

УДК 620.9: 330.15

DOI: <https://doi.org/10.32782/business-navigator.79-21>**Стоянець Н.В.**

доктор економічних наук, професор,
професор кафедри менеджменту імені професора Л. І. Михайлової
Сумський національний аграрний університет
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7526-6570>

Stoyanets Nataliya

Doctor of Economic Sciences, Full Professor,
Professor of Management Department
named after professor L. I. Mykhailova
Sumy National Agrarian University

ЕФЕКТИВНІСТЬ УПРАВЛІНСЬКИХ ЗАХОДІВ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

EFFECTIVENESS OF MANAGEMENT MEASURES FOR THE IMPLEMENTATION OF RENEWABLE ENERGY IN AGRICULTURAL ENTERPRISES IN THE CONDITIONS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

У даній статті здійснена спроба розглянути управлінські заходи економічну ефективність та екологічних переваг виробництва біодизелю з ріпакової сировини. Було проаналізовано ключові аспекти агропромислового циклу, починаючи від вирощування ріпаку і закінчуючи його переробкою в екологічно чисте паливо. Виявлено, що ріпак забезпечує найвищу рентабельність (до 45%) серед інших олійних культур завдяки низьким витратам на виробництво, високому виходу побічних продуктів і стійкому попиту на біодизель. Доведено, що власне вирощування ріпаку на площі 1000 га створює додану вартість для аграріїв і гарантує стабільний чистий прибуток. Висвітлені переваги технології каталізування підкреслюють її простоту і доступність, оскільки основні витрати припадають на етапи вирощування і первинної обробки сировини. Проект виробництва біодизелю, окрім економічної вигоди, підтримує концепцію циркулярної економіки, що забезпечує зменшення відходів і створення додаткових джерел доходу, таких як шрот і гліцерин. Також обґрунтовано, що біодизель сприяє зниженню викидів SO_2 на 80% порівняно з традиційним дизельним паливом. Порівняння біодизелю з іншими зеленими енергоресурсами виявило його унікальну здатність до прямого використання в дизельних двигунах без модифікацій, що робить його універсальним рішенням для транспорту і промисловості. Аналіз екологічних показників довів, що біодизель має нульовий вуглецевий слід завдяки балансу між викидами CO_2 і його поглинанням ріпаком під час вирощування. Разом з тим підкреслено важливість врахування ризиків, таких як залежність від ринкових цін і потреба у великих площах для вирощування сировини. Таким чином, обґрунтовані економічні та екологічні переваги біодизелю підтверджують його перспективність як стратегічного напрямку для розвитку енергетичної незалежності України та забезпечення сталого аграрного сектору.

Ключові слова: менеджмент, відновлювальна енергетика, сталий розвиток, ефективність, традиційна енергетика, енергозбереження, альтернативна енергетика, енергетичний баланс.

This article endeavours to examine the managerial measures, economic efficiency, and environmental benefits of biodiesel production from rapeseed feedstock. Key aspects of the agro-industrial cycle, from rapeseed cultivation to its processing into environmentally clean fuel, were analyzed. It was revealed that rapeseed provides the highest profitability (up to 45%) among other oilseed crops due to low production costs, high by-product yield, and sustained demand for biodiesel. It is demonstrated that cultivating rapeseed on an area of 1000 hectares generates added value for farmers and ensures a stable net profit. The advantages of the catalysis technology are highlighted, emphasizing its simplicity and accessibility, as the main costs are concentrated in the cultivation and primary processing stages of the raw material. The biodiesel production project, in addition to its economic benefits, supports the concept of a circular economy, which ensures waste reduction and the creation of additional revenue streams, such as meal and glycerin. It is also substantiated that biodiesel contributes to an 80% reduction in SO_2 emissions compared to traditional diesel fuel. A comparison of biodiesel with other green energy resources revealed its unique ability to be directly used in diesel engines without modifications, making it a versatile solution for transportation and industry. An analysis of environmental indicators demonstrated that biodiesel has a zero carbon footprint due to the

balance between CO₂ emissions and its absorption by rapeseed during cultivation. Simultaneously, the importance of considering risks, such as dependence on market prices and the need for large areas for raw material cultivation, is emphasized. Based on the analysis conducted, conclusions are drawn regarding the economic and ecological viability of biodiesel production from rapeseed in Ukraine, as well as the necessity to account for risks associated with resource price volatility and the requisite for infrastructural investments. Thus, the substantiated economic and environmental advantages of biodiesel confirm its prospects as a strategic direction for the development of Ukraine's energy independence and the provision of a sustainable agricultural sector.

