

УДК 620.92

АНАЛІЗ СИРОВИННОЇ ТА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ БАЗИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА В УКРАЇНІ

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

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

¹старший науковий співробітник, dragnev@secbiomass.com, <https://orcid.org/0000-0003-3754-4186>

²провідний науковий співробітник, zhelyezna@secbiomass.com, <https://orcid.org/0000-0002-9607-3022>

<https://doi.org/10.31472/ttpe.3.2024.11>

Представлено поточний стан та перспективи виробництва дизельного біопалива у світі. Розглянуто технології виробництва і паливні характеристики біодизеля і гідроочищеної рослинної олії. Проаналізовано ситуацію в Україні у сфері виробництва та споживання дизельного біопалива, розглянуто потенційні передумови для можливості відродження цього сектору. Розроблено рекомендації для відновлення та розвитку виробництва дизельного біопалива в Україні.

The current state and prospects of diesel biofuel production in the world are presented. Production technologies and fuel characteristics of biodiesel and hydrotreated vegetable oil are considered. The situation in Ukraine in the field of production and consumption of diesel biofuel was analyzed, and potential prerequisites for the possibility of this sector revival were considered. Recommendations for the renewal and development of diesel biofuel production in Ukraine have been developed.

Бібл. 15, табл. 1, рис. 3.

Ключові слова: біомаса, біопаливо, передове біопаливо, біодизель, дизельне біопаливо, гідроочищена рослинна олія.

ВХО – використана харчова олія;

ДБ – дизельне біопаливо;

ЗП – законопроект;

ТЕО – техніко-економічне обґрунтування;

FAME – метилові естери жирних кислот;

HVO – гідроочищена рослинна олія;

IRR – внутрішня норма дохідності.

Актуальність роботи обумовлена необхідністю декарбонізації економіки, зокрема транспортного сектору. Галузь транспорту порівняно важко піддається декарбонізації, можливими напрямками відповідної діяльності можуть бути електрифікація і використання біопалив. Застосування дизельного біопалива сприяє скороченню викидів парникових газів та заощадженню нафтового пального. **Метою** роботи є розробка рекомендацій для можливості відновлення виробництва і споживання біодизеля в Україні із подальшим нарощуванням виробництва гідроочищеної рослинної олії. **Методи дослідження** включають проведення розрахунків, вивчення та аналіз літературних, статистичних та інших даних.

Виробництво дизельного біопалива у світі

За останні двадцять років світове виробництво дизельного біопалива збільшилося з 2 до 55 млрд л/рік. Наразі близько третини загального обсягу виробництва припадає на Європейський Союз, де лідерами є

Німеччина (4 млрд л у 2022 р.), Франція (1,8 млрд л/рік), Іспанія (1,6 млрд л/рік). Іншими потужними виробниками цього біопалива є США (18% загального обсягу), Індонезія (18%) і Бразилія (12%). В ЄС основною сировиною для отримання дизельного біопалива є ріпакова олія – 39% загального обсягу (рис. 1), в США – ВХО і соєва олія, в Бразилії – соєва олія, в Азії – пальмова олія [1-4]. В структурі глобального виробництва дизельного біопалива пальмова олія як сировина має на сьогодні найбільшу частку – 35%. Усі зазначені види сировини відповідають рідкому біопаливу 1-го покоління. Прогнозується, що до 2032 р. виробництво дизельного біопалива у світі зросте до 67 млрд л/рік. При цьому домінуватиме, як і зараз, рідке біопаливо 1-го покоління [2].

Найбільшого поширення для використання у дизельних двигунах отримали два види біопалив – біодизель і гідроочищена рослинна олія, які відрізняються між собою технологією виробництва і хімічним складом.

Зараз у світі виробляється і споживається, головним чином, біодизель, який являє собою метилові естери жирних кислот (FAME). Однак, з огляду на паливні характеристики і зручність застосування, у перспективі є сенс переходу на гідроочищену рослинну олію (HVO), яку також називають відновлюваним дизелем. Вже зараз в ЄС діють 17 заводів з виробництва HVO загальною продуктивністю 4,2 млрд л/рік. Лідерами виробництва гідроочищеної рослинної олії є Нідерланди (1280 млн л у 2022 р.), Фінляндія (830 млн л/рік), Франція (640 млн л/рік) [4]. Крім того, ще ряд установок знаходяться у стадії будівництва або проектування.

Незважаючи на те, що у світі набагато менше заводів із виробництва HVO порівняно із FAME, базовий виробничий процес вже багато років застосовувався на практиці на нафтопереробних підприємствах. Тому технологія виробництва HVO вважається комерційно зрілою і її також використовують для виробництва сталого авіаційного палива HEFA (гідроочищені естери та жирні кислоти).

