

УДК 662.767.2

<https://doi.org/10.34185/tpm.6.2019.02>

Коваленко В.Л.

Визначення економічної ефективності використання біогазових сумішей в умовах промислових підприємств

Kovalenko V.

Determination of economic efficiency of using biogas in the conditions of industrial enterprises

Для визначення ефективності використання біогазу в умовах діючих промислових підприємств металургійної галузі України і Запорізької області, зокрема, розраховано базові економічні показники переведення типового пінного обладнання на біогазові суміші з різних похідних та доступних в даному регіоні джерел. Визначено технічну можливість та економічну доцільність застосування біогазових сумішей в якості альтернативного палива для енергозабезпечення термічних та нагрівальних печей промислових підприємств на прикладі реального об'єкта. Показано, що використовувати в енергетичному обладнанні низькокалорійне паливо, з урахуванням його якісних показників, доцільно як окремо, так і в комбінації з традиційними джерелами енергії. Виявлено, що економічні показники проектів впровадження біогазових технологій на металургійних підприємствах відрізняються залежно від багатьох вихідних умов, таких як: джерела походження та хімічного складу біогазу; характеристик енергетичного обладнання, яке переводиться на таке паливо; частки заміщення природного газу в паливній суміші; тощо. Виходячи з тенденції постійного зростання вартості традиційних енергетичних ресурсів, впровадження та використання їх альтернативних і поновлюваних аналогів в умовах енергоємних металургійних підприємств є актуальним та, за правильного підходу, економічно вигідним.

Ключові слова: енергоефективність, біогазові технології, біогаз, природний газ, очищення, збагачення, промислові печі, економічна доцільність

To determine the efficiency of biogas use in the existing industrial enterprises of the metallurgical industry of Ukraine and Zaporizhia region, in particular, the basic economic indicators of conversion of standard furnace equipment to biogas mixtures from various derivatives and sources available in the region are calculated. The technical feasibility and economic feasibility of using biogas mixtures as an alternative fuel for energy supply of thermal and heating furnaces of industrial enterprises on the example of a real object are determined. It is shown that to use low-calorie fuel in power equipment, taking into account its quality indicators, it is expedient both separately and in combination with traditional energy sources. It is revealed that the economic indicators of projects for the introduction of biogas technologies at metallurgical enterprises differ depending on many initial conditions, such as: sources of origin and chemical composition of biogas; characteristics of power equipment that is converted to such fuel; the proportion of natural gas substitution in the fuel mixture; etc. Based on the trend of constant growth in the cost of traditional energy resources, the introduction and use of their alternative and renewable counterparts in energy-intensive metallurgical enterprises is relevant and, with the right approach, cost-effective

Keywords: energy efficiency, biogas technologies, biogas, natural gas, purification, enrichment, industrial furnaces, economic feasibility

Вступ. Для визначення технічної можливості та економічної доцільності використання біогазових технологій в умовах будь-якого промислового підприємства розроблено алгоритм [1], який враховує такі вихідні дані: хімічний склад необробленого сирового біогазу, його теплотворну здатність, параметри системи обробки та збагачення до необхідного в конкретному випадку рівня, вартість традиційного і біогазового палива, екологічні обмеження та враховує можливі штрафні санкції при визначенні техніко-економічних показників та інші.

Розроблений алгоритм було апробовано, в якості прикладу, в умовах ливарного цеху промислового підприємства м. Запоріжжя ПАТ «Запоріжсталь» для двох розповсюджених агрегатів, а саме: печі відпалу лиття безперервної дії ($\omega_{\text{гр}}^{\text{л}} = 46,16 \text{ м}^3/\text{год}$) та конвеєрного рециркуляційного сушила форм виливниць ($\omega_{\text{гр}}^{\text{л}} = 416,7 \text{ м}^3/\text{год}$). Дані, щодо вартості та калорійності природного газу прийнято згідно з [2].

В якості альтернативного палива використано біогазову суміш з відходів свиного господарств, типовий склад якого [3]: $A_{\text{мер}} = 65\% \text{ CH}_4^{\text{мер}} + 32,5\%$

$\text{CO}_2^{\text{мер}} + 1,2\% \text{ H}_2\text{S}^{\text{мер}} + 0,2\% \text{ N}_2^{\text{мер}} + 1\% \text{ H}_2^{\text{мер}} + 0,1\% \text{ O}_2^{\text{мер}}$. Початкова вартість ресурсу [4]: $V_{\text{мер}} = 2,9 \text{ грн}/\text{м}^3$. Для встановлення технологічних та екологічних критеріїв можливості використання біогазових технологій було визначено, що в печах можна спалювати паливо різної калорійності із максимально-допустимою концентрацією $\text{H}_2\text{S}^{\text{об}} \leq 0,3\%$.