Keywords: management, renewable energy, sustainable development, efficiency, conventional energy, traditional energy, alternative energy.

Постановка проблеми. З кожним роком альтернативні джерела енергії набувають все більшого значення для економічного розвитку багатьох країн. Перехід до «зелених» технологій у виробництві енергії є необхідністю, зумовленою змінами клімату та виснаженням природних ресурсів. Враховуючи зростання глобального споживання енергії та той факт, що звичайні джерела енергії не є невичерпними, глобальна політика та стратегії наклали та продовжують накладати суворі обмеження на споживання первинної та кінцевої енергії. Міжнародний досвід впровадження екологічно чистих методів генерації енергії демонструє їх ефективність. Ціль 7: Доступна та чиста енергія та її основні аспекти наголошують на «забезпечення загального доступу до доступних, надійних і стійких сучасних джерел енергії». Це означає, що кожен повинен мати можливість використовувати енергію для своїх потреб, незалежно від місця проживання чи рівня доходів. «Значне збільшення частки відновлюваних джерел енергії в глобальному енергетичному балансі». Це передбачає розвиток і впровадження технологій, які використовують енергію сонця, вітру, води, біомаси та інших відновлюваних ресурсів. «Подвоєння глобального показника підвищення енергоефективності», означає, що ми повинні використовувати енергію більш ефективно, щоб зменшити її споживання і вплив на довкілля. Ціль 7 є надзвичайно важливою, оскільки енергія є ключовим фактором для економічного розвитку, соціального прогресу та боротьби зі зміною клімату. Перехід до відновлюваних джерел енергії допоможе нам створити більш стійке та справедливе майбутнє для всіх.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням відновлювальної енергетики присвячені роботи таких сучасних науковців як Приходько І, Костецька К., Гордійчук Ю., Скрипник А, [1–3] та зарубіжних дослідників як Guo J-Q, Li M-J, [4–6], Wang Z, Liu M, Yan J, Zhao Y, Yan J, [5–8] та інших. Однак залишається низка питань щодо впровадження на державному рівні альтернативних джерел енергії, вирощування для власного використання аграрними підприємствами та використання державної підтримки та фінансування програм у сфері відновлюваної енергетики.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Безперечно, наукові здобутки вчених щодо проблематики статті мають велике визнання і високу цінність. При цьому, слід зауважити, що значна варіативність теоретичних та практичних наукових підходів до вивчення сутності проблеми відновлювальної енергетики, зокрема які перспективи розвитку виробництва біодизелю в Україні, які можливості для удосконалення технологій виробництва біодизелю, а також розрахунок економічної ефективності виробництва біодизелю із ріпаку, вирощеного на площі 1000 га в умовах України.

Формулювання завдання дослідження. Метою даної наукової статті є дослідження окремих питань щодо розрахунку економічного забезпечення біодизелем як зеленою енергетикою для аграрних підприємств включаючи всі аспекти агропромислового циклу, починаючи від вирощування ріпаку і закінчуючи його переробкою в екологічно чисте паливо.

Виклад основного матеріалу дослідження. Згідно з чинною енергетичною стратегією України, ключовими напрямками розвитку енергетичного сектору є підвищення ефективності енергоспоживання через зменшення витрат енергії на одиницю продукції чи послуг як з боку виробників, так і з боку споживачів. Впровадження сучасних енергозберігаючих технологій та практик є необхідним для досягнення цієї мети. Зниження залежності від імпорту енергоносіїв, особливо з росії, є пріоритетним завданням. Диверсифікація джерел енергії та розвиток внутрішнього видобутку ресурсів є важливими кроками в цьому напрямку. Створення сприятливих умов для міжнародних компаній сприятиме модернізації енергетичної інфраструктури та впровадженню новітніх технологій. Ці завдання взаємопов'язані та спрямовані на забезпечення сталого та безпечного розвитку енергетичного сектору України [8].

Економіка країни не може існувати без енергетичних ринків. Тому зміни, що відбуваються на енергетичних ринках, мають значний вплив на інфляційні процеси та темпи зростання економіки [1]. Модернізація та розвиток енергетичного ринку є ключовим питанням для підтримки стабільності економіки та захисту від економічних потрясінь, спричинених глобальними енергетичними кризами. Дослідження вчених з різних країн підкреслюють тісний взаємозв'язок між розвитком енергетичного сектору та економічним зростанням [2; 5].