Технології виробництва дизельних біопалив з олійної сировини

Використання рослинних олій як моторного палива у звичайних дизельних двигунах викликає такі проблеми як коксівність і забивання форсунок, відкладення нагару, налипання поршневих кілець, згущення оливи як результат забруднення рослинних олій, проблеми зі змащенням. Існують дизельні набори компонентів та двигуни спеціальної конструкції для використання рослинної олії. Такі системи виробляються різними компаніями, зокрема, Elsbett та Alternative Technology Group GmbH (Німеччина), і показують непогані експлуатаційні показники, працюючи на рослинних оліях різних видів, їхніх сумішах і навіть відходах олій. Незважаючи на

це, такий підхід не отримав у світі широкого розповсюдження. Більш раціональним рішенням вбачається хімічне перетворення рослинних олій у біопалива, які можуть використовуватися у існуючих дизельних двигунах як у суміші з традиційним дизельним паливом так і у чистому вигляді. Головним чином для цього зараз використовуються переестерифікації для отримання біодизеля (FAME) та термохімічної обробки воднем для виробництва гідроочищеної рослинної олії (HVO).

Виробництво біодизеля з насіння олійних культур складається з трьох основних етапів: 1) вирощування, збір та транспортування сировини на олійноекстракційні заводи; 2) переробка олійного насіння у рослинну олію; 3) переестерифікація рослинної олії та отримання біодизеля. Головна задача першого та другого етапів – одержання з мінімальними витратами очищеної олії, яка складається із суміші тригліцеридів вищих жирних кислот з незначним вмістом вологи, вільних жирних кислот та інших компонентів. Дані етапи відповідають традиційним технологіям виробництва рослинних олій для харчових потреб. Важливо враховувати, що від якості вихідного продукту попереднього етапу залежить технологія наступного.

Для отримання біодизеля рослинні олії змішують із метанолом у присутності каталізатора при помірному тиску і температурі (рис. 2). З огляду на те, що метанол не розчинний у олії, переестерифікація буде відбуватися повільно або не буде проходити взагалі, тому у цій реакції використовують нагрівання та каталізатор (кислотний та/або лужний). Після взаємодії рослинної олії та метанолу у присутності каталізатору продукти реакції проходять декілька процесів розділення та очищення з метою відновлення надлишку метанолу для повторного використання, виділення гліцерину як побічного про-

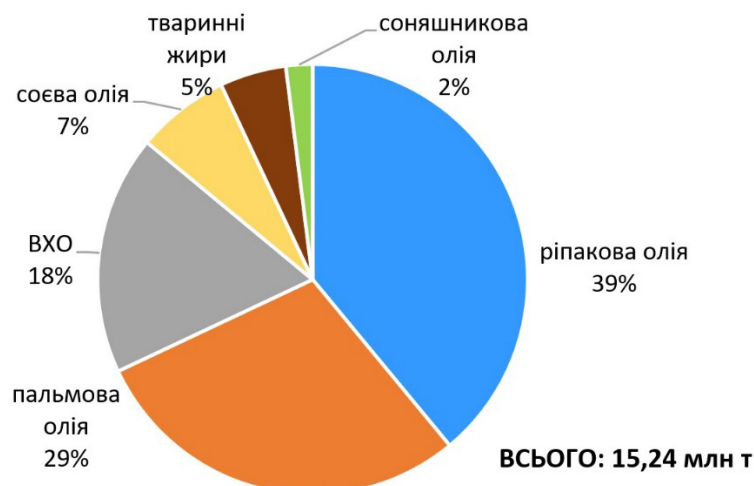


Рис. 1. Структура сировини для виробництва дизельного біопалива в ЄС-27, 2021 р. [1]

дукту та забезпечення відповідності якості метилових ефірів вимогам діючих стандартів. Заводи з виробництва FAME використовують періодичний або безперервний технологічний процес. Великі заводи переважно працюють у безперервному процесі.

У типовому технологічному процесі для отримання на виході 1 літра FAME (0,88 кг) та 0,09 кг гліцерину, на вході потрібно 0,893 кг олії, 0,086 кг метанолу, 0,93 МДж природного газу та 0,036 кВт·год електричної енергії. При переробці у біодизель використаної харчової олії на 1 літр FAME та 0,09 кг гліцерину потрібно 0,977 кг ВХО, 0,087 кг метанолу, 1,71 МДж природного газу та 0,08 кВт·год електроенергії. Слід зазначити, що крім метанолу у виробничому процесі використовуються й інші реагенти, зокрема, каталізатор і кислота для нейтралізації.

Виробництво FAME – порівняно простий процес, що довів комерційну доцільність. Капітальні витрати є відносно низькими, а операційні витрати, не пов’язані із сировиною – припустимими. Собівартість виробництва метилових естерів жирних кислот переважно залежить від вартості сировини.

Порівняно з якісною рослинною олією, використана харчова олія і тваринні жири – дешевша сировина з великим потенціалом сталості. Тому її використання для переробки у FAME є привабливим, незважаючи на певні технологічні труднощі. В першу чергу, складність переробки відходів олій і жирів пов’язана із високим

вмістом у них вільних жирних кислот, що робить звичайну переестерифікацію з використанням лужного каталізатору неефективною. Для перетворення вільних жирних кислот у біодизель необхідно проводити додатковий процес естерифікації із метанолом та кислотним каталізатором. З огляду на складність процесу, капітальні витрати та операційні несировинні витрати заводів із виробництва FAME з ВХО і тваринних жирів вищі, ніж у заводів, де сировиною є рослинна олія. При цьому деякі характеристики (наприклад, низькотемпературні властивості) біодизеля з ВХО і тваринних жирів можуть бути гірші, ніж у FAME з рослинних олій.