Мета роботи. Дослідити можливість впровадження біогазових технологій в умовах промислових підприємств, визначити техніко-економічні показники переведення термічних та нагрівальних печей на біогаз із врахуванням головних критеріїв та вимог щодо кінцевої якості палива

Основні результати. Для аналізу технологічних особливостей роботи обраного обладнання на біогазі першочергово слід відзначити, що для кожного конкретного випадку неможливо точно врахувати змінення коефіцієнту використання тепла палива. Проте використання раніше досліджених статистичних даних вирішує цю проблему при достатньому рівні адекватності розрахунків.

Змінення коефіцієнту використання тепла (палива) при спалюванні біогазових сумішей у сушили

ЛК-1:

$$\eta_{бг} = \eta_{см} = \eta_{пг} = const = 0,91. \quad (1)$$

$$\eta_{см} = \eta_{пг} \cdot (0,0078 \cdot Q_{см} + 0,723). \quad (2)$$

Склад біогазу з відходів ВТК «Запоріжжя»:

$$A_{мер} = 65\%CH_4^{мер} + 32,5\%CO_2^{мер} + 1,2\%H_2S^{мер} + 0,2\%N_2^{мер} + 1\%H_2^{мер} + 0,1\%O_2^{мер}. \quad (3)$$

Склад біогазу з полігону ТБО №1:

$$A_{мер} = 45\%CH_4^{мер} + 45\%CO_2^{мер} + 0,7\%H_2S^{мер} + 5,2\%N_2^{мер} + 1,4\%H_2^{мер} + 2,7\%O_2^{мер}. \quad (4)$$

Враховуючи, що калорійність природного газу $Q_{нз} = 35$ МДж/м³, спрощене визначення його складу розраховуємо за формулою 3:

$$A_{нз} = \frac{100 \cdot 35}{35,82} + 100 \cdot \left(1 - \frac{35}{35,82}\right) = 97,71\%CH_4^{нз} + 2,29\%N_2^{нз}. \quad (5)$$

Тепер для оцінки екологічних критеріїв використання біогазових технологій дослідження показало, що необхідним та достатнім буде врахування умови не перевищення концентрації H₂S в кінце-

Змінення коефіцієнту використання тепла (палива) при спалюванні біогазових сумішей в печі відпалу лиття [5]:

(2)

вому енергоресурсі максимально допустимого значення, тобто для ЛК-1 цей критерій виражається:

$$\sum_{i=1}^1 (\gamma_i^{min} \leq \gamma_i \leq \gamma_i^{max}) = H_2S^{см} \leq H_2S^{max} = 0,4\%. \quad (5)$$

Для печі відпалу лиття:

$$\sum_{i=1}^1 (\gamma_i^{min} \leq \gamma_i \leq \gamma_i^{max}) = H_2S^{см} \leq H_2S^{max} = 0,2\%. \quad (6)$$

Попередньо встановлено й технологічні критерії, які висувуються тільки для ЛК1, тому можуть бути визначені за наступним співвідношенням [6,7]:

$$\sum_{i=1}^1 (\lambda_i^{min} \leq \lambda_i \leq \lambda_i^{max}) = \alpha_{пов}^{см} \cdot \omega_{пов}^{см} + \omega_{бг}^{см} \leq 1,25 \cdot (\alpha_{пов}^{нз} \cdot \omega_{пов}^{нз} + \omega_{нз}); \quad (7)$$

де $\alpha_{пов}^{см}$, $\alpha_{пов}^{нз}$ – коефіцієнти надлишку повітря при спалювання біогазу та природного газу відповідно. Змінення $\alpha_{пов}^{см}$ буде залежати від наявності

$$\alpha_{пов}^{см} = \alpha_{пов}^{пг} \cdot (1 + 0,01 \cdot (CO_2^{см} + N_2^{см})^2 + 0,45 \cdot (CO_2^{см} + N_2^{см})). \quad (8)$$

Для оцінки необхідних капіталовкладень в (системи очищення та збагачення біогазу – $K_{зб}$, $K_{оч}$), а також модернізації (палинкових пристроїв печей – $K_{мод}$) попередньо побудовано відповідні графічні

ті баластних домішок та оцінюватися за співвідношенням [8]:

залежності із використанням статистичних даних та результатів досліджень, що представлені на рисунках 1, 2.

