. – 10 % врожаю зерна, 2050 р. – 5 % врожаю зерна)	0,86	0,54
Передовий біоетанол із побічної продукції виробництва кукурудзи на зерно (10 % загального обсягу утворення)	–	0,76
Рідке біопаливо, усього	1,73	2,54
Біогаз		
Біогаз із відходів тваринницьких підприємств	0,71	0,75
Біогаз із післяжнивних решток сільськогосподарських культур	3,80	4,47
Біогаз із побічної продукції харчової переробної промисловості	0,56	0,57
Біогаз із твердих побутових відходів	0,45	0,45
Біогаз із осадів стічних вод (комунальні очисні споруди)	0,06	0,07
Біогаз із силосу кукурудзи як енергетичної рослини (з 1 млн га)	2,57	3,22
Біогаз з покривних культур (з 20 % площі ріллі)	–	8,36
Біогаз, одержаний шляхом термічної газифікації біомаси (10 % теоретичного потенціалу деревної біомаси та деревних енергетичних рослин)	–	0,76
Біогаз, усього	8,16	18,65
Паливо, загалом	9,89	21,18

* Без урахування тимчасово окупованих територій України станом на 2021 р.

** У даній оцінці біодизель цього виду вважається передовим, оскільки, згідно Директиви ЄС 2018/2001 з відновлюваних джерел енергії (RED II) [8], він не підпадає під обмеження щодо рідких біопалив, вироблених з харчових/кормових культур [9].

Виробництво біометану створює для українських аграріїв новий вид бізнесу, який практично не залежить від логістики, проблеми з якою не дають можливості їм зараз ефективно експортувати зерно та інші види сільськогосподарської продукції. Експорт біометану (фізичний та віртуальний) здійснюватиметься через існуючі газорозподільні та газотранспортні системи України. Біометан створює додаткове джерело газу, що транспортуватиме українська газотранспортна система у разі зупинки транзиту російського

газу. Це суттєво полегшить питання доставки природного газу споживачам України у разі такої зупинки транзиту. У жовтні 2021 р. було прийнято базовий Закон України щодо виробництва біометану, який відкрив можливості його виробництва та подачі в газопроводи.

Висновки

Для України стратегічним напрямком розвитку ринку моторних біопалив є нарощування ви-

робництва біопалив із видів сировини, що не падають під обмеження для харчової/кормової сировини, зазначені у Директиви ЄС RED II. До цієї категорії належать і передові біопалива. Значну перспективу в даному напрямку має одержання біометану, біоетанолу та біодизеля з енергетичних рослин, вирощених на незадіяних або забруднених сільськогосподарських землях. За експертними оцінками, площа незадіяних сільськогосподарських земель в Україні складає до 4 млн га та ще понад 5 млн га є непридатними для аграрного виробництва через забруднення, мінування та інші причини, пов'язані з наслідками ведення бойових дій. Враховуючи результати оцінки поточного та перспективного потенціалу біомаси в Україні, видається доцільним також розвивати виробництво біометану з соломи (сучасні технології дають можливість використовувати її до 30 % у суміші сировини), зі стебел кукурудзи та з покривних культур, а також біодизеля з використаної харчової олії, з олійних енергетичних культур та біоетанолу з побічної продукції виробництва кукурудзи на зерно. Ще одним можливим варіантом є виробництво біодизеля з олійних покривних культур, які можна вирощувати як другу культуру на існуючих посівних площах, що не призводить до залучення нових земель для одержання біопаливної сировини. Але цей напрямок потребує додаткових досліджень щодо підбору оптимальних культур для умов України та обґрунтування ефективної агротехніки. Широке використання рідких та газоподібних біопалив дасть можливість суттєво збільшити споживання відновлюваної енергії на транспорті країни та досягти значного рівня декарбонізації цього сектора.