Іншою більш сучасною, але при цьому складнішою технологією є переробка олій і жирів у біопаливо для дизельних двигунів – гідроочищену рослинну олію (HVO). У процесі гідроочищення водень використовується для видалення кисню. Таким чином, HVO не містить кисню і не має обмежень для змішування з традиційним дизельним паливом на відміну від FAME. Крім того, HVO як паливо має кращі низькотемпературні властивості.

Спрощена схема технологічного процесу виробництва гідроочищеної рослинної олії представлена на рис. 3. Після попередньої підготовки олії, яку часто проводять на інших підприємствах, а не безпосередньо на заводі з виробництва HVO, відбувається гідроочищення, ізомеризація й каталітичний крекінг, а також наступні процеси розділення. Газова фракція від гідроочищення, яка головним чином складається з про-

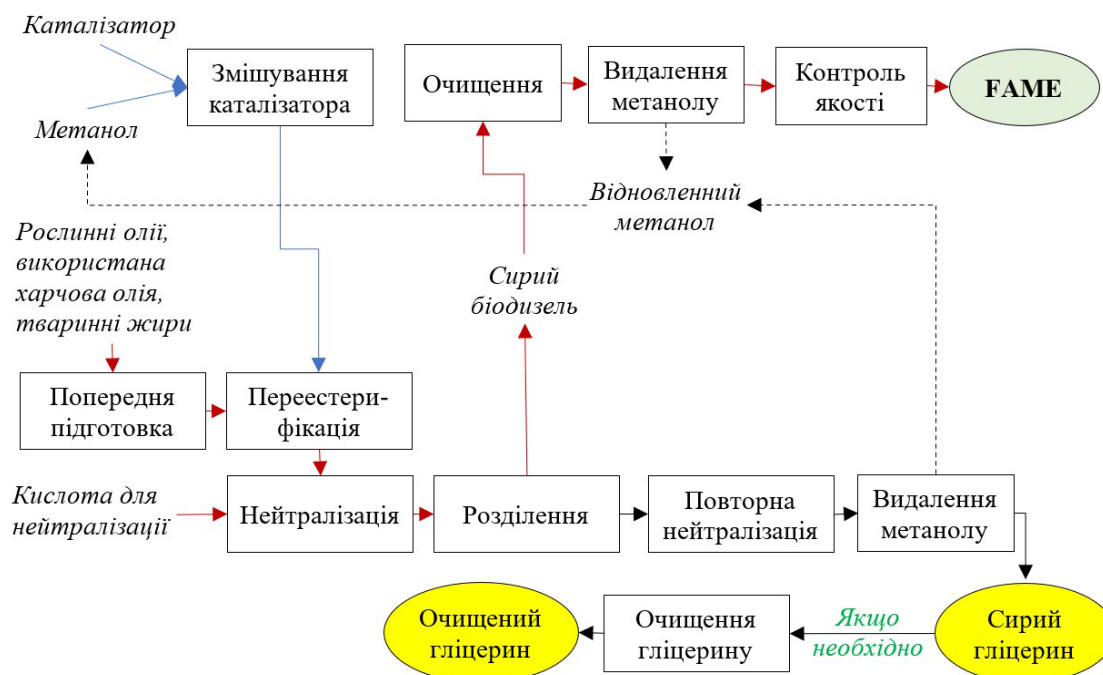


Рис. 2. Схема процесу виробництва біодизеля (FAME) [5]

пану, може використовуватися для отримання водню шляхом реформінгу з наступними етапами покращення його якості, якщо відсутній попит на цей газ на ринку і нема інших доступних джерел водню. Утворена суміш вуглеводнів розділяється на різні фракції у процесі дистиляції, який використовується на нафтопереробних заводах. Кінцевий спектр продуктів залежить від рівня крекінгу під час ізомеризації, але максимальна довжина ланцюжку вуглеводнів залежить від виду сировини. Після розділення фракцій до продуктів можуть додаватися різні добавки для виробництва палива, що може використовуватися як «готове паливо для заправки» на базі існуючої інфраструктури.

У типовому технологічному процесі для отримання на виході 1 літра НВО (0,77 кг), 0,025 кг біо-пропану, 0,06 кг лігроїну та 0,03 кг паливного газу, на вході потрібно 0,97 кг олійної сировини, 0,035 кг водню, 0,27 МДж природного газу та 0,085 кВт·год електроенергії.

У НВО багато переваг як у паливних властивостях, так і у виробничому процесі порівняно із FAME. Технологічний процес гідроочищення не обмежується вмістом вільних жирних кислот, і більшість заводів переробляють широкую номенклатуру сировини від рослинних олій до ВХО й тваринних жирів. Окремий завод із виробництва НВО має продуктивність від 150 млн л/рік до понад 1000 млн л/рік. Типовим може вважатися завод потужністю виробництва кінцевого продукту 500 млн л/рік.

