

**Квасов В.А., Недава О.А.***Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»  
(вул. Бакуліна, 6, Харків, 61166, Україна; e-mail: [gff.niiep@gmail.com](mailto:gff.niiep@gmail.com))***ІМОВІРНІСНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ (СИСТЕМ)  
ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗУ З ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ**

Вперше проведена імовірнісна оцінка ефективності систем утилізації біогазу на полігонах твердих побутових відходів України, на підставі якої можливо проводити вибір найбільш ефективної системи утилізації біогазу виходячи з мети утилізації та можливостей власників полігону. Поняття ефективності при впровадженні системи утилізації біогазу характеризується величиною одержуваного результату діяльності, що співвідноситься з витратами ресурсів, які необхідні для забезпечення функціонування цієї системи.

**Ключові слова:** парниковий газ, тверді побутові відходи, полігон, біогаз, утилізація біогазу, ефективність систем.

Одним із джерел утворення парникових газів є полігони та звалища твердих побутових відходів (ТПВ) в результаті чого утворюється біогаз, макрокомпонентами якого є метан і двооксид вуглецю. Вклад полігонів сміття України за рік у загальні викиди метану та двооксиду вуглецю складає від 3,5 до 4 % [1,3]. Найбільш негативні парникові ефекти наводить метан [4,6]. Крім того, полігони ТПВ є також джерелами газу, що в розвинутих країнах використовуються для виробництва теплової та електроенергії [7]. Є декілька технологій (систем) перетворення біогазу у енергію [1,2,5,7,8]. Але у відомих публікаціях не проводились наукове обґрунтування ефективності технологій використання біогазу ТПВ. Таким чином, збір і використання біогазу з полігонів ТПВ є актуальним напрямом дослідження, так як зменшує викиди парникових газів, а біогаз може бути використано для виробництва енергії.

Метою роботи є оцінка ефективності найбільш поширених систем утилізації біогазу на полігонах твердих побутових відходів (ТПВ) України.

Авторами виконувались дослідження щодо систем утилізації біогазу на полігонах ТПВ України та визначення їх ефективності.

Найбільш поширеними технологіями утилізації біогазу з полігонів ТПВ в Україні можна вважати наступні.

1. Система збору біогазу на полігонах ТПВ, яка складається з мережі вертикальних свердловин, поєднаних до газозбірного (магістрального) газопроводу шлейфовими

трубопроводами, облаштованих свердловинами глибиною щонайменше 7 м, радіус збирання біогазу 30 – 35 м. Вихід біогазу може складати від 6 м<sup>3</sup>/год. до 20 м<sup>3</sup>/добу на одну свердловину.

2. Система видобутку і підготовки біогазу, яка охоплює площу не менш 10 га і продуктивність якої складає не менш 300 м<sup>3</sup>/год.

3. Система осушки і підготовки біогазу – установка АГНКС, продуктивністю – до 300 м<sup>3</sup>/год.

4. Система заправлення автомобілів – газонаповнюючі компресорні станції АГНКС-40 (АГНКС 125) для заправки стиснутим біометаном автотранспортних засобів.

5. Система виробництва електроенергії – газопоршнева електростанція вітчизняної розробки АГП-60 потужністю не менш 60 кВт, яка використовує в якості палива звалищний газ.

6. Система виробництва тепла і електроенергії – когенераційна установка, яка є генераторною установкою з поршневим двигуном, оснащеною системою утилізації тепла, що виділяється. Продуктивність установки знаходиться в межах 80 – 90 %.

Ефективність – це об'єктивна властивість цілеспрямованого процесу функціонування системи, що характеризує її пристосованість до досягнення мети. Можна виділити кілька різновидів (сторін) поняття «ефективність». Загальним у всіх різновидах ефективності є те, що завжди при кількісному вираженні будь-яка з них виходить з тієї передумови, що ефективність є комплексна властивість, що акумулює в собі інформацію і про одержувані результати, і

про витрати ресурсів [9,10,13,14]. У практичній задачі (використання біогазу з полігонів ТПВ) поняття ефективності необхідно пов'язати з поняттям економічної ефективності.

Економічна ефективність при впровадженні системи утилізації біогазу характеризується величиною одержуваного результату діяльності, що співвідноситься з витратами ресурсів, які необхідні для забезпечення функціонування цієї системи.

