

УДК 662.767.2

DOI <https://doi.org/10.26661/2071-3789-2020-1-12>

Коваленко Віктор Леонідович, завідувач кафедри, доктор технічних наук, Запорізький національний університет. ORCID: 0000-0001-5950-4412

Артемчук Віктор Васильович, доктор технічних наук, Запорізький національний університет. ORCID: 0000-0002-6056-534

Левченко Сергій Андрійович, кандидат технічних наук, Запорізький національний університет. ORCID: 0000-0001-6477-2825

Башлій Сергій Вікторович, доцент, кандидат технічних наук, Запорізький національний університет. ORCID: 0000-0002-6134-4849

ЕКОНОМІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗОВИХ СУМІШЕЙ В УМОВАХ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Подано результати розрахунків економічної доцільності використання біогазових технологій у промислових пічних установках. Для оцінки економічної ефективності використання біогазу в умовах діючих промислових підприємств металургійної галузі України і Запорізької області розраховано базові економічні показники переведення типового пічного обладнання на біогазові суміші з різних похідних джерел. Встановлено, що використовувати низькокалорійне паливо в енергетичному обладнанні, з урахуванням його якісних показників, доцільно як окремо, так і в комбінації з традиційними джерелами енергії. Зроблено висновок, що до найбільш придатного в ливарному цеху ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь» для підвищити за рахунок використання біогазових технологій, є печі відпалу лиття безперервної дії та конвеєрні рециркуляційні сушила форм виливниць. Наведено розрахунок економічної ефективності переведення пічного обладнання ливарного цеху ПАТ «Запоріжсталь» на використання низькокалорійного біогазового палива.

Ключові слова: нагрівальна піч, біогазова суміш, економічні показники, промислове підприємство, теплота згоряння, енергетична ефективність

Вступ. Основним споживачем енергоресурсів у ливарному виробництві є різноманітне пічне обладнання, яке в достатній кількості використовують у головних технологічних процесах відповідних цехів. Процеси плавлення сталі та чавуну, як правило, забезпечують електротермічні агрегати, тоді як інші процеси теплової обробки матеріалів виконують з використанням пристроїв з топковим принципом спалювання палива, яким є природний газ. Використання альтернативних та відновлюваних джерел енергії, особливо у промисловості, набуває з кожним роком все більшої актуальності. Оскільки, традиційні енергоресурси, що споживають на промислових підприємствах, займають все більшу частку в структурі собівартості продукції через навальне їх дорожчання, впровадження біогазових технологій, в першу чергу, в металургійній галузі та заміщення ними природного газу, як одного з головних видів палива є одним з першочергових завдань. Окрім того, енергозабезпечення термічних та нагрівальних печей як найменш вимогливих з технологічної точки зору до агресивного хімічного складу біогазових сумішей [2-4] може стати шляхом підвищення конкурентоспроможності виробництва через більш низьку вартість біогазу як первинного палива для зазначеного обладнання.

Постановка завдання. Завданням роботи є визначення доцільності, технологічних особливостей та економічної ефективності переведення пічного обладнання металургійної галузі на низькокалорійне біогазове паливо на прикладі ливарного цеху ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь».

Головна частина досліджень. Виходячи з наведеної інформації в попередніх дослідженнях можна зазначити, що до найбільш придатного для переведення на біогазове паливо обладнання в ливарному цеху ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь» слід віднести печі відпалу лиття безперервної дії та конвеєрні рециркуляційні сушила форм,

що являють собою довгий коридор, де розташовано горизонтальний конвеєр із підвісними етажерками, на які встановлюють вологі форми та стрижні виливниць [5]. Їх середньомісячна продуктивність складає 6500 т. Сушило опалюють природним газом за допомогою тридцяти двох пальників максимальної потужності 18 м³/год. Основні технічні характеристики зазначеного агрегату наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Основні характеристики роботи сушила ЛК-1

Найменування показника	Позначення	Одиниці вимірювання	Значення
Середня витрата природного газу	V_g	м ³ /год.	416,7
Середня витрата повітря	V_n	м ³ /год.	5631
Коефіцієнт витрати повітря	α	м ³ /м ³	1,41
Середня температура димових газів	T_{dg}	К	433
Калорійність природного газу	Q	МДж/м ³	35
Коефіцієнт використання палива	η	МДж/МДж	0,91
Коефіцієнт корисної дії	$ККД$	%	38,9
Питома витрата теплоти на одиницю продукції	g	МДж/т	624,4