Паливні характеристики біодизеля та гідроочищеної рослинної олії

З хімічної точки зору, FAME – суміш метилових естерів жирних кислот рослинних олій, які містять 11% кисню, тоді як дизпаливо та НВО – вуглеводні, що не містять кисню. Через вміст кисню, у біодизелю нижче теплота згоряння і, відповідно, вище витрати у двигуні порівняно із традиційним дизельним паливом та гідроочищеною рослинною олією (табл. 1).

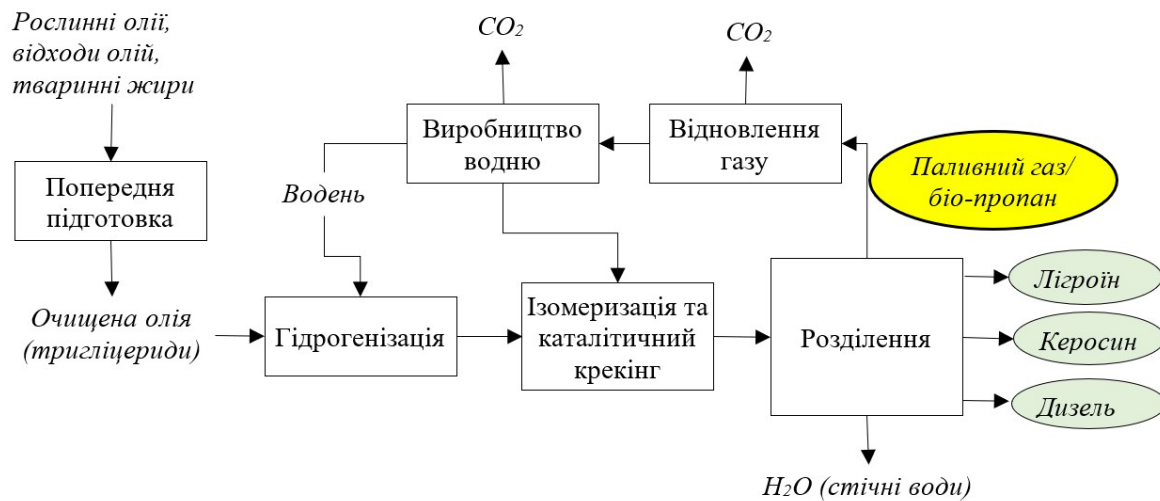


Рис. 3. Схема процесу виробництва дизельного біопалива НВО [5]

Табл. 1. Паливні характеристики дизельного палива, біодизеля та гідроочищеної рослинної олії [5]

Показник	Дизпаливо EN 590	Біодизель (FAME)	HVO (технологія UOP Ecofining™)	HVO (виробник Neste Oil)
Вміст кисню, %	Відсутні вимоги	11	0	0
Густина при 15°C, кг/л	0,820...0,845	0,883	0,780	0,775...0,785
Цетанове число	>51	>56	70...90	75...99
Вміст сірки, мг/кг	<10	<10	<2	0
Нижча теплота згоряння, МДж/кг	Відсутні вимоги*	37,1	44	44
Вміст ароматичних вуглеводнів, % об.	<11	0	0	0

* Типове значення близько 43,1 МДж/кг.

Дизельне паливо містить у своєму складі ароматичні вуглеводні, а HVO складається тільки з повністю насичених парафінових вуглеводнів. Тому ці палива мають дещо різні властивості. У HVO більші цетанове число та нижча теплота згоряння, ніж у дизпалива і FAME. Можливості використання FAME за холодної погоди обмежені через гірші низькотемпературні властивості порівняно із традиційним дизельним паливом та HVO.

Практично у всіх двигунах із запаленням від стикування, без будь-якої значної модифікації можна використовувати для живлення як чистий біодизель, так і його суміш з традиційним дизельним паливом у різних пропорціях. Зазвичай використовуються суміші із вмістом біодизеля до 20%, які забезпечують оптимальний баланс між сумісністю із матеріалами, низькотемпературними властивостями, експлуатаційними характеристиками та перевагами від скорочення викидів шкідливих речовин. Що стосується гідроочищеної рослинної олії (HVO), то вона є практично повним аналогом дизельного пального і може використовуватися у суміші до 100% в існуючих дизельних двигунах.

Європейська Асоціація менеджменту якості біодизеля (AGQM) проводить моніторинг якості біопалива у Німеччині та інших країнах Європи. Виробники та трейдери біодизеля, що входять у цю асоціацію, забезпечують високу якість FAME і позначають продукцію відповідним знаком. Щорічно асоціація на своєму сайті публікує результати неупередженого тесту зразків біодизеля, які відбираються у її членів декілька разів на рік. Асоціація AGQM разом із іншими асоціаціями регулярно випускає перелік із інформацією щодо двигунів та виробників комерційних автотранспортних засобів, які підтверджують можливість використання біодизеля B10, B20, B30 та B100. На січень 2022 р. у цей перелік входять Caterpillar/Zeppelin, DAF, Mercedes-Benz Trucks, Daimler, Deutz AG, IVECO, John Deer, Liebherr, Man, MTU, Renault Trucks, Scania, Volvo Trucks. При цьому багато двигунів можуть використовувати чистий біодизель B100.