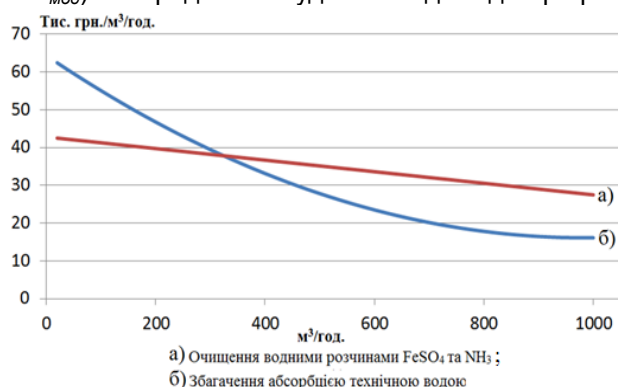


Рисунок 1 – Питомі інвестиційні одиниці затрати на установках з обробки біогазу

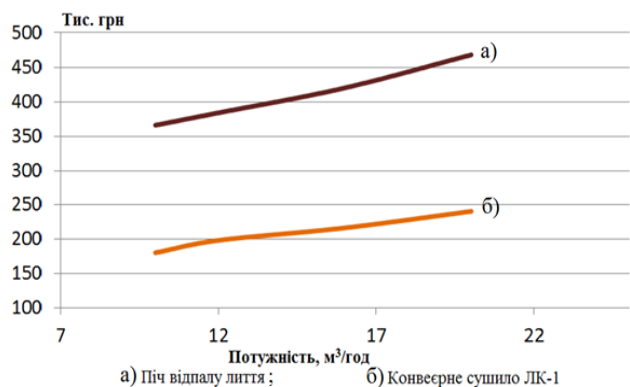


Рисунок 2 – Вартість палинкового пристрою для роботи на біогазі

Розрахунки сумарних річних поточних витрат, що виникнуть при використанні біогазових технологій розраховуються за наступними співвідношеннями:

$$B_{pec}^{3б} = x_1 \cdot \omega_{мер}^u \cdot 8760 \cdot (L_{ee}^{3б} \cdot S_{ee} + L_1^{3б} \cdot S_1^{3б}), \quad (9)$$

$$B_{pec}^{0ч} = (1-x_1) \cdot x_2 \cdot \omega_{мер}^u \cdot 8760 \cdot (L_{ee}^{0ч} \cdot S_{ee} + L_2^{0ч} \cdot S_2^{0ч} + L_3^{0ч} \cdot S_3^{0ч}), \quad (10)$$

$$B_{екс}^{0б} = (K_{3б} + K_{0ч}) / 12, \quad (11)$$

$$B_{екс1}^{eko} = (\omega_{CO_2}^{cm} - \omega_{CO_2}^{nc}) \cdot 8,76 \cdot 1,98 \cdot 2600, \quad (12)$$

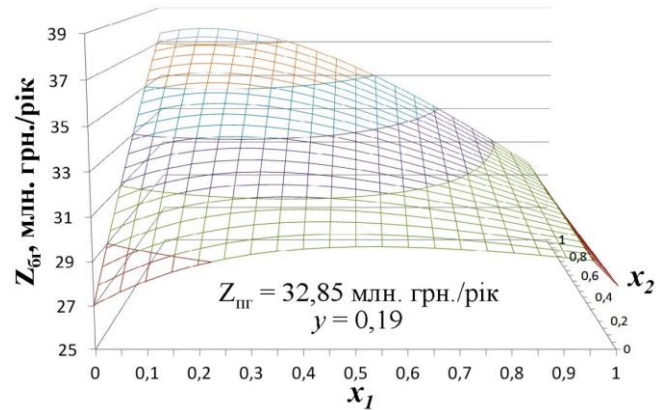
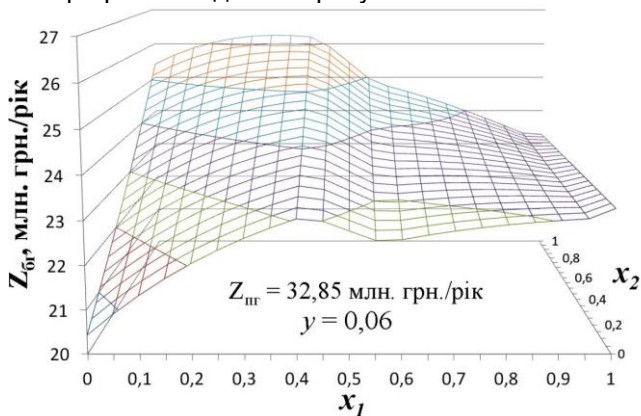
$$B_{екс1}^{eko} = \omega_{SO_2}^{cm} \cdot 8,76 \cdot 2,63 \cdot 17600 \quad (13)$$

