

УДК 620.92:[662.767.2+628.336.6](045/046)

**ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ
ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ З ВІДХОДІВ****А. О. Дичко**, к-т техн. наук, доц.; **І. О. Ополінський**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
opolinskyi@gmail.com

Еколого-економічний аналіз упровадження технології анаеробного збродження відходів з отриманням біогазу для підприємства полягає у розрахунку параметрів та продуктивності БГУ, еколого-економічного ефекту та терміну окупності. Еколого-економічне обґрунтування використання біогазових технологій дозволяє оцінити можливості підприємств, галузей із забезпечення задоволення потреб у енергетичних ресурсах та отримання додаткових економічних та екологічних ефектів. Проведене порівняння еколого-економічної доцільності застосування анаеробних технологій отримання біогазу із застосуванням інтенсифікації біоенергетичної утилізації відходів та без неї для господарства з продуктивністю переробки органічних відходів до 60 т/добу. При застосуванні анаеробних технологій утилізації органічних відходів із застосуванням інтенсифікації метаногенезу продуктивність біогазу збільшується до 4-х разів, а термін окупності установки зменшується до 9 місяців.

Ключові слова: біогаз, органічні відходи, анаеробні технології, еколого-економічний аналіз.

The benefits of technologies of anaerobic waste and wastewater treatment include: possibility to have additional source of energy, electric power and heat output, producing of fertilizers from active sludge, decrease of areas of treatment equipment, elimination of methane emission into atmosphere. The aim of research is to develop the methodology of grounding and calculating of ecologic and economic effectiveness of implementation of technology of waste and wastewater anaerobic treatment with biogas output. Practical value of research is elaboration of the universal method to determine the environmental and economic assessment of implementation of technology of anaerobic digestion of waste with biogas output. Originality of the research is that developed methodology includes benefits from increased biogas producing due to methods of intensification of waste biotransformation. It is analyzed the feasibility of implementing of biogas equipment for enterprise with productivity of formation of organic waste in the amount of 60 tons/day. Thus, use of anaerobic technology of organic waste utilization with intensification of the methanogenesis increases biogas productivity in 4 times and decreases period of plant payback to 9 months. It is determined that amount of the annual production of biogas suitable for sale is 2.7 million m³. Reduction of annual environmental charges for waste disposal is 2.9 million of UAH. The size of annual economic effect of implementation of biogas technologies is 2.59 million of UAH, and with use of process intensification – is 45.87 million of UAH. The payback period is 2 years and 8 months. Use of the technology of process intensification allows reducing the payback period to 9 months. The research of detailed assessment of new technologies of biogas output from different biomass or wastewaters, taking into account local conditions, ecological norms and “green” tariffs for bioenergy will be perspective.

Keywords: biogas, waste, anaerobic technology, ecological and economic effect.

Вступ

Залежність України від імпортованих енергоносіїв становить 40 %. Відповідно до Енергетичної стратегії України на період до 2030 р. підвищення енергоефективності та зменшення використання енергії є пріоритетним напрямком енергетичної політики України. Відповідно до Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 р. загальна потужність усіх відновлювальних джерел повинна збільшитися більше ніж у 5,5 разів порівняно зі значенням 2014 р.

Постановка проблеми

Для досягнення енергетичного суверенітету країни необхідне підвищення енергоефективності, зменшення використання енергії та застосування відновлювальних джерел енергії.

Найбільш перспективним відновлювальним джерелом енергії для України є енергія з біомаси, у тому числі анаеробні технології очищення стічних вод та переробки органічних відходів промислових підприємств та сільського господарства [1].

Основним бар'єром на шляху до розвитку анаеробних технологій переробки органічних відходів з отриманням біогазу в Україні є незначна питома величина виходу біогазу. Це пов'язано насамперед із високими затратами на підігрів субстрату; низьким рівнем питомого виходу біогазу на одиницю маси органічних відходів; утворенням значних об'ємів збродженого субстрату; низькою теплоємністю отриманого біогазу тощо. Тому доцільним є удосконалення існуючих технологій утилізації органічних відходів, в яких застосовуються методи анаеробного збродження, шляхом стимулювання зброджу-

ваної біомаси ферментами, вітамінами та іншими біологічними активними речовинами, що виділяються при руйнуванні клітин біомаси [2].

