

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: siharovyevgen@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8229-7877>

Дніпровський державний технічний університет (Кам'янське, Україна)

Особливості технології виведення доменних печей із експлуатації

Метою роботи є удосконалення технології безпечної видувки доменних печей шляхом обґрунтування вибору об'єму холостого коксу і динаміки зміни газодуттєвого режиму видувального процесу. Для визначення напрямів удосконалення технології видувального процесу розглянули характерні режими і сформулювали задачі цих режимів відповідно до проаналізованої інформації. Розгляд завдань, які повинні вирішувати певні режими видувального процесу, показує, що визначальними у створенні умов безпечної видувки печей є режими формування стовпа шихти і газодуттєвих параметрів, на дослідженні яких було зосереджено увагу. Показано, що для визначення обґрунтованого об'єму холостого коксу слід враховувати конусність верху коксової насадки, яка зростає зі збільшенням об'єму доменних печей. Запропоновано оцінювати конусність верху насадки відношенням об'єму заплечиків V_z до діаметра горна d_r . Встановлено, по-перше, що величина відношення V_z/d_r задовільно корелюється з об'ємом холостого коксу з практики ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». По-друге, більший рівень заповнення заплечиків холостим коксом потужної печі усуває у визначеній мірі прорив фурменних газів крізь його шар. Показано доцільність розгляду газодинаміки видувального процесу, як єдиного системного цілого з одночасним врахуванням характеристик стовпа шихти, параметрів дуття і газу в пічному просторі. На прикладах виведення промислових доменних печей із експлуатації показано провідну роль підвищеного тиску газу у встановленні безаварійного газодуттєвого режиму видувального процесу. Для забезпечення безаварійної видувки доменної печі опір стовпа шихти газовому потоку ΔP на початку видувального процесу може дорівнювати надмірному тиску газів на колошнику P_k або переважати його $\Delta P \geq P_k$. В процесі зменшення висоти стовпа видувальної шихти слід підтримувати зворотну нерівність $P_k > \Delta P$, яка усуває можливість прориву фурменного газу крізь стовп шихти. Отримані авторами результати дозволяють удосконалити технологію безпечної видувки доменних печей.

Ключові слова: доменна піч, видувка, «холостий» кокс, об'єм, газодуттєвий режим, динаміка змін, видувальний процес.

Вступ. Із всіх технологічних операцій, котрі виконуються на доменних печах, найбільш аварійно небезпечними і найменш вивченими і регламентованими є задувка і видувка печей [1]. Тому перед науково-технічним загалом стоїть задача ретельного аналізу аварій і розробки правил безпечної роботи при виконанні останньої операції, найменш вивченої в порівнянні з пусковою. Тому, не випадково, існує ряд питань, відповіді на які мають суперечливі пояснення або взагалі їх не мають.

Постановка проблеми. Прикладом неоднозначності підходів до формування стовпа видувальної шихти може бути визначення витрати холостого коксу, яка безумовно впливає на динаміку і безпечність завершального етапу видувки. Так, М.Я. Остроухов та Л.Я. Шпарбер (1975 р.) для визначення кількості

коксу, що займає об'єм горна нижче фурм, приймали типовий профіль розпалу горна і лещаді. Практикою роботи печей Магнітогорського металургійного комбінату (МагМК) (рф) було встановлено, що об'єм розгорілих горна і лещаді більше проєктного приблизно у 1,5 рази. Так, для печей корисним об'ємом 1188—1370 м³ цей об'єм складав 230—250 м³. При насипній масі коксу 0,45 т/м³ для заповнення цього об'єму потрібно 100—110 т коксу. Приблизно така ж кількість коксу спалюється при закінченні видувки печі. Таким чином, на видувку печі витрачається 200—250 т коксу. За підрахунками авторів для печей інших об'ємів кількість видувального коксу може бути прийнято наступною (табл. 1).

Незалежно від об'єму доменної печі В.І. Большаков зі співавторами рекомендували об'єм «холостого» коксу в кількості 9—12 % корисного об'єму [1]. Вважа-

ють, що створення такої коксової подушки на робочій шихті є одним із основних заходів, що попереджує утворення вибухонебезпечних умов при видувці печі.

