

Перелік використаних джерел

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. 514 с. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf>.

2. Панас Р.М. Рекультивация земель. Львів: Новий світ – 2005. 224 с.

3. Надточій П.П., Мислива Т.М. Охорона та раціональне використання природних ресурсів і рекультивация земель. Житомир, 2007. 420 с.

4. Сендецький В.М. Еколого-агрохімічне обґрунтування переробки органічних відходів агропромислового комплексу в біодобриво «Біогумус» методом вермикультивування. *Агроекологічний журнал*. К., 2009. С. 295–297.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-145>

**TECHNICAL AND ECONOMIC INDICATORS
OF THE LOW CARBON TECHNOLOGY OF RENEWABLE GAS
INJECTION INTO THE BLAST FURNACE****ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ
ТЕХНОЛОГІЇ ВДУВАННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО ГАЗУ
В ДОМЕНУ ПІЧ****Kutz H.O.**

*PhD (Engineering),
Senior researcher, General Energy
Institute of National Academy
of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

Kucz G.O.

*к.т.н., старший науковий
співробітник,
Інститут загальної енергетики
Національної академії наук України,
м. Київ, Україна*

Teslenko O.I.

*PhD (Engineering),
Leading researcher, General Energy
Institute of National Academy
of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine*

Тесленко О.І.

*к.т.н., провідний науковий
співробітник,
Інститут загальної енергетики
Національної академії наук України,
м. Київ, Україна*

Проведений аналіз технологічних напрямів зниження обсягів споживання високовартісного коксу у доменному виробництві чорної металургії показав, що до таких основних технологій відносяться

замішувачі скіпового коксу [1]. До видів замішувачів коксу вноситься природний газ, пиловугільне паливо (ПВП) та горючі відновлювальні гази (насамперед, доменний газ – ДГ). В минулому столітті широко використовувався природний газ, однак внаслідок стрімкого зростання вартості природного газу (в 10–20 разів) використання його в доменному виробництві було майже припинено. В закордонній та вітчизняній металургії широкого впровадження набула технологія ПВП, однак через обраний низковуглецевий напрям розвитку людської цивілізації ця технологія набула суттєвого обмеження, тому що вуглець коксу фактично замінювався вуглецем вугілля, що не сприяє зменшенню викидів парникових газів.

Достатньо актуальною на сьогодні є низковуглецева технологія заміщення вуглецевмісного коксу шляхом використанням горючих вторинних енергоресурсів в доменній печі, а саме: доменного газу, який є вихідною сировиною для отримання відновлювального газу і після його очищення від двоокису вуглецю (CO_2) в ньому залишаються горючі речовини: окис вуглецю (CO) та водень (H_2). Із промислово апробованих на сьогодні методів очищення доменного газу від CO_2 в цій роботі розглядається метод застосування охолодженого метанолу (процес Ректизол). Перевагою зазначеного методу порівняно з іншими є його економічність, але технологія потребує громіздкого устаткування процесу очищення доменного газу від CO_2 [2]. Проведені дослідження на одному із металургійних заводів показали, що вдування ДГ у горн доменної печі дозволило знизити витрати скіпового коксу на 30% та збільшити її продуктивність на 20–25 % [3]. Але впровадження зазначеного замішувача коксу на даний час в металургійній галузі не знайшло широкої промислової реалізації.

Техніко-економічна оцінка зазначеної низковуглецевої технології заміщення скіпового коксу в доменних печах проводилась за показниками повної технологічної енергоємності їх приготування. Для визначення енергоємності приготування ДГ питомі витрати енергоресурсів та сировини на 1000 м³ ДГ за технологією рециклінга прийнято за даними роботи [2]. Показники повної технологічної енергоємності приготування ДГ для вдування в доменну піч приведено в таблиці.