Ситуація в Україні

Протягом, принаймні, останнього десятиріччя виробництво і споживання біодизеля в Україні практично відсутнє. Спроба розвинути цей напрямок була зроблена ще у 2006 р. шляхом затвердження Програми розвитку виробництва дизельного біопалива [6]. Виконання Програми планувалося двома етапами. На першому етапі (2007-2008 рр.) передбачалося сформувати сировинну, технічну та технологічну базу для виробництва дизельного біопалива, а також розробити нормативні документи з питань виробництва та використання такого пали-

ва. Другий етап (2008-2010 рр.) включав будівництво відповідних заводів у зонах концентрованого вирощування ріпаку.

Для досягнення прогнозованих показників Програми (отримання 623 тис. т ДБ/рік у 2010 р.) планувалося будівництво не менш як двадцяти заводів річною потужністю 5...100 тис. т. Другий етап Програми, на жаль, не був реалізований у повному обсязі. Було побудовано чотирнадцять крупних заводів загальною продуктивністю 300 тис. т ДБ/рік. На практиці ці підприємства фактично не експлуатувалися, головним чином, через економічні фактори. У 2013 р. біодизель в Україні став підакцизним товаром, на який протягом 2013-2018 рр. ставка акцизу зросла у два рази. Це створило передумови, за яких виробництво біодизеля стало економічно недоцільним за відсутності вимог щодо обов'язкової частки споживання біопалив в країні.

Пізніше повідомлялося про існування в Україні близько п'ятдесяти невеликих установок, здатних виробляти до 25 тис. т біодизеля на рік [7], але зараз достовірної інформації про їх функціонування немає. Також відсутня інформація про стан обладнання великих заводів, побудованих у 2008-2010 рр., та можливість відновлення виробництва дизельного біопалива на них. На сьогодні відомо про єдину, ймовірно, працездатну установку з виробництва біодизеля у с. Луки Львівської області. Цей проєкт реалізовано у 2014 р. за грантові кошти на базі фермерського господарства «Кільган І.С.». Встановлено дві лінії з виробництва біопалива з ріпакової олії з використанням кавітаційної технології ТОВ «Спеціальні технології» загальною потужністю 1,2 т/год [8].

За останні 20 років в Україні було розроблено більше десяти проєктів законів, спрямованих на введення обов'язкової частки біопалив у традиційних моторних паливах. Більшість з них були відхилені або відкликані. Лише у кількох законопроєктах мова йшла про біодизель, всі інші стосувалися лише біоетанолу. Пропонувалося досягти наступних обов'язкових часток біодизеля у загальних обсягах дизельного пального:

- у 2007 р. не менше 3% у загальному виробництві дизельного пального – проєкт Закону про розвиток виробництва та споживання біологічних видів палива (№ 4444 від 27.11.2003); ЗП заслуханий та знятий з розгляду;

- у 2014 р. не менше 5,75% у загальному виробництві дизельного палива – проєкт Закону про обов'язкове використання біоетанолу та біодизеля при виробництві моторних видів палива (№ 5221 від 13.10.2009); ЗП відхилений та знятий з розгляду;

- у 2019 р. не менше 2,7% (енергетичних) у загальному річному обсязі продажу на митній території України дизельного палива – проект Закону про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо розвитку сфери виробництва рідкого палива з біомаси та впровадження критеріїв сталості рідкого палива з біомаси та біогазу, призначеного для використання в галузі транспорту (№ 7348 від 29.11.2017); ЗП відкликаний.

Незважаючи на відсутність будь-якого прогресу у питанні виробництва та споживання дизельного біопалива в Україні, все таки є певні передумови для можливості розвитку даного напрямку у перспективі. По-перше, в країні наявна значна сировинна база, згідно якої потенціал виробництва біопалива 1-го покоління оцінюється у 760 млн л/рік, 2-го покоління – у 360 млн л/рік (табл. 2). Основною сировиною для отримання дизельного біопалива 1-го покоління може бути ріпак, для передового біопалива – олійні енергетичні рослини, вирощені на незадіяних сільськогосподарських землях.

У 2021 р. більше 90% насіння ріпаку було експортовано з України, головним чином до країн ЄС (пізніша статистика відсутня). При цьому, в Євросоюзі майже 70% насіння ріпаку (виробленого та імпортованого) іде на отримання дизельного біопалива [9, 10]. Орієнтуючись на розвиток власного виробництва біопалив, а не на експорт сировини, вважаємо, що 70% загального врожаю ріпаку може бути використано для виробництва FAME та HVO в Україні.