Тому, виникає необхідність еколого-економічного аналізу застосування анаеробних технологій отримання біогазу.

Мета роботи полягає в тому, щоб на основі характеристик біогазової установки (БГУ) провести еколого-економічний аналіз технологій отримання біогазу.

Аналіз досліджень і публікацій

Фундаментальні теоретико-методичні, прикладні та технічні аспекти виробництва біогазу представлені в працях таких науковців, як Г. Г. Гелетука, В. В. Джеджула та ін. Дослідження висвітлюють загальні закономірності перероблення органічних відходів з отриманням біогазу. Методологічні аспекти еколого-економічного обґрунтування впровадження альтернативних джерел енергії та захисту навколишнього природного середовища представлені в працях таких науковців, як А. В. Праховник, О. І. Запорожець та ін. Дослідження проблем поводження з відходами та стічними водами в тому числі транспортного комплексу представлені в працях таких науковців, як М. Д. Гомеля [3], С. В. Бойченко [4] та ін.

Не розкритими в попередніх дослідженнях залишаються такі питання: еколого-економічний розрахунок технологій переробки органічних відходів та стічних вод у біогаз та визначення еколого-економічного ефекту з врахуванням зменшення збору за розміщення відходів, які утворюються в результаті виробничої діяльності підприємств.

Викладення основного матеріалу

Еколого-економічний аналіз використання біогазових технологій можна розглядати як сукупність показників, що дозволяють оцінити можливості підприємств, галузей із забезпечення задоволення потреб у енергетичних ресурсах та отриманні додаткових економічних та екологічних переваг.

Для оцінки доцільності впровадження технології анаеробного зброджування відходів та стічних вод з отриманням біогазу розроблена методика, що полягає у розрахунку параметрів та продуктивності БГУ, еколого-економічного ефекту та терміну окупності.

Розрахунок метантенків полягає в виборі режиму зброджування, визначенні необхідного обсягу споруд та ступеня розпаду речовини субстрату, кількості отриманого біогазу і органічних добрив [5; 6].

Розрахунковий обсяг метантенків (V_{met} , м³):

$$V_{met} = \frac{M_{zag} 100}{D_{mt}}, \quad (1)$$

де M_{zag} — кількість відходів за добу, м³/добу; D_{mt} — добова доза завантаження в метантенк суміші, %.

Добовий вихід біогазу (Γ , м³/добу):

$$\Gamma = y Q_{bez} 1000, \quad (2)$$

де Q_{bez} — кількість беззолних відходів, т/добу; y — питомий вихід газу з метантенків (y , м³/кг).

Для зберігання газу передбачені газгольдери, місткість яких приймається рівною тригодинному виходу газу.

Витрата тепла на обігрів свіжого осаду (G_{ob} , Ккал/добу):

$$G_{ob} = (1 + K) M_{zag} C_t (t_m - t_s) 1000, \quad (3)$$

де K — коефіцієнт, що враховує втрати тепла через стінки, днище та перекриття метантенків, при ємності більше 1000 м³ дорівнює 0,10; C_t — теплоємність субстрату, дорівнює 4,2 кДж/(кг·К); t_m — температура в метантенку, при термофільному режимі зброджування рівна 50 °С; t_s — температура субстрату, у середньому дорівнює 14 °С.

Еквівалентна кількість біогазу, що необхідна для роботи котельної установки розраховується при теплотворній здатності біогазу 5000 Ккал/м³.

Оцінка ефективності впровадження технології анаеробної утилізації відходів — це порівняння економічного результату з витратами на реалізацію проекту. До неї ставляться дві вимоги: 1) по можливості повніше охоплювати всі соціально-економічні наслідки у різних сферах господарства як у найближчий період, так і у віддаленій перспективі; 2) найповніше врахувати всі витрати, пов'язані із здійснюваними заходами [7].

Ефект від охорони навколишнього середовища впливає на поліпшення економічних показників виробництва. Найпростіший метод визначення нанесених збитків від забруднення довкілля описаний у праці [7].