де $L_{ee}^{3б}, L_{ee}^{0ч}, L_1^{3б}, L_2^{0ч}, L_3^{0ч}$ – питомі витрати необхідних ресурсів на збагачення та очищення 1 м^3 біогазу (електроенергія, технічна та аміачна вода, FeSO_4);

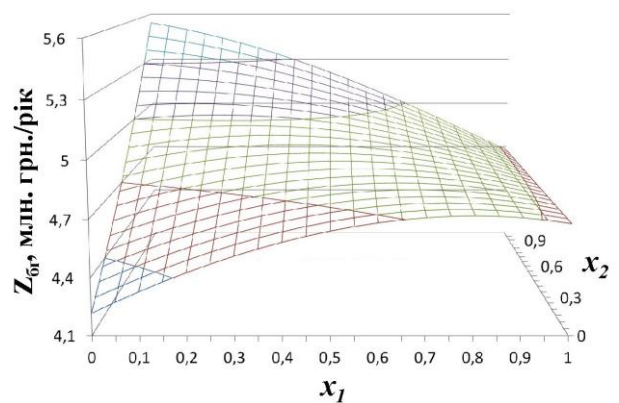
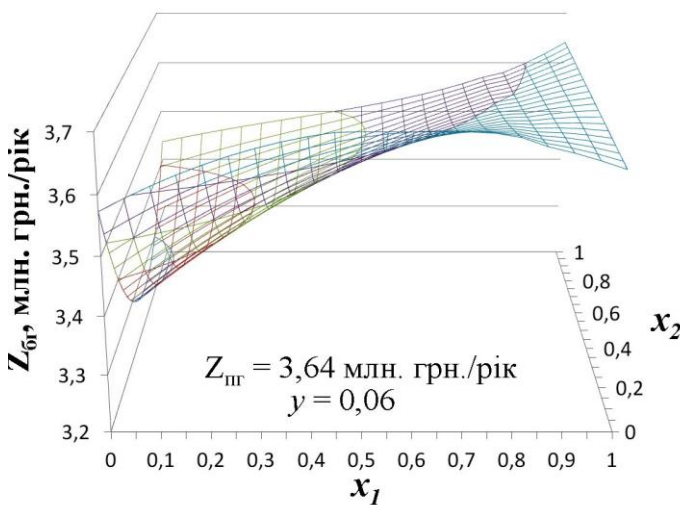
$S_{ee}^{3б}, S_{ee}^{0ч}, S_1^{3б}, S_2^{0ч}, S_3^{0ч}$ – собівартість ресурсів, грн./од.;

$\omega_{CO_2}^{cm}, \omega_{CO_2}^{nc}, \omega_{SO_2}^{cm}$ – питомі викиди забруднюючих речовин у атмосферу за годину роботи пічних агрегатів, $\text{м}^3/\text{год}$.

Для аналізу впливу параметрів системи обробки біогазу на доцільність його використання побудовано графічні залежності приведених річних витрат для різних варіантів використання біогазових технологій. Графіки наведено на рисунках 3 – 4.



а) б)
Рисунок 3 – Приведені річні витрати при використанні біогазу з тваринницьких відходів (а) та смітничого газу (б) для сушилка ЛК-1



а) б)
Рисунок 4 – Приведені річні витрати при використанні біогазу з тваринницьких відходів (а) та смітничого газу (б) для печі відпалу лиття

Таблиця 1 – Економічні показники проекту

Показник	Значення
Базові річні затрати на природний газ, грн./рік	32 852 628
Необхідні капіталовкладення, грн.	19 808 826,27
Поточні експлуатаційні витрати на паливо, грн./рік	10 641 381
Поточні річні витрати на систему обробки біогазу, грн./рік	10 257 312
Додаткові річні амортизаційні відрахування, грн./рік	1 670 550
Додаткові річні витрати, грн./рік	698 000
Додаткові штрафні екологічні санкції, грн./рік	4 050 188
Сумарні приведені річні витрати, грн./рік	24 681 703
Річний економічний ефект, грн./рік	11 580 301
Термін окупності, років	1,71

Виявлено, що економічні показники використання біогазу на підприємстві за даних умов для кожного варіанту різні, при цьому відзначається також відмінність величини частки комбінування з природним газом. Так, не зважаючи на більш низьку вартість, смітниковий біогаз значно поступається за вигідністю застосування газу з тваринницьких відходів, а для агрегату меншої потужності він виявився взагалі економічно та технічно недоцільним.

