

Г.Ю. Крячко, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри металургії ім. проф. В.І. Логінова,
e-mail: krachkogennadij@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8773-508X>

Є.М. Сігарьов, д-р техн. наук, професор, зав. кафедри металургії ім. проф. В.І. Логінова,
e-mail: en_sigarev@ua.fm, <https://orcid.org/0000-0002-8229-7877>

Дніпровський державний технічний університет (Кам'янське, Україна)

Аналіз впливу обважнених подач на розподіл матеріалів і газів в доменних печах

У роботі наведено результати аналізу та узагальнення даних щодо перерозподілу газових потоків між центром та периферією доменних печей, оснащених конусними засипними пристроями, при використанні обважнених подач. З'ясовано, що використання обважнених подач викликає перерозподіл газового потоку в протилежному напрямку від оптимізованого відносно тривалого режиму експлуатації, з розвантаженням периферії, низ якої є генератором гарячих відновлювальних газів, і підвантаженням центру печі залізорудною складовою. Встановлено, що надмірна силова дія обважненої залізорудної частини подачі на стовп шихти при її завантаженні, а також перекриття осьової віддушини залізорудним шаром, які разом призводять до збільшення опору стовпа шихти, перешкоджають досягненню очікуваного зниження перепаду тисків в стовпі шихти, можливості добавки дуття та підвищенню продуктивності печі. Підтверджено, що роздільна система завантаження 4К4А при використанні конусних завантажувальних пристроїв втрачає своє технологічне призначення, що суттєво обмежує управління ходом печі згори, тому рекомендація поширювати досвід використання цих подач не є зваженою. Обважені роздільні подачі за системою 4К4А придатні лише до тимчасового подавлення надмірного центрального потоку газів. Запропоновано класифікацію причин негативного впливу обважнених подач при використанні конусних засипних пристроїв. Рекомендовано уникати систем завантаження, що містять 3—4 скіпові подачі залізорудних матеріалів, на користь 3-х скіпових подач коксу, при виборі маси подачі на печах, обладнаних конусними розподільниками і в умовах вдування пиловугільного палива. Кардинальним рішенням для усунення перешкод використання обважнених подач є заміна конусних засипних пристроїв на безконусні лоткового типу.

Ключові слова: доменна піч, обважнена подача, перепад тисків, центр, периферія, газовий потік, система завантаження, шихта.

Вступ. Маса подачі є одним із основних регулюючих параметрів завантаження при використанні конусних засипних пристроїв. Усталена точка зору на вплив маси подачі базується на схемі, наведеній на рис. 1, а, б. Як повідомляють автори роботи [1], агломерат, розміщуючись на менш пологій поверхні коксу, утворює при зсипанні з конусу на периферії більш товстий шар, ніж в центрі (рис. 1, а), а при зменшенні маси подачі може «виклинюватись» до центру печі (рис. 1, б). Для більш повної уяви про переміщення подач різної маси використані дані лабораторних досліджень [2], а для розмежування характерних зон для подальшого аналізу додали вертикальну лінію, що поділяла радіус колошника на периферійне кільце і центральний круг однакової площі ($0,5S_K$). На рис. 1, в видно, що втричі важчий за кокс агломерат деформує поверхню коксу з утворенням кільцевої

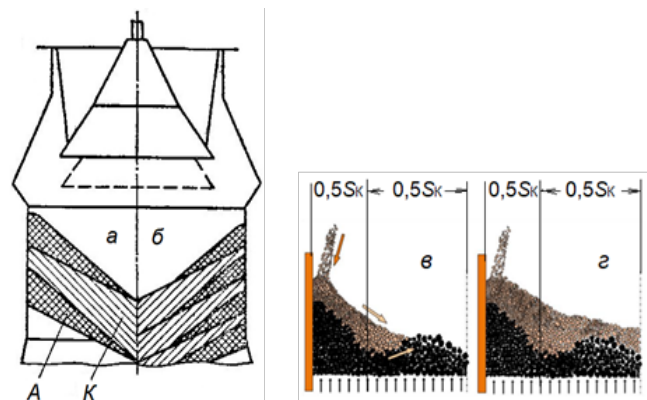


Рис. 1. Схеми розподілу матеріалів при великій (а) і малій (б) подачах і деформації шару коксу при зсипанні з великого конуса малої (в) і великої (д) подачі за даними [1, 2]: S_K — площа колошника; А — агломерат; К — кокс

кишені, утворюючи таким чином агломератну «лінзу» і виштовхнутий до центру кільцевий горбок коксу, завдяки чому посилюється центральний газовий потік, і виникають небажані продуви газу. Тому в 70-х роках ХХ ст. вважали, що велика подача стабілізує газовий потік при розосередженні агломерату по всьому перетину печі (рис. 1, а).