Під збитками можна розуміти збір, який підприємство щорічно сплачує відповідно до податкового кодексу України.

Сума збору, який справляється за розміщення відходів (Π_{rv} , грн), обчислюються платниками самостійно щокварталу наростаючим підсумком з початку року, виходячи з фактичних обсягів розміщення відходів, нормативів збору та коригувальних коефіцієнтів і визначаються за формулою:

$$\Pi_{rv} = M_i H_{bi} I_{sp} K_T K_O, \quad (4)$$

де M_i — обсяг відходів i -го виду, т/добу; H_{bi} — норматив збору за тону відходів i -го виду; I_{sp} —

індекс інфляції, становить 1,433 (річний за 2015 р.); K_T — коригувальний коефіцієнт, який враховує розташування місця розміщення відходів, дорівнює 1...3; K_O — коригувальний коефіцієнт, який враховує характер обладнання місця розміщення відходів, дорівнює 1...3.

Загальний ефект від попередження і зниження витрат обчислюється за різницею їх оцінки до і після проведення природоохоронних заходів.

Визначення чистого економічного ефекту природоохоронних заходів ґрунтується на порівнянні витрат на їх здійснення з досягнутим завдяки цим заходам економічним результатом.

Економічний результат природоохоронних заходів (P , грн) визначається за величиною економічних збитків (Z_1), та величиною додаткового доходу (D):

$$P = Z_1 + D, \quad (5)$$

де Z_1 — величина попереднього економічного збитку, грн; D — річний приріст доходу (додатковий дохід) унаслідок поліпшення виробничих досягнень, грн.

Річний дохід від реалізації отриманого біогазу дорівнює добутку кількості біогазу, який залишився після задоволення потреб у підігріві субстрату, кількості робочих днів у році, ціни за природний газ ($5,6$ грн/м³) та коефіцієнту $0,6$, який враховує нижчу теплотворну здатність біогазу порівняно з природним газом (теплотворна здатність природного газу становить $32,7$ МДж/м³, а біогазу — 20 – 25 МДж/м³).

Річні витрати на здійснення природоохоронних заходів визначаються за формулою:

$$Z = C + E_n K, \quad (6)$$

де C — експлуатаційні витрати; E_n — нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень (коефіцієнт дисконтування), дорівнює $0,15$; K — одноразові капітальні вкладення.

Величина капіталовкладень має дві складові, одна з яких відповідає витратам на БГУ (її складові та допоміжні матеріали). Друга частина капіталовкладень — це витрати на її будівництво та транспортування субстрату, виробничі затрати, амортизацію та страхування, що становить 25 % від вартості БГУ.

Тоді розмір чистого річного економічного ефекту (млн грн):

$$E_p = P - Z. \quad (7)$$

Однією з форм показника ступеня економічної ефективності є термін (строк) окупності витрат (капітальних вкладень). Він характеризує період, протягом якого понесені на реалізацію заходу витрати повністю повертаються за рахунок отриманого ефекту.

Для зменшення терміну окупності авторами пропонується застосування методів збільшення виходу біогазу. Основними способами інтенсифікації технології біоенергетичної утилізації відходів є технології попередньої механічної, хімічної та термічної обробки біомаси [5].

Проведені експериментальні дослідження [8] свідчать, що при застосуванні хімічної дезінтеграції біомаси кількість утвореного біогазу збільшується до 4 разів [9].

Проведемо порівняння еколого-економічної доцільності застосування анаеробних технологій отримання біогазу із застосуванням інтенсифікації біоенергетичної утилізації відходів та без неї.

На дослідженому фермерському підприємстві кількість утворюваних рідких органічних відходів (у перерахунку на суху речовину) — 40 т/добу, рослинних — 20 т/добу, що загалом становить 60 т/добу ($Q_{\text{общ}}$). Робоча вологість субстрату для БГУ становить 86 – 94 %, прийємо вологість 93 % та щільність 900 кг/м³, тобто на добу утворюється 54 м³ відходів ($M_{\text{общ}}$).