За даними періоду до 2022 р., в країні налічувалося 3-4 млн га незадіяних сільськогосподарських земель. Внаслідок ведення воєнних дій ця площа може тільки збільшитися. Отже, видається, що 0,5 млн га незадіяних сільськогосподарських земель може бути відведено під вирощування олійних енергетичних рослин як сировини для дизельного біопалива без створення конкуренції виробництву продуктів харчування і кормів. Такий підхід відповідає критеріям сталості Директиви ЄС 2018/2001 з відновлюваної енергетики [11] і дозволяє авторам

класифікувати вироблений біодизель як передовий [12]. У перспективі до 2050 р. площа під олійними енергетичними рослинами може бути збільшена до 1 млн га, а до видів сировини для отримання дизельного біопалива додана використана харчова олія. Таким чином, потенціал виробництва біопалива зростає до майже 1570 млн л/рік, у тому числі передового – до 720 млн л/рік.

Сільське господарство є одним з найбільших споживачів дизельного пального в Україні – понад 23% загального обсягу разом із промисловістю (15-20%) і галузю транспорту та зв'язку (19-24%). Кінцеве споживання газойлів/дизелю у сільському господарстві склало близько 1170 млн л у 2020 р. та 1300...1550 млн л/рік протягом кількох років до того. В Україні діє стандарт на дизельне паливо ДСТУ 7688:2015 «Паливо дизельне ЄВРО. Технічні умови», згідно якого у дизельному паливі дозволяється максимальний вміст метилових ефірів жирних кислот (FAME) до 7% об'ємних (паливо В7). Якщо прийняти середнє споживання дизелю у сільському господарстві 1300 млн л/рік, то 7% від цього становить 91 млн л/рік. Оцінений потенціал виробництва дизельного біопалива з ріпаку в Україні (див. табл. 2) дозволяє повністю задовольнити цю потребу. Отже, можливим напрямком відродження біодизельної галузі країни може бути запуск установок/заводів із виробництва біопалива з ріпаку для потреб аграрного сектору. Для забезпечення економічно ефективної роботи таких підприємств необхідно проведення ґрунтовних техніко-економічних обґрунтувань і розробка відповідних бізнес-планів.

Виконані оцінки свідчать про те, що економічна ефективність реалізації біопаливного проекту залежить від поєднання ключових факторів, таких як капітальні витрати, вартість сировини, ціна реалізації основного та побічних продуктів та деяких інших. За результатами попереднього ТЕО, найкращі економічні показники має проект із виробництва біодизеля з ВХО – простий термін окупності 4 роки, IRR 33,7% (табл.

Табл. 2. Потенціал виробництва дизельного біопалива з різних видів сировини в Україні (2021 р)

Види сировини	Економічний потенціал (річний)					
	Всього		ДБ 1-го покоління		ДБ 2-го покоління	
	млн л	млн т н.е.	млн л	млн т н.е.	млн л	млн т н.е.
Ріпак (70% загального врожаю насіння)	736	0,57	736	0,57		
Олійні енергетичні рослини на незадіяних сільськогосподарських землях (0,5 млн га)	360	0,29			360	0,29
Некондиційні олії, рослинні і тваринні жири	1,7	0,001	1,7	0,001		
Жири від забою худоби і птиці	22,2	0,02	22,2	0,02		
Всього	1120	0,88	760	0,59	360	0,29

3). У порівнянні з іншими розглянутими варіантами (біодизель з ріпакової олії та HVO на базі ріпакової олії) такі показники досягнуті за рахунок відносно дешевої сировини та невисоких операційних витрат. Для покращення економічних показників інших проєктів, ймовірно, потрібна державна підтримка у вигляді певних преференцій або субсидій, враховуючи стратегічну важливість розвитку виробництва рідких біопалив в Україні.

Висновки та рекомендації для України

Незважаючи на існування об'єктивних бар'єрів, Україна має непогані передумови для відновлення і розвитку виробництва дизельного біопалива. Такими передумовами є існування великої сировинної бази, а також наявність вагомих напрацювань в даній сфері.

Зокрема, значна науково-практична робота з тематики виробництва дизельного біопалива проведена у Національному університеті біоресурсів і природокористування України [13-15].

Для можливості успішного розвитку даного сектору біоенергетики вважаємо за доцільне встановити на законодавчому рівні обов'язкову частку біодизеля у дизпаливі, що споживається в Україні, на рівні 5%; увести експортне мито на насіння ріпаку, аналогічне існуючому на насіння льону, соняшнику, рижю; скасувати акцизний податок на дизельне біопаливо; запровадити систему збирання відпрацьованої харчової олії; відновити виробництво метанолу в Україні; створити спеціалізовану лабораторію для випробування показників якості біодизелю за чинними міжнародними

Табл. 3. Результати ТЕО виробництва біодизеля та гідроочищеної рослинної олії в Україні