Постановка проблеми. Умовою збереження рівного ходу доменної печі з низькою витратою палива при застосуванні конусного засипного пристрою є характерний розподіл газу за радіусом верхньої частини печі. Згідно з цим розподілом вміст CO_2 в центрі печі повинен бути на 3—4 % менше ніж на периферії, а температури вище приблизно на 150 °С [1, 2]. За такого газорозподілу залізорудні матеріали (ЗРМ), що перебували в центральній частині печі, зазнавали достатньої теплової і відновлювальної обробки і не погіршували стан коксової насадки в заплечиках і горні. Натомість, коли в центр відволікалося недостатньо гарячих відновлювальних газів, про що свідчили вирівнювання концентрації CO_2 в центрі і на периферії, чи більше того, CO_2 в центрі переважало вміст CO_2 біля стін, починалися проблеми зі станом коксової насадки в горні. Тому з цієї позиції слід розглядати ефективність будь-яких змін в режимі завантаження печі конусним засипним пристроєм.

Збільшення маси подачі викликає перерозподіл газового потоку в напрямку посилення його на периферії і ослаблення в центрі печі [1, 3], що знаходиться в протиріччі з уявою про раціональний розподіл газів тих же авторів, викладеною вище. Більше того, в роботі [1] рекомендується при збільшенні вмісту дрібняку в агломераті і близькому розміщенні гребеня біля стін печі переходити на більшу подачу і більш високий рівень засипу, створюючи умови для інтенсивного руху газу на периферії і відповідно до погіршення його використання.

Мета дослідження. Метою дослідження є встановлення кількісного і якісного впливів обважнених подач на розподіл матеріалів і газів в радіальному перетині печі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вперше на невідповідність результатів моделювання пошарового укладання матеріалів результатам доменної плавки було звернуто увагу в роботі [4]. Моделювання свідчило, що зі збільшенням маси подачі зменшувалась кількість шарів матеріалів в шахті, суттєво знижувався вплив на опір стовпа матеріалів міжшарового ефекту, що мав місце, як при частковому проникненні дрібного матеріалу у міжкусовий простір коксу, так і при переході газу із каналів меншого розміру (ЗРМ) в більші канали (кокс). В реальних умовах збільшення маси рудної частини подачі на Криворізькій ДП № 7 в період з 2000 по 2003 рік з 28,5 до 64 т призвело до протилежного результату — витрата дуття зменшилась приблизно на 200 м³/хв при зростанні перепаду тисків зі 121 до 137 кПа [4].

Колектив науковців і технологів [5] вважав масу подачі параметром завантаження, який одночасно підвищує і економічність, і результативність доменної плавки, оскільки суттєво підвищується

газопроникність стовпа шихти через менший вплив на неї міжшарових ефектів. На думку дослідників одночасно покращується обробка газом рудних матеріалів в районі рудного гребеня, оскільки збільшені прошарки коксу призводять до відносного вирівнювання газового потоку під кожним рудним шаром.

Перехід на подачі масою 60—104 т на печах доменного цеху № 1 був вимушеним у зв'язку з виходом з ладу обертового розподільника шихти, а потім зі встановленням пелюсткових розподільників на всіх печах. Перехід на подачі великої маси був обумовлений також застосуванням антрациту в якості кускового заміниника коксу [5]. Подальший досвід [6] використання важких $>2,3 \cdot 10^{-2}$ т на 1 м³ корисного об'єму і суперважких $(4,0—4,5) \cdot 10^{-2}$ т на 1 м³ об'єму подач на ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (АМКР) виявив їх суттєві недоліки. По-перше, очікуване збільшення газопроникності стовпа шихти внаслідок зменшення кількості її шарів не відбулося за рахунок ущільнення не тільки нижчележачих шарів шихти, але й шару подачі, завантажуваної в піч. По-друге, очікуване зменшення дії міжшарового ефекту не відбулося, оскільки значне механічне навантаження при зсіпанні обважнених подач сприяло більш глибокому проникненню дрібного агломерату в шар коксу.