Для відпалу відливків значної маси використовують печі безперервної дії, де у шаховому порядку встановлено чотири автоматичні пальники потужністю 14 м³/год. природного газу. Середньомісячна продуктивність печі – 400 т. Для визначення теплотехнічних та технологічних характеристик роботи агрегату за основу прийнято базовий режим його експлуатації, характеристики якого наведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Основні характеристики роботи печі відпалу лиття

Найменування показника	Позначення	Одиниці вимірювання	Значення
Середня витрата природного газу	V_g	м ³ /год.	46,16
Середня витрата повітря	V_n	м ³ /год.	930
Коефіцієнт витрати повітря	α	м ³ /м ³	2,12
Середня температура вихідних газів	$T_{в.г.}$	К	543
Калорійність природного газу	Q	МДж/м ³	35
Коефіцієнт використання палива	η	МДж/МДж	0,8
Коефіцієнт корисної дії	$ККД$	%	25,5
Питома витрата теплоти на одиницю продукції	g	МДж/т	740

Розглянуті печі ливарного цеху ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь» мають постійну й значну потребу в паливі та спроможні працювати в широкому діапазоні його якості і калорійності [1-2]. Відповідні технологічні та конструктивні особливості даного обладнання вказують на можливість повного або часткового заміщення природного газу біогазом. В дослідженнях щодо використання в таких агрегатах сумішей природного та доменного газів [6] виявлено, що під час збільшення питомих витрат останніх на 20% від номінального значення відзначається суттєве погіршення теплового балансу зазначеного обладнання, що зумовлює зменшення якості сушіння та рециркуляції теплоти пічних газів до критичних показників, що спричинює зменшення продуктивності агрегату або його додаткової конструктивної модернізації.

Форми виливниць, що піддають термічній обробці, виготовляють із сумішей, компоненти яких мають властивість нейтралізувати дію оксиду сірки(IV). До того ж, після просушування їх додатково обробляють у камерах гідроочищення та фарбують, що зводить до мінімуму деструктивний вплив на них агресивних компонентів у продуктах згорання під час спалювання біогазу із підвищеною концентрацією сірководню. Максимально допустима концентрація останнього в паливі для розглянутих агрегатів складає 0,4%. Враховуючі зазначену нейтралізуючу дію компонентів сумішей щодо оксиду сірки(IV), зазначена концентрація сірководню є допустимою та не перевищує граничних значень [7]. Окрім того, в роботі [8] доведено, що під час застосування в таких агрегатах низькокало-

рійних газів, погіршується коефіцієнт використання палива η . Так, за теплотворної спроможності суміші $Q = 16,0 \text{ МДж/м}^3$, коефіцієнт η зменшився приблизно на 15% від базового варіанту ($Q = 35,0 \text{ МДж/м}^3$).

Для обробки біогазу перед спалюванням існують декілька доступних з економічної точки зору методів: його збагачення до достатнього рівня водяною абсорбцією для зменшення концентрації не тільки діоксиду вуглецю, але й сірководню [9], та «рідинне» очищення від сірководню відпрацьованою сульфатною кислотою, що залишається після процесу травлення сталю прокату за умов металургійного підприємства [10]. Також, згідно з роботою [11], максимальній ефективності очищення від сірководню сприятиме застосування додаткового абсорбуючого ефекту від використання аміачної води, яка є побічним продуктом технологічних циклів комбінату.

Тож, із проведеного аналізу стає очевидним, що для зазначених агрегатів ливарного виробництва ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь» під час переведення їх на біогазове паливо, потрібно реалізувати різні перелічені заходи. Сушила, зокрема, потребують заміни пальникових пристроїв, а печі відпалу лиття - глибокої обробки біогазу перед спаленням для підвищення його якості та калорійності.

В місті Запоріжжя існують два потенційні джерела виробництва біогазу, які знаходяться на допустимій відстані від ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь». Полігон ТБО № 1 із середньою продуктивністю виходу смітничкового біогазу в обсязі 1000...1500 $\text{м}^3/\text{год}$. знаходиться на відстані 8 км від території підприємства. Проектом зі збирання біогазу з цього звалища, навіть, не передбачено енергетичне використання отриманого палива, тому його спалюють на факельній свічці, а продукти горіння очищують від надмірної концентрації сірки(IV). При цьому такий обсяг виробництва біогазу міг би повністю чи частково забезпечити енергетичні потреби розглянутих печей ливарного цеху зазначеного підприємства.

