

13. Кількість мисливських тварин та їх добування по регіонах. URL: [http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2019/sg/lis/mysl\\_reg/kmtd\\_reg/kmtd\\_reg\\_u.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2019/sg/lis/mysl_reg/kmtd_reg/kmtd_reg_u.htm) (дата звернення: 02.03.2021).

14. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2018 році. *Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України*. URL: [https://mepr.gov.ua/files/docs/Zvit%20Національна доповідь](https://mepr.gov.ua/files/docs/Zvit%20Національна%20доповідь) (дата звернення: 09.03.2021).

15. Херсонська обласна державна адміністрація. Департамент екології та природних ресурсів. *Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Херсонській області у 2019 році*. URL: [https://mepr.gov.ua/files/docs/Reg\\_report/2019/Херсонська%20область.pdf](https://mepr.gov.ua/files/docs/Reg_report/2019/Херсонська%20область.pdf). (дата звернення: 24.02.2021).

УДК 628.477.6

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.118.48>

## ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВИКОРИСТАННЯ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ЯК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

**Стратічук Н.В.** – к.екоп.н., доцент,

доцент кафедри екології та сталого розвитку імені професора Ю.В. Пилипенка,  
Херсонський державний аграрно-економічний університет

У статті висвітлено питання щодо використання побутових відходів як джерела для вироблення біогазу. Актуальність питання зумовлена необхідністю розширення використання поновлюваних джерел енергії, підвищення енергоефективності й розвитку альтернативної енергетики. Зазначені пункти є невіддільною частиною процесу забезпечення виконання завдань і досягнення Цілей сталого розвитку.

Тверді побутові відходи (далі – ТПВ) є найбільшою за обсягами накопичення групою відходів споживання, яка відрізняється від усіх інших відходів за своїм походженням і складом. Специфічною відмінністю ТПВ є велика різноманітність і непередбачуваність їхнього складу. Через наявність у ТПВ органічних компонентів із високою вологістю, які швидко загнивають і біологічно розкладаються, вони є джерелом екологічного забруднення навколишнього природного середовища.

Розглянуто підхід до управління процесами перероблення та утилізації відходів як сировини для виробництва біогазу. Зазначено, що така система поводження з відходами сприяє розвитку біоенергетики в країні та поліпшенню екологічної та економічної ситуації в регіоні.

З'ясовано, що будівництво сучасних систем збору та утилізації біогазу забезпечує низку мультиплекційних ефектів: екологічних, економічних і соціальних.

Констатовано, що нагальним є розроблення державних програм з утилізації біогазу, які передбачатимуть залучення до використання біогазового потенціалу різних суб'єктів господарювання на засадах взаємовигідного партнерства.

Виконано оцінювання очікуваної кількості біогазу, що виділяється під час анаеробного розкладання 1 т депонованих твердих побутових відходів на території Херсонського полігону ТПВ. А також проведено розрахунок економічного збитку, спричиненого виділенням в атмосферу біогазу зі звалищ м. Херсон.

**Ключові слова:** побутові відходи, полігони ТПВ, біогаз, сміттєзвалище, утилізація відходів, звалищний газ.

**Stratichuk N.V. Economic assessment of the use of household waste as an alternative renewable energy source**

The article highlights issues regarding the use of household waste as a source for biogas. Relevance of the issue is due to the need to expand the use of renewable energy sources,

*increasing energy efficiency and development of alternative energy. These points are an integral part of the process of ensuring the fulfillment of tasks and achieving the goals of sustainable development.*

*Solid household waste (solid waste) is the largest (by the amount of accumulation) group of consumption waste, which differs from all other waste in its origin and composition. Specific difference of solid waste is a great variety and unpredictability of their composition. Due to the presence of organic components with high humidity, which rapidly rot and biologically decompose, they are a source of environmental contamination.*

*The approach to managing the processes of processing and utilization of waste as raw materials for biogas production is considered. It is noted that such a system of waste management promotes the development of bioenergy in the country and improving the environmental and economic situation in the region.*

*It has been found that the construction of modern biogas collection systems provides a number of multiplier effects: environmental, economic and social effects.*