Ба більше, було встановлено [6], що завантаження в піч рудних подач великої маси $(4,0—4,5) \cdot 10^{-2}$ т на 1 м³ об'єму ДП часто супроводжувалося короткочасними (протягом 2—3 хв) затримками в опусканні стовпа шихти з наступними обривами і появою верхніх пік на діаграмі тиску колошникового газу. Крім того, що слід було очікувати, посилювався периферійний газовий потік зі зростанням нерівномірності розподілу матеріалів і газів по окружності печі.

Про доцільність обважнених подач для збільшення витрати пилувугільного палива свідчать дані досліджень на Маріупольському металургійному комбінаті [7, 8]. Стверджується, що завантаження доменних печей збільшеними порціями залізорудних матеріалів і коксу забезпечує формування великих коксових вікон в зоні когезії і є одним із компенсуючих заходів, спрямованих на покращення газопроникності стовпа шихти при підвищеній витраті вугільного пилу. При цьому слід зазначити, що на Маріупольському металургійному комбінаті обважнені подачі знаходились в межах пропускної здатності завантажувальних пристроїв до $2,3 \cdot 10^{-2}$ т на 1 м³ корисного об'єму [8] і значно поступалися за масою подач криворізьким печам [4—6].

Матеріали та методи. Для аналітичної оцінки впливу подач різної маси на розподіл газового потоку і рудних навантажень за радіусом печі використали матеріали зондувань промислових доменних печей і лабораторних досліджень. В якості показника характеру газорозподілу використали відношення усереднених значень концентрації діоксиду вуглецю на периферії $\text{CO}_{2\text{п}}$ і в центрі $\text{CO}_{2\text{ц}}$ печі.

Умовну межу між периферією і центром визначали як границю між периферійним кільцем, що дорівнювало половині площі колошника S_K і центральним кругом з такою ж площею $0,5S_K$. Межу

між характерними типами газорозподілу встановлювали за величиною критерію $CO_{2п}/CO_{2ц}$. Якщо значення цього критерію було близьким до одиниці, такий розподіл вважали периферійно-осьовим, якщо $CO_{2п}/CO_{2ц}$ був >1 — осьовим, а якщо менше одиниці — периферійним.

Подібну методику було застосовано і для оцінки розподілу рудного навантаження за радіусом колошника моделі. В цьому разі критерієм оцінки було відношення рудного навантаження в периферійному кільці $RH_п$ до рудного навантаження в центральному крузі $RH_ц$.

Результати дослідження та їх обговорення. Зміну розподілу вмісту CO_2 в газі за радіусом ДП № 7 АМКР при використанні подач різної маси представлено на рис. 2, а розрахункові дані, що оцінюють газорозподіл, — в табл. 1.

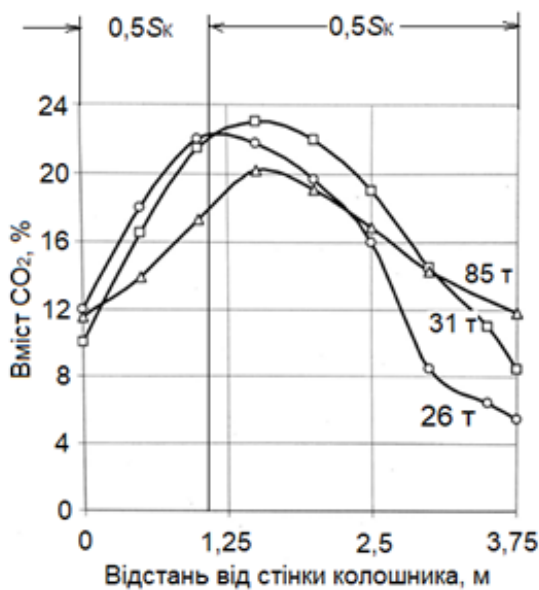


Рис. 2. Зміна розподілу вмісту CO_2 в газі за радіусом печі № 7 при збільшенні маси подачі за даними А.К. Тараканова та ін., 1979 р. (подачі 26 і 31 т) і В.П. Лялюка та ін. (подача 85 т) [5]. Тут і на рис. 3: S_k — площа колошника; вертикаль на графіку — лінія розмежування площ периферійного кільця і центрального круга