Чому відносний об'єм холостого коксу повинен бути універсальним для всіх печей автори не пояснюють. Приклад невизначеності в характері змін динаміки

Таблиця 1

Кількість видувального коксу для доменних печей згідно з розрахунками М.Я. Остроухова та Л.Я. Шпарбера (1975 р.)

Корисний об'єм печі, м³	1512	1719	2002	2300	2700
Кількість коксу, завантаженого при видувці: т	250	270	360	450	500
% корисного об'єму	36,7	34,9	40,0	43,4	41,1

видувального процесу розміщено у відомій монографії «Практика ведення доменной печи» Б.М. Жеребіна, 1980 р., де наведено графіки зміни тиску гарячого дуття (рис. 1) і рівня шихти (рис. 2) в процесі видувки трьох доменних печей. На жаль, автор обмежився лише розміщенням наведеної вище інформації без

відповідного коментаря, хоча аналіз її заслуговує на увагу. Цілком очікувано, що на швидкість падіння рівня шихти при видуванні впливають параметри дуття, чим вони вище, тим швидше опускається шихта (криві для ДП 3 на рис. 1 і 2).

Окремого пояснення заслуговує характер залеж-



Рис. 1. Зміна тиску гарячого дуття при видуванні доменних печей 1—3 за даними Б.М. Жеребіна, 1980 р.

ностей на рис. 1. Якщо на ДП 3 в процесі видування надмірний тиск гарячого дуття змінювався плавно, то на ДП 1 і ДП 2 в кінці видувки спостерігались одні і навіть два підняття тиску. Сумісний розгляд рис. 1 і 2 свідчить про те, що на зміну тисків гарячого дуття на ДП 1 і 2, в порівнянні з ДП 3, можливо вплинули конструктивна особливість горна (низький рівень розміщення повітряних фурм і відповідне обмеження розвитку фурменних вогнищ), а також послідовність відкриття чавунних і козових льоток. Наприклад, верхня козлова льотка на ДП 2 була відкрита при відкритті чавунної льотки, тоді як на ДП 3 верхню козову відкрито через 4 години після закриття чавунної льотки.

Слід зазначити, що несистемний підхід до оцінки газодуттєвого режиму (розглянута тільки зміна надмірного тиску дуття в часі) не дозволяє повною мірою визначити причини різної динаміки видувального процесу на розглянутих печах. Несистемність викладення інформації спостерігається і на прикладах видувки двох доменних печей України, розміщених у капітальному довідникові «Доменное производ-

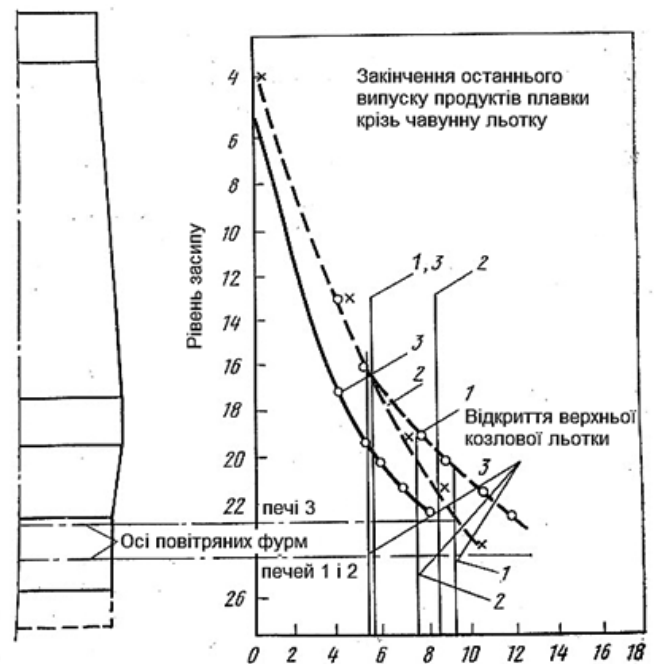


Рис. 2. Зміна рівня шихти в доменних печах 1—3 по ходу видування за даними Б.М. Жеребіна, 1980 р.