На економічну ефективність системи утилізації біогазу з полігонів ТПВ в першу чергу впливають такі чинники: кількість та склад біогазу, який збирається системою; вартість облаштування системи збору та утилізації біогазу; вартість обладнання; вартість транспортування продуктів переробки біогазу; продуктивність обладнання; вартість обслуговування обладнання; вартість продукту переробки біогазу.

Для кожного полігону ТПВ оцінка економічної ефективності повинна проводитись з розрахунком конкретних значень всіх цих складових.

В роботі пропонується підхід до оцінювання ефективності різних систем утилізації біогазу з полігонів ТПВ на підставі вірогідних оцінок.

Для комплексного дослідження ефективності функціонування системи утилізації біогазу показник якості її результатів має включати результативність функціонування системи утилізації біогазу і витрати ресурсів.

Нехай:

$E$  – векторний показник якості функціонування системи;

$R = (R_1, \dots, R_{n_1})$  – вектор результатів функціонування системи;

$C = (C_1, \dots, C_{n_2})$  – вектор витрат ресурсів на отримання цих результатів.

Тоді показник якості функціонування системи може бути представлений, як  $n$ -мірний вектор ( $n = n_1 + n_2$ ):

$$E = (R, C) = (R_1, \dots, R_{n_1}, C_1, \dots, C_{n_2}). \quad (1)$$

Подання показника якості результату функціонування системи у вигляді вектору  $(R, C)$  називають канонічним [5].

При цьому, якщо  $E_d = (R_d, C_d)$  – вектор допустимих результатів функціонування системи, при яких досягається мета системи, то  $\{O_d\}$  – область допустимих значень вектора  $E$ , тобто:

$$E \in \{O_d\}. \quad (2)$$

У загальному випадку результат функціонування системи залежить від експлуатаційно-технічних характеристик (ЕТХ) системи утилізації біогазу та факторів, що характеризують умови функціонування системи, тобто:

$$E = E(a, v), \quad (3)$$

де:  $a$  – вектор ЕТХ системи, величина якого в нашому випадку визначається основними характеристиками системи утилізації біогазу;  $v$  – вектор факторів, що характеризує умови функціонування системи.

Так як вектори  $a$  і  $v$  у загальному випадку містять і випадкові і детерміновані компоненти, то і результат функціонування системи утилізації біогазу може бути випадковим.

З вище викладеного виходить, що ймовірність досягнення мети ( $P_{д.м.}$ ) функціонування системи утилізації біогазу залежить від векторів  $a$  і  $v$ , тобто:

$$P_{д.м.} = P_{д.м.}(a, v). \quad (4)$$

Отже, виконання умови  $E \in \{O_d\}$ , що означає досягнення мети функціонування системи утилізації, є випадкова подія. Тому показник ефективності повинен характеризувати ефективність функціонування системи, а не окремої її реалізації. Під реалізацією системи будемо розуміти одноразові результати її функціонування в певних умовах. Враховуючи це, в якості показника ефективності функціонування системи повинна фігурувати ймовірність події  $E \in \{O_d\}$  – ймовірність досягнення мети застосування системи:

$$P_{д.м.} = P(E \in \{E_d\}). \quad (5)$$

Для її обчислення необхідно і достатньо знати закони розподілу випадкового вектору  $E$  і випадкової області  $\{O_d\}$ . Так як отримання інформації про закони розподілу вектору  $E$  та області  $\{O_d\}$  пов'язане з певними труднощами, то в якості показника ефективності замість ймовірності  $P_{д.м.}$

часто використовують математичне очікування цього вектору [10-12].

Оцінювання ефективності функціонування системи утилізації біогазу реалізується в два етапи.

На першому етапі визначаються показник якості результатів використання системи – вектор  $\mathbf{E}$  показників  $\mathbf{R}$ ,  $\mathbf{C}$  та вимоги до якості результатів використання системи – область  $\{O_d\}$  допустимих значень  $\mathbf{R}_d$ ,  $\mathbf{C}_d$  показників  $\mathbf{R}$ ,  $\mathbf{C}$  і формується критерій оцінювання якості результатів  $\mathbf{E} \{E_d\}$ .

На другому етапі обчислюється значення показника ефективності функціонування системи – ймовірність досягнення її мети  $\mathbf{P}_{d.ц.}$ ; задаються вимоги до ефективності функціонування системи – потрібне (мінімально допустиме –  $\mathbf{P}_{d.ц.тр}$ ) або оптимальне значення ( $\mathbf{P}_{d.ц.опт}$ ) ймовірності  $\mathbf{P}_{d.ц.}$  досягнення мети використання системи та реалізується (перевіряється) один з критеріїв оцінювання ефективності функціонування системи, критерій придатності  $\mathbf{P}_{d.ц.} \geq \mathbf{P}_{d.ц.}^{тр}$  або критерій оптимальності  $\mathbf{P}_{d.ц.} = \mathbf{P}_{d.ц.}^{opt}$ .