Висновки. Для визначення можливості та доцільності використання біогазових технологій в промисловості проведено розрахунок техніко-

економічних показників проекту заміни природного газу на біогазову суміш при застосуванні методів промислової обробки та збагачення її за паралельним принципом. Розрахунки показали, що при за найбільш вигідним варіантом природний газ може бути заміненим біогазом на 94%, а економічний ефект складе близько 12 млн. грн. на рік. Передбачувані сумарні капіталовкладення в реалізацію такого проекту складуть близько 20 млн. грн. Прогнозований строк окупності становить не більше 2 років, що не перевищує нормативний.

Бібліографічний опис

1. Коваленко В.Л. Алгоритм визначення ефективності використання біогазових сумішей в промислових пичних установках // В.Л. Коваленко, К. М. Сердюк, А. В. Кузнецова / Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. Науковий журнал. ДНУЗТ, Дніпро, - №17 – 2019., С. 206-211.
2. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики та комунальних послуг [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.nerc.gov.ua/?id=18960>.
3. Біогазові технології: теорія і практика : монографія / В. М. Желих, Ю. В. Фурдас ; М-во освіти і науки України, Нац ун-т "Львів політехніка". – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2015. – 164 с. : іл. – Бібліогр.: с. 138-147. – ISBN 978-617-607-838-8.
4. ПАТ «Запоріжсталь» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.zaporizhstal.com/ru>.
5. Ковалишин Б.М. Підвищення енергоефективності паливних установок через активацію молекул-реагентів реакції горіння // Фаховий журнал "Проблеми енергозбереження". м. Київ, – 2010. – с. 136–139.
6. Использование биологического топлива для нагрева металла в металлургических печах – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ea.dgtu.donetsk.ua:8080/jspui/handle/123456789/26550>.
7. Бойко И.И. Анализ особенностей тепловой работы нагревательных печей при замене газового топлива. Промышленная теплотехника, № 8, М., Энергоатомиздат, 1988.
8. Метод розрахунку приведених річних витрат [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://topknowledge.ru/investmen/1235-metod-rascheta-privedennykh-zatrat.html>.

Referens

1. Kovalenko V.L. Algoritm viznachennya effektivnosti vikoristannya biogazovih sumishej v promislovihi pichnih ustanovkah // V.L. Kovalenko, K. M. Serdyuk, A. V. Kuznecova / Elektromagnitna sumisnist ta bezpeka na zaliznichnomu transporti. Naukovij zhurnal. DNUZT, Dnipro, - №17 – 2019., S. 206-211.
2. Nacionalna komisiya, sho zdijsnyuye derzhavne reguluvannya u sferi energetiki ta komunalnih poslug [Elektronnij resurs] – Rezhim dostupu: <http://www.nerc.gov.ua/?id=18960>.
3. Biogazovi tehnologiyi: teoriya i praktika : monografiya / V. M. Zhelih, Yu. V. Furdas ; M-vo osviti i nauki Ukrayini, Nac un-t "Lviv politehnika". – Lviv : Vid-vo Lviv. politehniki, 2015. – 164 s. : il. – Bibliogr.: s. 138-147. – ISBN 978-617-607-838-8.
4. PAT «Zaporizhstal» [Elektronnij resurs] – Rezhim dostupu: <http://www.zaporizhstal.com/r>
5. Kovalishin. B.M. Pidvishennya energoefektivnosti palivnih ustanovok cherez aktivaciyu molekul-reagentiv reakcii gorinnya // Fahovij zhurnal "Problemi energozberezhennya". m. Kiyiv, – 2010. – s. 136–139.
6. Ispolzovanie biologicheskogo topliva dlya nagreva metalla v metallurgicheskikh pechah – [Elekt-ronnij resurs] – Rezhim dostupu: <http://ea.dgtu.donetsk.ua:8080/jspui/handle/123456789/26550>.
7. Bojko I.I. Analiz osobennostej teplovoj raboty nagrevatelnyh pechej pri zamene gazovogo top-liva. Promyshl - nnaya teplotehnika, № 8, M., Energoatomizdat, 1988.
8. Metod rozrahunku privedenih richnih vitrat [Elektronnij resurs] – Rezhim dostupu: <http://topknowledge.ru/investmen/1235-metod-rascheta-privedennykh-zatrat.html>.

Стаття поступила: 22.10.2019