ство. Том II» (1963 р.), що не дозволяє дослідити газодинаміку видувального процесу в ретроспективі.

Мета дослідження. Метою дослідження є удосконалення технології безпечної видувки доменних печей шляхом обґрунтування вибору об'єму холостого коксу і динаміки зміни газодуттєвого режиму видувального процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В монографії [2] запропоновано схему утворення вибухонебезпечної суміші доменного газу і кисню дуття при прориві дуття крізь укорочений стовп шихти (рис. 3). Дійсно, при опусканні поверхні засипу в нижню частину шахти, розпар і заплечики виникають умови для прориву кисеньвмісним дуттям шихтової перегородки, після чого вибух практично неминучий. Автори [2] підкреслюють відсутність обґрунтованих графіків зниження тиску дуття при видувці і зазначають про те, що послідовність і глибина зниження

тиску дуття вибираються технологами відповідно до досвіду та інтуїції.

Учасники видувального процесу на ДП № 9

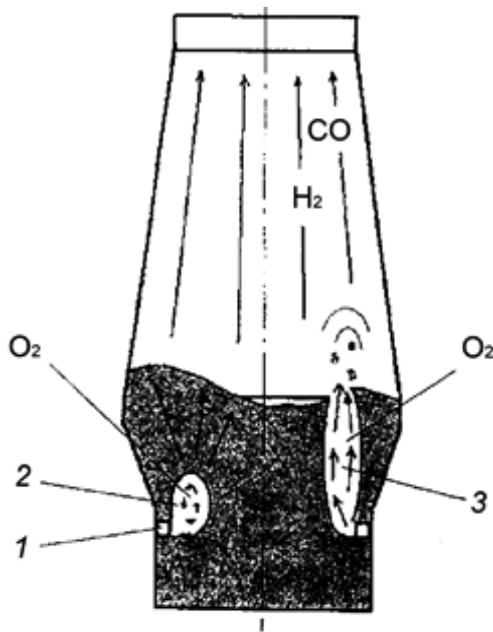


Рис. 3. Схема утворення вибухової суміші доменного газу і кисню дуття при видувці доменної печі в результаті прориву дуття із фурменної зони крізь стовп шихти за даними [2]: 1 — повітряні фурми; 2 — фурменна зона; 3 — прорив кисеньвмісного дуття крізь стовп шихти

«Криворіжсталі» об'ємом 5000 м³ стверджували [3], що уникнути «проскоку» кисню дуття в простір над поверхнею засипу вдалося досягти за рахунок високого теплофізичного потенціалу фурменної зони при збагаченні дуття киснем до 25—26 %. Звідки і рекомендація [3] тримати витрату кисню на збагачення дуття на рівні, який відповідав робочому режиму до кінця видувки. Ця рекомендація знаходиться в протиріччі з нормативом роботи [4], за яким ДП переводять на нормальний тиск, зменшують на 10—12 % кількість дуття і припиняють введення в дуття природного газу і кисню.

В інших роботах Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України [5—7] всебічно розглянуті питання промислової безпеки виведення доменних печей з експлуатації, зокрема з використанням азоту в якості заміни охолоджувальної води, але в дуже обмеженій кількості, як для печі об'ємом 5000 м³ [6].

Матеріали та методи. Використано елементи системного аналізу для дослідження системи «газодинаміка доменного процесу в нестационарному режимі».

Результати дослідження та їх обговорення. Для визначення напрямів удосконалення технології видувального процесу розглянули характерні режими і сформулювали задачі цих режимів відповідно до проаналізованої інформації [1—8] (рис. 4).