*It was stated that it is urgent need to develop state biogas utilization programs that will involve the use of biogas potential for various business entities on the basis of mutually beneficial partnership.*

*There was made an estimation of the expected amount of biogas released during anaerobic decomposition of 1 ton of deposited solid household waste in the territory of the Kherson municipal solid waste landfill. There was also performed a calculation of economic damage caused by the release of the biogas from the dumps of Kherson into the atmosphere.*

*Key words: household waste, municipal solid waste landfill, biogas, dumps, waste disposal, landfill gas.*

**Постановка проблеми.** Протягом останнього десятиріччя в різних країнах активно триває пошук джерел енергії, альтернативних до викопного палива. Серед ефективних способів отримання енергії може стати отримання енергії з відходів. Загалом, треба зазначити багатогранність цієї проблеми, адже відходів налічується безліч, і всі вони різні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним з ефективних способів отримання енергії з твердих побутових відходів (далі – ТПВ) є його використання як палива. Перевага побутових відходів полягає в тому, що їх не потрібно шукати, не потрібно добувати, проте в будь-якому разі їх має бути знищено, що вимагає великих грошових коштів. Тому раціональний підхід тут дає змогу не тільки отримати дешеву енергію, але й уникнути зайвих витрат [1; 2; 3].

Побутові відходи, які утворюються у великій кількості та зазвичай не знаходять застосування, забруднюючи навколишнє середовище, одночасно є поновлювальними вторинними ресурсами. Хоча сьогодні побутові відходи не є альтернативним джерелом енергії, це питання жваво дискутується у Верховній Раді, не раз розглядалося у складі кількох законопроектів і востаннє було порушено зовсім нещодавно [4; 5].

Вирішенню проблем виробітку біогазу, видобутого з відходів, для енергозабезпечення присвячено праці як вітчизняних, так і зарубіжних вчених та науковців: С.В. Кривенко, Б. Едера, О.А. Дюдяєвої, О.Т. Євтушенко, Г.Г. Гелетухи, В.І. Карпенко, Г.М. Калетніка та інших [6; 7; 8].

**Постановка завдання.** Мета статті – розглянути питання ефективності утилізації відходів шляхом добування з них біогазу для використання його як палива та отримання енергії з метою поліпшення екологічної ситуації.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Завдяки тому, що звалища ТПВ містять значну кількість органічних відходів, у товщі звалища в умовах обмеженого доступу кисню органічні речовини під дією природних метаноутворювальних бактерій піддаються процесу анаеробної ферментації з утворенням біогазу. Біогаз є багатокомпонентним газом, склад його може змінюватися залежно від морфологічного складу відходів, що потрапляють на звалища, та умов захоронення. Проте основними компонентами біогазу є метан (40–60 %) і вуглекислий газ (30–45 %).

До сучасних способів поводження з біогазом, отриманим зі звалищ ТПВ, належать:

- спалювання з метою виробництва енергії;
- збагачення й використання як палива в газотурбінних установках для комбінованого вироблення теплової та електричної енергії;
- факельне спалювання з метою усунення неприємних запахів і зниження пожежної небезпеки на полігонах ТПВ;
- використання як палива для газових двигунів з отриманням електричної й теплової енергії;

- використання біогазу як палива для автомобілів;
- збагачення (підвищення вмісту метану до 94–95 %) й використання в газових мережах загального призначення як заміни природного газу.

Будівництво біогазових установок — це крок до економіки замкнутого циклу (циклічної економіки), спрямованої на впровадження відновлюваних джерел енергії, скорочення викидів парникових газів тощо.

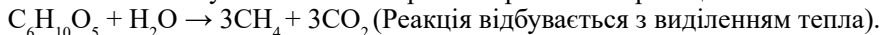
За певних обставин (залежно від кількості біогазу в звалищі, його дебіту, близькості споживачів) використання звалищного газу може забезпечити значний економічний ефект. Досвід розвинених країн світу дає підставу погодитися з таким твердженням. Будівництво систем збору та утилізації біогазу на полігонах ТПВ увійшло в практику розвинених країн Європи та Північної Америки [9].

