

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ НА ЦУКРОВИХ ЗАВОДАХ УКРАЇНИ

ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC EFFICIENCY OF BIOGAS PRODUCTION AT SUGAR FACTORIES OF UKRAINE

Стаття присвячена аналізу потенціалу виробництва біогазу на цукрових заводах України. Досліджено можливість використання відходів цукрового виробництва (меляси, жому) як сировини для виробництва біогазу та його подальшого перетворення на біометан. Основна мета дослідження – оцінити екологічні та економічні переваги виробництва біогазу на цукрових заводах. Доведено, що такий підхід дозволяє: зменшити екологічне навантаження за рахунок переробки відходів та зменшення викидів парникових газів; підвищити енергетичну незалежність шляхом диверсифікації джерел енергії; збільшити економічну ефективність підприємств завдяки додатковим джерелам доходу від продажу біогазу та органічних добрив. У статті розроблена методика оцінки еколого-економічної ефективності виробництва біогазу, яка дозволяє кількісно визначити переваги такого виробництва. На основі даної методики проведено розрахунки для українських цукрових заводів. Констатовано, що виробництво біогазу на цукрових заводах є перспективним напрямом розвитку вітчизняної енергетики та сільського господарства. Однак, для успішної реалізації таких проектів необхідні державна підтримка, інвестиції та вирішення низки організаційних питань.

Ключові слова: біогаз, біометан, цукровий завод, еколого-економічна ефективність, цукрові заводи, ефективність, дигестат.

The article is devoted to the analysis of the potential of biogas production at sugar factories in Ukraine. The possibility of using sugar production waste (molasses, pulp) as raw materials for biogas production and its further conversion into biomethane was investigated. Various scientific works devoted to the topic of biogas production from agricultural waste, in particular at sugar factories, were analyzed. Data from other studies on the yield of biogas from various types of raw materials, the cost of equipment and energy carriers, etc. were used. Relationships between various factors, such as sugar production volumes, the amount of waste, potential biogas yield, economic indicators, etc. were established. The author's methodology was used to assess the potential of biogas production and its environmental and economic efficiency. Calculations of economic indicators, such as the cost of biogas production, income from its sale, the payback period of investments, etc. were carried out. The main goal of the study is to assess the environmental and economic benefits of biogas production at sugar factories. It has been proven that this approach allows: to reduce the environmental burden due to waste processing and greenhouse gas emissions; to increase energy independence by diversifying energy sources; to increase the economic efficiency of enterprises due to additional sources of income from the sale of biogas and organic fertilizers. It has been determined that to assess the indicator of environmental and economic efficiency of biogas production at sugar factories, it is necessary to determine the volume of beet cultivation, since beet waste forms the basis of the raw material base for biomethane production. The article uses the author's methodology for assessing the environmental and economic efficiency of biogas production, which allows us to quantitatively determine the advantages of such production. Based on this methodology, calculations were made for Ukrainian sugar factories. It has been stated that biogas production at sugar factories is a promising direction for the development of domestic energy and agriculture. However, for the successful implementation of such projects, state support, investments and the resolution of a number of organizational issues are necessary.

Key words: biogas, biomethane, sugar factory, ecological and economic efficiency, sugar factories, efficiency, digestate.

УДК 620.92:00.67

DOI: <https://doi.org/10.32782/dees.15-32>

Зеленчук Н.В.¹

доктор філософії з економіки,
Вінницький національний
аграрний університет

Zelenchuk Nataliia

Vinnitsia National Agrarian University

Постановка проблеми. Виробництво біогазу на цукрових заводах є перспективним напрямом для України, проте необхідно вирішити низку актуальних проблем, а саме: забезпечити будівництво та обладнання біогазових установок та забезпечити відповідне інвестування, що часто є недоступним для багатьох підприємств; створити прозору систему забезпечення мінімальних цін на біогаз при виробництві переробними підприємствами АПК, адже нестабільність ринку біогазу та відсутність довгострокових контрактів з покупцями ускладнюють планування інвестицій; відсутність методичного інструментарію оцінки еколого-економічної ефективності виробництва біогазу на цукрових заводах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні дослідженням перспектив розвитку вироб-

ництва біогазу присвячені праці Калетніка Г.М. [1; 3], Коломієць Т.В. [2], Токарчук Д.М. [4], Гонтарука Я.В. [5; 7; 8], Купчука І.М. [6] та ін. Аналіз численних літературних джерел свідчить про те, що визначення еколого-економічної ефективності виробництва біогазу на цукрових заводах України вивчено недостатньо, що зумовлює актуальність дослідження.