Стосовно завдання двох перших, а саме шла-

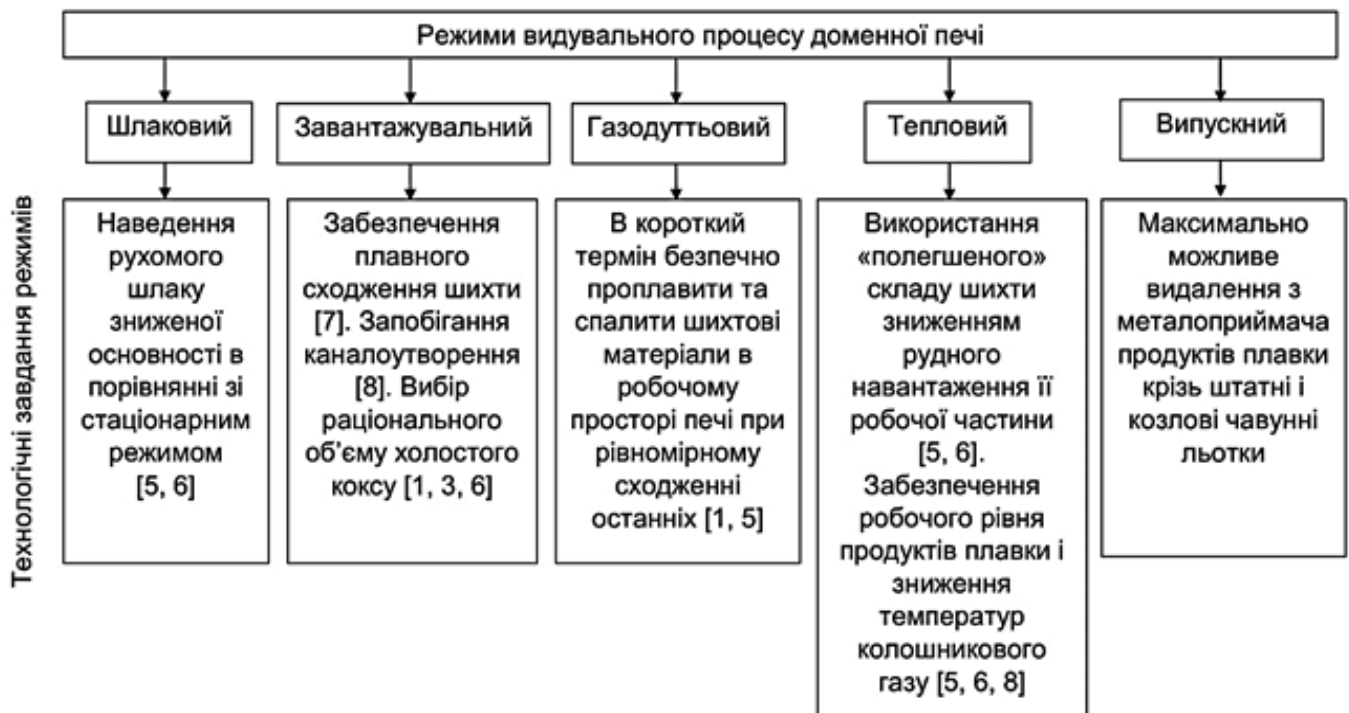


Рис. 4. Схема, що ілюструє технологічні завдання режимів видувального процесу доменної печі: на схемі показані посилання на джерела, де ставляться технологічні завдання

кового і завантажувального режимів, то в цілому за характером вони близькі до задувального і стаціонарного процесів. Три останні режими кардинально відрізняються від подібних для пускового і

наступного за ним періодів. Особливо відрізняється і відіграє визначальну роль у видувці газодуттєвий режим, оскільки на відміну від подібних, спрямований не на початок і продовження металургійних

перетворень, а на їх повне завершення. Тепловий режим видувки зазнає впливу охолоджувальних агентів (H_2O , N_2) шляхом уведення останніх в робочий простір печі, а випускний режим призначений для повного видалення розплавів з горна і зумпфу печі. Розгляд завдань, які повинні вирішувати певні режими видувального процесу, показує, що визначальними у створенні умов безпечної видувки печей є режими формування стовпа шихти і газодуттьових параметрів, на дослідженні яких слід зосередити увагу.

