

УДК 502.3:556

DOI [https://doi.org/10.15589/znp2026.1\(503\).2.28](https://doi.org/10.15589/znp2026.1(503).2.28)ASSESSMENT OF THE METHANOGENIC POTENTIAL
OF FOOD INDUSTRY WASTEОЦІНКА МЕТАНОГЕННОГО ПОТЕНЦІАЛУ
ВІДХОДІВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**Dmytro V. Mariin**

dimamariyn@gmail.com

ORCID: 0009-0005-7595-6335

Halyna V. Sakalova

sakalova@vntu.edu.ua

ORCID: 0000-0002-9610-0967

Д. В. Марійн,

аспірант

Г. В. Сакалова,

докт. техн. наук, професор

*Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia**Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця*

Abstract. Purpose. A promising area of future energy development is biogas production, which involves the production of methane by certain microorganisms in an oxygen-free environment. In the literature part of the article, a review of the methane fermentation process was conducted. Taking into account the potential present in Ukraine, the biomass use for energy production is the most attractive option. The use of organic waste in the methane fermentation process is a key solution to the pressing environmental issue of safe waste disposal. The objective of the work was to identify and analyze rapid direct and indirect methods for assessing the methanogenic potential of organic raw materials. This was done to determine their technological and economic feasibility for use in biogas production.

Method. The biomass used as raw material for biogas production varies significantly in terms of physical and chemical properties. When selecting potential biogas feedstock, it is recommended to measure the ratio of the intensity of UV bands (ultraviolet spectroscopy) of organic to methanogenic substances, as well as to determine the amount of Nitrogen present in organic compounds (thus estimating the C:N ratio), with the exception of molecular Nitrogen.

Results. Studies have been conducted that summarized spectrophotometric indicators with other physical and chemical indicators for rapid determination of the methanogenicity of raw materials for biogas production.

Scientific novelty. It was determined that pomace acidic wastewater is characterized by an exceptionally high content of readily oxidizable organic matter, a low degree of humification, and a favorable C:N ratio, indicating a high suitability for methanogenesis. The limiting factors are the acidic nature of the medium and insufficient buffering capacity, which require prior neutralization or co-digestion.

Practical importance. Based on the preliminary analysis, it was determined the methods of pre-treatment of raw materials for biogas production in the process of anaerobic decomposition with the aim of preparing substrates that would be more suitable for anaerobic fermentation.

Key words: organic waste; biofuels; biogas; methane fermentation; UV spectroscopy.

Анотація. Мета. Перспективною галуззю майбутнього розвитку енергетики є виробництво біогазу, засноване на виробництві метану певними мікроорганізмами в безкисневому середовищі. З огляду на потенціал, наявний в Україні, використання біомаси для виробництва енергії є найбільш привабливим варіантом. Використання органічних відходів у процесі метанової ферментації є ключовим рішенням нагальної екологічної проблеми їх безпечної утилізації. Метою роботи було визначення та аналіз швидких прямих та непрямих методів оцінки метаногенного потенціалу органічної сировини, з метою визначення їх технологічної та економічної доцільності використання у виробництві біогазу.

Методика. Біомаса, яка є сировиною для виробництва біогазу, характеризується різноманітністю як за фізичними, так і за хімічними властивостями. У потенційній біогазовій сировині рекомендовано вимірювати співвідношення інтенсивності смуг УФ (ультрафіолетова спектроскопія) органічних до метаногенних речовин, а також визначати кількість азоту, присутнього в органічних сполуках (таким чином оцінювати співвідношення C:N), за винятком молекулярного азоту.

Результати. Були проведені дослідження, в яких узагальнювалися спектрофотометричні показники з іншими фізичними та хімічними показниками для швидкого визначення метаногенності сировини у виробництві біогазу.

Наукова новизна. Визначено, що жомовокислі води характеризуються надзвичайно високим вмістом легко-окиснюваної органічної речовини, низьким ступенем гуміфікації та сприятливим співвідношенням C:N, що свідчить про їх високу придатність до метаногенезу. Обмежувальними факторами є кисла реакція середовища та недостатня буферна здатність, що потребує попередньої нейтралізації або додавання лужних речовин до субстрату.

Практичне значення. На основі узагальнюючого аналізу визначено методи попередньої обробки сировини для виробництва біогазу в процесі анаеробного розкладання з метою підготовки субстратів, які б були більш придатними для анаеробного бродиння.