Постановка завдання. Метою статті є дослідження еколого-економічної ефективності виробництва біогазу на цукрових заводах України з орієнтацією на виробництво біометану.

Виклад основного матеріалу дослідження. Налагодження виробництва біогазу на цукрових заводах є перспективним напрямом для України, який дозволяє вирішити низку актуальних проблем, а саме:

¹ ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7140-1571>

– зменшити екологічне навантаження за рахунок переробки відходів виробництва цукру в біогаз та дозволить знизити забруднення довкілля, зменшити викиди парникових газів та поліпшити якість ґрунтів;

– підвищення рівня енергетичної незалежності через виробництво біогазу сприятиме диверсифікації джерел енергії та зменшенню залежності від імпорту енергоносіїв;

– підвищення економічної ефективності підприємств завдяки виробництву біогазу може стати додатковим джерелом доходу для цукрових заводів, а також сприяти зниженню витрат на утилізацію відходів.

Основними аспектами виробництва біогазу на цукрових заводах які варто врахувати при оцінці еколого-економічної ефективності виробництва біогазу є те що: основною сировиною для виробництва біогазу на цукрових заводах є відходи виробництва, такі як меляса, жом, фільтрати та інші органічні речовини; виробництво біогазу відбувається в анаеробних умовах, в результаті життєдіяльності мікроорганізмів.

Проблема екологізація виробництв є нагальною, як зазначає С. Лутковська, необхідна екологізація шляхом впровадження в технологічний процес інноваційних технологій [1, с. 1130]. В той же час, Т. Коломієць, залучення інвестицій, підтримка інновацій та створення сприятливих умов для аграріїв можуть сприяти енергетичній незалежності та економічному розвитку країни [2]. В загальному підтримуємо думку Г. Калетніка, що впровадження біогазових установок в домогосподарствах (а також і в сільськогосподарських підприємствах) дозволить у майбутньому досягнути енергонезалежності сільських територій і України в цілому [3, с. 12].

Проте для домогосподарств та невеликих фермерських господарств на нашу думку більш доцільним є використання малих біогазових реакторів, для прикладу науковцями ВНАУ розроблений реактор, з повітряним підігрівом шляхом підвищення ефективності, підтримання температури прогрівання субстрату для виділення біогазу [4].

Тому на нашу думку більш доцільним для забезпечення промислового виробництва біогазу його розвиток на переробних підприємствах АПК. Проте на думку Я. Гонтарука, основним стримуючим чинником для розвитку біогазового виробництва на цукрових заводах є насамперед відсутність державного стимулювання [5, с. 74]. В той же час дослідженнями І. Купчуком було встановлено, що цілком реальним способом підвищення рівня енергетичної автономії переробної галузі АПК України є використання у якості енергетичного ресурсу – біогазу, виробленого із побічної продукції сільськогосподарського виробництва [6, с. 71]. Дослідження Я. Гонтарука свідчать, що

для успішної адаптації до нових умов підприємствам АПК необхідно постійно вдосконалювати технології, розширювати асортимент продукції, підвищувати якість, орієнтуватися на потреби споживачів та враховувати екологічні вимоги [7–8].

Виходячи з вище викладеного вважаємо за необхідним стимулювання виробництва біогазу на цукрових заводах та необхідним визначення еколого-економічної ефективності його виробництва. В попередніх дослідження була запропонована наступна методика обрахунку еколого-економічної ефективності виробництва біогазу на підприємствах АПК:

$$C. \text{ екол-екон} = (E \text{ в.е.} + E \text{ о.в.} + V \text{ р.д.} + E \text{ е.з.} + V \text{ р.} + O.д.д.) - (B \text{ м./Т}) + B \text{ в.}$$

$E \text{ в.е.}$ – економія витрат на енергоносіях;

$E \text{ о.в.}$ – економія витрат основного виробництва за рахунок використання біогазу (спирт, цукор);

$V \text{ р.д.}$ – вартість реалізованого дигестату;

$E \text{ е.з.}$ – економія на екологічних заходах (утримання відстійників, екологічні податки тощо);

$V \text{ р.}$ – вартість реалізованого біогазу чи електроенергії;

$B \text{ м.}$ – вартість модернізації підприємства АПК;

$B \text{ в.}$ – витрати на виробництво біогазу;

$O.д.д.$ – обсяг державних дотацій;

T – амортизаційний строк використання біогазової установки, років [9, с. 7].

Дана методика є універсальною та може бути використана в тому числі для цукрових заводів. Проте доцільним перед проведенням оцінки еколого-економічної ефективності виробництва біогазу є дослідження потенційного виходу біогазу з різних видів відходів на цукрових заводах. Визначено, що найбільший вихід досягається при переробці меляси на біогаз на рівні 390-400 м³/т (табл. 1).