При оцінці ефективності використання системи за такою схемою автоматично вирішується проблема «ефективність – вартість».

На практиці вимоги до результатів функціонування системи утилізації біогазу носять, як правило, односторонній характер. Так, цільовий ефект повинен бути не менше необхідного (мінімально допустимого) значення  $\mathbf{R}_{тр}$ , а витрати повинні бути не вище максимально допустимих  $\mathbf{C}_{доп}$ . У цьому випадку двовірна область  $\{E_d\}$  допустимих результатів функціонування системи може бути представлена у вигляді графіка (рис. 1) [10].

$$\text{Тоді } E = (R \geq R_{тр}) \cap (C \leq C_{доп}).$$

Імовірнісний опис області  $\{E_d\}$  зводиться до визначення закону розподілу випадкового вектора  $\mathbf{E}_{тр}$ . Воно може представлятися функцією розподілу:

$$E_{тр} (E^*_{тр}) = P[(R_{тр} < R^*) \cap (C_{доп} > C^*)]. \quad (6)$$

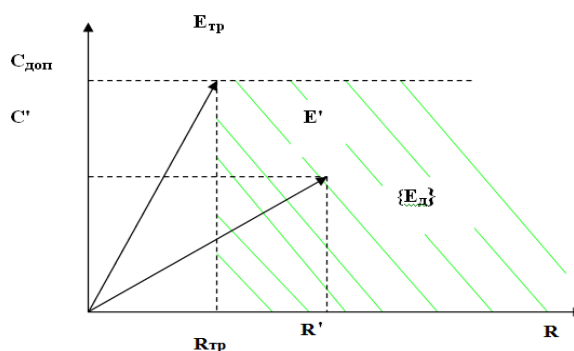


Рис. 1. Область допустимих значень  $\{E_d\}$  при заданих  $R_{тр}$  и  $C_{доп}$

При відомих законах розподілу випадкових векторів  $\mathbf{E}$  і  $\mathbf{E}_{тр}$  ймовірність досягнення мети системою при обмеженні вартості знаходиться за формулою повної ймовірності (в інтегральній формі):

$$P_{d.ц.} = P(E \in \{E_d\}) = \int_{R_{тр}}^{\infty} \int_0^{C_{доп}} fE(E') dR' dC'. \quad (7)$$

де:  $fE(E')$  – щільність розподілу випадкового вектору  $\mathbf{E}'$ .

При обмежених відомостях про статистику роботи системи утилізації біогазу в різних умовах практично можна обмежитися оцінками перших моментів розподілу (математичним очікуванням і дисперсією) [9, 10].

$$f(E') = \sum_{ij} M_{ij} R^i C^j. \quad (8)$$

У зв'язку з труднощами одержання статистичних оцінок параметрів (математичних очікувань  $\mathbf{a}_e$ ,  $\mathbf{a}_c$ , дисперсії  $\mathbf{\sigma}_e$ ,  $\mathbf{\sigma}_c$ ) була проведена експертна оцінка результатів і вартості в експлуатації системи утилізації біогазу.

Експертна оцінка проводилась згідно загальноприйнятим методам [10].

Для реалізації експертного оцінювання була сформована група експертів із 7 чоловік. В якості оцінок була обрана кількісна оцінка. Для формалізації інформації, яка отримана при експертному оцінюванні, використовувалась абсолютна шкала вимірювань в балах (від 0 до 10).

В табл. 1 наведені результати експертних оцінок експертів  $r$  ( $r = 1 \dots d$ ) за критеріями  $s$  ( $s = 1 \dots h$ ) вартості ( $\mathbf{C}$ ) і результативності ( $\mathbf{R}$ ) систем утилізації біогазу  $k$  ( $k = 1 \dots b$ ), при  $d = 7$ ,  $b = 6$ ,  $h = 2$ .