Таблиця 1

**Повна технологічна енергоємність приготування доменного газу
з уловлюванням CO₂ (на 1000 м³ ДГ)**

Види енергоресурсів, енергоносіїв і сировини	Одиниці виміру	Обсяг витрат енергоресурсів, енергоносіїв та сировини	Повна енергоємність відновлюваного газу, кг у. п.	Енергоємність складових до повної енергоємності ДГ, %
1. Енергоресурси:			21,823	90,98
– електроенергія	кВт·год	53,0	17,821	
– тепла енергія	Мкал	26,5	4,002	
2. Енергоносії			2,138	8,91
– електроенергія	кВт·год	0,5	1,464	
– тепла енергія	Мкал	0,08	0,674	
3. Сировина				
– метанол	кг	0,04	0,027	0,11
4. Повна технологічна енергоємність			23,988	100

Економічна ефективність зазначеної технології оцінювалась за наступними вихідними даними: обсяг вдунання відновлювального (доменного) газу до доменної печі дорівнював 162 м³ ДГ на 1 т чавуну при повній технологічній енергоємності приготування 3,886 кг у.п., враховуючи енергоресурси 3,558 кг у.п.; енергоносії 0,238 кг у.п., сировину 0,027 кг у.п., відповідно. Вартість відновлювального газу прийнято рівною нулю, оскільки ДГ відноситься до горючих вторинних енергоресурсів, які використовуються в основному на металургійних підприємствах (джерелах доменного газу) і не мають ринкові вартості (вартість 1 кг у.п. обраховувалась через вартість вугілля).

За результатами розрахунків вартість повної технологічної енергоємності приготування відновлювального (доменного) газу складає 7,864 дол. США/ 1000 м³ ДГ (або 1,274 дол. США/ 162 м³ ДГ).

На даний час вдунання відновлювальних газів поки що не знайшло широкого застосування в металургії. Це пов'язано з відносно значними капіталовкладеннями у складне технологічне устаткування (щодо очищення ДГ від CO₂) та відсутністю промислового досвіду вдунання ДГ в доменну піч. За останні роки проводиться удосконалення технології очищення ДГ методом глибокого відновлення регенеруючого розчину, що надасть можливість зменшити енергетичні витрати у 2,0–2,5 рази без збільшення капіталовкладень і, як результат, підвищує актуальність застосування відновлюваних газів у доменному виробництві [4].

Особливо привабливим напрямом розвитку цієї низьковуглецевої технології є розробки щодо електролізу водню з наступним його вдуванням разом з ДГ в доменну піч, а супутній продукт (кисень) буде додаватися до повітря дуття для інтенсифікації процесу згорання палива в доменній печі.

Висновки. Проведена техніко-економічна оцінка ефективності застосування відновлювального (доменного) газу для заміщення скіпового коксу у доменних печах показала, що повна технологічна енергоемність технології приготування відновлювального (доменного) газу складає 23,988 кг у.п./1000 м³, а вартість приготування відновлювального газу 7,864 дол. США/1000 м³ ДГ. Технологія вдування відновлювального газу поки що не знайшла застосування в доменному виробництві України та у розвинутих країнах світу з причин високих капіталовкладень у технологічну схему та відсутність достатнього промислового досвіду процесу його вдування в доменну піч. За останні роки у доменному виробництві ряду країн проводиться удосконалення низьковуглецевої технології приготування відновлювального газу.

Перелік використаних джерел

1. Тесленко О.І., Куц Г.О. Структурні та технологічні напрями зменшення викидів парникових газів підприємствами чорної металургії. *Вчені записки Таврійського національного університету В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки.* том 33 (72), № 6. 2022. С. 165–173. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.6/27>
2. Смірнов О. М., Тімошенко С. М., Нарівський А. В. Відновлення та інноваційний розвиток виробництва сталі в Україні в контексті енергоефективності та європейського зеленого курсу. *Вісн. НАН України.* 2023. № 4. С. 23–38. DOI: <https://doi.org/10.15407/vsn2023.04.021>
3. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production. European Commission. Joint Research Centre & Institute for prospective technological studies. 2013. URL: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>
4. A new way to clean up the steel industry. *The Economist.* Feb 15th 2023. URL: <https://www.economist.com/science-and-technology/2023/02/15/a-new-way-to-clean-up-the-steel-industry>