Для оцінки показника еколого-економічної ефективності виробництва біогазу на цукрових заводах необхідно визначити обсяги вирощування буряків адже відходи від буряків складають основу сировинної бази для виробництва біометану (табл. 2).

Виходячи з виходу меляси на рівні 4% від маси буряків та 82% жому [12] а також обсягів вирощування цукрових коренів на рівні 13130000 тон. Плановий вихід жому становитиме 10,766 млн т жому та 525,2 тис. т. Систематизація даних таблиць 1–2 дасть можливість визначити потенціал виробництва біогазу з відходів цукваріння (табл. 3).

В 2023/2024 маркетинговому році працювало 30 цукрових заводів вартість модернізації 1 цукрового заводу орієнтовно вартує на рівні 16 млн євро, а в загальному по галузі 480 млн. євро або ж 20,74 млрд грн при курсі 43,22 грн/євро (Вм), а термін амортизації 15 років (Т). Враховуючи що вміст метан в біогазу планується на рівні 55%,

Таблиця 1

Вихід біогазу з різних видів субстратів

Найменування сировини	Свіжа маса без вмісту води, %	Вихід біогазу, м³/т	Вміст СН ₄ , %
Буряковий жом (при зберіганні)	10-17	53-90	54-55
Буряковий жом (пресований)	18-22	95-115	54-55
Буряковий жом (свіжий)	6-9	34-50	54-55
Меляса (з цукрових заводів)	76-80	390-400	54-55

Джерело: систематизовано на основі [10]

Таблиця 2

Основні показники виробництва цукрових буряків*

Роки	Виробництво, тис. т	Посівна площа, тис. га	Урожайність, ц/га
2014	15734	331	477
2015	10331	237	436
2016	14011	292	482
2017	14882	316	475
2018	13968	276	509
2019	10205	222	461
2020	9150	220	416
2021	10854	227	479
2022	9942	184	541
2023	13130	250	525
Відхилення, +, -	-2604	-81	48

* без врахування окупованих територій

Джерело: систематизовано на основі [11]

Таблиця 3

Потенціал виробництва біогазу та дигестату з відходів цукрових заводів

Найменування сировини	Свіжа маса без вмісту води, %	Вихід біогазу, м³/т	Вміст СН ₄ , %	Вихід сировини, млн т (на рівні врожаю 2023 р.)	Потенційний вихід біогазу, млн м³	Потенційний вихід дигестату, з 1 т сировини, кг	Потенційний вихід дигестату, млн т.
Буряковий жом (свіжий)	6-9	34	54-55	10,766	336,04	910	9,79
Меляса (з цукрових заводів)	76-80	390	54-55	0,525	204,75	805	0,422
Всього	X	X	X	X	540,79	X	10,212

Джерело: власні дослідження на основі [11–12]

тому в перерахунку на біометан вихід становитиме 297,44 млн м³. Вартість біометану на ринках ЄС становить 1100євро/1 тис. м³. Виходячи з того що частково біометан буде використовуватися для виробництва цукру вважаємо, що орієнтовно буде використано для власних потреб цукрових заводів 100 млн м³, що забезпечить економію на енергоносіях на рівні 54 грн/м³ загальним обсягом 5,4 млрд грн (Е о.в.). Економія витрат на енергоносіях враховувати не планується орієнтуючись на реалізацію біометану, а не електроенергії (Е в.е. = 0). Вартість реалізованого біометану

виходячи з використання 100 млн. м³ на власні потреби і вартості 1100 євро за 1 тис м³ становитиме 197,44млн м³*1,1 євро=217,184 млн євро, або 9,4 млрд грн. Витрати на виробництво 1 м³ біогазу усереднено плануються на рівні 12 грн/м³ загальним обсягом 3,57 млрд грн (В в.). Вартість 1 т дигестату на сьогодні на ринку складатиме 590 грн/т відповідно загальний дохід від реалізації 10,212 млн т. даного добрива складатиме 6,02 млрд грн (В р.д.). Державні дотації на даний вид виробництва нажалі на сьогодні не передбачено (О д.д. = 0). Середня вартість утримання відстійників на цукрових

заводах складає включно з витратами на екологічні заходи складає 6 млн грн, отже загальна економія на даних заходах на 30 діючих в 2023 році становила б 180 млн грн. Отже загальна еколого-економічна ефективність виробництва біогазу на цукрових заводах України при доведенні біогазу до рівня біометану становила б 16,05 млрд грн, а в перспективі при удорожчанні даного ресурсу матиме тенденцію до зростання.

$$C. \text{ екол-екон} = (5,4 + 6,02 + 0,18 + 9,4) - (20,74/15) + 3,57 = 21 - 4,95 = 16,05$$

Використання даного інструментарію можливе як для загальної оцінки цукрової промисловості так і для окремо взятих цукрових заводів в залежності від того чи планується лише реалізація біометану чи і виробництво біогазу.