Режим формування стовпа видувальної шихти через визначення в ньому об'ємної частки холостого коксу має суттєве значення як для організації безпечної видувки, так і для забезпечення економічності видувального процесу. Невипадково, що раніше (М.Я. Остроухов та Л.Я. Шпарбер, 1975 р.) намагалися завищити витрату холостого коксу для полегшення безаварійної видувки, адже проплавити робочу видувальну шихту набагато важче, ніж спалити кокс. Надалі, зважаючи на високі дефіцитність і вартість коксу, витрату його у видувальну холосту шихту зменшили, однак у не зовсім обґрунтованих кількостях, про що було згадано вище.

На наш погляд мінімальна витрата холостого коксу повинна бути пов'язана з об'ємом доменної печі. Відомо [9], що зі збільшенням об'єму печі зростає висота конусу коксової насадки в центрі печі з основою на рівні повітряних фурм.

Тому орієнтиром при визначенні маси холостих подач при видувці повинен бути об'єм заплечиків V_3 і діаметр горна d_f . Враховуючи конусність вершини коксової насадки, яка може бути оцінена відношенням V_3/d_f зі зростанням V_3/d_f , зростатиме і витрата холостого коксу при видувці (табл. 2), однак при суттєво менших масштабах, ніж пропонувалося раніше.

По-перше, видно, що величина відношення V_3/d_f задовільно корелюється з об'ємом холостого коксу для практики ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». По-

го коксу буде забагато, наприклад, для печі об'ємом 1719 м^3 буде потрібно $155\text{—}206\text{ м}^3$, або $70\text{—}93\text{ т}$. Це на $20\text{—}43\text{ т}$ більше ніж потрібно. Якщо ж користуватися рекомендацією [4, 5] завантажувати $10\text{—}15$ холостих подач, то для ДП об'ємом 5000 м^3 при масі холостої подачі 30 т (67 м^3) рекомендований об'єм складе $670\text{—}1005\text{ м}^3$ або $13\text{—}20\text{ \% }V_{\text{кор}}$, що також занадто.

Неважко показати помилковість суджень авторів монографії «Эксплуатация доменных печей» (М.Я. Остроухов та Л.Я. Шпарбер, 1975 р.) стосовно визначення маси холостих подач коксу у видувальному періоді. На заповнення об'єму розгорілих горна і лежачі не потрібен додатковий кокс, оскільки цей об'єм заповнений коксовою насадкою, зануреною в розплави чавуну і шлаку. Масив коксової насадки формується при задуванні печі, існує весь період роботи, зазнаючи поступової повільної заміни.

Газодинаміка нестационарного видувального процесу доменної печі вимагає системного підходу, оскільки визначається багатьма факторами — granulometrichним складом і розподілом шихтових матеріалів, параметрами фурменних і пічних газів, невпинним скороченням висоти стовпа матеріалів, впливом на склад і температуру пічних газів охолоджувальних агентів, насамперед води і значно рідше азоту. На жаль, значна частка перерахованих факторів знаходиться за межами надійного контролю. В таких умовах системний аналіз розширює і поглиблює уявлення про механізм впливу тих чи інших заходів, регулюючих процес видувки.

Якщо розглядати газодинаміку видувального процесу як системне ціле, то слід одночасно враховувати зміну характеристик стовпа шихти, параметрів дуття і газу в пічному просторі. Надалі в якості характеристики стовпа шихти використали загальний перепад тисків ΔP , в якості визначального параметра дуттьового режиму — тиск гарячого дуття P_d , в якості параметру газового режиму — тиск газів на колошнику P_k . Для аналізу змін в часі системи «газодинаміка видувального процесу» використали відому загальноінформацію про перебіг видувки двох доменних печей об'ємом 1180 м^3 (М.Я. Остроухов та Л.Я. Шпарбер, 1975 р.) і 5000 м^3 , 2003 р. [3].