Показники	Біодизель з ріпакової олії	Біодизель з ВХО	HVO (ріпакова олія)
Виробництво біопалива, тис. т/рік	50	20	100
Споживання сировини, тис. т/рік	50,7	22,2	126
Тривалість роботи установки, год/рік	8000	8000	8000
Витрати:			
Закупівельна ціна сировини, євро/т без ПДВ	810	300	810
Витрати на сировину, млн євро	45,1	8,7	120,2
Капітальні витрати, млн євро	32,0	26,6	112,0
Операційні витрати, млн євро/рік	49,0	11,1	131,4
Витрати на виробництво біопалива, євро/л	0,86	0,49	1,012
Амортизаційні відрахування, євро/л	0,023	0,047	0,034
Доходи:			
Ціна продажу побічних продуктів, євро/т без ПДВ	неочищений гліцерин: 100	неочищений гліцерин: 100	біо-пропан: 1041 лігроїн: 528 паливний газ: 646
Дохід від продажу побічних продуктів, млн євро/рік	неочищений гліцерин: 0,51	неочищений гліцерин: 0,20	біо-пропан 3,38 лігроїн: 4,1 паливний газ: 2,5
Виробнича собівартість біопалива, євро/л	0,88	0,53	0,97
Орієнтовна ціна реалізації біопалива, євро/л без ПДВ (не враховує акцизний податок 100 євро/1000 л)	0,98	0,98	1,2
Економічні показники проєкту:			
Частка кредитування від капітальних витрат, %	70	70	70
Тривалість кредитування, років	5	5	5
Ставка по кредиту у євро, %	6	6	6
Внутрішня норма дохідності (IRR), %	17,3%	33,7%	19,9%
Простий період окупності, років	6,8	4,0	6,3

стандартами. У перспективі також необхідно забезпечити поступовий перехід з біодизеля на виробництво і споживання гідроочищеної рослинної олії. Це дасть можливість суттєво збільшити обсяги використання дизельного біопалива в існуючих дизельних двигунах. Сільське господарство України може бути потужним споживачем моторних біопалив із пріоритетним споживанням дизельного біопалива на сільськогосподарських роботах та біоетанолу – на транспортних роботах. Для реалізації запропонованих заходів рекомендуємо розроблення нової Програми розвитку виробництва дизельного біопалива в Україні або включення відповідного розділу до існуючих або запланованих національних стратегічних документів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Report on global market supply 2022/2023*. UFOP, 2023.
https://www.ufop.de/files/8716/7568/8538/ENG_UFOP_2076_Versorgungsbericht_A5_22_23_060223.pdf
2. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2023-2032*. OECF/FAO, 2023.
<https://www.oecd-ilibrary.org/deliver/08801ab7-en.pdf?itemId=/content/publication/08801ab7-en&mimeType=pdf>
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. *Flach B, Lieberz S., Bolla S.* USDA Report Biofuels Annual, Report No E42023-0033, 2023. bit.ly/447UIZ5
5. *Neuling U, Kaltschmitt M.* Liquid Fuels from Vegetable Oil. In: Meyers R. (eds) *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2493-6_1038-1
6. *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>
7. *Оржель О., Зоркін А., Кикоть К.* та ін. Зелена Книга «Регулювання виробництва рідких моторних біопалив». Київ: Офіс ефективного регулювання, 2019. 109 с. <https://regulation.gov.ua/book/127-zelena-kniga-rinok-biopaliwa>
8. *Гелетуха Г.Г., Железна Т.А., Драгнев С.В., Кучерук П.П.* Перспективи виробництва передових біопалив в Україні // *Енерготехнології та ресурсозбереження*. – 2023, т. 76, № 3, с. 71-82. <https://www.etas-journal.org/index.php/journal/issue/view/37/40>
9. *Report on Oilseeds and Products Annual*. USDA report E42022-0031, April 21, 2022. <https://bit.ly/3IEjGNV>
10. *Report on Biofuels Annual*. USDA report E42022-0048, July 13, 2022. <https://bit.ly/3JC18pq>
11. *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>
12. *Гелетуха 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. <https://doi.org/10.31472/ttpe.1.2023.6>
13. *Дубровін В.О.* та ін. Навчальний модуль «Біодизель та біоетанол». Проект UNIDO/GEF. – К.: ЮНІДО, 2015. – 52 с. http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/5143/1/Biodizel_TM6.pdf
14. *Біоенергетичні системи в аграрному виробництві* / Голуб Г.А., Кухарець С.М., Марус О.А. та ін.; за ред. Г.А. Голуба. – К.: НУБіП України, 2017. – 229 с. http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/7904/1/Bioensis_2017_229.pdf
15. *Біопалива* (технології, машини і обладнання) / В.О. Дубровін, М.О. Корчемний, І.П. Масло та ін. – К.: ЦТІ „Енергетика і електрофікація”, 2004. – 256 с.