Liu M, Yan J у своїх дослідженнях стверджує, що існує чіткий взаємозв'язок між рівнем ВВП країн, що розвиваються, та їхнім енергоспоживанням, зокрема різними формами використання енергії [3–4]. Wang Z, Liu M у своїх наукових працях підкреслюють, що енергія є не метою сама по собі, а скоріше ключовим фактором для економічного зростання. Вона є життєво важливою для забезпечення справедливого та сталого розвитку, де кожен має доступ до необхідних енергетичних ресурсів для гідного життя. Обсяги споживання енергії залежать від кількості населення, їхнього матеріального добробуту та застосовуваних технологій [6–7].

Наступним кроком доцільно поетапно здійснити дослідження щодо вивчення економічних показників виробництва біодизеля з ключових олійних культур в українському сільському господарстві у 2024 році (табл. 1).

Таблиця 1

**Порівняльна характеристика економічної ефективності виробництва біодизеля
з основних олійних культур в сільськогосподарських підприємствах України в 2024 р.**

Показники	Соняшник		Ріпак		Соя	
	Власна сировина	Покупна сировина	Власна сировина	Покупна сировина	Власна сировина	Покупна сировина
Витрати на виробництво біодизеля, грн/т	25962,7	38297,5	15887,9	22067,9	19784,6	25157,6
Ціна реалізації 1 т біодизеля, грн	52325,6	52325,6	52325,6	52325,6	52325,6	52325,6
Ціна реалізації 1 т шроту, грн	9500,0	9500,0	6600,0	6600,0	12300,0	12300,0
Ціна реалізації 1 т гліцерину, грн	12000,0	12000,0	12000,0	12000,0	12000,0	12000,0
Частка біодизеля у вихідній продукції, %	42,0	42,0	35,0	35,0	21,0	21,0
Частка шроту у вихідній продукції, %	45,0	45,0	58,0	58,0	61,0	61,0
Частка гліцерину у вихідній продукції, %	13,0	13,0	7,0	7,0	18,0	18,0
Прибуток з переробки 1 т сировини, грн	1849,0	-10485,8	7094,1	914,1	866,8	-4506,2
Рентабельність виробництва 1 т біодизеля, %	7,1	-27,4	44,7	4,1	4,4	-17,9

Джерело: розраховано за даними [9]

Аналіз економічної ефективності переробки ріпаку на біодизель у порівнянні з іншими основними олійними культурами демонструє чіткі переваги ріпакової сировини, особливо власного вирощування. Представлені дані підтверджують, що ріпак не лише забезпечує найвищу рентабельність (44,7%) серед розглянутих культур, але й характеризується суттєвим рівнем прибутковості з кожної тони сировини – 7094,1 грн. Це робить його найбільш вигідною культурою для виробництва біодизелю за умови організації власного аграрного циклу.

Ключовим фактором, який пояснює високу рентабельність ріпаку, є помірні витрати на виробництво біодизелю з власної сировини (15887,9 грн/т). Цей показник є найнижчим серед усіх варіантів у таблиці, що вказує на економічну раціональність вирощування ріпаку для подальшої переробки. Для порівняння, витрати на виробництво біодизелю із сої складають 19784,6 грн/т, а із соняшнику – 25962,7 грн/т. Така різниця пояснюється ефективністю ріпаку як сировини: він має оптимальну частку шроту у вихідній продукції (58%) та достатній вихід гліцерину (7%), що забезпечує додаткові джерела доходу. Ціна реалізації шроту з ріпаку, хоч і нижча за аналогічні показники для сої, компенсується більш вигідним співвідношенням витрат і виходу біодизеля.

Однак, висока прибутковість переробки ріпаку супроводжується і певними ризиками. Перший важливий аспект – це хімічні властивості біодизелю, які унеможливають його довготривале зберігання у чистому вигляді. Біодизель швидко втрачає свої якості через схильність до окислення, тому виробництво має бути організоване під замовлення або з чітким плануванням збуту. Це створює додатковий тиск на бізнес щодо точного прогнозування попиту та укладання довгострокових контрактів із споживачами.

Ще один суттєвий виклик пов'язаний із коливанням цін на ресурси для вирощування ріпаку. Ціни на насіння, добрива, засоби захисту рослин, паливно-мастильні матеріали та інші ресурси можуть значно змінюватися залежно від економічної ситуації, що впливає на загальну рентабельність. Наприклад, у випадках суттєвого підвищення витрат на вирощування власної сировини може бути вигідніше закуповувати ріпак, ніж вирощувати його самостійно. У цьому контексті слід ретельно аналізувати ринкову кон'юнктуру та можливості оптимізації виробничих витрат.

