

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-67-6>

УДК 620.952:330.131.5

ОЦІНКА ПРАКТИКИ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ НА ЦУКРОВИХ ЗАВОДАХ В КОНТЕКСТІ ФОРМУВАННЯ ЗАКРИТОГО ЦИКЛУ ВИРОБНИЦТВА

EVALUATION OF BIOGAS PRODUCTION PRACTICES AT SUGAR FACTORIES IN THE CONTEXT OF FORMING A CLOSED PRODUCTION CYCLE

Гонтарук Ярослав Вікторович

кандидат економічних наук,
Вінницький національний аграрний університет
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7616-9422>

Ревков Олег Анатолійович

аспірант,
Вінницький національний аграрний університет
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9533-4077>

Gontaruk Yaroslav, Revkov Oleh
Vinnytsia National Agrarian University

У науковому дослідженні розглядаються перспективи використання потенціалу переробної сфери агропромислового комплексу України задля дослідження інновацій зелених технологій за економічного розвитку в умовах військового стану. На основі проведених досліджень доведено, що технологічні інновації в АПК сприяють економічному розвитку та покращенню якості сільськогосподарських угідь. Здійснено аналіз успішної реалізації кейсу ТОВ «Юзефо-Миколаївської БГК», що успішно провело виробничу реструктуризацію потужностей цукрового заводу та здійснило виробництво біогазу та дигестату з подальшою переробкою на електроенергію, а також внесення добрив. Виокремлено сучасні потужності досліджуваного підприємства, що дають можливість виробляти 2800 м³ біогазу та забезпечувати виробництво 5200 кВт/год електроенергії при цьому споживання не перевищує 150 кВт, при завантаженості 80%. Об'єм виробленого дигестату на рік складає 100 тис. т. З регіональної точки зору, запроваджені екологічні інноваційні технології в покращують якість сільськогосподарських угідь та формують закритий цикл виробництва. Запропоновано ефективний механізм просторової синергії з адаптацією даної практики на більшості цукрових заводів шляхом виробничої реструктуризації – створення біогазових виробництв на базі цукрових заводів. Як довгострокову перспективу розвитку запропоновано подальше створення спиртових виробництв для використання надлишків теплової енергії з міні ТЕЦ для виробництва спирту та біоетанолу. Окрім того, це дослідження підтверджує нелінійний ефект економічного розвитку; вагомий результат свідчить про те, що підвищення рівня регіонального економічного розвитку галузі АПК сприяє впливу інновацій зелених технологій на покращення якості сільськогосподарських угідь (вміст гумусу у ґрунтах, обсяг внесення мінеральних, органічних добрив, пестицидів, площа земель, зайнятих під органічним виробництвом та інші). З'ясовано посередницьку роль економічного розвитку АПК. Результати даного дослідження імплементують завдання сталого розвитку, як покращення стану навколишнього середовища через інновації зелених технологій та досягнення регіональної синергії у зелений розвиток.

Ключові слова: інновації, відходи, дигестат, біогаз, цукрові заводи, переробка.

The formulation of the problem consists in a comprehensive analysis and assessment of the practice of biogas production at sugar factories in order to determine its effectiveness and the possibility of forming a closed cycle of production in the agro-industrial complex. This study delves into the practical application of biogas production at sugar factories, assessing its efficacy in establishing a closed-loop production cycle within the agro-industrial complex. While previous research has explored biogas production in agriculture, a comprehensive analysis of its implementation in sugar factories and the specific benefits of a closed-loop system remains under-investigated. This study aims to fill this gap. The research highlights the advantages of biogas production at sugar factories, including reduced waste, increased energy efficiency, and the production of high-quality organic fertilizers (digestate). A case study of a Ukrainian sugar factory is presented to illustrate the economic viability and environmental benefits of

such a system. The analysis demonstrates that biogas production can significantly reduce reliance on traditional energy sources, improve soil fertility, and increase crop yields. Moreover, the study underscores the importance of optimizing the application of digestate as a fertilizer, highlighting the benefits of using specialized equipment for injection and distribution. Key findings of this study include: the economic feasibility of biogas production at sugar factories; the environmental benefits of reducing waste and improving soil quality; the potential for increased crop yields through the use of digestate as a fertilizer; the importance of optimizing the application of digestate for maximum benefits. Overall, this research provides valuable insights into the potential of biogas production in creating a sustainable and efficient agro-industrial complex. The mediating role of the economic development of the agro-industrial complex has been clarified. The results of this study implement the task of sustainable development, such as improving the state of the environment through green technology innovations and achieving regional synergy in green development.