Отже, виробництво біогазу на цукрових заводах України має значний потенціал для зменшення екологічного навантаження, підвищення енергетичної незалежності та економічної ефективності підприємств. Проведені розрахунки демонструють високу економічну доцільність таких проектів. Однак, для успішної реалізації необхідно враховувати ряд факторів, таких як високі капіталовкладення, нестабільність цін на енергоносії та відсутність довгострокових контрактів.

Висновки. Виробництво біогазу на цукрових заводах є перспективним напрямом розвитку вітчизняної енергетики та сільського господарства. Воно дозволяє вирішити низку екологічних та економічних проблем, сприяючи сталому розвитку. Однак, для успішної реалізації таких проектів необхідно подолати ряд бар'єрів, таких як високі капіталовкладення, нестабільність цін на енергоносії та відсутність достатньої державної підтримки.

Виробництво біогазу на цукрових заводах України є перспективним напрямом для розвитку вітчизняної енергетики та сільського господарства. Це дозволяє вирішити низку актуальних проблем, таких як:

- зменшення екологічного навантаження через переробку відходів виробництва цукру в біогаз сприяє зменшенню забруднення довкілля та викидів парникових газів;

- підвищення енергетичної незалежності адже виробництво біогазу дозволяє диверсифікувати джерела енергії та зменшити залежність від імпорту енергоносіїв;

- збільшення економічної ефективності підприємств завдяки виробництву біогазу як додаткового джерела доходу для цукрових заводів та сприяє зниженню витрат на утилізацію відходів.

Застосування розробленої методики дозволить більш об'єктивно оцінювати ефективність різних варіантів реалізації проектів з виробництва біогазу та сприяти прийняттю обґрунтованих управлінських рішень.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Lutkovska S.M., Kaletnik G.M. Strategic Priorities of the System Modernization Environmental Safety under Sustainable Development. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2020. Fall, 5 (45). Volume XI. P. 1124-1136.

2. Коломієць Т.В. Розвиток виробництва біопалива в Україні під час військового стану. *Економіка та суспільство*. 2024. Випуск 63. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/4119/4049> DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-63-55>

3. Калетнік Г.М., Здирко Н.Г., Фабіянська В.Ю. Біогаз в домогосподарствах – запорука енергоне-залежності сільських територій України. *Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2018. № 8. С. 7-22.

4. Гончарук І.В., Токарчук О.А., Токарчук Д.М., Пришляк Н.В. Біогазовий реактор з повітряним підігрівом. Пат. № 146896 Уа, МПК 146895 C02F 11/04 и 2020 06001; заяв. 21.09.2021, опубл. 31.03.2021, Бюл. № 13. 5 с.

5. Гонтарук Я.В. Перспективи виробництва біогазу на цукрових заводах України. *Східна Європа: економіка, бізнес та управління*. 2022. Випуск 1 (34). С. 69–75. DOI: <https://doi.org/10.32782/easterneurope.34-12>

6. Купчук І. М., Гонтарук Я.В., Присяжнюк Ю.С. Перспективи підвищення рівня енергетичної автономії переробних підприємств АПК України за рахунок виробництва біогазу. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2022. № 3 (118). С. 59–73. DOI: <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2022-3-8>

7. Гонтарук Я.В., Ревков О.А. Теоретико-методичні аспекти структурних змін переробної сфери агропромислового сектору економіки. *Цифрова економіка та економічна безпека*. 2024. № 5 (14). С. 42–46. DOI: <https://doi.org/10.32782/dees.14-6>

8. Hontaruk Y., Furman I., Bondarenko V., Riabchuk A., Nepochatenko O. 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>

9. Зеленчук Н.В. Методичні підходи до визначення еколого-економічної ефективності виробництва біогазу на переробних підприємствах АПК України. *Економічний вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2023. № 27. С. 5–8. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.27.2023.297212>

10. Вихід біогазу з 1 тонни субстрату. URL: <http://surl.li/qafrhg> (дата звернення: 23.12.2024)

11. Офіційний сайт Державної служби статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 21.12.2024).