Ключові слова: органічні відходи; біопаливо; біогаз; метанова ферментація; УФ-спектроскопія.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Проведення довгострокової політики в області переробки відходів та біоенергетиці особливо актуальні для сьогодення, оскільки війна на території України спричинила глибоку та затяжну енергокризу, вихід з якої передбачає широкомасштабні комплексні заходи використання альтернативних екологічних джерел енергії.

Для створення широкомасштабної біоенергетичної індустрії Україні потрібно якнайшвидше забезпечити її основні складові:

1. Перевернені ефективні промислові технології виробництва біогазу та його конверсії.

2. Масштабна та доступна сировинна база, що дозволяє побічно вирішувати важливу екологічну задачу – переробка відходів та біомаси, яка швидко псується.

3. Високорентабельне та надійне обладнання [1].

Протягом останніх років джерела біоенергії набули особливого значення через турботу про навколишнє середовище, а також через зростання цін на первинні (невідновлювальні) енергоносії. У зв'язку з цим у багатьох країнах, особливо в Європейському Союзі, великий акцент робиться на використанні відновлюваних джерел енергії, які покривають все більшу частину потреб в енергії [2]. Використання органічних відходів, як первинних енергоносіїв дозволяє вирішити екологічну проблему їх безпечної утилізації та зберігання.

Сучасні технології виробництва біогазу досить складні, як і інші біотехнології, тривалі і високо витратні. Використання порівняно дешевої біомаси і біовідходів дозволяє інтенсифікувати метаногенез і отримувати цільовий продукт з меншими економічними затратами, а також екологічно безпечно і ефективно утилізувати відходи та побічні продукти. Тому питання вивчення структури і складу такої біомаси а також стимулюючих добавок тваринного і рослинного походження, здатних підвищувати вихід метану, має актуальність і викликає практичний інтерес [3].

Біогазові проекти в агропромисловому секторі можуть бути організовані одним із таких способів:

– виробництво біогазу на базі відходів окремого підприємства (наприклад, гною тваринницької ферми, жому цукрового заводу, барди спиртового заводу), при цьому один вид відходу буде домінуючим;

– виробництво біогазу на базі відходів різних підприємств, з прив'язкою проекту до окремого підприємства або окремо розташованої централізованої БГУ;

– виробництво біогазу з переважним використанням енергетичних рослин на окремо розташованих БГУ.

Біогазові проекти в житлово-комунальному секторі можуть бути організовані наступним чином:

– виробництво біогазу з органічної частини твердих побутових відходів, що збираються одним або декількома комунальними підприємствами;

– виробництво біогазу з осадів станцій очищення стічних вод;

– збір біогазу на полігонах і звалищах ТПВ.

Для місцевостей, орієнтованих на вирощування та переробку продуктів рослинництва і тваринництва (а до них відноситься і Вінницька область), біогаз є найбільш перспективним альтернативним енергетичним продуктом. Сьогодні декілька високорентабельних фермерських господарств та підприємств харчової промисловості Вінницької області виробляють біогаз для власних потреб на когенераторних установках невеликих потужностях (250-500 кВт). Застосування ж біогазових електростанцій дозволило б ефективно стабілізувати рівень електрозабезпечення окремих регіонів без додаткових реконструкцій наявних електромереж. Автономна робота когенераторних біоустановок може забезпечити споживачів електроенергією стабільних параметрів по частоті і напрузі а також стабільною за температурою тепловою енергією. Головною умовою ефективного продукування біогазу є безперебійне забезпечення сировиною.

Перетворення органічних відходів у біогаз відбувається в результаті цілого комплексу складних біохімічних перетворень. Цей процес отримав назву ферментації біомаси. Він відбувається лише завдяки бактеріям та здійснюється у спеціальних технологічних установках – ферментаторів. Біогазові установки є основним обладнанням для переробки різноманітних органічних відходів агропромислового комплексу, комунальних відходів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Згідно сучасних досліджень (1–4), та останніх реалізацій промислових проектів, процесі метанової

ферментації можна переробляти багато видів органічної речовини, переважно відходів, що дозволяє вирішити важливу екологічну задачу їх безпечної утилізації. Вхідними матеріалами для процесу метанової ферментації можуть бути різні види матеріалів, так звані субстрати (Рис. 1), які використовують самостійно, або у вигляді сумішей.