Keywords: innovations, waste, digestate, biogas, sugar factories, processing.

Постановка проблеми полягає у комплексному аналізі та оцінці практики виробництва біогазу на цукрових заводах з метою визначення її ефективності та можливості формування замкнутого циклу виробництва в агропромисловому комплексі. Незважаючи на значний потенціал цукрових заводів для виробництва біогазу та створення замкнутого циклу виробництва, ця галузь в Україні стикається з низкою проблем, які перешкоджають її повноцінному розвитку розвитку як основного виробника біогазу та дигестату. Аналіз успішних кейсів, що вже реалізуються на окремих заводах цукрової налузі спрямованих на виробництво біогазу та біометану, а також перспектив здешевлення внесення органічних добрив є недостатньо вивченим то потребує поглибленого аналізу.

Сформульовані проблеми підкреслюють необхідність комплексного підходу до вирішення питання розвитку виробництва біогазу на цукрових заводах. Потрібна спільна робота державних органів, наукових установ, підприємств та міжнародних організацій для створення сприятливих умов для розвитку цієї галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема забезпечення розвитку виробництва біогазу на підприємствах АПК та структурним змінам в даній галузі присвячені наукові праці Гончарук І.В. [1], Панцирева Г.В. [2], Булгакова В. [4], Фурман І.В. [5, 6, 8] та Мазур К.В. [7]. Проте дослідження практики виробництва біогазу на цукрових заводах в контексті формування закритого циклу виробництва є надзвичайно необхідним, що зумовлює актуальність даного дослідження.

Формулювання цілей статті. Незважаючи на наявність значної кількості наукових праць, та проведені дослідження провідними вченими в сфері виробництва біогазу, актуальним залишається дослідження економічної ефективності формування закритого циклу виробництва біогазу та доцільності

використання дигестату в сільському господарстві.

Виклад основного матеріалу дослідження. Виробництво біогазу на цукрових заводах – це перспективний напрямок, який дозволяє створити замкнутий цикл виробництва в агропромисловому комплексі. Цей процес передбачає використання відходів цукрового виробництва (жом, меляса) як сировини для отримання біогазу, який у подальшому може бути використаний для виробництва електроенергії, тепла або як паливо для транспортних засобів.

Переваги такого підходу наступні:

- екологічність: зменшення обсягу органічних відходів, які зазвичай утилізуються на звалищах, що призводить до виділення шкідливих речовин у довкілля;

- економічна ефективність: зменшення витрат на утилізацію відходів, отримання додаткового доходу від продажу біогазу та органічних добрив;

- енергетична незалежність: зменшення залежності від традиційних енергоносіїв та підвищення енергетичної безпеки підприємства;

- висока якість органічних добрив: дигестат, що утворюється в процесі виробництва біогазу, є високоякісним органічним добривом, яке підвищує родючість ґрунтів.

Сьогодні в Україні успішно реалізується кейс ТОВ «Юзефо-Миколаївська БГК», яке успішно провело реструктуризацію виробництва цукрового заводу та виробляє біогаз і дигестат із подальшою переробкою на електроенергію та внесенням добрив. Техніко-економічні показники будівництва Юзефо-Миколаївської біогазової станції потужністю МВт представлені у даних табл. 1.

Так, сучасні потужності досліджуваного підприємства дозволяють виробляти 2800 м³ біогазу та забезпечувати виробництво 5200 кВт/год електроенергії при споживанні не більше 150 кВт при навантаженні

Таблиця 1

**Дослідження техніко-економічних показників будівництва
Юзефо-Миколаївської біогазової станції**

Показник	Значення
Використання сировини, т/д	380
Продуктивність біогазу, м ³ /год	2800
Виробництво електроенергії, кВт/год	5200
Споживча потужність (установлена), кВт/год	150
Середньорічне навантаження, %	80
Вихід рідкого дигестату, річний	100000
Загальний об'єм реакторів, м ³	22500
Капітальні інвестиції млн євро	12,0
Дохід від продажу електроенергії, євро/рік	4613130
Проста окупність (без податків та амортизації), (DPP), років	5
Питомі інвестиції of KGS, євро/МВт	2307392

Джерело: ТОВ «Юзефо-Миколаївська БГК»

Таблиця 2

**Результати дослідження агрохімічного аналізу органічного добрива (дигестат)
виробленого на ТОВ «Юзефо Миколаївська БГК»**