Таблиця 1

Показники розподілу і використання газу на ДП № 7 «АрселорМіттал Кривий Ріг» при зміні маси залізрудних матеріалів в подачі

Показник	Маса подачі, т		
	26	31	85
Середній вміст CO_2 в газі, % на периферії площі 0,5 площі колошника $CO_{2п}$	18,5	17,5	15,1
В центральному крузі площі 0,5 площі колошника $CO_{2ц}$	14,2	17,1	16,7
Відношення $CO_{2п}/CO_{2ц}$ тип газопотоку	1,30 осьовий	1,02 периферійно-осьовий	0,90 периферійний
Ступінь використання $CO_{пco}$, %	41,8	42,0	37,4

Не важко бачити, що в конкретних сировинних та експлуатаційних умовах ДП № 7 маса подачі в межах 26—31 т сприяла утворенню помірно осьового (при 26 т) і периферійно-осьового (при 31 т) газопотоків, що були близькими за рівнем використання відновлювальної здатності монооксиду вуглецю. Збільшення маси подачі приблизно у 3 рази призвело до утворення периферійного газорозподілу зі суттєвим зниженням ступеня використання газу. Як і слід було очікувати, газодинамічний режим ведення більш потужної ДП № 8 об'ємом 2700 м^3 відрізнявся від ДП № 7 більшим розкриттям центру (рис. 3, табл. 2). Для конкретних умов плавки ДП № 8 маса подачі у 42 т мала переваги перед меншою внаслідок допустимого підвантаження центральної зони і загального зростання ступеня використання енергії газу. Збільшення маси подачі до 104 т викликало посилення периферійного потоку газу і зниження ступеня його використання.

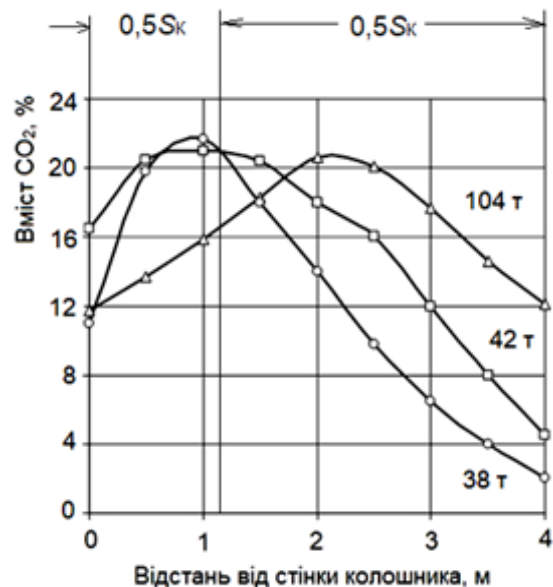


Рис. 3. Зміна розподілу вмісту CO_2 в газі за радіусом печі № 8 при збільшенні маси подачі за даними А.К. Тараканова та ін., 1979 р. (подачі 38 і 42 т) і В.П. Лялюка та ін. (подача 104 т) [5]

Таблиця 2

Показники розподілу і використання газу на ДП № 8 «АрселорМіттал Кривий Ріг» при зміні маси залізрудних матеріалів в подачі

Показник	Маса подачі, т		
	38	42	104
Середній вміст CO_2 в газі, % на периферії площі 0,5 площі колошника $CO_{2п}$	18,3	19,7	14,4
В центральному крузі площі 0,5 площі колошника $CO_{2ц}$	10,8	14,2	17,0
Відношення $CO_{2п}/CO_{2ц}$ тип газопотоку	1,69 осьовий	1,38 осьовий	0,84 периферійний
Ступінь використання $CO_{пco}$, %	41,3	42,6	39,8

Автори [5] угледіли причину низького ступеня використання газу на великій подачі застосуванням високореакційного коксу, коли реакція Будуара $\text{CO}_2 + \text{C}_\text{к} \rightarrow 2\text{CO}$, зсунута праворуч, занижує фактичний ступінь використання газу. Насправді при посиленому периферійному потоці газу відношення «гарячий відновлювальний газ / оксиди Fe» зростає, що призводить до зниження використання теплової і хімічної енергії газу і відповідно до перевитрати коксу. Приведення продуктивності і витрати коксу до однакових умов, що мало місце в роботі [5], не мало сенсу, оскільки не дотримувались головні вимоги порівняння — суміжність і тривалість базового та дослідних періодів.