Не менш важливим фактором є потреба у спеціалізованій інфраструктурі для зберігання ріпакової сировини. Елеватори, необхідні для зберігання насіння ріпаку, вимагають значних інвестицій у їх створення, обслуговування або в оренду потужностей. Невиконання цих вимог може призвести до втрат якості сировини, що негативно вплине на подальший процес переробки і загальну рентабельність. Таким чином, економічна доцільність власного вирощування ріпаку може бути суттєво знижена за відсутності належної логістики та управління запасами.

Водночас альтернативні варіанти, такі як використання сої або соняшнику, демонструють значно меншу економічну привабливість. Наприклад, прибуток з переробки 1 тони сої складає лише 866,8 грн, а рентабельність – 4,4%, що є набагато нижчим за показники ріпаку. Соняшник, хоча і має більший вихід біодизелю (42%), характеризується надто високими витратами на переробку у цей вид пального, що обмежує його конкурентоспроможність.

У підсумку, ріпак залишається найбільш вигідною культурою для виробництва біодизелю в Україні завдяки високій рентабельності, низьким витратам на переробку та оптимальному виходу побічних продуктів. Однак реалізація цієї переваги потребує врахування

ряду ризиків, пов'язаних із хімічними властивостями біодизелю, коливанням цін на ресурси та необхідністю інвестицій у зберігання сировини. Лише комплексний підхід до організації процесу вирощування, переробки та збуту дозволить максимально ефективно використати потенціал ріпаку як стратегічної сировини для біодизелю.

Як методичну розробку ми будемо досліджувати проект з вирощування ріпаку на площі 1000 гектарів в умовах України. Згідно з таблицею 2, чистий прибуток від проекту становить 11,529 млн грн, що забезпечує рівень рентабельності у 31,6%. Це свідчить про те, що вирощування ріпаку не лише окупує витрати, а й створює значну додану вартість для виробника. Особливо в умовах зростаючого попиту на біодизель, який часто виготовляється саме з ріпакової сировини, цей напрям є стратегічно важливим для розвитку аграрного сектору.

У порівнянні з іншими культурами, які використовуються для виробництва біодизелю, ріпак демонструє оптимальне співвідношення між вкладеними ресурсами та кінцевим результатом. При середній ринковій ціні 16 000 грн/т, загальна виручка від продажу насіння досягає 48 млн грн, що робить ріпак привабливим як для аграріїв, так і для переробників.

Однак висока виручка не була б такою значущою без належного управління витратами. Загальні витрати на вирощування ріпаку складають 36,471 млн грн (або 36 471 грн на гектар). Це включає витрати на насіння, добрива, паливно-мастильні матеріали, засоби захисту рослин, а також технічне обслуговування і польові роботи. Висока залежність від цін на ці ресурси створює ризики для проекту, оскільки будь-які зміни вартості можуть суттєво вплинути на фінансовий результат. Наприклад, зростання цін на добрива чи паливе може зменшити чистий прибуток або навіть звести рентабельність до мінімуму.

Додатковим ризиком є залежність від ринкової ціни на насіння ріпаку, яка становить 16000 грн/т. Хоча ця ціна виглядає привабливою, вона може коливатися в залежності від попиту на міжнародних ринках, оскільки ріпак є однією з основних експортних культур України. У випадку падіння цін на світовому ринку аграрії ризикують втратити частину запланованого прибутку.

Водночас високий рівень рентабельності вирощування ріпаку (31,6%) свідчить про можливість компенсувати певні ризики, що виникають у процесі реаліза-

ції проекту. Крім того, ріпак має важливу екологічну функцію, покращуючи структуру ґрунту та його родючість, що забезпечує довготривалу вигоду для агро-виробників. Завдяки здатності поглинати вуглекислий газ у процесі росту ріпак також сприяє зменшенню загального вуглецевого сліду аграрного сектору, що є важливим у контексті посилення екологічних вимог до сільського господарства.

З урахуванням загальних показників економічної ефективності, проект з вирощування ріпаку на площі 1000 гектарів виглядає не лише фінансово доцільним, але й стратегічно перспективним, навіть якщо не буде організована подальша переробка ріпаку. Чистий прибуток у 11,529 млн грн забезпечує значний фінансовий резерв, який можна використати для інвестування у виробничі потужності або інші аграрні проекти. Разом з тим, проект вимагає ретельного управління ризиками, такими як коливання ринкових цін, зростання вартості ресурсів та погодні умови, що впливають на врожайність. Оптимізація витрат, використання сучасних агротехнологій та диверсифікація джерел доходу можуть стати ключовими факторами успіху такого проекту (табл. 3).