Будівництво сучасних систем збору та утилізації біогазу забезпечує низку мультиплікаційних ефектів: екологічні ефекти 1-го порядку породжують екологічні ефекти 2-го, які, зі свого боку, зумовлюють економічні та соціальні ефекти (таблиця 1).

В Україні сьогодні працює тільки один завод з енергетичної утилізації сміття — завод «Енергія» в Києві, який забезпечує теплом і гарячою водою частину багатоповерхівок житлового масиву Позняки. До 2018 року в Україні планувалося майже вдвічі збільшити обсяг утилізації побутових відходів термічним шляхом порівняно з 2016-м, зокрема, завдяки спорудженню двох нових сміттєспалювальних заводів, що закладено в Національній стратегії управління відходами в Україні до 2030 року. На додаток до стратегії Держенергоєфективності розроблено Концепцію законодавчих змін для створення умов для енергетичної утилізації побутових відходів в Україні.

Під час складування твердих побутових відходів на полігоні, в умовах недостатньої кількості кисню, підвищеної температури та вологості, відбувається природне анаеробне розкладання органічних відходів. Одним із продуктів цього процесу є біогаз — суміш метану та вуглекислого газу, у середній концентрації 50–75 та 25–50 % відповідно, з невеликою кількістю домішок (азот, кремній, сірка, сірководень). Як мікродомішки до складу звалищного газу можуть входити десятки різних органічних сполук. Вміст у складі біогазу тих чи інших компонентів залежить від складу на полігоні відходів (таблиця 2).

У середньому газогенерація у звалищному тілі триває протягом 10–50 років, водночас питомий вихід газу становить 140–280 м<sup>3</sup>/т ТПВ. Процес газотворення можна описати наступним стехіометричним рівнянням реакції:



Швидкість процесу та газопродуктивність визначається умовами середовища, що сформувалось усередині полігону (вологість, температура, рН, відсоткове співвідношення органічних фракцій) [11].

У природних умовах частина біогазу з поверхні, а також схилів полігону потрапляє до атмосфери, частина згорає під час самозагорань відходів під впливом високої температури в товщі звалища.

Для добування біогазу з тіла полігону ТПВ на ньому споруджується система збору біогазу, яка містить:

- мережу спеціально устаткованих вертикальних свердловин;
- горизонтальні газопроводи 1-го порядку для транспортування біогазу від свердловин до газозбірних пунктів;
- газозбірні пункти;
- магістральні газопроводи для переміщення біогазу від газозбірних пунктів до установок для утилізації.

Таблиця 1

### Систематизація ефектів від запровадження біогазових устаткувань

Екологічні ефекти		Економічні ефекти		Соціальні ефекти
1-го порядку	2-го порядку	1-го порядку	2-го порядку	
Припинення викидів газу метану в атмосферне повітря	Зменшення ризику руйнування озонового прошарку та зміни клімату	Отримання коштів від продажу одиниць скорочення викидів згідно з Кіотським протоколом	Інвестування коштів від продажу одиниць скорочення викидів згідно з Кіотським протоколом	Створення додаткових робочих місць у результаті інвестування коштів, отриманих від продажу одиниць скорочення викидів
Зменшення негативного впливу на довкілля від функціонування сміттєзвалищ і полігонів ТПВ	Відновлення екосистем навколо сміттєзвалищ і полігонів ТПВ	Відновлення економічних функцій земельних ресурсів навколо сміттєзвалищ і полігонів ТПВ	Отримання доходів від використання землі навколо сміттєзвалищ і полігонів ТПВ як капіталізованої вартості	Зменшення негативного впливу сміттєзвалищ і полігонів ТПВ на здоров'я місцевого населення
Зменшення викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря внаслідок заміни традиційних джерел енергії на біогаз	Очищення атмосферного повітря навколо стаціонарних і пересувних джерел забруднення, що використовували традиційні джерела енергії	Інвестування грошей у розвиток біоенергетики	Отримання доходів від використання біогазових установок і продажу біогазу	Створення додаткових робочих місць у галузі біоенергетики; зменшення негативного впливу на довкілля та людей від викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря

Таблиця 2

### Середній склад біогазу

№ п/п	Компонент	Вміст, %
1	Метан	50–75
2	Вуглекислий газ	25–59
3	Водень	0–1,0
4	Сірководень	0–3,0
5	Азот	0–10
6	Кисень	0–2,0

Розрахунок очікуваної кількості біогазу, що виділяється під час анаеробного розкладання 1 т депонованих ТПВ, Міністерство розвитку громад та територій України рекомендує виконувати за формулою 1:

$$V_{p.б.} = P_{ТПВ} \times K_{л.о.} \times (1-Z) \times K_p, \quad (1)$$

де  $V_{p.б.}$  – розрахункова кількість біогазу, м<sup>3</sup>;  
 $P_{ТПВ}$  – загальна маса твердих побутових відходів, депонованих на полігоні ТПВ, кг;  
 $K_{л.о.}$  – вміст органіки, що легко розкладається, в 1 т відходів ( $K_{л.о.} = 0,5 - 0,7$ );  
 $Z$  – зольність органічної речовини ( $Z = 0,2 - 0,3$ );  
 $K_p$  – максимально можливий ступінь анаеробного розкладання органічної речовини за розрахунковий період ( $K_p = 0,4 - 0,5$ ).

Щороку в регіоні утворюється понад 250 тис. тонн твердих побутових відходів. За даними статистичної звітності, у 2019 році тільки в м. Херсоні утворено 29 547,432 т відходів усіх класів небезпеки, зокрема від економічної діяльності підприємства [12].

У м. Херсоні станом на 1 січня 2020 року вже накопичилося 289,1 тис. т сміття. Взявши цей показник за основу та підставивши його у формулу 1 наводимо такі результати:

Очікувана кількість біогазу на Херсонському полігоні ТПВ становить 46,2 млн. м<sup>3</sup>.

Залежно від вмісту метану біогаз має теплоту згорання від 15 до 20 МДж/м<sup>3</sup>, що відповідає 50 % теплоти згорання природного газу. Для фінансової оцінки ефективності утилізації утвореного біогазу застосовувалась вартість еквівалентної кількості природного газу (6 990 грн. за 1 000 м<sup>3</sup>), що в перерахунку становить 160,8 млн гривень.

Одним з економічних чинників, що може позитивно впливати на процеси запровадження біогазових установок на полігонах ТПВ, є ринкові механізми Кіотського протоколу. Згідно з Кіотськими домовленостями, Україна може отримати значні кошти від продажу квот на викиди парникових газів [13].

Для посилення економічної аргументації можна навести методичку, яка дає змогу підрахувати збитки від невикористаної емісії метану полігонів ТПВ. У результаті обчислень було з'ясовано, що з 1 кг ТПВ, депонованих на звалищі, виділяється 0,4 м<sup>3</sup> біогазу, що становить 0,34 кг в еквіваленті CO<sub>2</sub>. Враховуючи, що в 2018 р. на звалищі м. Херсон було розміщено 58 561,7 т ТПВ, а також те, що вартість 1 т CO<sub>2</sub>-екв. становить близько 50 грн, економічний збиток, спричинений виділенням в атмосферу біогазу зі звалищ м. Херсон, становить близько 398 тис. грн. за рік.

Однак важливо зазначити, що запровадження біогазових установок на полігонах ТПВ вимагає значних інвестицій, які коливаються від 200 тис. євро до 1 млн євро. За умови, що гроші від продажу одиниць скорочення відходів парникових газів, згідно з Кіотським протоколом, будуть надходити до державного бюджету, малоймовірно, що приватний бізнес інвестуватиме в системи збору та утилізації біогазу на полігонах ТПВ. Тому нагальним є розроблення державних програм з утилізації біогазу, які передбачатимуть залучення до використання біогазового потенціалу різних суб'єктів господарювання на засадах взаємовигідного партнерства.

З огляду на те, що біогаз, який отримується, містить, крім метану, ще й баластні речовини, перед подальшим використанням він підлягає попередньому очищенню. Конденсована під час охолодження волога може стати причиною замерзання газопроводу. Осушку виробляють охолодженням із наступним пропусканням газу через вологовідділювач, адсорбційна осушка (силікагель) і осушка рідким поглиначем (етиленгліколь) [14].