Виробничо-тваринницький комплекс «Запоріжжя», який спеціалізується на виготовленні продукції з свинини використовує для утилізації власних відходів технології їх біоконверсії з отриманням біогазу. Продуктивність останньої в середньому складає 250 $\text{м}^3/\text{год}$. біогазу, що в повному обсязі покриває потреби підприємства в тепловій енергії. Для цього неочищений біогаз спалюють у спеціально спроектованих котлах, а його решту в обсязі до 40% (100 $\text{м}^3/\text{год}$.) також утилізують на факельній свічці. Підприємство знаходиться на відстані 5 км від ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь», що дає змогу для постачання йому цього залишку палива.

У випадку промислового використання біогазу із зазначених джерел, необхідну кількість палива із них можна постачати на підприємство спеціально побудованою мережею трубопроводів із поліетилену високої щільності, прокладених у ґрунті. Її вартість в загальній мірі буде визначати економічну доцільність впровадження проектів використання біогазових технологій на зазначеному підприємстві.

Отже, як приклад, за умов ливарного цеху ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь» для двох агрегатів, а саме: печі відпалу лиття безперервної дії ($\omega_{не} = 46,16 \text{ м}^3/\text{год}$.) та конвеєрного рециркуляційного сушила форм виливниць ($\omega_{не} = 416,7 \text{ м}^3/\text{год}$.) визначено економічну доцільність їх переведення на біогазове паливо. При цьому, дані щодо вартості та калорійності природного газу прийнято згідно з роботою [12].

За альтернативне паливо розглядають біогазову суміш з відходів свиного господарства з типовим складом [13,14]: $A_{мер} = 65\% \text{ CH}_4^{мер} + 32,5\% \text{ CO}_2^{мер} + 1,2\% \text{ H}_2\text{S}^{мер} + 0,2\% \text{ N}_2^{мер} + 1,0\% \text{ H}_2^{мер} + 0,1\% \text{ O}_2^{мер}$. Прийнята початкова вартість ресурсу: $B_{мер} = 2,9 \text{ грн./м}^3$. Для встановлення технологічних та екологічних критеріїв можливості використання біогазових технологій було визначено, що в печах можна спалювати паливо різної калорійності із максимально-допустимою концентрацією сірководню $\text{H}_2\text{S}^{об} \leq 0,3\%$. В табл. 3 наведено тех-

нічні та технологічні показники відповідного обладнання, що передбачають перевести на біогазове паливо.

Таблиця 3 – Показники технологічних та екологічних особливостей відповідного обладнання щодо переведення його на біогаз

Характеристика	Конвеєрне рециркуляційне сушило ЛК-1	Піч відпалу лиття
Витрата природного газу	$\omega_{nz} = 416,7 \text{ м}^3/\text{год.}$	$\omega_{nz} = 46,16 \text{ м}^3/\text{год.}$
Калорійність природного газу	$Q_{nz} = 35 \text{ МДж/м}^3$	
Режим роботи	Безперервної дії ($N_y = 8760 \text{ год/рік}$)	
Коефіцієнт використання палива	$\eta_{nz} = 0,91$ $\eta_{bz} = \eta_{cm} = \eta_{nz}$	$\eta_{nz} = 0,80$ $\eta_{cm} = \eta_{nz} \cdot (0,0078 \cdot Q_{cm} + 0,7236)$
Коефіцієнт надлишку повітря	$\alpha_{nz}^{nov} = 1,41$	$\alpha_{nz}^{nov} = 2,12$
	$\alpha_{cm}^{nov} = \alpha_{nz}^{nov} \cdot (1 + 0,01 \cdot (0,005 \cdot (C O_2^{cm} + N_2^{cm}))^2 + 0,45 \cdot (C O_2^{cm} + N_2^{cm}))$	
Технологічні вимоги	$\alpha_{cm}^{nov} \cdot \omega_{cm}^{nov} + \omega_{cm} \leq$ $\leq 1,2 \cdot \alpha_{nz}^{nov} \cdot \omega_{nz}^{nov} + \omega_{nz}$	-
Екологічні вимоги	$H_2S_{cm} \leq 0,5\%$	$H_2S_{cm} \leq 0,2\%$
	$V_{SO_2} < 500 \text{ мг/м}^3$	
Умови модернізації палників	$N_n^{mod} = 32,$ якщо $Q_{cm} < 28 \text{ МДж/м}^3$	$N_n^{mod} = 2,$ якщо $C O_2^{cm} + N_2^{cm} > 12\%$