Розвиток проекту має ґрунтуватися саме на впровадженні переробки ріпаку на біодизель на власних потужностях. Адже переробка ріпакової олії здійснюється за технологією каталізування, яка вирізняється своєю простотою та порівняно низькими витратами. Це є ще одним вагомим аргументом на користь використання ріпаку для біодизельного виробництва, оскільки сам технологічний процес є добре вивченим, широко застосовуваним та не потребує складного обладнання чи значних енергетичних витрат. Завдяки цьому знижується загальна вартість перетворення ріпакової олії на біодизель, а основні ресурси можуть бути спрямовані на інші етапи виробничого циклу.

Типова структура витрат у процесі виробництва біодизелю з ріпаку свідчить, що найбільша їх частка припадає на етап вирощування ріпаку. Це включає витрати на насіння, добрива, засоби захисту рослин, пального, а також оплату праці й технічне обслуговування. Далі, другий за величиною блок витрат пов'язаний із віджимом ріпакової олії із зібраного насіння. Витрати на цей етап зумовлені необхідністю використання спеціального пресового обладнання та дотримання певних технологічних умов для отримання максимальної кількості якісної олії.

Таблиця 2

Економічна ефективність вирощування ріпаку на площі 1000 га в умовах України

Показники	Значення	Примітка
Площа вирощування, га	1000	*
Урожайність, т/га	3	*
Загальний урожай, т	3000	1000 га × 3 т/га
Витрати на вирощування, грн/га	36471	Залежить від добрив, пального, роботи техніки
Загальні витрати на вирощування, грн.	36 471 000	1000 га × 36471 грн./га
Ціна продажу насіння ріпаку, грн/т	16 000	Середня ринкова ціна на 2024 рік
Загальна виручка, грн	48 000 000	3000 т × 16 000 грн/т
Чистий прибуток, грн	11 529 000	48 000 000 грн – 36471 000 грн
Рентабельність вирощування, %	31,6	(11529000 / 36471000) × 100

Джерело: розраховано за даними [9]

Таблиця 3

**Економічна ефективність виробництва біодизелю із ріпаку,
вирощеного на площі 1000 га в умовах України (вихід біодизелю – 35% з 1 т ріпаку)**

Показники	Значення	Примітка
Загальний урожай ріпаку, т	3000	Врожайність 3 т/га × 1000 га
Вихід біодизелю, т	1050	3000 т × 35%
Витрати на переробку, грн/т ріпаку	15 887,90	Згідно з таблицею
Загальні витрати на переробку, грн	47 663 700	3000 т × 15887,9 грн./т
Виручка від біодизелю, грн	54 941 860	810 т × 52 325,6 грн./т
Виручка від шроту, грн	11 484 000	3000 т × 58% × 6600 грн./т
Виручка від гліцерину, грн	2 520 000	3000 т × 7% × 12000 грн./т
Загальна виручка, грн	68 945 860	Сума виручки від усіх видів продукції
Вартість традиційного дизпального, грн/т	47 000	Середня ринкова ціна
Чистий прибуток від біодизелю, грн.	21 282 160	68945860 грн. – 47663700 грн.
Рентабельність переробки, %	45	
Конкурентна перевага біодизелю над дизелем	Відновлюваність, екологічність	Біодизель сприяє зменшенню викидів CO ₂

Джерело: розраховано за даними [9]

Перетворення ріпакової олії на біодизель, яке відбувається за допомогою каталізаторів (часто лугів або кислот), посідає лише третє місце за обсягом витрат. Цей етап полягає у хімічній реакції трансестерифікації, під час якої олія перетворюється на ріпаково-метиловий ефір (МРЕ), який і є біодизелем. Простота технології каталізування зводить до мінімуму потребу у дорогому обладнанні чи витратних матеріалах, що ще більше підвищує економічну ефективність процесу. Важливим додатковим фактором є те, що побічні продукти цього процесу – зокрема, гліцерин – знаходять своє застосування в інших галузях, забезпечуючи додаткові джерела доходу.