Для нашого регіону основні сировинні джерела для виробництва біогазу можливо розділити на п'ять основних груп:

- 1) продукти натуральної вегетації (деревинні відходи, пилове сміття);
- 2) біомаса рослинного походження (солома, силос та ін.);
- 3) відходи життєдіяльності людей (ТВП, макулатура, відходи промислових підприємств та комунальних господарств);
- 4) відходи сільського господарства та агропереробних підприємств (меляса, жом, барда спиртова, гній та ін.);
- 5) спеціально вирощення швидкорослі рослини (рапс).

Для ефективного проведення метаногенезу, субстрати повинні відповідати певній групі вимог [4]:

1. Вологість і вміст сухої маси (TS, %). Вологість це необхідний агент у масообмінних процесах у біореакторах всіх типів. Для біореакторів з «вологим типом» зброджування необхідний мінімум вологості сировини становить 90%, оптимальне значення 92÷94%. Низький вміст сухої речовини (менше 10%) може призвести до проблем із перемішуванням та транспортуванням завантаження, тоді як занадто високий вміст (понад 40%) може ускладнювати рівномірний розподіл органічної речовини мікроорганізмами та спричиняти блокування в системі.

2. Структура відходів: це основна група показників, що безпосередньо вказує на ступінь біодеструкції органічної сировини і придатність відходів до метаногенезу. До цієї групи належать хімічні показники

(вміст Карбону загального, розчиненого, окремих інших компонентів, співвідношення біогенних речовин, вміст мікронутрієнтів та ін), та фізичні, основний з яких – це розмір частинок та температура субстрату.

3. Температура процесу і рН наповнення біореактора. Для мезофільної метанізації оптимальною є температура 35–37°C, для термофільної 55–60°C. Оптимальний рівень рН зазвичай становить від 6,8 до 7,5. Відхилення можуть гальмувати активність мікроорганізмів і порушувати процес ферментації. Однак оптимальний рівень рН є різним для популяцій мікроорганізмів, характерних для окремих етапів ферментації, тому деякі дослідники [4] рекомендують визначати рН саме для субстрату.

4. Вміст у субстраті твердих домішок, що не підлягають біорозкладу. Ця група показників впливає на час утримання субстратів у реакторі, ступінь зношування обладнання, якість утвореного дигестату, як добрива. Також наявність домішок впливає негативно на ряд економічних показників: за рахунок збільшення енергетичних потреб для підтримки температури та перемішування у реакторі підвищується собівартість біогазу.

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Метаногенний потенціал субстратів (або ж Потенціал продукції метану, *ang. Biochemical Methane Potential, BMP*) визначається переважно за показниками другої групи (структура відходів). При цьому прямими показниками вважають два наступних:

- Питомий вихід біогазу;
- Співвідношення вмісту Карбону до Нітрогену:

(Оптимальне C:N сировини чи суміші на вході в біореактор C:N = 20...30 за масою).

Питомий вихід біогазу визначають наступними методами (Рис. 2) [5].

Теоретичні методи надають дуже загальну інформацію, оскільки сировина природного походження значно різниться за складом залежно від регіону



Рис. 1. Субстрати, що використовують у виробництві біогазу

походження, сезону, часу зберігання та ін. Експериментальні методи, як і інші біотехнологічні процеси, потребують багато часу для досліджень, є чутливими до зовнішніх факторів та трудомісткими. Що до визначення співвідношення C:N, то здійснити такий аналіз можливо у бідь-якій хімічній лабораторії, однак він також досить трудомісткий, якщо не використовувати вартісний прилад для елементарного аналізу атомів-органогенів. Аналіз останніх публікацій [4–6], показує, що для попереднього аналізу сировини що до її придатності до метаногенезу можливо застосовувати ряд непрямих показників, які дозволяють оцінити, наскільки субстрати біодоступні та придатні до метаногенезу.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Мета нашого дослідження полягала у визначенні та аналізі швидких прямих та непрямих методів оцінки метаногенного потенціалу органічної сировини, з метою визначення їх технологічної та економічної доцільності використання у виробництві біогазу.