Кінцеві результати визначення доцільності використання біогазових технологій для підвищення енергетичної ефективності розглянутих печей наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Головні техніко-економічні показники проекту використання біогазових технологій в ливарному виробництві

Показник	Одиниця вимірювання	Піч відпалу лиття	Конвеєрне рециркуляційне сушило форм виливниць
Z_{nz}	тис. грн./рік	3 625,627	32 729,613
Z_{bz}		2 679,089	22064,332
ω_{mer}^u	м^3	75,74	630,92
$A_{ob} \cdot$ CH_4^{ob} CO_2^{ob} H_2S^{ob} N_2^{ob} H_2^{ob} O_2^{ob}	%	68,43 29,95 0,256 0,21 1,05 0,09	77,09 21,10 0,299 0,24 1,186 0,09
K_{zb}	тис. грн.	671,673	12194,334
K_{och}		2178,179	8647,981
K_{mod}		1084,303	10238,447
K_{in}		1120	4100
E_n	-	0,15	0,15
C_{zag}^{bz}	тис. грн./рік	2 072,164	17 240,553
E		1 423,724	19 005,726

Хімічні складові смітничого біогазу з полігону ТПВ м. Запоріжжя такі:
 $A_{мер} = 45\% CH_4^{мер} + 45\% CO_2^{мер} + 0,7\% H_2S^{мер} + 5,2\% N_2^{мер} + 1,4\% H_2^{мер} + 2,7\% O_2^{мер}$.

Із застосуванням запропонованого в роботі [1] алгоритму побудовано графіки (рис. 1 та 2) змінювання $Z_{бг}$ для кожного випадку використання біогазових технологій залежно від x_1 та x_2 .

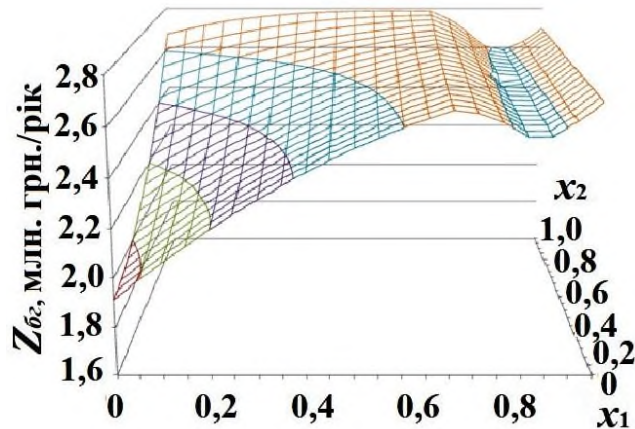


Рисунок 1 – Сумарні приведені річні витрати за використанням біогазу для спалювання в печі відпалу лиття

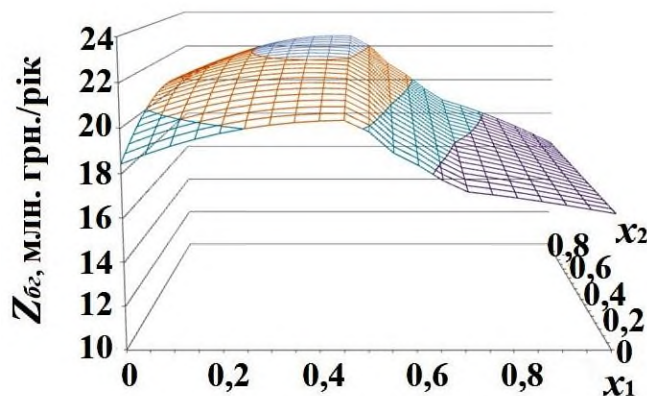


Рисунок 2 – Сумарні приведені річні витрати за використанням біогазу для спалювання в конвеєрному рециркуляційному сушилі форм виливниць

Як видно з рис. 1 і 2, з економічної точки зору біогаз вигідно використовувати в усіх можливих випадках, причому умови найефективнішого його застосування для кожної печі є різними. Функція $Z_{бг} = f(x_1, x_2)$ представляє собою поверхню з неявно вираженою формою. Оптимальне її значення за результатами розрахунків на графіках чітко не прослідковується, що вказує на більший вплив технологічних та екологічних факторів, ніж економічних на визначення умов ефективного використання біогазових технологій. Хоча з технологічної точки зору потреба у збагаченні біогазової суміші не висувалась, проте з економічної - підвищення якості біогазу виявилось необхідним для досягнення максимального економічного ефекту під час заміщення природного газу.