Ця технологічна простота разом із наявністю розвинутої інфраструктури для вирощування ріпаку робить його переробку у біодизель не лише вигідною, але й доступною навіть для невеликих підприємств. Такий підхід дозволяє зменшити бар'єри входу на ринок виробництва біодизелю, що особливо важливо для українських агровиробників, які шукають шляхи підвищення прибутковості своєї діяльності. Тому більшість витрат, пов'язаних із виробництвом біодизелю, фактично сконцентрована на вирощуванні та первинній обробці ріпаку, тоді як перетворення ріпакової олії на біодизель є відносно малозатратним і високоефективним етапом виробничого ланцюга.

Ця перевага не лише робить ріпак привабливим для біодизельного виробництва, але й знижує загальні

ризики, пов'язані з високою вартістю технологічного обладнання (табл. 4).

Аналізуючи представлену таблицю, можна побачити, що біодизель має унікальні переваги серед інших видів екологічного палива, таких як біометан і біоетанол, але водночас поступається за певними показниками, які варто враховувати при виборі оптимального пального для конкретних умов.

Однією з ключових переваг біодизелю є його здатність безпосередньо замінювати традиційне дизельне паливо у двигунах внутрішнього згоряння. Це робить біодизель універсальним варіантом для переходу на екологічно чисті види палива без необхідності внесення конструктивних змін у техніку чи транспортні засоби. У той час як біометан і біоетанол вимагають спеціалізованого обладнання або двигунів, біодизель зберігає простоту застосування, що є його значною конкурентною перевагою. Саме ця особливість робить його ідеальним для аграрного сектору, транспорту і промисловості, які залежать від дизельних двигунів.

Щодо виходу енергії, біодизель поступається біометану, який має найвищий показник енергетичної ефективності – 50 000 МДж/т. Біодизель забезпечує 37 800 МДж/т, що є середнім результатом, хоча і значно перевищує показник біоетанолу (29 700 МДж/т). Це означає, що для отримання однакової кількості енергії потрібно більше біодизелю, ніж біометану, що може вплинути на логістичні та економічні розрахунки

Таблиця 4

Порівняння біодизелю із іншими зеленими енергоресурсами (розрахунок на 1 т пального)

Показники	Біодизель	Біометан	Біоетанол	Примітка
Вихід енергії, МДж/т	37 800	50 000	29 700	Біометан забезпечує найвищий вихід енергії
Викиди CO ₂ , кг/т	~0 (нульовий слід)	~0	~0	Викиди компенсуються рослинною сировиною
Собівартість, грн/т	22 067,90	18 000	21 500	Біометан найдешевший за виробництвом
Використання в дизельних двигунах	Так	Ні	Ні	Біодизель безпосередньо замінює дизель
Підтримка енергетичної незалежності	Висока	Висока	Середня	

Джерело: розраховано за даними [9]

при використанні цих видів палива. Однак цей недолік компенсується широким спектром його використання та меншою залежністю від дорогого спеціалізованого обладнання.

Ще одним важливим фактором є собівартість виробництва. Біодизель має вищу собівартість (22 067,90 грн/т) у порівнянні з біометаном (18 000 грн/т) і біоетанолом (21 500 грн/т). Нижча собівартість біометану зумовлена простотою його виробництва з органічних відходів, що потребує менше витратних матеріалів і обладнання. Водночас біодизель виграє за рахунок високої доданої вартості, яка включає попит на побічні продукти переробки ріпаку (шрот і гліцерин), що дає змогу частково компенсувати витрати.

У контексті екологічності всі три види палива демонструють значну перевагу над викопними джерелами енергії, забезпечуючи нульовий вуглецевий слід. Це пов'язано з тим, що викиди CO₂ під час їх використання компенсуються поглинанням цього газу рослинами, з яких вони виготовляються. Проте біодизель має додатковий плюс у тому, що його можна виробляти з ріпаку, який водночас покращує родючість ґрунту і створює економічну вигоду для аграріїв.

Окремо варто зазначити, що підтримка енергетичної незалежності у випадку біодизелю і біометану є найвищою серед представлених варіантів. Обидва види палива можуть бути виготовлені з локальної сировини, що дозволяє мінімізувати залежність від імпортного палива і створювати додану вартість в межах країни. Біоетанол має середній рівень підтримки енергетичної незалежності, оскільки його виробництво здебільшого зосереджено на експортно орієнтованих культурах, таких як кукурудза.

Попри свої переваги, біодизель має певні недоліки. Зокрема, його виробництво вимагає використання значних земельних ресурсів для вирощування олійних культур, що може створити конкуренцію між виробництвом продовольчих і технічних культур. У той час як біометан виготовляється з відходів, а біоетанол може бути побічним продуктом харчової промисловості, біодизель потребує більше інфраструктури для вирощування, зберігання та переробки сировини.