Під час метанової ферментації, що проводиться в контрольованих умовах (у ферментаційній камері) в біогазовій установці, відбувається розкладання органічної речовини з утворенням біогазу, основним компонентом якого є метан (CH₄). Процес метанової ферментації відбувається за участю мікроорганізмів у певних умовах навколишнього середовища, які значною мірою впливають на активність і швидкість перетворень. Він відбувається завдяки бактеріям, тому необхідно створити для них відповідні умови існування, а саме: доступ до необхідної кількості поживних речовин, відповідну температуру, усунути фактори, що уповільнюють процес. Ферментаційні мікроорганізми чутливі до деяких хімічних речовин, що надходять разом із сировиною або є проміжними продуктами процесу розкладання. Тому потенційну здатність сировини до метаногенезу визначають не лише за наявністю в ній легко ферментованих

органічних складових (цукри, жири, білки) а й відповідність біомаси умовам активності ферментів.

УФ-спектроскопічні методи дозволяють швидко оцінити наскільки субстрати «свіжі» та придатні до метаногенезу а також час їх можливого зберігання. Однак для прогнозування виходу біогазу ці показники варто інтерпретувати з окремим прямими показниками. За нашими дослідженнями було визначено спектрофотометричні показники в узгодженості з іншими фізичними та хімічними показниками для швидкого «скринінгу» метагенності сировини та її придатності для виробництва біогазу. Представлені окремі виміри, та показники, переважно співвідношення і індекси, що потребують додаткових розрахунків [7]:

$$\frac{E_2}{E_3} = \frac{A_{250}}{A_{365}}; \tag{1}$$

Де A₂₅₀, A₃₆₅ – оптична густина відповідно при 250 та 365 нм.

$$UV_{254/280} = \frac{A_{254}}{A_{280}}; \tag{2}$$

Де A₂₅₄, A₂₈₀ – оптична густина відповідно при 254 та 280 нм.

$$SUVA = \frac{A_{254} \cdot 100}{DOC}; \tag{3}$$

Де DOC – Dissolved Organic Carbon – концентрація розчиненого Карбону, визначеного у фільтрованому зразку (мг/дм³).

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Обрані спектрофотометричні показники, які свідчать про біодоступність сировини, узагальнені в Таблиці 1.

Придатність до метаногенезу органічної речовини завжди оцінюють разом з прямим показником перманганатної окиснюваності (ОП). Лише за високим (або ж хоча б помірним значенням) ОП субстрат вважається біодоступним. Визначають ОП за стандартною методикою [7], досить швидко, тому цей показник дуже зручний для попереднього аналізу.

Також дуже важливо провести визначення непрямих показників, які є опосередкованими для оцінки



Рис. 2. Методи визначення питомого виходу біогазу

Таблиця 1. Спектрофотометричні показники субстратів та метаногенез

Спектрофотометричний Показник	Що характеризує	Значення за високим ступенем метаногенезу	Особливості аналізу та обмеження
A254*	Стабільний вуглець переважно ароматичного характеру	Помірне або низьке	Додатково характеризує відношення загального вуглецю до розчинного
A280*	Білки, амінокислоти, фенольні і інші ароматичні сполуки	Високе	–
A250*	Вміст нітратів і нітритів	Низьке	Високий вміст Нітрогену органічного походження знижує достовірність показника
A365*	Гумінові речовини та фульвокислоти	<1	Використовують як альтернативу Aw410. За значеннях >1 порушується оптимальне співвідношення C:N (збільшення азоту)
Aw 410, м ⁻¹	Гумінові речовини та фульвокислоти, продукти розкладу рослин, кольоровість	Низький	Додатково вказує на ефективність коагуляції (високе значення). Високий показник корелює з високим значенням ХСК.
E ₂ /E ₃	Структура гумусових речовин та ступінь конденсації.	Високе	Високий вміст Нітрогену знижує достовірність показника
UV _{254/280}	Білки, органічний Нітроген	<1,8	Значення 1,2÷1,6 вказує на оптимальне значення C:N
SUVA	Тип органічного C	<2	Наявність мікрозабруднень органічного походження знижує достовірність результату

*Кювета 1см

бідодоступності сировини: вони визначають фактори підтримання/або ж гальмування процесу метанізації. До таких показників відносять: обов'язкові рН, температура, вміст сухої речовини; показники жорсткості, електропровідність, забарвлення, мутність, загальна мінералізація та ін., визначають, якщо сировина має певні особливості, або ж потрібно визначитись з попередньою обробкою субстрату.