Висновки. Розрахунки показали, що річний економічний ефект під час використання біогазових технологій для печі відпалу лиття та конвеєрного рециркуляційного сушила форм виливниць за умов ПАТ «Металургійний комбінат «Запоріжсталь» становить 1,42 та 19,01 млн. грн., відповідно. Такі високі показники підтверджують можливість та доцільність використання біогазових технологій у промисловості.

Бібліографічний список

1. Коваленко В. Л., Сердюк К. М., Кузнецова А. В. Алгоритм визначення ефективності використання біогазових сумішей в промислових пічних установках. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*. 2019. № 17. С. 72-80.
2. Качан Ю. Г., Коваленко В. Л., Аносов Д. О. Щодо доцільності та ефективності застосування біогазових технологій в умовах металургійних підприємств. *Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії*. Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2015. Вип. 2 (34). С. 106-110.
3. Лучшие методы реализации биогазовых энергетических проектов ТБО Режим доступа: <http://www.uabio.org/img/files/docs/toolsres-lfg-ru.pdf>. Загл. с экрана.
4. Сизоненко О. А. Возможность и необходимость реализации стратегий экологического управления на промышленных предприятиях. *Економіка : проблеми теорії та практики : збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету*. Дніпропетровськ, 2005. Вип. 204, Т. 1. С. 265-271.
5. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України : веб сайт. URL: <http://www.sae.gov.ua/uk/news/2270> (дата звернення: 12. 10. 2016).
6. Использование биологического топлива для нагрева металла в металлургических печах. : веб-сайт. URL: <http://ea.dgtu.donetsk.ua:8080/jspui/handle/123456789/26550> (дата звернення 08.10.2016).
7. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 26 черн. 1991 р. № 41. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1264-12> (дата звернення 08.02.2017).
8. Мастрюков Б. С. Теория, конструкции и расчеты металлургических печей : учебник Т. 2. Москва : Металлургия, 1986. 376 с.
9. Куріс Ю. В., Червоний І. Ф. Біогазові технології. Енергетичні та екологічні аспекти : монографія. Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2010. 488 с.
10. Ковалишин Б. М. Підвищення енергоефективності паливних установок через активацію молекул-реагентів реакції горіння. *Наукові вісті НТУУ КПІ*. 2011. № 1. С. 136-139.
11. Шестерникова Р. Е. Результаты опытно-промышленных испытаний технологии очистки газа от сероводорода водными растворами сульфата железа и аммиака. *Нефтепромышленное дело*. 2007. № 7. С. 54-56.
12. Гелетуха Г. Г., Кучерук П. П., Матвеев Ю. Б. Перспективи виробництва та використання біогазу в Україні : Аналітична записка. № 11. Київ, Біоенергетична асоціація України, 2014. 42 с.
13. Баадер В. Биогаз : теория и практика / пер. с нем. Москва : Колос, 1982. 149 с.
14. Частухин В. И. Топливо и теория горения : учебное пособие. Киев : Вища школа, 1989. 233 с.

References

1. Kovalenko V. L., Serdyuk K. M., Kuznetsova A. V. Alforitm vyznachennya efettyvnosti vykorystannya biogazovykh sumishey v promyslobykh pechnykh ustanovkakh. *Elektromagnitna sumisnist' ta bezpeka na zaliznychnomu transpoti*. 2019. no. 17. pp. 72-80.
2. Kachan Yu. G., Kovalenko V. L., Anosov D. O. Shchodo dotsil'nosti ta efektyvnosti zastosuvannya biogazovykh technologiy v umovakh metalurgijnykh predpriumstv. *Metalurgiya : naukovy pratsi Zaporiz'koy derzhavnoy inzhenernoy akademii*. Zaporizhzhya : RVV ZDIA, 2015. vol. 2 (34). pp. 106-110.
3. Luchshie metody realizatsii biogazovykh energeticheskikh proektov TBO Rezhim dostupu: <http://www.uabio.org/img/files/docs/toolsres-lfg-ru.pdf>. Zagl. s ekrana.
4. Sizonenko O. A. Vozmohnost' I neeobkhodimost' realizatsii strategiy ekologicheskogo upravleniya na promyshlehhyykh prdpriyatiyakh. *Ekonomika : problemy teorii ta praktyky : zbirnyk naukovykh prats' Dnipropetrovs'kogo natsional'nogo universytetu*. Dnipropetrovs'k, 2005. t. 1. vol. 204. pp. 265-271.
5. Derzhavne agntstvo z energoefektyvnosti ta ehergozberezhzhya Ukrainuy : veb-sajt. URL: <http://www.sae.gov.ua/uk/news/2270> (data zvernehhya: 12. 10. 2016).
6. Ispol'zovanie biologicheskogo topliva dlya nagreva metalla v metallurgicheskikh pechakh. : veb-sajt. URL: <http://ea.dgtu.donetsk.ua:8080/jspui/handle/123456789/26550> (data zvernennya 08.10.2016).