На рис. 4 представлено результати лабораторних досліджень впливу систем завантаження обважнених подач на розподіл рудного навантаження в радіальному перетині доменної печі, використані для кількісної і якісної оцінки розподілу. Зрозуміло, що лабораторний експеримент подібного виду має ряд обмежень, серед яких є те, що не враховується силова дія обважнених подач на рельєф засипу, оскільки в досліді його поверхня приймається постійною. Можливо, саме тому виявився дещо незвичайний розподіл рудного навантаження за поз. 2 на рис. 4. Однак, отримані дані [8] дають змогу оцінити можливі наслідки застосування досліджених систем завантаження на утворення радіального газопотоку. Для цього нами розраховано деякі кількісні характеристики цих систем, на основі чого спрогнозовано їх вплив на розподіл газу (табл. 3).

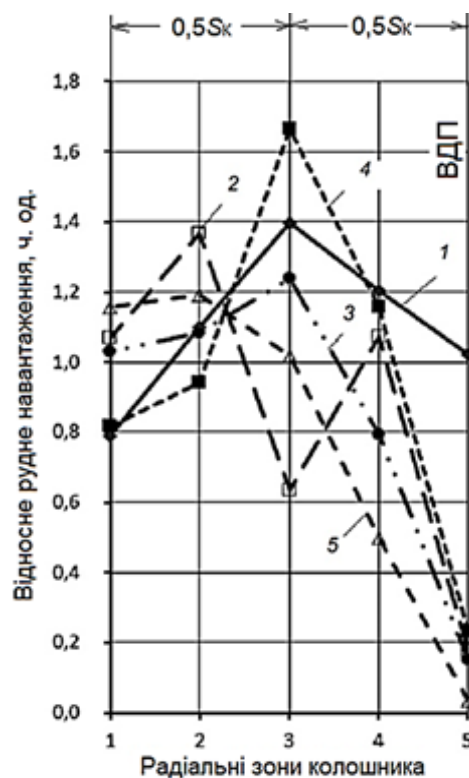


Рис. 4. Розподіл рудних навантажень за радіальними зонами секторної моделі колошника за даними [8]: 1 — АААА↓КККК↓; 2 — ААА↓АКККК↓; 3 — КАА↓ААККК↓; 4 — ККА↓АААКК↓; 5 — АА↓ААККК↓; ВДП — вісь доменної печі; інші позначення, що і на рис. 1

Таблиця 3

Характеристики систем завантаження обважнених подач, розрахованих з використанням дослідних даних [8]

№ зп	Система завантаження	Характеристики систем та розподілу матеріалів і газів				
		кількісна				якісна
		N _{ск}	середнє відносне РН*		РН _п /РН _ц	
			на периферії РН _п	в центрі РН _ц		
1	AAAA↓ KKKK↓	4	1,1	1,21	0,91	Перевантажений ЗРМ центр. Хронічний периферійний газопотік
2	AAA↓ AKKK↓	3	1,02	0,63	1,61	По одному максимуму РН в периферійному кільці і центральному крузі. Різко нерівномірний газорозподіл за радіусом печі
3	KAA↓ AAKK↓	2	1,11	0,73	1,51	Осьовий газопотік
4	KKA↓ AAAK↓	1	1,15	1,02	1,13	Периферійно-осьовий газопотік. Різко виражений максимум РН, відсунутий від стін печі
5	AA↓ AAKKK↓	2	1,12	0,51	2,20	Різко осьовий газопотік

Примітка: N_{ск} — кількість скипів агломерату в І-й напівподачі; *РН — рудне навантаження

При використанні конусних засипних пристроїв розгляд впливу обважнених подач на доменний процес слід починати з вивчення дії цих подач на роботу зони когезії, яка по суті є головною гальмівною ділянкою стовпа шихти [7]. Бажаним є варіант, за якого товщина коксового шару (вікна) в цій зоні буде максимальною, а товщина шару залізрудних матеріалів мінімальною. Тому намагання розірвати в часі і просторі чотирьохскіповий шар агломерату є продуктивним напрямом, про що свідчать дані табл. 3 від

поз. 1 до поз. 3.