Список літератури

1. Renewables 2022 Global Status Report. Paris: REN21 Secretariat, 309 p. — URL: <https://www.ren21.net/gsr-2022/>
2. Report from the Commission to the European Parliament and the Council. 2022 Report on the Achievement of the 2020 Renewable Energy Targets. Brussels, 20 p. — URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022DC0639&qid=1669912949409>
3. Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України № 902-р від 01.10.2014. — URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80#n10>
4. Звіт про результати стимулювання та використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел, в Україні за 2019–2020 рр. / Держенергоефективності України. — URL: <https://saee.gov.ua/uk/content/informatsiyi-materialy>
5. Железна Т.А. Стан розвитку та перспективи виробництва і застосування рідких палив з біомаси. Частина 1. *Екотехнології у ресурсозбереженні*. 2004. № 2. С. 3–9.
6. Железна Т.А. Стан розвитку та перспективи виробництва і застосування рідких палив з біомаси. Частина 2. *Екотехнології у ресурсозбереженні*. 2004. № 3. С. 3–8.
7. Geletukha G., Kucheruk P., Matveev Yu. Prospects and potential for Biomethane Production in Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23, Iss. 4. P. 67–80.
8. Directive (EU) 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast), 2018. — URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>
9. Гелетука Г.Г., Железна Т.А., Драгнев 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.
10. Комплексні статистичні публікації. Державна служба статистики України. — URL: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publ1_u.htm
11. Малярченко О.Є., Майстренко Н.Ю. Методичний підхід до прогнозування споживання нафтопродуктів за їх основними видами. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2023. № 1. С. 14–24. DOI: 10.33070/etars.1.2023.02.
12. Програма «Етанол». Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 04.07.2000 № 1044 (Постанова втратила чинність у 2011 р.). — URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1044-2000-%D0%BF#Text>
13. Програма розвитку виробництва дизельного біопалива. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 22.12.2006 № 1774. — <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1774-2006-%D0%BF#Text>
14. Оржель О., Зоркін А., Кикоть К., Нечитайло О., Регельок С. Зелена Книга. Регулювання виробництва рідких моторних біопалив. Київ: Офіс ефективного регулювання, 2019. 109 с.
15. Бойченко С.В., Кухаренко Г.М., Гершань Д.Г., Черняк Л.Н., Шкільнюк І.О. Влияние состава и свойств топлива на рабочий процесс двигателя. *Енерготехнології у ресурсозбереженні*. 2018. № 3. С. 11–16. — <https://doi.org/10.33070/etars.3.2018.01>
16. EBA Statistical Report 2022. — URL: https://www.europeanbiogas.eu/__trashed-3/

17. EBA Feedback on Draft delegated act amending Annex IX to Directive (EU) 2018/2001. — URL: <https://www.europeanbiogas.eu/policy/eba-feedback-on-draft-delegated-act-amending-annex-ix-to-directive-eu-2018-2001/>
18. Гелету́ха Г.Г., Железная Т.А., Тишаев С.В., Кобзарь С.Г. Развитие биоэнергетических технологий в Украине. *Экотехнологии и ресурсосбережение*. 2002. № 3. С. 3–11.
19. Geletukha G., Zheliezna T. Prospects for Bioenergy Development in Ukraine: Roadmap until 2050. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2021. Vol. 22, Iss. 5. P. 73–81. — <https://doi.org/10.12912/27197050/139346>
20. Гелету́ха Г.Г., Железная Т.А. Обзор технологий газификации биомассы. *Экотехнологии и ресурсосбережение*. 1998. № 2. С. 21–29.
21. Christiaan van der Meijden, Luc Rabou, Britta van Boven (Gasunie), Bram van der Drift, Mark Overwijk. Production of Bio Methane from wood using the MILENA gasification technology. *Conference Paper of the International Gas Union Research Conference 2014*. — Production of BIO Methane, Copenhagen, September 2014. DOI: 10.13140/2.1.2909.1844.

Надійшла до редакції 04.08.2023

Geletukha G.G., *Doctor of Technical Sciences, ORCID: 0000-0002-5249-3092*,
Zheliezna T.A., *Candidate of Technical Sciences, ORCID: 0000-0002-9607-3022*,
Drahniev S.V., *Candidate of Technical Sciences, ORCID: 0000-0003-3754-4186*,
Kucheruk P.P., *Candidate of Technical Sciences, ORCID: 0000-0003-1888-0774*

The Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

2a, Marii Kapnist Str., 03057 Kyiv, Ukraine, e-mail: geletukha@uabio.org

Prospects for the Production of Advanced Biofuels in Ukraine

Perspective directions for the development of motor biofuels market in Ukraine are considered. It is shown that Ukraine has a significant potential for the production of liquid biofuels for the transport sector. Today, it is mainly biodiesel and bioethanol of the first generation, since the technologies for obtaining advanced biofuels from lignocellulosic feedstocks are not yet sufficiently developed in the country. However, as these technologies improve, one of directions for the development of motor biofuels market will be the expansion of production opportunities for second generation (advanced) biofuels with a significant share of their export to EU countries. Directive (EU) 2018/2001 on renewable energy sources (RED II) limits the share of 1st generation biofuels in achieving the goals for the consumption of renewable energy in transport. The share of such biofuels in a certain EU country can be no more than 1 % higher than the share of these biofuels in the gross final energy consumption of road and rail transport of that country in 2020, but no more than 7 %. For Ukraine, this means that the share of 1st generation biofuels in the final energy consumption in transport in 2030 cannot exceed 1.85 %, since in 2020 this indicator was 0.85 %. A possible option for solving this problem is to coordinate with the European Commission the issue of increasing the quota of 1st generation biofuels for Ukraine to 7 % in 2030, which is equivalent to the consumption of 503 ktoe/y. In the future, it seems appropriate to develop the production of advanced bioethanol from byproducts of grain corn cultivation as well as advanced biodiesel from oilseed energy crops grown on unused agricultural land. According to RED II, such biodiesel is not

subject to restrictions on biofuels produced from food or feed crops. Production and consumption of biomethane is also a promising direction for the introduction of renewable energy in transport. It is shown that the total potential of biogas production in Ukraine is currently 8.16 Mtoe/y, of which a quarter can be allocated for the transport needs. By 2050, the production potential of biogas as a motor fuel may increase to 4.7 Mtoe/y, mainly due to the use of cover crops as feedstock to obtain biogas. *Bibl. 21, Tab. 4.*

Keywords: advanced biofuels, biomass potential, biodiesel, bioethanol, biomethane.

References

1. Renewables 2022 Global Status Report. Paris: REN21 Secretariat, 309 p. — URL: <https://www.ren21.net/gsr-2022/>
2. Report from the Commission to the European Parliament and the Council. 2022 Report on the Achievement of the 2020 Renewable Energy Targets. Brussels, 20 p. — URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022DC0639&qid=1669912949409>
3. [About the National Renewable Energy Action Plan for the period until 2020 : Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 902-r dated October 1, 2014]. — URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80#n10> (Ukr.)
4. [Report on the results of stimulation and use of energy produced from renewable sources in Ukraine for 2019–2020 / State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine.] — URL: <https://sae.gov.ua/uk/content/informatsiyini-materialy> (Ukr.)
5. Zheliezna T.A. [The state of development and prospects for the production and use of liquid fuels from biomass. Part 1]. *Ecotechnologii i Resursoberezhennie. [Ecotechnologies and Resource Saving]*. 2004. No. 2. pp. 3–9. (Rus.)
6. Zheliezna T.A. [The state of development and prospects for the production and use of liquid fuels from biomass. Part 2]. *Ecotechnologii i Resursoberezhennie. [Ecotechnologies and Resource Saving]*. 2004. No. 3. pp. 3–8. (Rus.)
7. Geletukha G., Kucheruk P., Matveev Yu. Prospects and potential for Biomethane Production in Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23, Iss. 4. pp. 67–80.
8. Directive (EU) 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast), 2018. — URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>
9. Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drahniev S.V. [Analysis of prospects and sustainability issues of liquid motor biofuels production in the EU and in Ukraine]. *[Thermophysics and Thermal Power Engineering]*. 2023. 45 (1). pp. 46–54. DOI: 10.31472/ttpe.1.2023.6. (Ukr.)
10. [Complex statistical publications]. State Statistic Service of Ukraine]. — URL: https://ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publ1_u.htm (Ukr.)
11. Maliarenko O.Ye., Maistrenko N.Yu. [A methodical approach to forecasting the consumption of petroleum products by their main types]. *Enerhotekhnolohii ta Resursoberezhennia. [Energy Technologies and Resource Saving]*. 2023. No. 1. pp. 14–24. DOI: 10.33070/etars.1.2023.02. (Ukr.)
12. [“Ethanol” program. Approved by Resolution No. 1044 of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 04.07.2000 (Resolution expired in 2011)]. — URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1044-2000-%D0%BF#Text> (Ukr.)
13. [Program for the development of diesel biofuel production. Approved by the Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 12.22.2006 No. 1774]. — URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1774-2006-%D0%BF#Text> (Ukr.)
14. Orzhel O., Zorkin A., Kykot K., Nechytailo O., Reheliuk S. [Green Book. Regulation of the production of liquid motor biofuels]. Kyiv: [Better Regulation Delivery Office], 2019. 109 p. (Ukr.)
15. Boichenko S.V., Kukharenek G.M., Gershan D.G., Chernyak L.N., Shkilnyuk I.O. [Influence of the composition and fuel properties on the engine working process]. *Enerhotekhnolohii i Resursoberezhennie. [Energy Technologies and Resource Saving]*. 2018. No 3. pp. 11–16. — <https://doi.org/10.33070/etars.3.2018.01> (Rus.)
16. EBA Statistical Report 2022. — URL: https://www.europeanbiogas.eu/__trashed-3/
17. EBA Feedback on Draft delegated act amending Annex IX to Directive (EU) 2018/2001. — URL: <https://www.europeanbiogas.eu/policy/eba-feedback-on-draft-delegated-act-amending-annex-ix-to-directive-eu-2018-2001/>
18. Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Tyshaev S.V., Kobzar S.H. [Development of bioenergy technologies in Ukraine]. *Ecotechnologii i Resursoberezhennie. [Ecotechnologies and Resource Saving]*. 2002. No. 3. pp. 3–11. (Rus.)
19. Geletukha G., Zheliezna T. Prospects for Bioenergy Development in Ukraine: Roadmap until 2050. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2021. Vol. 22, Iss. 5. pp. 73–81. — <https://doi.org/10.12912/27197050/139346>