Доменну піч об'ємом 1180 м^3 (МагМК, рф) видували на вимушений ремонт I категорії через прорив чавуну крізь лежачі. Піч була задута на видувальну операцію на наступний день після аварії зі завантаженням холостого коксу масою 204 т . Динаміку зміни параметрів газодуттьового режиму показано на рис. 5. В активну фазу видувки, яка тривала після закінчення завантаження холостого коксу з 3.00 по 10.00 20.12 , достатня висота стовпа шихти дозволяла безпечно працювати з нерівністю $\Delta P > P_k$. Суттєве зменшення висоти стовпа шихти над фурмами в завершальній стадії видувки створювало при підвищеному перепаді тисків небезпеку прориву фурменних газів крізь цей стовп. Тому, небезпідставно, тиск на колошнику підвищили з оберненою нерівністю $P_k > \Delta P$.

На відміну від ДП об'ємом 1180 м^3 криворізька ДП № 9 була видута зі застосуванням дуття, збагаче-

Таблиця 2

Мінімальна рекомендована витрата холостого коксу при видувці доменних печей

Корисний об'єм печі, м^3	1719	2000	5000
Відношення V_3/d_f	24,1	25,7	46,87
Маса коксу холостих подач:			
т	50	60	260
м^3	111	133	578
% корисного об'єму	6,4	6,6	11,6
% об'єму заплечиків	50,7	53,0	83,9

друге, більший рівень заповнення заплечиків холостим коксом потужної печі усуває у визначеній мірі прорив фурменних газів крізь його шар (див. рис. 3).

У зв'язку з викладеним, рекомендації ІЧМ НАН України у визначенні об'ємів холостого коксу потребують уточнення. Якщо користуватися рекомендацією витрачати холостий кокс в межах $9\text{—}12\text{ \%}$ корисного об'єму печі [6], то для печей середнього об'єму цю-

ного киснем до 26 % [3]. Суттєво відрізнявся і газовий режим — тиск газу на колошнику аварійної ДП 1180 м³ складав у видувальному процесі лише 10—40 надмірних кПа, тоді як на ДП № 9 — 40-150 кПа. Динаміку зміни газодуттєвого режиму останньої печі наведено на рис. 6. Більшу частину видувального періоду, починаючи з 18-ої год, підтримувалась

нерівність $P_k > \Delta P$, що усувала, на наш погляд, можливість прориву стовпа шихти фурменними газами.

Автори [3] вважали, що високий теплофізичний потенціал фурменної зони обумовив розвиток інтенсивного процесу горіння у фурменному вогнищі і унеможливив «проскок» кисню в простір над по-