Про доцільність руху в цьому напрямі свідчать практичні дані роботи печей. Так, на ДП № 5 ПАО Маріупольській МК в січні 2016 р. перехід з роздільної системи АААА↓КККК↓ до системи ААА↓АКККК↓ дозволив зменшити температуру периферійних газів з 685 до 580 °С [7]. В свою чергу заміна технології завантаження на ДП № 3 того ж комбінату з системи ААА↓АКККК↓ на ААККК↓КАА↓АА↓ забезпечила зниження температури колошника до 551 °С і по-

кращення показників плавки [8]. Досвід показує, що застосування обважнених напівподач з чотирьох скіпів залізородних матеріалів в умовах вдування пиловугільного палива недоцільне, оскільки обидва технологічні засоби діють в одному напрямку — посилюють периферійний хід доменної печі.

Узагальнення розглянутих джерел інформації [4—9] та результатів дослідження, викладених вище, дозволяють підкреслити позитивну сторону і перерахувати недоліки застосування обважнених подач при використанні конусних завантажувальних пристроїв. Обважені подачі зменшують газопроникність стовпа шихти, внаслідок чого інтенсивність плавки зменшується, що покращує підготовку матеріалів і знижує за рахунок цього витрату коксу (О.Л. Берін та ін., 1979 р.). Зростання перепаду тисків, обумовлене зменшенням газопроникності, сприяє більш ефективному використанню енергії стисненого в робочому просторі пічного газу [10]. Коксові вікна, утворені за рахунок завантаження 3—4-х скіпів коксу поспіль, розширюють можливості збільшення витрати пиловугільного палива [7, 8].

Негативний вплив обважнених подач при використанні конусних завантажувальних пристроїв слід вважати наступним. По-перше, роздільна система завантаження КККК↓АААА↓ втрачає своє технологічне призначення, що суттєво обмежує управління ходом печі згори [8], тому рекомендація поширювати досвід використання цих подач [11] не є зваженою. Ще в 1982 р. В.П. Тарасов показав, що обважені роздільні подачі за системою КККК↓АААА↓ кардинально підвантажують центр і придатні лише до тимчасового подавлення надмірного центрального потоку газів. По-друге, газопроникність стовпа шихти знижується завдяки одночасній дії двох факторів — силової дії обважненої подачі на деформацію та ущільнення нижчележачої подачі [6] зі зсувом рудного гребеня в центральний круг печі, а також перекриття осьового газового каналу. По-третє, відбувається перерозподіл газопотоку в протилежному напрямку від оптимізованого відносно економічності та

результативності тривалого режиму експлуатації, а саме периферія, низ якої є генератором гарячих відновлювальних газів, розвантажується, а центр завантажується. І по-четверте, зростає окружна нерівномірність газового потоку з погіршенням його використання [6]. Кардинальним рішенням для усунення перешкод використання обважнених подач (порцій) є заміна конусних засипних пристроїв на безконусні лоткового типу.

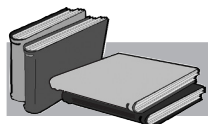
Висновки

Звернуто увагу на обставину, що на доменних печах, оснащених конусними засипними пристроями, використання обважнених подач викликає перерозподіл газового потоку в протилежному напрямку від оптимізованого відносно тривалого режиму експлуатації, а саме периферія, низ якої є генератором гарячих відновлювальних газів, розвантажується, а центр завантажується.

Показано, що у всьому дослідженому діапазоні зміни маси подачі залізородних матеріалів її вплив на розподіл матеріалів і газів залишається однаковим — центр підвантажуються залізородною складовою, а периферійне кільце однакової площини з центральним кругом розвантажується.

Сподівання на те, що збільшення висоти коксових вікон в зоні когезії при використанні обважнених подач знизить перепад тисків в стовпі шихти і утворить можливість добавки дуття та підвищить продуктивність печі, не справдилось. Причиною цього явища є надмірна силова дія обважненої залізородної частини подачі на стовп шихти при її завантаженні, а також перекриття осьової віддушини залізородним шаром, які разом призвели до збільшення опору стовпа шихти.

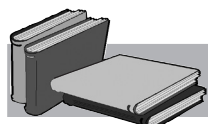
При виборі маси подачі на печах, обладнаних конусними розподільниками, в умовах вдування пиловугільного палива слід уникати систем завантаження, що містять 3—4 скіпові подачі залізородних матеріалів, на користь 3-х скіпових подач коксу.