Наприклад, для попередньої оцінки метагенного потенціалу нашого об'єкту дослідження: жомокислі води, як стічні води цукрового виробництва обрані наступні показники (Таблиця 2):

Таблиця 2. Показники характеристики жомовокислих вод щодо метаногенезу

Показник	Типові середні значення	Значення для метаногенезу
ОП	1000-5000мг О ₂ /дм ³	Сприятливе
A254*	Помірне або низьке	Сприятливе
A280*	Високе	Сприятливе
UV _{254/280}	1,2÷1,8	Сприятливе, оптимальне значення C:N
SUVA	1,8÷2,1	Переважно сприятливе
pH	4,5÷6,0	Необхідна попередня нейтралізація
Електропровідність	помірна	Нейтральне
Жорсткість	помірна	Нейтральне

*Кювета 1см

Визначено, що вимірювання даних показників [8] необхідно провести для свіжих жомовокислих вод, та при їх зберіганні в часових інтервалах: тиждень, два тижні, місяць. При сезонному виробництві, та враховуючи об'єми стічних вод реально діючого цукрового підприємства, аналізувати сировину при тривалішому зберіганні недоцільно. При попередньому аналізі типових середніх показників визначено, що

жомовокислі води мають високий вміст легкоокиснюваної органічної речовини, низький ступінь гуміфікації та співвідношення C:N до оптимального.

ВИСНОВКИ

Використання органічних субстратів у процесі метанової ферментації є ключовим рішенням нагальних проблем ефективного виробництва альтернативних джерел енергії та екологічної безпечної утилізації відходів.

Проведені дослідження узагальнили спектрофотометричні показники з іншими фізичними та хімічними показниками швидкого визначення для швидкого «скринінгу» метагенності сировини у виробництві біогазу.

Визначено, що попередню оцінку метагенного потенціалу субстратів, зокрема жомовокислих стічних вод варто проводити на основі спектрофотометричних показників органічної речовини (UV₂₅₄, UV₂₈₀, Aw₄₁₀, UV₂₅₄/UV₂₈₀), які характеризують її структуру та бідодоступність. Перманганатна окиснюваність є доцільною для визначення органічного вуглецю, що легко окиснюється, як додатковий індикатор метагенного потенціалу субстратів. Жорсткість, електропровідність та рН біомаси варто розглядати як специфічні показники об'єкту дослідження, зокрема буферної здатності та іонного фону середовища, що є необхідні для ефективної роботи мікроорганізмів та максимального біорозкладу сировини.

Визначено, що жомовокислі води характеризуються показниками, що свідчать про їх високу придатність до метаногенезу. Обмежувальними факторами є кисла реакція середовища та низька буферна здатність, що потребує нейтралізації або змішування їх у субстраті з лужними компонентами на стадії попередньої підготовки.