**Висновки і пропозиції.** На жаль, у нашій країні біогаз використовується не так широко, як за кордоном, але здійснений аналіз дає змогу зробити висновок, що

закриття й рекультивація великих звалищ і полігонів ТПВ в Україні зі створенням систем збирання та утилізації біогазу є технічно можливим, економічно доцільним й екологічно необхідним рішенням.

Потенційні можливості генерації біометану становлять мінімум 7,8 млрд м<sup>3</sup> на рік, тобто близько чверті потреб можна задовольнити в результаті розвитку біоенергетики в усіх її проявах. Поки що потенціал використовується лише на кілька відсотків, причиною чого є висока вартість будівництва біогазових установок, складність у виборі ділянок для будівництва та недостатня інформованість про способи перероблення ТПВ.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Алмашова В.С. Оцінка сучасного екологічного стану у сфері поводження з відходами в Херсонській області й шляхи зменшення впливу твердих побутових відходів на довкілля. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки / Херсонський державний аграрно-економічний університет*. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2021. Вип. 116. с.195-198.

2. Ладичук Д. О. Проблеми утворення твердих побутових відходів та їх утилізація. *Роль наук про Землю в народному господарстві: стан і перспективи (присвячена Всесвітньому Дню Землі)*: збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон: ДВНЗ «ХДАУ», 2019. С. 168-173.

3. Сагун Л.М., Різніченко Л.В., Велькін Б.О. Перспективи розвитку ринку біогазу в Україні та за кордоном. *Економіка і організація управління*. № 1 (37). 2020. С.160-170.

4. Євтушенко О.Т. Мінаков Р.В. Перспективи виробництва біопалива у контексті енергетичної безпеки України: збірник тез за матеріалами Міжнародної науково-практичної конференції «Філософські обрії сьогодення» 19 листопада 2020 р. Херсон: ХДАЕУ, 2020. С. 51-54.

5. Стратічук Н.В. Проблема накопичення відходів та оптимізація шляхів поводження з ними. *Таврійський науковий вісник: Науковий журнал*. Херсон: Грінь Д.С., 2020. Вип. 111. с.285-291.

6. Алмашова В.С., Бондаренко Ю.В. Аналіз сучасних методів управління у сфері поводження з твердими побутовими відходами на території Херсонської області. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку» (22-23 жовтня 2020, м. Херсон, Україна). Херсон ПП «Олді-плюс». с.16-19.

7. Євтушенко О.Т., Пацкан В.М. Сучасний стан поводження з відходами у контексті сталого розвитку Херсонської області. II Міжнародна науково-практична конференція «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку» м. Херсон, 24-25 жовтня 2019. С. 214-218.

8. Дюдяєва О.А., Шешина Н.В. Вплив полігону твердих побутових відходів на стан навколишнього середовища. II Міжнародна науково-практична конференція «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку» м. Херсон, 24-25 жовтня 2019. С. 290-293.

9. Сайт державної служби статистики в Україні. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 17.03.2021).

10. Findeisen C. Biogas – trends on the German and the international market.

11. German Biogas Association. 2019. URL: [https://www.eclareon.com/sites/default/files/clemens\\_findei-sen\\_-\\_biogas\\_-\\_trends\\_on\\_the\\_german\\_and\\_international\\_market.pdf](https://www.eclareon.com/sites/default/files/clemens_findei-sen_-_biogas_-_trends_on_the_german_and_international_market.pdf).

12. Куріс Ю. В. Способи переробки біогазу. Фаховий журнал «Енергозбереження, Енергетика, Енергоаудит» №7(77). 2016. С. 20–30.

13. Екологічний паспорт Херсонської області за 2019 р. URL: <https://bit.ly/2KBvbmL> (дата звернення: 10.03.2021)

14. Офіційний сайт Енергетика України. URL: <http://www.uaenergy.com.ua/index.php/2019/09/musorniyu-gaz/> (дата звернення: 20.03.2021).

15. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. URL: <http://saee.gov.ua/en> (дата звернення: 22.03.2021).