ЛІТЕРАТУРА

1. Плискановский С.Т., Полтавец В.В. *Оборудование и эксплуатация доменных печей*. Дніпропетровськ: Пороги, 2004. 495 с.
2. Vasiliu A. Chargers for Blast Furnaces Double Bell VS. Rotary Chute. *The Annals of «Dunarea de Jos» University of Galati, Fascicle IX. Metallurgy and Materials Science*. 2016. Vol. 39. No. 4. P. 16—21. URL: <https://www.gup.ugal.ro/ugaljournals/index.php/mms/article/view/1221> (дата звернення: 20.03.2025).
3. Ефименко Г.Г., Гиммельфарб А.А., Левченко В.Е. *Металлургия чугуна*. Київ: Вища школа, 1988. 351 с.
4. Бочка В.В., Иващенко В.П., Ковшов В.Н. и др. Некоторые особенности работы доменной печи при повышении интенсивности плавки. *Новини науки Придніпров'я. Зб. наук. доповідей до науково-практичної конференції, присвяченій 100-річчю відомого вченого Г.А. Воловика*, 2010. С. 50—53.
5. Лялюк В.П., Шеремет В.А., Тараканов А.К. и др. Работа доменных печей на увеличенной подаче. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2011. № 1. С. 5—9.
6. Бочка В.В., Куприков Р.А., Ризницкий И.Г. и др. Анализ особенностей работы доменной печи с массами подачи различной величины. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2014. № 1. С. 24—27.
7. Семакова В.Б., Зинченко Ю.А., Шадловский Ю.О. Вдувание пылеугольного топлива в доменные печи ПАО «ММК им. Ильича» при их загрузке утяжеленными породами. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2016. № 3. С. 18—21.
8. Зинченко Ю.А., Курпе А.Г., Форман А.В., Русских В.П., Семакова В.Б., Семаков В.В. Совершенствование режимов загрузки доменных печей ЧАО «ММК им. Ильича» в условиях вдувания пылеугольного топлива. *Металл и литье Украины*. 2017. № 1. С. 5—10.
9. Лялюк В.П. Теорія і технологія доменної плавки: навчальний посібник. Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2020. 516 с.
10. Крячко Г.Ю. Оценка качества дутья и технической работы газа в доменном процессе. *Черные металлы*. 2002. № 10. С. 11—16.
11. Захарченко В.Н., Русских В.П., Косолап Н.В. Проблемы вдувания пылеугольного топлива в доменные печи. *Металл и литье Украины*. 2018. № 7—8. С. 25—30.

Надійшла 28.03.2025



REFERENCES

1. Pliskanovsky, S. T., & Poltavets, V. V. (2004). *Oborudovanie i ekspluatatsiya domennyih pechey* [Equipment and operation of blast furnaces]. *Dnipropetrovsk: Porogi* [in Russian].
2. Vasiliu, A. (2016). Chargers for Blast Furnaces Double Bell vs. Rotary Chute. *The Annals of «Dunarea de Jos» University of Galati, Fascicle IX. Metallurgy and Materials Science*, 39(4), 16-21. URL: <https://www.gup.ugal.ro/ugaljournals/index.php/mms/article/view/1221> (Last accessed: 20.03.2025).
3. Efimenko, G. G., Gimmelfarb, A. A., & Levchenko, V. E. (1988). *Metallurgiya chuguna* [Metallurgy of cast iron]. Kyiv: Vyshcha shkola [in Russian].
4. Bochka, V. V., Ivashchenko, V. P., Kovshov, V. N. et al. (2010). Nekotoryie osobennosti raboty domennoy pechi pri povyshenii intensivnosti plavki [Some features of the operation of a blast furnace with increasing smelting intensity]. *New Science of the Dnieper Region. Zb. Sci. testimonies to the scientific-practical conference, dedicated to the 100th anniversary of the famous scientist G. A. Volovik*, 50-53 [in Russian].
5. Lyalyuk, V. P., Sheremet, V. A., Tarakanov, A. K. et al. (2011). Rabota domennyih pechey na uvelichennoy podache [Operation of blast furnaces at increased feed]. *Metallurgical and Mining Industry*, (1), 5-9 [in Russian].
6. Bochka, V. V., Kuprikov, R. A., Riznitsky, I. G. et al. (2014). Analiz osobennostey raboty domennoy pechi s massami podachi razlichnoy velichiny [Analysis of the Features of Operation of a Blast Furnace with Feed Masses of Different Sizes]. *Metallurgical and Mining Industry*, (1), 24-27 [in Russian].
7. Semakova, V. B., Zinchenko, Yu. A., & Shadlovsky, Yu. O. (2016). Vdvanie pyლეугольного топлива v domennyye pechi PAO «ММК им. Ильича» pri ih zagruzke utyazhelennymi podachami [Injection of pulverized coal fuel into blast furnaces of PJSC "Ilyich Iron and Steel Works" during their loading with heavy feeds]. *Metallurgical and Mining Industry*, (3), 18-21 [in Russian].