Таким чином, вибір між біодизелем, біометаном і біоетанолом залежить від конкретних умов, включаючи доступність сировини, потреби у технічному оснащенні, енергетичну ефективність і логістичні витрати. Біодизель є найкращим варіантом для заміни дизельного пального в існуючій техніці, має високу екологічність і підтримує енергетичну незалежність. Водночас біометан вигідний у випадках, коли потрібен максимально високий вихід енергії за мінімальної

собівартості, а біоетанол може бути корисним як доповнення у змішаних енергетичних системах.

Біодизель є одним із найбільш екологічних видів палива завдяки його здатності забезпечувати нульовий вуглецевий слід (табл. 5). Цей показник досягається завдяки природному процесу: викиди CO₂ під час спалювання біодизелю (~2 500 кг/т) повністю компенсуються вуглецевим поглинанням ріпаком під час його вирощування. Таким чином, цикл виробництва і використання біодизелю створює екологічний баланс, що дозволяє мінімізувати вплив на клімат і сприяє зменшенню глобального потепління. Це є принциповою відмінністю біодизелю від традиційного дизельного пального, яке спричиняє значні викиди вуглекислого газу, накопичуючи його в атмосфері.

Зменшення викидів оксидів сірки (SO_x) та інших забруднювачів на 80% порівняно з традиційним дизелем є ще однією важливою перевагою біодизелю. Традиційне дизельне пальне є основним джерелом сірчистих сполук, які призводять до утворення кислотних дощів і серйозно впливають на якість повітря. Зниження цих викидів при використанні біодизелю означає значне покращення екологічної ситуації, особливо у містах і регіонах з високим рівнем транспортного навантаження. Це робить біодизель ефективним інструментом боротьби з локальним забрудненням повітря, одночасно покращуючи якість життя населення.

Біодизель також підтримує концепцію циркулярної економіки, яка спрямована на раціональне використання ресурсів і мінімізацію відходів. Вирощування ріпаку як основної сировини для біодизелю сприяє сталому розвитку сільського господарства. Ріпакова культура не лише забезпечує пальне, але й покращує родючість ґрунту, діючи як сидерат. Крім того, побічні продукти виробництва біодизелю, такі як шрот і гліцерин, знаходять застосування у кормовій промисловості та хімічному виробництві, що дозволяє зменшити кількість відходів і створювати додаткову економічну вигоду.

Важливим екологічним аспектом є здатність біодизелю значно зменшувати парникові гази в атмосфері. Парниковий ефект, викликаний накопиченням CO₂, є однією з основних причин зміни клімату, і використання біодизелю допомагає вирішувати цю проблему. Оскільки виробництво і спалювання біодизелю є частиною природного кругообігу вуглецю, цей вид пального не лише не збільшує, а й може зменшувати загальний рівень CO₂ у атмосфері. Це робить його ключовим компонентом у глобальних зусиллях з декарбонізації енергетики.

Таблиця 5

Екологічність і нульовий вуглецевий слід біодизелю

Показники	Значення	Примітка
Викиди CO ₂ під час спалювання, кг/т	2 500	Як і у традиційного дизельного
Вуглецеве поглинання ріпаком, кг CO ₂ /т	~2 500	Поглинання під час вирощування
Нульовий вуглецевий слід	Так	Баланс між викидами та поглинанням
Викиди SO _x та інших забруднювачів	Знижені на 80%	Порівняно із традиційним дизелем
Екологічна користь	Зменшення парникових газів	Біодизель підтримує концепцію циркулярної економіки

Джерело: розраховано за даними [9]

Висновки. Водночас, хоча біодизель є екологічно чистим паливом, його широкомасштабне виробництво вимагає використання значних площ для вирощування ріпаку чи інших олійних культур. Це може створювати конкуренцію з продовольчими культурами за земельні ресурси, особливо в регіонах із обмеженими орними землями. Таким чином, для максимізації екологічної вигоди від використання біодизелю необхідно забезпечувати збалансований підхід до землекористування, враховуючи як економічні, так і екологічні аспекти.

У підсумку, екологічність біодизелю визначається його здатністю створювати нульовий вуглецевий слід, суттєво знижувати викиди шкідливих речовин та підтримувати циркулярну економіку. Його використання є ефективним засобом зменшення негативного впливу на довкілля, сприяючи сталому розвитку енергетики та сільського господарства. Проте необхідність раціонального підходу до вирощування сировини підкреслює важливість інтегрованого планування виробництва і використання біодизелю.

