

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-15>

**STUDY OF EXISTING AND PROMISING DIRECTIONS
FOR REDUCING CO₂ EMISSIONS BASED ON THE ENERGY
BALANCE OF BLAST FURNACES**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ ТА ПЕРСПЕКТИВНИХ
НАПРЯМІВ ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ CO₂ НА ОСНОВІ
ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ ДОМЕННИХ ПЕЧЕЙ**

Kornilov B.V.

*PhD (Engineering), Senior Research
Scientist, Iron and Steel Institute
named Z.I. Nekrasov of the National
Academy of Sciences of Ukraine,
Dnipro, Ukraine*

Корнілов Б.В.

*к.т.н., старший науковий
співробітник, Інститут чорної
металургії імені З.І. Некрасова
Національної академії наук України,
м. Дніпро, Україна*

Chaika O.L.

*PhD (Engineering), Senior Research
Scientist, Iron and Steel Institute
named Z.I. Nekrasov of the National
Academy of Sciences of Ukraine,
Dnipro, Ukraine*

Чайка О.Л.

*к.т.н., старший науковий
співробітник, Інститут чорної
металургії імені З.І. Некрасова
Національної академії наук України,
м. Дніпро, Україна*

Moskalyna A.O.

*PhD (Engineering), Iron and Steel
Institute named Z.I. Nekrasov
of the National Academy of Sciences
of Ukraine, Dnipro, Ukraine*

Москалина А.О.

*к.т.н., Інститут чорної
металургії імені З.І. Некрасова
Національної академії наук України,
м. Дніпро, Україна*

У зв'язку з глобальним потеплінням та пов'язаними з ним негативними наслідками в майбутньому більшість країн світу, у тому числі й Україна, ратифікували Паризьку угоду щодо клімату (2016 р.) та Угоду 25-ї Конференції сторін Рамкової конвенції ООН щодо зміни клімату (2019 р.), Мадрид), які зобов'язують зменшити викиди CO₂. У світовій структурі викидів CO₂ на металургію припадає 6–8% викидів CO₂.

За прогнозами Міжнародного Енергетичного Агентства (IEA) до 2050 р. доменне виробництво збережеться як домінуюча ланка в отриманні сталі, оскільки вона є найбільш економічно вигідною з тепловим коефіцієнтом корисної дії до 90%, залишаючись при цьому найбільш затребуваною порівняно з іншими технологіями виробництва заліза. Нові технології отримання сталі поступово впровадяться, і це до 2050 р., за умови значних у десятки мільярдів доларів інвестицій у реалізацію нових технологій, може

привести до зменшення традиційного способу виробництва сталі на 50%. у циклі виробництва стали дозволити зберегти конкурентоспроможність металургійної галузі в Україні та світі.

Для оцінки впливу потенціалу нових та існуючих технологій виробництва заліза на зменшення викидів CO₂ та техніко-економічні показники доменної плавки виконано розрахунки з використанням розробленої в ІЧМ НАНУ математичної моделі повного енергетичного балансу доменної плавки стосовно умов роботи доменної печі обсягом 2000 м³.

Важливою задачею є визначення ефективності тієї чи іншої технології при впровадженні виробництва для оцінки економічного та екологічного ефекту від її застосування. Встановлено закономірності зміни та узагальнено результати ефективності застосування/зміни того чи іншого параметра на викиди CO₂, вихід вторинних енергоресурсів (ВЕР) та витрату коксу.

Встановлено граничні значення ефективності використання технологій вдування ПВП, водню та водневмісних добавок (природного (ПГ) та коксового газу (КГ)) на викиди CO₂, вихід ВЕР та витрату коксу (табл. 1). Показано, що водень та водневмісні добавки дозволяють більшою мірою забезпечити зменшення викидів CO₂ та збільшити вихід вторинних енергоресурсів у порівнянні з ПУТ. При цьому ПВП може забезпечити найбільше зменшення витрати коксу.

Таблиця 1

**Ефективність застосування різних паливних добавок
при максимальному їх застосуванні на викиди діоксиду вуглецю,
вихід ВЕР та витрати коксу**

	ПВП 250 кг/т	Природний газ 200 м³/т	Коксовий газ 300 м³/т	Водень 500 м³/т
Викиди CO ₂	-11% (-0,44%) *	-15% (-0,75%)	-15% (-0,5%)	-30% (-0,6%)
Вихід ВЕР	-10% (-0,4%)	+74% (+3,7%)	+60% (+2%)	+81% (+1,62%)
Витрата коксу	-45% (-1,8%)	-35% (-1,75%)	-28% (-0,93%)	-25% (-0,5%)
<i>З врахування підігріву паливної добавки:</i>				
	400°C	800°C	800°C	1000°C
Викиди CO ₂	-12% (-0,48%) *	-21% (-1,05%)	-20% (-0,67%)	-40% (-0,8%)
Вихід ВЕР	-8% (-0,32%)	+64% (+3,2%)	+57% (+1,9%)	+69% (+1,38%)
Витрата коксу	-44% (- 1,76%)	-40% (-2%)	-32% (-1,07%)	-31% (-0,62%)