Для збродження використано метантенк з термофільним режимом. Зброджування відбувається за температури 50 – 55 °С.

На основі попередніх розрахунків приймаються два типових метантенки $D = 10$ м з корисним об'ємом кожного 500 м³, висота верхнього конуса $H_{\text{вк}} = 1,45$ м, висота циліндричної частини $H_{\text{ц}} = 5$ м, висота нижнього конуса $H_{\text{нк}} = 1,7$ м [9].

Для зберігання газу передбачені газгольдери, приймаються два газгольдера ємністю 2000 м³ кожний. Розрахункові значення капіталовкладень представлені в табл. 1 [10]. Річні експлуатаційні витрати становлять 20 % та рівні $5,4$ млн грн.

Результати проведених розрахунків представлені в табл. 2.

Таблиця 1

Кошторис на виготовлення біогазової установки

Назва устаткування і матеріалів	Вартість, млн грн
Реактор, 2 шт.	6,12
Газгольдер, 2 шт.	2,6
Компресор	0,5
Матеріали для обв'язки ректорів, газгольдера, подаючого, перемішуючого і нагрівального пристроїв	1,4

Закінчення табл. 1

Назва устаткування і матеріалів	Вартість, млн грн
Приймальний бункер	1,1
Пристрій для подачі сировини	1,15
Пристрій для анаеробного перемішування сировини	1,12
Нагрівальний пристрій	1,3
Пристрій стабілізації	0,22
Пристрій для контролю рівня, температури, тиску в реакторах	0,6
Автоматичний відкачувальний пристрій	0,8
Запобіжні пристрої (рівень бункера подачі тиску в реакторах і газгольдері)	0,01
Шафа управління	1,5
Інше	1,2
21,6	
27	

Таблиця 2

Порівняння еколого-економічних показників впровадження БГУ

Назва показника	Одиниця виміру	Значення при анаеробному зброджуванні відходів	
		без інтенсифікації	із застосуванням інтенсифікації
Питомий вихід біогазу на кілограм сухої біомаси	м ³ /кг	0,28	1,12
Добовий вихід біогазу	м ³ /добу	11984	47242
Кількість біогазу, що необхідна для задоволення потреб БГУ	м ³ /добу	4560	4560
Річна продуктивність біогазу	млн м ³ /рік	2,71	15,58
Річна продуктивність у еквіваленті прир. газу	млн м ³ /рік	1,63	9,35
Річний дохід	млн грн/рік	9,13	52,43
Економічний результат заходів	млн грн	12,04	55,34
Річні витрати на інтенсифікацію	млн грн	0,00	0,02
Річні витрати на здійснення природоохоронних заходів	млн грн	9,45	9,47
Загальні капіталовкладення	млн грн.	27,00	27,00
Розмір чистого річного економічного ефекту	млн. грн	2,59	45,87
Термін окупності витрат	роки	2,69	0,74

Отже, застосування інтенсифікації процесу виходу біогазу при метановому зброджуванні органічних відходів дозволить збільшити річну продуктивність виходу біогазу у чотири рази та зменшити термін окупності в 3,5 рази.

Висновки

Проаналізовано доцільність упровадження БГУ для підприємства з продуктивністю утворення органічних відходів у кількості 60 т/добу.

Визначено, що річна продуктивність біогазу, придатного для продажу, становитиме 2,71 млн м³. Зменшення річних екологічних платежів за розміщення відходів становить до 2,91 млн грн. Розмір чистого річного економічного ефекту від впровадження БГУ дорівнює 2,59 млн грн, а із використанням інтенсифікації процесу — 45,87 млн грн. Термін окупності становить 2 роки та 8 місяців.

При застосуванні анаеробних технологій отримання біогазу із застосуванням інтенсифікації біоенергетичної утилізації відходів термін окупності зменшується до 9 місяців.