12. Цукровий буряк: цукор – людям, жом – корові. URL: <http://milkua.info/uk/post/cukrovij-burak-cukor-ludam-zom-korovi> (дата звернення: 23.12.2024)

REFERENCES:

1. Lutkovska S.M., Kaletnik G.M. (2020). Strategic Priorities of the System Modernization Environmental Safety under Sustainable Development. *Journal of Envi-*

ronmental Management and Tourism, fall, 5 (45), vol. XI, pp. 1124-1136 [In Romania].

2. Kolomiets T.V. (2024). Rozvytok vyrobnytstva biopalyva v Ukraini pid chas viiskovoho stanu [Development of biofuel production in Ukraine during martial law]. *Ekonomika ta suspilstvo*, vol. 63. Available at: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/4119/4049> DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-63-55> [in Ukrainian].

3. Kaletnik G.M., Zdyrko N.H., Fabiianska V.Yu. (2018). Biohaz v domohospodarstvakh – zaporuka enerhonzalezhnosti silskykh terytorii Ukrainy [Biogas in households is the key to energy independence of rural areas of Ukraine]. *Ekonomika, finansy, menedzhment: aktualni pytannia nauky i praktyky*, no. 8, pp. 7–22 [In Ukrainian].

4. Honcharuk I. V., Tokarchuk O. A., Tokarchuk D. M., Pryshliak N. V. Biohazovyi reaktor z povitrianyim pidihrivom [Biogas reactor with air heating]. Pat. № 146896 Ua, MPK 146895 S02F 11/04 u 2020 06001; zaiav. 21.09.2021, opubl. 31.03.2021, Biul. № 13. 5 p.

5. Hontaruk Ya.V., Revkov O.A. (2024). Teoretyko-metodychni aspekty strukturnykh zmin pererobnoi sfery ahropromysloвого sektoru ekonomiky [Theoretical and methodological aspects of structural changes in the processing sphere of the agro-industrial sector of the economy]. *Tsyfrova ekonomika ta ekonomichna bezpeka*, no. 5 (14), pp. 42–46. DOI: <https://doi.org/10.32782/dees.14-6> [in Ukrainian].

6. Kupchuk I.M., Hontaruk Ya.V., Prysiazhniuk Yu.S. (2022) Perspektyvy idvyshchennia rinvnia enerhetychnoi avtonomii pererobnykh pidpriemstv APK Ukrainy za rakhunok vyrobnytstva biohazu [Prospects for increasing the level of energy autonomy of processing enterprises of the agro-industrial complex of Ukraine due to biogas production]. *Tekhnika, ener-*

hetyka, transport APK, no. 3 (118), pp. 59–73. DOI: <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2022-3-8> [in Ukrainian].

7. Hontaruk Ya.V., Revkov O.A. (2024). Teoretyko-metodychni aspekty strukturnykh zmin pererobnoi sfery ahropromysloвого sektoru ekonomiky [Theoretical and methodological aspects of structural changes in the processing sphere of the agro-industrial sector of the economy]. *Tsyfrova ekonomika ta ekonomichna bezpeka*, no. 5 (14), pp. 42–46. DOI: <https://doi.org/10.32782/dees.14-6> [in Ukrainian].

8. 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, no. 2, pp. 195–210. DOI: <https://doi.org/10.33223/epj/185210> [in Poland].

9. Zelenchuk, N.V. (2023). Metodychni pidkhody do vyznachennia ekoloho-ekonomichnoi efektyvnosti vyrobnytstva biohazu na pererobnykh pidpriemstvakh APK Ukrainy [Methodical approaches to determining the ecological and economic efficiency of biogas production at the processing enterprises of the agricultural sector of Ukraine]. *Ekonomichnyi visnyk Natsionalnogo tekhnichnogo universytetu Ukrainy «Kyivskyi politekhnichnyi instytut»*, no. 27, pp. 5–8. DOI: <https://doi.org/10.20535/2307-5651.27.2023.297212> [in Ukrainian].

10. Vykhid biohazu z 1 tonny substratu [Biogas output from 1 ton of substrate]. Available at: <http://surl.li/qafrrh> (accessed December 23, 2024)

11. Ofitsiynyi sait Derzhavnoi sluzhby statystyky Ukrainy [The State Statistics Service of Ukraine]. Available at: <http://www.ukrstat.gov.ua>. (accessed December 21, 2024).

12. Tsukrovyi buriak: tsukor – liudiam, zhom – korovi [Sugar beet: sugar for people, pulp for cows]. Available at: <http://milkua.info/uk/post/cukrovij-burak-cukor-ludam-zom-korovi> (accessed December 23, 2024).