Таблиця 1 – Результати експертних оцінок 6 систем (технологій) утилізації біогазу

Експерти	Системи											
	1		2		3		4		5		6	
	R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R	C
1	2	2	3	4	2	6	6	3	7	4	8	9
2	2	2	2	4	3	7	7	6	8	7	9	8
3	3	2	3	6	4	5	7	4	8	6	8	9
4	4	3	2	4	2	5	7	3	8	5	9	8
5	3	2	2	5	2	6	7	3	8	4	9	7
6	2	1	2	1	4	2	2	3	3	5	5	10
7	3	2	3	3	3	6	7	2	8	3	10	10
Середнє значення	3	2	2	4	3	5	7	3	7	5	8	9

Усередненні оцінки системи утилізації біогазу відображені на графіку, по осям якого відкладаються **R** та **C** (рис. 2)

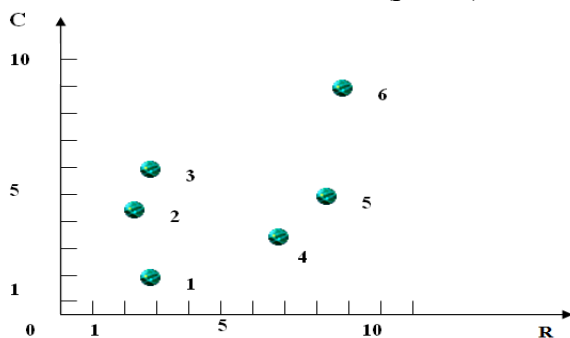


Рис. 2. Усередненні оцінки систем утилізації біогазу

На підставі проведеного вірогідного оцінювання результатів функціонування та вартості систем і виходячи з мети утилізації та можливостей власників полігону можливо визначатись з вибором системи утилізації біогазу.

**Висновки.** Виробництво та енергетичне використання біогазу з полігонів ТПВ реалізується за допомогою цілого ряду технологій (систем). Для вибору найбільш ефективної системи виходячи з мети утилізації та можливостей власників полігону запропонована методологія і проведена імовірнісна оцінка ефективності систем використання біогазу з полігонів ТПВ. Ефективність при впровадженні системи утилізації біогазу характеризується величиною одержуваного результату діяльності, що співвідноситься з витратами ресурсів, які необхідні для забезпечення функціонування цієї системи. Наведена методика може застосовуватись при необхідності проведення імовірнісної порівняльної оцінки ефективності будь-яких систем.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. П'ятничко О.І. Досвід утилізації звалищ нього газу в енергетичних установках України / О.І. П'ятничко, Г.В. Жук, О.А. Недава, А.В. Грищенко та ін.: Монографія – К.: Аграр. Медіа Груп, 2015. – 126 с.
2. Гелетуха Г.Г. Обзор технологий добычи и использования биогаза на свалках и полигонах твердых бытовых отходов и перспективы их развития в Украине. Экотехнологии и ресурсосбережение / Г.Г. Гелетуха, З.А. Марценюк. – 4. – 1999. С. 6 – 14.
3. Санитарная очистка и уборка населенных мест: справочник / под. ред. А.Н. Мирного – [2-е изд. Перераб.]. – М.: Стройиздат, 1990. – 413 с.
4. Wong C.S., Tishchenko P., Johnson W.K. The Effects of High CO2 Molality on the Carbon Dioxide Equilibrium of Seawater // J. Chem. Eng. Data. 2005. V.50. P.822-831.
5. Федоров М.П., Черемисин А.В. Природоохранные мероприятия на полигонах твердых бытовых отходов с осуществлением сбора и утилизации биогаза // Региональная экология – 1999. - № 3. – С. 89-93.
6. J.B. Holm-Nielsen, T.Al Seadi Anaerobic Digestion – Biogas Production / State of the art of biogas in Europe/ 1-st International Ukrainian Conference on Biomass for Energy, September 23-36, 2002, Kyiv, Ukraine. Proceedings in CD-ROM.
7. G.Geletukha, T.Zhelyezna, Yu.Matveev, S.Tishayev Bioenergy in Ukraine: State of the Art and Future Development // 12th European Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. –Amsterdam. – 17-21 June 2002. – p. 1371-1374.
8. Нові технології та обладнання по переробці промислових та побутових відходів і їх медико-екологічне забезпечення: Тр. III наук.-техн. Конф. (24-28 лютого 2004 р., Сваляв. р-н). – К.: Т-во «Знання» України, 2004.- 105 с.
9. Скиба М.Є. Обладнання для переробки відходів / Хмельницький: Ковальський, 2004. – 124с.
10. Касаткин А.С. Оценка эффективности автоматизированных систем контроля / А.С. Касаткин, И.В. Кузьмин – М.: Энергия, 1967. – 231 с.
11. Демидов Б.А. Системный анализ вооружения и военной техники / Б.А. Демидов. – Харьков: ХВУ, 1994. – Кн. 1 – 366 с.
12. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений, а Также Хроника событий в Волшебных Странах: Учебник. – М.: Логос, 2000. – 296с.
13. Анализ, синтез, планирование решений в экономике – М.: Финансы и статистика, 2000. – 368 с.
14. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Перевод с английского Р. Г. Вачнадзе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pqm-online.com/assets/files/lib/books/saaty.pdf>.