Показники, одиниці вимірювання	Дані результатів експериментальних випробувань
КСІ	8,40
Масова частка вологи, %	94,5
Суша речовина, %	5,50
Вміст золи в натурі, %	1,40
Вміст органічної речовини в натурі, %	4,10
Вміст нітратного азоту, кг/т	3,24
Вміст амонійного азоту, % не враховується	-
Вміст загального азоту, кг/т	3,85
Масова частка загального фосфору (P), кг/т	0,96
Масова частка загального калію (K ₂ O), кг/т	3,56
Мідь, мг/кг	16,30
Цинк, мг/кг	31,90
Марганець, мг/кг	21,10
Залізо, мг/кг	63,00
Магній (MgO), кг/т	0,47
Кальцій (CaO), кг/т	1,27

Джерело: ТОВ «Юзефо-Миколаївська БГК»

80%. Обсяг виробленого дигестату на рік становить 100 тис. тонн. Агрохімічний аналіз дигестату виробленого на ТОВ «Юзефо Миколаївська БГК» (дигестату) на основі біогазової установки за своїм складом і властивостями найбільш близькі до гумінових речовин гумусу ґрунту, тому застосування добрива збереженню та відновленню природної родючості ґрунту, екологізації сільськогосподарського виробництва. Добриво вноситься в ґрунт з метою збагачення макро-та мікро-елементами, сприяє агро-фізико-хімічних

процесів, збагачення біологічно активними гуміновими речовинами, підвищення ґрунтової мікро біоти, для відновлення та підвищення природної родючості ґрунту (табл. 2). Внесення (дигестату) на власних посівах підприємства дало можливість підвищити врожайність в середньому на 60%. Найбільший приріст врожайності зафіксовано при внесенні під посіви цукрових буряків (на 150 ц/га) що дає змогу і збільшити обсяг одного з основних ресурсів для виробництва біогазу та дигестату.

А також підвищити рівень власного забезпечення сировиною для виробництва цукру (табл. 3).

Виходячи з даних досліджуваного підприємства слід зазначити, що внесення в субстрат для виробництва біогазу соломи злакових є більш доцільним ніж соломи кукурудзи, адже дає змогу в розрахунку на 1 га посівів отримати значно більший вихід біогазу за рахунок більшого вмісту сухої органічної сировини (табл. 4).

Виходячи з середніх показників зростання врожайності слід зауважити економічну доцільність використання даних добрив.

Проте доцільним є зменшення вартості внесення цих добрив за рахунок використання вітчизняного обладнання шляхом рідинного

внесення за допомогою рідинного відкачування дигестату з відстійників. Наприклад, призначенням насосно-дизельної станції А.ТОМ PUMP 290 є відкачування рідких стоків зі сховищ та рідкого гною задля подальшого внесення на полях у якості органічних добрив та може подавати від 77 м³ до 454 м³ рідкого дигестату на відстань до 5 км [3].

Використання даного чи аналогічного обладнання дасть можливість зменшити витрати на транспортування дигестату та виключити з циклу виробництва процес ошування його. Це позитивно вплине на собівартість даного добрива.

Для покращення засвоєння в ґрунті доцільно застосовувати інжекторні системи

Таблиця 3

Дослідження даних зміни урожайності при застосуванні внесення дигестату шланговою системою на полях ТОВ «Юзефо-Миколаївська БГК»

Культура	Кількість внесеного дигестату м ³ /га	Вартість внесення грн/га	Врожайність без внесення дигестату, ц/га	Врожайність із внесення дигестату ц/га	Приріст врожайності, ц/га
Пшениця	50	2000	36,23	57,61	21,62
Цукровий буряк	110	4400	250,32	400,21	150,12
Кукурудза	80	3200	58,21	80,12	22,12
Ріпак	50	2000	17,11	27,54	10,54
Соняшник	80	3200	25,21	32,12	7,21

Джерело: [1, с. 30]

Таблиця 4

Дослідження виходу біогазу з різної сировини в умовах ТОВ «Юзефо-Миколаївська БГК» у 2023 р.