8. Zinchenko, Yu., Kurpe, A., Forman, A., Russkikh, V., Semakova, V., & Semakov, V. (2017). Sovershenstvovanie rezhimov zagruzki domennykh pechey ChAO «MMK im. Ilycha» v usloviyakh vduvaniya pyileugolnogo topliva [Improving of the modes of loading of blast furnaces of PJSC "Ilyich Iron and Steel Works" in the conditions of inflation of coal-dust fuel]. *Metal and Casting of Ukraine*, (1), 5-10 [in Russian].
9. Lyaluk, V. P. (2020). Teoriia i tekhnolohiia domennoi plavky: navchalnyi posibnyk [Theory and technology of blast furnace smelting: a basic guide]. *Krivyi Rih: Vidavets FO-P Cherniavsky D.O.* [in Ukrainian].
10. Kryachko, G. Yu. (2002). Otsenka kachestva dutya i tehnicheskoy raboty gaza v domennom protsesse [Evaluation of blast quality and technical work of gas in the blast furnace process]. *Black Metals*, (10), 11-16 [in Russian].
11. Zakharchenko, V. N., Russkikh, V. P., & Kosolap, N. V. (2018). Problemy vduvaniya pyileugolnogo topliva v domennyye pechi [Problems of blowing pulverized coal into blast furnaces]. *Metal and Casting of Ukraine*, (7-8), 25-30 [in Russian].

Received 28.03.2025

Summary

H.Yu. Kriachko, PhD (Engin.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Metallurgy named after Professor V.I. Loginov, e-mail: krachkogennadij@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8773-508X>
Ye.M. Siharov, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Head of the Department of Metallurgy named after Professor V.I. Loginov, e-mail: en_sigarev@ua.fm, <https://orcid.org/0000-0002-8229-7877>

Dniprovsky State Technical University (Kamianske, Ukraine)

Analysis of the Influence of Weighted Feeds on the Distribution of Materials and Gases in Blast Furnaces

The paper presents the results of the analysis and generalization of data on the redistribution of gas flows between the center and periphery of blast furnaces equipped with conical charging devices when using weighted feeds. It was found that the use of weighted feeds causes a redistribution of the gas flow in the opposite direction from the optimized relatively long-term operating mode, with unloading of the periphery, the bottom of which is a generator of hot reducing gases, and loading of the center of the furnace with an iron ore component. It was found that the excessive force action of the weighted iron ore part of the feed on the charge column during its loading, as well as the overlap of the axial vent with an iron ore layer, which together lead to an increase in the resistance of the charge column, prevent the achievement of the expected reduction in the pressure drop in the charge column, the possibility of adding blast and increasing the furnace productivity. It has been confirmed that the 4K4A separate charging system loses its technological purpose when using conical charging devices, which significantly limits the control of the furnace from above, therefore the recommendation to spread the experience of using these feeds is not weighted. Weighted separate feeds according to the 4K4A system are suitable only for temporary suppression of excessive central gas flow. A classification of the causes of the negative impact of weighted feeds when using cone-type charging devices is proposed. It is recommended to avoid charging systems containing 3-4 skip feeds of iron ore materials in favor of 3 skip feeds of coke when choosing the feed mass for furnaces equipped with cone distributors and in conditions of pulverized coal fuel injection. A cardinal solution to eliminate obstacles to the use of weighted feeds is to replace cone-type charging devices with cone-less tray-type ones.

Keywords

Blast furnace, weighted feed, pressure drop, center, periphery, gas flow, charging system, charge.