## Квасов В.А., Недава А.А. ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ (СИСТЕМ) ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗА С ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Впервые проведена вероятностная оценка эффективности систем утилизации биогаза на полигонах твердых бытовых отходов Украины, на основании которой можно проводить выбор наиболее эффективной системы утилизации биогаза исходя из цели утилизации и возможностей владельцев полигона. Понятие эффективности при внедрении системы утилизации биогаза характеризуется величиной получаемого результата деятельности и соотносится с затратами ресурсов, которые необходимы для обеспечения функционирования этой системы.

**Ключевые слова:** парниковый газ, твердые бытовые отходы, полигон, биогаз, утилизация биогаза, эффективность систем.

## Kvasov V.A., Nedava A.A. PROBABILISTIC ESTIMATION THE EFFICIENCY OF TECHNOLOGIES (SYSTEMS) OF BIOGAS USING AT SOLID DOMESTIC WASTES POLYGON

At the first time a probabilistic assessment of the efficiency biogas utilization systems at solid domestic waste landfills in Ukraine has been carried out. Based on the results it is possible to select the most efficient biogas utilization system for the disposal and the capabilities of landfill owners. The efficiency of biogas utilization system is characterized by the result of activity and the cost related to resources that are needed for operation the system.

**Key words:** greenhouse gas, solid household waste, landfill, biogas, biogas utilization, the efficiency of system.

УДК 697.347

**Тарадай А.М., Бугай В.С., Шахненко Е.Д., Фомич С.В.**

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры  
(ул. Сумская, 40, Харьков, 61002, Украина; e-mail: [alekst1704@gmail.com](mailto:alekst1704@gmail.com), [vl.bugai@gmail.com](mailto:vl.bugai@gmail.com))*

## ПОКВАРТИРНАЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ НА БАЗЕ ДЕЙСТВУЮЩИХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОТЫ

Приведен анализ опыта децентрализации систем теплоснабжения в Украине, а также сопоставление преимуществ и недостатков централизованных и децентрализованных систем теплоснабжения с целью определения технических и организационных мероприятий, обеспечивающих повышение энергоэффективности существующих систем теплоснабжения. Кроме дорогостоящей реконструкции в многоэтажных жилых домах существующих однотрубных систем отопления на поквартирные системы с индивидуальными приборами учета тепловой энергии, предложен метод совершенствования ценообразования на тепловую энергию с учетом типа здания, выполненных мероприятий по теплозащите квартир абонентами.

**Ключевые слова:** энергосбережение, централизованные и децентрализованные системы теплоснабжения, поквартирная система отопления, прибор учета тепловой энергии, ценообразование на тепловую энергию.

**Введение.** Украина – страна централизованного теплоснабжения, которое развивалось, базируясь на крупных, средних и малых источниках теплоты. Приоритет был отдан ТЭЦ, районным отопительным котельным. Практически в каждом населенном пункте, будь то город или поселок городского типа, имеем централизованную систему теплоснабжения, работающую на газовом топливе. На долю твердотопливных источников теплоты приходится менее 20% всего централизованного теплоснабжения страны. Наличие централизованных систем теплоснабжения потребовало в свое время создание мощных эксплуатирующих организаций – «Теплокоммунэнерго». С

экологической точки зрения централизованное теплоснабжение лучше по своим показателям в сравнении с децентрализованным. Одним из основных преимуществ централизованных систем теплоснабжения перед децентрализованными является концентрация источников теплоты, а, следовательно, и выбросов на конкретной территории. Источники теплоты, как правило, располагают удаленно от жилой застройки. Понятно, что на таких источниках теплоты можно оборудовать наиболее современные очистные сооружения для снижения вредных выбросов. Децентрализованное теплоснабжение влечет за собой рассредоточение вредных выбросов по всей территории