ANALYSIS OF FEEDSTOCK AND TECHNOLOGY BASIS FOR THE PRODUCTION OF DIESEL BIOFUEL IN UKRAINE

Drahniev S.V.¹, Zheliezna T.A.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/0000-0003-3754-4186, e-mail: dragnev@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/0000-0002-9607-3022, e-mail: zhelyezna@secbiomass.com

<https://doi.org/10.31472/ttpe.3.2024.11>

The purpose of the work is to develop recommendations for the possibility of renewing the production and consumption of biodiesel in Ukraine with the subsequent increase in the production of hydrotreated vegetable oil. The current state and prospects of diesel biofuel production in the world are analyzed. Production technologies and fuel characteristics of biodiesel and hydrotreated vegetable oil are considered. Over the past twenty years, the global production of diesel biofuel has increased from 2 to 55 billion l/year. Currently, about a third of the total production volume is in the EU. Diesel biofuel is divided into two types, namely biodiesel and hydrotreated vegetable oil. They differ in production technology and chemical composition. Now, biodiesel, which is fatty acids methyl ethers, is the type of diesel biofuel that is mainly produced and consumed in the world. However, given the fuel characteristics and ease of use, in the future, it makes sense to switch to hydrotreated vegetable oil, which is actually a complete analogue of diesel fuel. In Ukraine, during at least the last decade, the production and consumption of biodiesel has been practically absent. Despite this, there are certain prerequisites for the possibility of developing this direction in the future. Such prerequisites include availability of a large feedstock base, as well as significant groundwork in this field. We consider it expedient to establish a legislatively mandatory share of biodiesel in diesel fuel consumed in Ukraine at the level of 5%; introduce an export duty on rapeseed; cancel the excise tax on diesel biofuel; introduce a system for collecting used cooking oil; resume methanol production in Ukraine;

create a specialized laboratory for testing biodiesel quality properties according to current international standards. To implement the proposed measures, we recommend the development of a new program for diesel biofuel production in Ukraine or the inclusion of a respective section in existing or planned national strategic documents.

References 15, table 1, figures 3.

Key words: biomass, biofuels, advanced biofuels, biodiesel, diesel biofuel, hydrotreated vegetable oil.

1. *Report on global market supply 2022/2023*. UFOP, 2023.

https://www.ufop.de/files/8716/7568/8538/ENG_UFOP_2076_Versorgungsbericht_A5_22_23_060223.pdf

2. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2023-2032*. OECF/FAO, 2023.

<https://www.oecd-ilibrary.org/deliver/08801ab7-en.pdf?itemId=/content/publication/08801ab7-en&mimeType=pdf>

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. *Flach B, Lieberz S., Bolla S*. USDA Report Biofuels Annual, Report No E42023-0033, 2023. bit.ly/447UIZ5

5. *Neuling U, Kaltschmitt M*. Liquid Fuels from Vegetable Oil. In: Meyers R. (eds) *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology*. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2493-6_1038-1

6. *Prohrama rozvytku vyrobnytstva dyzelnoho biopalyva*. [Program for the development of diesel biofuel production.]. Approved by the resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 22.12.2006 № 1774. (Ukr.) <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1774-2006-%D0%BF#Text>

7. *Orzhel O., Zorkin A., Kykot K*. ta in. *Zelena Knyha «Rehulivannia vyrobnytstva ridkykh motornykh biopalyv»*. [Green Book "Regulation of production of liquid motor biofuels".]. Kyiv: Office of Effective Regulation, 2019. 109 p. (Ukr.) <https://regulation.gov.ua/book/127-zelena-knigarinok-biopalyva>

8. *Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Drahniev S.V., Kucheruk P.P*. *Perspektyvy vyrobnytstva peredovykh biopalyv v Ukraini* [Prospects for the production of advanced biofuels in Ukraine.]. *Energy Technologies and Resource Saving*. V. 76, № 3 (2023), P. 71-82. (Ukr.) <https://www.etas-journal.org/index.php/journal/issue/view/37/40>

9. *Report on Oilseeds and Products Annual*. USDA report E42022-0031, April 21, 2022. <https://bit.ly/31EjGNV>
10. *Report on Biofuels Annual*. USDA report E42022-0048, July 13, 2022. <https://bit.ly/3JC18pq>
11. *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>
12. *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 issues of sustainability of production of liquid motor biofuels in the EU and Ukraine.]. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*. V. 45, № 1 (2023), P. 46-54. (Ukr.) <https://doi.org/10.31472/tpe.1.2023.6>
13. *Dubrovin V.O.* ta in. Navchalnyi modul «Biodyzel ta bioetanol». [Educational module "Biodiesel and bioethanol"]. Project UNIDO/GEF. K.: UNIDO, 2015. 52 p. (Ukr.) http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/5143/1/Biodizel_TM6.pdf
14. *Bioenerhetychni systemy vahrarnomu vyrobnytstvi* [Bioenergy systems in agricultural production.]. / Golub G.A., Kukharets S.M. Marus O.A. ta in.; under the editorship G.A. Golub. K.: NULES of Ukraine, 2017. 229 p. (Ukr.) http://ir.polissiauniver.edu.ua/bitstream/123456789/7904/1/Bioensis_2017_229.pdf
15. *Biopalyva (tekhnologii, mashyny i obladnannia)* [Biofuels (technologies, machines and equipment).]. / V.O. Dubrovin, M.O. Korchemnyi, I.P. Maslo ta in. K.: CTI "Energy and Electrification", 2004. 256 p. (Ukr.)

Отримано 24.04.2024

Received 24.04.2024

Прийнято до друку 17.08.2024

Accepted for publication 17.08.2024