Показники, одиниці вимірювання	Кукурудза на силос			Солома злакових культур		
	мін.	макс.	факт.	мін.	макс.	факт.
Рівень врожайності, т/га	58	92	80	2	5	4,5
Вміст сухої речовини, %	25	32	27	76	92	80
Вихід сухої речовини, т/га	2	2,56	2,16	1,52	4,6	3,6
Вміст органічної сухої речовини, %	23-28%			74-90%		
Вихід біогазу, м ³ з 1 т органічної сухої речовини	700-800			600-650		
Вміст метану, %	58-65			45-62		
Прогнозований вихід біогазу, м ³ з 1 га	1400	2048	1620	912	2990	2200
Прогнозований вихід електроенергії з 1 га, кВт	2520	3686,4	2916	1641,6	5382	3960
Ставка зеленого тарифу євро/кВт (з ПДВ)	0,16			0,16		
Поточний валютний курс грн/євро	39,8			39,8		
Прогнозований валовий прибуток грн/га (з ПДВ)*	16077,6	23519,23	18604,08	10473,4	34337,16	25264,8

Джерело: [2, с. 75]

внесення що дають за допомогою шлангових систем у комплексі з використанням вище згаданої станції вносити рідкі добрива на глибину до 15 см. Для прикладу, інжекторний культиватор А.ТОМ 7DS INJECTOR призначений для внесення рідких органічних добрив. Він використовується на завершальному етапі переробки рідкої фракції гною або фільтрату з біогазових установок. Це обладнання працює за технологією з використанням шлангових систем, де матеріал, який вводиться, перекачується з місця зберігання за допомогою насосно-дизельних станцій, які забезпечують введення [3].

Застосування передових технологій транспортування рідкого дигестату та його інжекторного внесення дасть можливість знизити витрати на внесення, підвищити засвоєння в ґрунті за рахунок саме інжекторної технології удобрення. Використання гнучкої активної борони з зубами розпушувача, що показав переваги розпушування та зминання ґрунту порівняно зі звичайними боронами дасть можливість вдосконалити обробіток після підживлення [4, с. 1843].

Внесення дигестату поверхневим способом не є доцільним через високу вартість транспортування та необхідність використання великогабаритних ємностей. Використання інжекторних систем внесення в комплексі з шланговими транспортуванням за допомогою дизель-насосних станцій з їх адаптацією під використання як палива біодизелю дасть можливість зменшити витрати на транспортування добрив. Також використання інжекторної системи забезпечить більш ефективний розподіл рідкої фракції в ґрунті а застосування гнучких активних борін з зубами розпушувача покращить засвоєння органіки. Виключення з технологічного циклу процесу осушування дигестату дасть можливість зменшити собівартість вирощування сільськогосподарських культур.

Використання запропонованої технології внесення та обробітку ґрунту в комплексі дасть можливість знизити витрати біогазових

заводів на виробництво шляхом зменшення витрат на осушування дигестату, підвищити засвоєння добрив за рахунок використання інжекторних систем внесення, а використання біодизеля значно зменшити витрати на паливно-мастильні матеріали.

Реалізація проектів з виробництва біогазу на цукрових заводах є важливим кроком на шляху до створення сталого та екологічно чистого сільського господарства на засадах формування закритих циклів виробництва.

Висновки. Сталий розвиток АПК неможливий без енергоефективних технологій вирощування сільськогосподарських культур. Вагому роль при цьому займає розробка інноваційних систем внесення органічних добрив, які дозволили б зменшити використання дорого вартісних мінеральних добрив та підвищити врожайність.

Біогаз є відновлюваним джерелом енергії, яке не забруднює навколишнє середовище. Він може бути використаний для виробництва електроенергії, тепла та інших корисних продуктів.

Ось деякі з переваг побудови біогазової установки та генерації електроенергії з сировини жому цукрового буряку, соломи злакових та силосу кукурудзи:

- даний проєкт є екологічно чистим, оскільки він не забруднює навколишнє середовище;

- проєкт є економічно вигідним, оскільки він може забезпечити дешеве джерело енергії;

- є соціальним, оскільки він може створити нові робочі місця.

Однак, існують також деякі ризики, пов'язані з будівництвом біогазової установки:

- проєкт вимагає значних інвестицій;

- може мати негативний вплив на навколишнє середовище, якщо не буде належним чином спланований і реалізований.