Список використаних джерел:

1. Приходько І., Ігнатишин В., Приходько Ю. Особливості розвитку відновлювальної енергетики в Україні та світі. *Економіка та суспільство*. 2024. No. (62). DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-62-47>
2. Kostetska, K., Gordiichuk, Y., Movchaniuk A., Vdovenko, N., Nahornyi, V., & Koval, V. Inclusive development of social entrepreneurship in nature management. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2021. No. 30 (3). P. 500–511.
3. Guo J-Q, Li M-J, He Y-L, Xu J-L. A study of new method and comprehensive evaluation on the improved performance of solar power tower plant with the CO₂-based mixture cycles. *Appl Energy* 2019. 256:113837. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113837>
4. Wang Z, Liu M, Yan J. Flexibility and efficiency co-enhancement of thermal power plant by control strategy improvement considering time varying and detailed boiler heat storage characteristics. *Energy* 2021. No. 232. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121048>
5. Skrypnik A., Namiasenko Yu., Sabishchenko O. Renewable energy as an alternative of the decentralization energy supply in Ukraine. *International Journal of Innovative Technologies in Economy*. 2018. №1(13). P. 121–127.
6. Wang Z, Liu M, Zhao Y, Wang C, Chong D, Yan J. Flexibility and efficiency enhancement for double-reheat coal-fired power plants by control optimization considering boiler heat storage. *Energy*. 2020. No. 201. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117594>
7. Wang Z, Liu M, Yan H, Yan J. Optimization on coordinate control strategy assisted by high-pressure extraction steam throttling to achieve flexible and efficient operation of thermal power plants. *Energy*. 2022. No. 244. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122676>
8. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Постанова Кабінету Міністрів України. від 18.08.2017. № 605-р. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605_2017_%D1%80 (дата звернення: 10.03.2025).
9. Біодизель з ріпаку: як виготовити, плюси, мінуси та ціна питання. 2022. URL: <https://latifundist.com/cards/64-biodizel-z-ripaku-yak-vigotoviti-plyusi-minusi-ta-tsina-pitannya> (дата звернення: 10.03.2025).

References:

1. Prykhod'ko I., Ihnatyshyn V., Prykhod'ko Yu. (2024) Osoblyvosti rozvytku vidnovlyuval'noyi enerhetyky v Ukrayini ta sviti [Peculiarities of the development of renewable energy in Ukraine and the world]. *Ekonomika ta suspil'stvo – Economy and Society*, no. (62). DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-62-47>
2. Kostetska, K., Gordiichuk, Y., Movchaniuk A., Vdovenko, N., Nahornyi, V., & Koval, V. (2021). Inclusive development of social entrepreneurship in nature management. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, no. 30 (3), pp. 500–511.
3. Guo J-Q, Li M-J, He Y-L, Xu J-L (2019) A study of new method and comprehensive evaluation on the improved performance of solar power tower plant with the CO₂-based mixture cycles. *Appl Energy*, no. 256. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113837>
4. Wang Z, Liu M, Yan J (2021) Flexibility and efficiency co-enhancement of thermal power plant by control strategy improvement considering time varying and detailed boiler heat storage characteristics. *Energy*, no. 232. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121048>
5. Skrypnik A., Namiasenko Yu., Sabishchenko O. (2018) Renewable energy as an alternative of the decentralization energy supply in Ukraine. *International Journal of Innovative Technologies in Economy*, no. 1(13). pp. 121–127.
6. Wang Z, Liu M, Zhao Y, Wang C, Chong D, Yan J (2020) Flexibility and efficiency enhancement for double-reheat coal-fired power plants by control optimization considering boiler heat storage. *Energy*, no. 201. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117594>
7. Wang Z, Liu M, Yan H, Yan J (2022) Optimization on coordinate control strategy assisted by high-pressure extraction steam throttling to achieve flexible and efficient operation of thermal power plants. *Energy*, no. 244. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122676>
8. Enerhetychna stratehiya Ukrayiny na period do 2035 roku "Bezpeka, enerhoefektyvnist', konkurentospromozhnist'". Postanova Kabinetu Ministriv Ukrayiny, vid 18.08.2017. №605-p. [Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2035 "Security, Energy Efficiency, Competitiveness". Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine. dated 18.08.2017. No. 605-p.]. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605_2017_%D1%80 (accessed March 10, 2025).
9. URL: <https://latifundist.com/cards/64-biodizel-z-ripaku-yak-vigotoviti-plyusi-minusi-ta-tsina-pitannya> (accessed March 10, 2025).