ЛІТЕРАТУРА

1. Железная Т. А. Энергетические культуры как эффективный источник возобновляемой энергии / Т. А. Железная, А. В. Морозова // Промышленная теплотехника. — 2008. — 234 с.
2. Гюнтер Л. И. Метантенки / Л. И. Гюнтер, Л. Л. Гольдфарб. — М. : Стройиздат, 1991. — 128 с.
3. Радовенчик В. М. Тверді відходи: збір, переробка, складування / В. М. Радовенчик, М. Д. Гомеля. — К. : Кондор, 2010. — 552 с.
4. Бойченко С. В. Екологістика, утилізація та рециклінг транспортних засобів: тенденції та перспективи розвитку / С. В. Бойченко, К. Лейда,

О. В. Іванченко // Наукоємні технології. — 2016. — С. 221–227.

5. *Канализация* / С. В. Яковлев, Я. А. Карелин, А. И. Жуков, С. К. Колобанов. — М. : Стройиздат, 1975. — 632 с.

6. *Очистка стічних вод* / М. П. Лапицкая, Л. И. Зуева, Н. М. Балаескул, Л. В. Кулешова. — Минск : Вышэйшая шк., 1983. — 256 с.

7. *Методичні рекомендації до виконання курсової роботи з курсу «Економіка природокористування»* / П. В. Круш, Н. А. Шевчук, Н. І. Шевчук, О. О. Вовк. — К. : НТУУ «КПІ», 2006. — 60 с.

8. *Дичко А. О.* Інтенсифікація процесу біоенергетичної трансформації біомаси у біогаз / А. О. Дичко, Л. І. Євтеєва, І. О. Ополінський // *Управління розвитком складних систем.* — 2015. — № 22 (1). — С. 193–198.

9. *Пат. 100151* Україна. Спосіб інтенсифікації процесу біотрансформації органічних забруднень стічних вод у біогаз / К. К. Ткачук, А. О. Дичко, Л. І. Євтеєва, І. О. Ополінський. — Бюл. № 13. — 2015. — 2 с;

10. *Сравнительный анализ 61-й установки по производству биогаза в Германии [Электронный ресурс]* // Институт Генриха фон Тюнена. — 2010. — Режим доступа: http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_426-online_russ_brosch_bmpii_kurz_2010.pdf.

REFERENCES

1. *Zheleznaya T. A., Morozov A. V.* Energy crops as an effective source of renewable energy // *Industrial heating engineering.* — 2008. — 234 p.

2. *Gyunter L. I. and Goldfarb L. L.* (1991), *Methane tanks*, Stroyizdat, Moscow, Russia, 128 p.

3. *Radovenchik V. M., Gomelya M. D.* (2010), *Solid wastes: collection, processing, storage*, Kyiv, 552 p.

4. *Boychenko S. V., Leyda K., Ivanchenko O. V.* (2016), *Ekolohistyka, disposal and recycling of vehicles: trends and prospects*, “Science-Based Technologies”, Pp. 221–227.

5. *Yakovlev S. V., Karelin Ya. A., Zhukov A. I. and Kolobanov S. K.* (1975), *Sewerage*, Stroyizdat, Moscow, Russia, 632 p.

6. *Lapitskaya M. P., Zueva L. I., Balaeskul N. M. and Kuleshova L. V.* (1983), *Sewage treatment*, Vysheyskaya shkola, Minsk, Belarus, 256 p.

7. *Krush P. V., Shevchuk N. A., Shevchuk N. I. and Vovk O. O.* (2006), *Methodical recommendations for implementation of student work on the course “Environmental Economics”*, NTUU “KPI”, Kyiv, Ukraine, 60 p.

8. *Dychko A., Yevtieieva L. and Opolinskyi I.* (2015). “Intensification of process of bioenergetic transformation of biomass into biogas”, *Management of Development of Complex Systems*, no. 22 (1). — Pp. 193–198.

9. *Tkachuk K. K., Dichko A. O., Evteeva L. I. and Opolinskyi I. O.* (2015), *Ukraine patent no. 100151*. Kyiv, Ukraine;

10. *Johann Heinrich von Thьnen-Institut.* (2010), “*Russische Kurzfassung Biogas-Messprogramm II*”, available at: http://www.fnr-server.de/ftp/pdf/literatur/pdf_426-online_russ_brosch_bmpii_kurz_2010.pdf (accessed February 05, 2016).

Стаття надійшла до редакції 31.08.2016