20. Geletukha G.G., Zheliezna T.A. [Overview of biomass gasification technologies]. *Ecotechnologii i Resursoberezhnie. [Ecotechnologies and Resource Saving]*. 1998. No. 2. pp. 21–29. (Rus.)

21. Christiaan van der Meijden, Luc Rabou, Britta van Boven (Gasunie), Bram van der Drift, Mark Over

wijk. Production of Bio Methane from wood using the MILENA gasification technology. *Conference Paper of the International Gas Union Research Conference 2014*. – Production of BIO Methane, Copenhagen, September 2014. DOI: 10.13140/2.1.2909.1844.

Received August 4, 2023

УДК 66.620.91:666.9

DOI: 10.33070/etars.3.2023.07

Соловійов Г.І.¹, канд. техн. наук, ORCID: 0000-0002-0076-6837,

Орлик В.М.¹, канд. техн. наук, ORCID: 0000-0002-6330-8868,

Колесник В.В.¹, канд. техн. наук, ORCID: 0000-0001-8723-2961,

Козюберда А.А.², ORCID: 0000-0003-0775-2638

¹ **Інститут газу Національної академії наук України, Київ**

вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: solgenn46@gmail.com

² **Східно-український національний університет імені Володимира Даля, Сєвєродонецьк**

просп. Радянський, 59-а, 93400 Сєвєродонецьк, Луганська обл., e-mail: sti@sti.lg.ua

Біоетилен — перспективне джерело енергії та сировини для хімічної промисловості

Сучасний розвиток енергетики, хімічних технологій та інших галузей промислового виробництва у значній мірі орієнтується на процеси з використанням відновлюваних сировинних ресурсів. Левова частка в структурі нетрадиційних джерел енергії належить біомасі. Наведено оцінку перспективи використання в Україні наявного, переважно твердого біоресурсу (загальна доступна кількість якого у вигляді відходів деревини, соломи зернових культур та інших побутових та промислових органічних відходів становить понад 120 млн т/рік) для забезпечення державних потреб у мастильно-паливних матеріалах та сировини для хімічної промисловості. Досліджено варіант вирішення цієї проблеми шляхом наступної послідовності перетворень: целюлоза вихідної біосировини — глюкоза — біоетанол — етилен. Розглянуто варіант підвищення ефективності реалізації останньої стадії одержання біоетану з біоетанолу за рахунок використання новітніх каталізаторів. Наведено результати фізичного та обчислювального дослідження процесу дегідратації біоетанолу, які дали можливість виявити особливості кінетики процесу за умов використання запропонованого каталізатора. Показано, що, окрім зменшення енерговитрат, каталізатор забезпечує селективність по етилену 91 % при майже 95 %-му ступені конверсії біоетанолу. Одержано вихідні дані для проектування високоефективних каталітичних процесів та реакторів дегідратації біоетанолу до етилену. *Бібл. 20, рис. 2, табл. 3.*

Ключові слова: біоресурси, біоетанол, дегідратація, дегідрування, стільниковий блочний каталізатор.