7. Pro okhoronyu navkolyshn'ogo prurodnogo seredovyshcha : Zakon Ukrainy vid 26 cherv. 1991. no. 41. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/1264-12> (data zvernennya 08.02.2017).
8. Mastryukov B.S. Teoriya, konstruktzii i raschety metallurgicheskikh pechey : uchebnyk t. 2. Moskva : Metallurgiya, 1986. 376 p.
9. Kuris Yu.V., Chervony I. F. Biogazovi tekhnologii. Energetychni ta ekologichni aspekty : monografiya. Zaporizhzhya : RVV ZDIA, 2010. 488 p.
10. Kovalishin B.M. Pidvyshchennya eenergoefektyvnosti palyvnykh ustanovok cherez aktyvatsiyu molekul-reagentiv reaktsii gorinnya. *Naukovi visti NTUU KPI*. 2011. no. 1. pp. 136-139.
11. Shesternikova R.E. Rezul'taty opytно-promyshlen'nykh ispytaniy tekhnologii ochistki gaza ot serovodoroda vodnymi rasvorami sul'fata zheleza i ammiaka. *Nftepromyslovor delo*. 2007. no. 7. pp 54-56.
12. Geletukha G.G., Kucheruk P.P., Matveev Yu.B. Perspektyvy vyrobnyctva ta vukorystannya biogazu v Ukraini : Analitychna zapyska. No. 11. Kyiv, Bioenergetychna asotsiatsiya Ukrainy, 2014. 42 p.
13. Baader V. Biogaz : Teoriya i praktyka / per. z nem. Moskva : Kolos, 1982. 149 p.
14. Chastukhin V. I. Toplyvo i teoriya goreniya : Uchebnoe posobie. Kiev : Vyshcha shkola, 1989. 233 p.

Kovalenko Victor, department head, doctor of technical sciences, Zaporozhe national university.

Artemchuk Victor, professor, doctor of technical sciences, Zaporozhe national university.

Levchenko Sergii, associate professor, candidate of technical sciences, Zaporozhe national university.

Bashliy Sergii, associate professor, candidate of technical sciences, Zaporozhe national university.

ECONOMIC AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF THE USE OF BIOGAS MIXTURES IN THE CONDITIONS OF INDUSTRIAL FACILITIES

The results of calculations of economic feasibility of using biogas technologies in industrial furnaces are presented. To assess the economic 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 different derived sources are calculated. The method based on the proposed calculation and the algorithm presented in work [1], the technical feasibility of using biogas as an alternative fuel for energy supply of thermal and heating furnaces of these enterprises on the example of a real object. It is established that the use of low-calorie fuel in energy equipment, taking into account its quality indicators, it is advisable both separately and in combination with traditional energy sources. Based on the analysis of the existing equipment of the object of study, it was concluded that the most suitable in the foundry of PJSC «Zaporizhstal», whose energy efficiency can be increased through the use of biogas technologies, include continuous annealing furnaces and conveyor recirculating molds. For these units, foundry production when converting them to biogas fuel, it is necessary to implement the following technical measures: the former require replacement of burners to meet the conditions of constant temperature, although they may consume even crude crude biogas, and the latter require deep processing of the latter to improve its quality and caloric content. The calculation of economic efficiency of conversion of the furnace equipment inherent in the metallurgical industry to low-calorie biogas fuel on the example of the foundry of PJSC «Zaporizhstal» is given. Calculations have shown that the annual economic effect is 1.42 and 19.01 million UAH. Per year, respectively, this indicates the feasibility of using biogas technologies in industry.

Стаття надійшла: 06.11.2020 р.