Загалом, доцільність побудови біогазової установки та генерації електроенергії з сировини жому цукрового буряку, соломи злакових та силосу кукурудзи є досить високою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Honcharuk I., Tokarchuk D., Gontaruk Y., Kolomiets T. Production and Use of Biogas and Biomethane from Waste for Climate Neutrality and Development of Green Economy. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. Vol. 25. Issue 2. P. 20–32. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/175876>

2. Honcharuk I., Gontaruk Y., Pantsyreva H. Economic Aspects of Using the Potential of Bioenergy Crops for Biogas Production and Advanced Technologies for Digestate Application. *Baltic Journal of Economic Studies*. 2024. Vol. 10, Issue 2. P. 68–77. DOI: <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2024-10-2-68-77>

3. Насосна станція – А.ТОМ PUMP 290. URL: <https://atom-attachments.com/uk/product/nasosno-dizelnaya-stanciya-a-tom-pump-290-1000309>

4. Bulgakov V., Kaletnik H., Goncharuk I., Ivanovs S., Usenko M. Results of experimental investigations of a flexible active harrow with loosening teeth. *Agronomy Research*. 2019. Volume 17. Issue 5. P. 1839–1845. DOI: <https://doi.org/10.15159/AR.19.185>

5. Фурман І.В., Ревкова А.В., Ревков О.А. Напрями формування системи продовольчого забезпечення населення України в умовах військового стану. *Економіка та суспільство*. 2023. Випуск 58. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-58-63>

6. Hontaruk Y., Furman I., Bondarenko V., Riabchuk A., Nepochatenko O. (2024). Production of biogas and digestate at sugar factories as a way of ensuring the energy and food security of Ukraine. *Polityka Energetyczna*. 2024. Vol. 27, № 2. P. 195–210. DOI: <https://doi.org/10.33223/epj/185210>

7. Мазур К.В., Гонтарук Я.В. Реструктуризація як інструмент перепроєктування бізнес-процесів в агропромисловому виробництві. *Slovak international scientific journal*. 2020. № 42. P. 30–37.

8. Lutsiak V., Lavrov R., Furman I., Smitiukh A., Mazur H., Zahorodnia N. Economic aspects and prospects for the development of the market of vegetable oils in a context of formation of its value chain. *Montenegrin Journal of Economics*. 2020. Volume 16. Issue 1. P. 155–168. DOI: <https://doi.org/10.14254/1800-5845/2020.16-1.10>

REFERENCES:

1. Honcharuk I., Tokarchuk D., Gontaruk Y., Kolomiiets T. (2024). Production and Use of Biogas and Biomethane from Waste for Climate Neutrality and Development of Green Economy. *Journal of Ecological Engineering*. Vol. 25. Issue 2. P. 20–32. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/175876>

2. Honcharuk I., Gontaruk Y., Pantsyreva H. (2024). Economic Aspects of Using the Potential of Bioenergy Crops for Biogas Production and Advanced Technologies for Digestate Application. *Baltic Journal of Economic Studies*. Vol. 10, Issue 2. P. 68–77. DOI: <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2024-10-2-68-77>

3. Nasosna stanciya – А.ТОМ PUMP 290. URL: <https://atom-attachments.com/uk/product/nasosno-dizelnaya-stanciya-a-tom-pump-290-1000309> = [in Ukrainian]

4. Bulgakov V., Kaletnik H., Goncharuk I., Ivanovs S., Usenko M. (2019). Results of experimental investigations of a flexible active harrow with loosening teeth. *Agronomy Research*. Volume 17. Issue 5. P. 1839–1845. DOI: <https://doi.org/10.15159/AR.19.185>

5. Furman I.V., Revkova A.V., Revkov O.A. (2023). Napriamy formuvannia systemy prodovolchoho zabezpechennia naselennia Ukrainy v umovakh viiskovoho stanu [Directions for the formation of the food supply system for the population of Ukraine under martial law]. *Ekonomika ta suspiilstvo*, no 58. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-58-63> [in Ukrainian]

6. Hontaruk Y., Furman I., Bondarenko V., Riabchuk A., Nepochatenko O. (2024). Production of biogas and digestate at sugar factories as a way of ensuring the energy and food security of Ukraine. *Polityka Energetyczna*. Vol. 27, № 2. P. 195–210. DOI: <https://doi.org/10.33223/epj/185210>

7. Mazur K.V., Gontaruk Ya.V. (2020). Restructuring as a tool for redesigning business processes in agro-industrial production. *Slovak international scientific journal*, 42, 30–37.

8. Lutsiak V., Lavrov R., Furman I., Smitiukh A., Mazur H., Zahorodnia N. (2020). Research podgorica economic aspects and prospects for the development of the market of vegetable oils in a context of formation of its value chain. *Montenegrin Journal of Economics*, 16 nr 1, 155–168. DOI: <https://doi.org/10.14254/1800-5845/2020.16-1.10>