* для ПВП досягнення зниження викидів CO₂ досягається за рахунок зменшення витрати пари для підтримки теоретичної температури в заданих межах;

** у дужках зазначено зміну параметру зі збільшенням витрати паливної добавки на 10 кг/т (м³/т).

Підігрів газоподібних паливних добавок може дати більший ефект – до 10%, 6% та 5% зменшення викидів CO_2 відповідно та 4–6% зменшення витрати коксу за рахунок можливості до більшого нагрівання – ПГ та КГ до 800°C H_2 – до 1000°C , порівняно з ПВП – до 400°C , яке забезпечить зменшення викидів ЗІ та зменшення витрати на 1%.

Питання застосування водневмісних добавок спільно з ПВП є актуальним через поширення технології вдування ПВП як в Україні, так і за кордоном. В результаті дослідження спільного вдування водневмісних паливних добавок спільно ПВП встановлено, що їх спільне вдування в горн доменної печі дозволяє вирішити одночасно дві задачі – зменшення викидів CO_2 і забезпечити мінімальну собівартість чавуну та сталі.

Визначено критичні витрати паливних добавок, за яких, згідно з принципом Грюнера, очікується досягнення повного відновлення заліза непрямим шляхом, а отже, і мінімальної витрати палива при досягненні ступеня прямого відновлення близького до 0% (табл. 2).

Таблиця 2

**Витрата палива, за якої все залізо в печі
відновлюється непрямим шляхом**

Параметр	ПВП+ПГ	ПВП+КГ	ПВП+ H_2
Витрата ПВП, кг/т	200-250	200-250	200-250
Витрата водневмісної добавки, кг/т	193-180	300	485-450

Робота доменної печі за змінних шихтових умов призводить до зміни технологічних параметрів, таких як теплові втрати, ступінь використання CO та H_2 , що позначається на викиди CO_2 та техніко-економічні показники. Також на викиди CO_2 впливає застосування металодобавки, зміна температури дуття та вміст FeO в шихті. Встановлено граничні значення ефективності застосування металодобавки та технологічних заходів щодо збільшення температури дуття, зміни вмісту FeO у шихті, зменшення теплових втрат та збільшення ступеня використання CO та H_2 на викиди CO_2 , вихід ВЕР та витрату коксу (табл. 3).

Таблиця 3

Ефективність застосування металодобавки та технологічних заходів щодо збільшення температури дуття, зменшення теплових втрат та збільшення ступеня використання CO та H₂ та вмісту FeO у шихті на викиди діоксиду вуглецю, вихід ВЕР та витрата коксу

	Металодобавка	Вміст FeO в шихті	Температура дуття	Теплові втрати	Ступінь використання CO	Ступінь використання H ₂
Діапазон зміни:	0-500 кг/т	0-20%	от 1100°C до 1450°C	від 20 до 5 МВт	від 40% до 50%	від 40% до 70%
Викиди CO ₂	-47% (-0,93%)	-9,9% (-0,49%)	-6,4% (-1,82%)	-2,3% (-0,15%)	-13,2% (-1,32%)	-7,2% (-0,24%)
Вихід ВЕР	-108% (-2,16%)	-10,3% (-0,52%)	-26,5% (-7,6%)	-0,4% (-0,03%)	-48,4% (-4,84%)	-29% (-0,97%)
Витрата коксу	-16% (-0,33%)	-12% (-0,6%)	-2% (-0,49%)	-0,6% (-0,04%)	-11,9% (-1,19%)	-6,4% (-0,21%)

* у дужках зазначено зміну впливу збільшення витрати металодобавки на 10 кг/т, температури дуття на 100°C, ступеня використання CO і H₂ та вмісту FeO в шихті на 1% та зменшення теплових втрат на 1 МВт.

Таким чином, встановлені граничні значення ефективності використання технологій вдування паливних добавок, застосування металодобавки, а також зміни технічних та технологічних параметрів доменної плавки на викиди CO₂ та техніко-економічні показники.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-16>

APPLICATION OF AUTOMATED MINERALOGY IN METALLURGICAL RESEARCH

ВИКОРИСТАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ МІНЕРАЛОГІЇ У МЕТАЛУРГІЙНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

Kostryzhev A.H.

PhD (manufacturing), PhD (materials science), project manager and scientist, Centre for Microscopy and Microanalysis, University of Queensland, Brisbane, Australia

Кострижев А.Г.

к.т.н. (процеси та устаткування), PhD (матеріалознавство), менеджер проєктів і дослідник, Центр мікроскопії і мікроаналізу, Університет Квінсленда, м. Брісбен, Австралія

Metals play an important role in modern society as they are widely used in various types of construction, machinery, electronic equipment, energy generation, medicine. Transition to the carbon free economy, based on renewable energy generation and storage, requires many metallic elements such as cobalt, lithium, gallium, germanium, hafnium, indium, niobium,