REFERENCES

- [1] Voytovych, I.; Malovanyy, M.; Zhuk, V.; Mukha, O. (2020). Facilities and problems of processing organic wastes by family-type biogas plants in Ukraine. *J. Water & Land Develop.*, 45(IV–VI), 185–189. <https://doi.org/10.24425/jwld.2020.133493>.
- [2] Geletukha, G.G.; Zheliezna, T.A.; Drahniiev, S.V.; Kucheruk, P.P.(2023). Perspektyvy vyrobnytstva peredovykh biopalyv v Ukraini. [Prospects for the production of advanced biofuels in Ukraine] *Enerhotekhnolohiyi ta resursozberezhennya – Energy Technologies & Resource Saving*, 76(3), 71–82. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.33070/etars.3.2023.06>
- [3] Zhaldak, M.P.; Polyuha, V.O.; Mokrousova, O.R. (2024). Zaprovdzhennya pryntsyyp staloyi bioekonomiky u pererobtsi syrovyny biohennoho pokhodzhennya. Zelena transformatsiya ta stala bioekonomika. [Introduction of sustainable bioeconomy principles in the processing of biogenic raw materials. Green transformation and sustainable bioeconomy]. Kyiv: KNUTD, 383-415. [in Ukrainian]. ISBN 978-617-7763-34-4.
- [4] Antosz, A. (2024). Research on the methanogenic fermentation process of lignocellulosic substrates. *Nafta-Gaz*, (9), 581–591, <https://doi.org/10.18668/NG.2024.09.06>
- [5] Larinaa, Y.; Galchynskab, J.; Kucherukc, P.; Zghurskad, O.; Ortinae, G.; Al-Nadzhahf, F.; Maruseig, T.; Kubońh, M.; Dzieniszewski, G. (2021). Estimation of the domestic agricultural sector potential for the growth of energy cultures for bioenergy fuel production. *Agricultural Engineering*, 25(1), 73-82. <https://doi.org/10.2478/agriceng-2021-0006>
- [6] Tymchuk, I.; Malovanyy, M.; Shkvirko, O.; Yatsukh, K.(2021). Sewage Sludge as a Component to Create a Substrate for Biological Reclamation. *Ecol. Eng. Environ. Technol.*, 22(4), 229–237. <https://doi.org/10.12912/27197050/137863>
- [7] Espinheira Martins, R. J; De A. Pietrobelli, J. M. T.; Mazur, A. (2022). Effluent Characterization and Waterbody Monitoring from An Olive Pomace Oil Extractor Industry. *Agricultural Engineering*, 11(5), 120–123. ISSN: 2278-0181, Retrieved from <https://www.ijert.org>
- [8] Gupta, M.; Torrico, D. D.; Hepworth, G.; Gras, S. L.; Ong, L.; Cottrell, J.J.; Dunshea, F. R. (2021). Estimation of the domestic agricultural sector potential for the growth of energy cultures for bioenergy fuel production. *Agricultural Engineering*, 25(1), 73–82, <https://doi.org/10.3390/foods10061237>

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Voytovych, I.; Malovanyy, M.; Zhuk, V.; Mukha, O. (2020). Facilities and problems of processing organic wastes by family-type biogas plants in Ukraine. *J. Water & Land Develop.*, 45(IV–VI), 185–189. <https://doi.org/10.24425/jwld.2020.133493>.
- [2] Гелетуха, Г.Г.; Желєзна, Т.А.; Драгнєв, С.В.; Кучерук, П.П. (2023). Перспективи виробництва передових біопалив в Україні. *Енерготехнології та ресурсозбереження*, 76(3), 71–82.
- [3] Жалдак, М.П.; Полюга, В.О.; Мокроусова, О.Р. (2024). Запровадження принципів сталої біоекономіки у переробці сировини біогенного походження. Зелена трансформація та стала біоекономіка. Київ: КНУТД, 383–415. ISBN 978-617-7763-34-4.
- [4] Antosz, A. (2024). Badania nad procesem fermentacji metanowej substratów lignocelulozowych. *Nafta-Gaz*, (9), 581–591, <https://doi.org/10.18668/NG.2024.09.06>
- [5] Larinaa, Y.; Galchynskab, J.; Kucherukc, P.; Zghurskad, O.; Ortinae, G.; Al-Nadzhahf, F.; Maruseig, T.; Kubońh, M.; Dzieniszewski, G. (2021). Estimation of the domestic agricultural sector potential for the growth of energy cultures for bioenergy fuel production. *Agricultural Engineering*, 25(1), 73-82. <https://doi.org/10.2478/agriceng-2021-0006>
- [6] Tymchuk, I.; Malovanyy, M.; Shkvirko, O.; Yatsukh, K.(2021). Sewage Sludge as a Component to Create a Substrate for Biological Reclamation. *Ecol. Eng. Environ. Technol.*, 22(4), 229–237. <https://doi.org/10.12912/27197050/137863>
- [7] Espinheira Martins, R. J; De A. Pietrobelli, J. M. T.; Mazur, A. (2022). Effluent Characterization and Waterbody Monitoring from An Olive Pomace Oil Extractor Industry. *Agricultural Engineering*, 11(5), 120–123. ISSN: 2278-0181, Retrieved from <https://www.ijert.org>
- [8] Gupta, M.; Torrico, D. D.; Hepworth, G.; Gras, S. L.; Ong, L.; Cottrell, J.J.; Dunshea, F. R. (2021). Estimation of the domestic agricultural sector potential for the growth of energy cultures for bioenergy fuel production. *Agricultural Engineering*, 25(1), 73–82, <https://doi.org/10.3390/foods10061237>

© Маріін Д. В., Сакалова Г. В.

Дата першого надходження статті до видання: 20.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 19.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 22.05.2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)