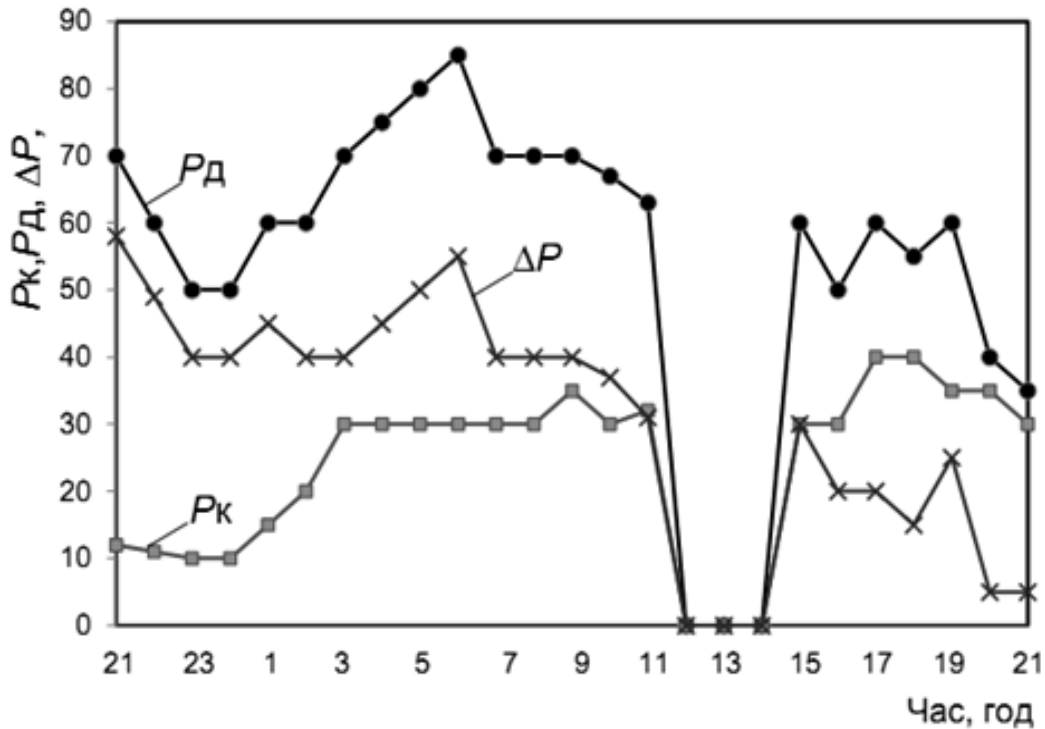


Рис. 5. Зміна газодуттєвого режиму видувального процесу на доменній печі Магнітогорського металургійного комбінату (рф) об'ємом 1180 м³ 19—20 грудня 1955 р. за даними М.Я. Остроухова і Л.Я. Шпарбера, 1975 р.

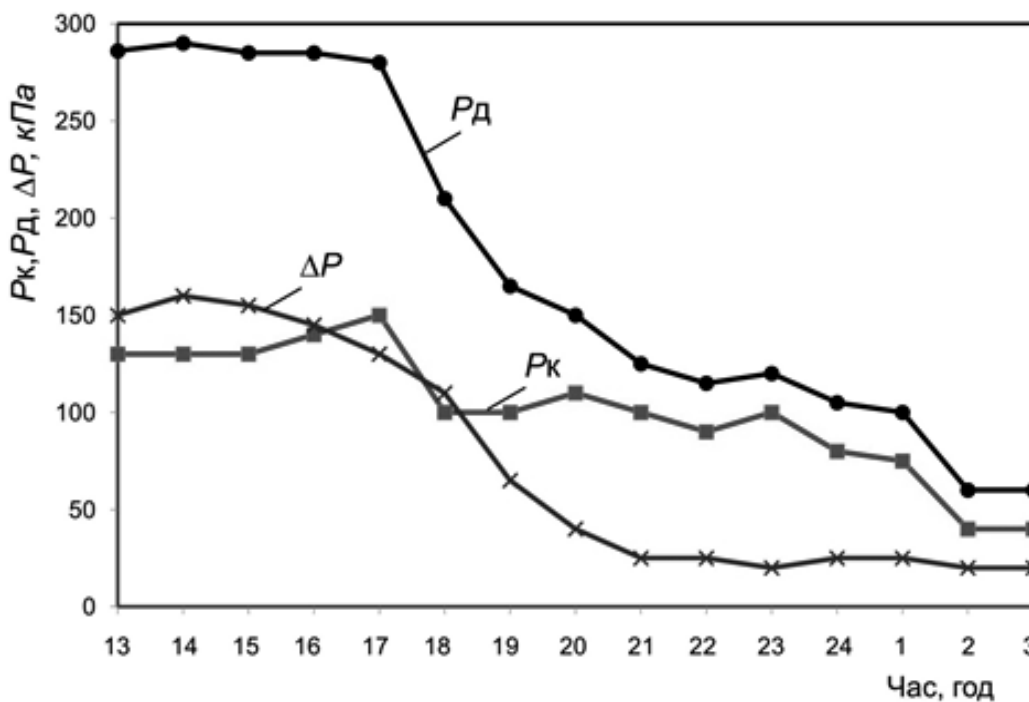


Рис. 6. Зміна газодуттєвого режиму видувального процесу на ДП № 9 Криворіжсталі об'ємом 5000 м³ 13—14.05.2003 р. за даними [3]

верхню засипу, навіть при висоті шару матеріалу 2,5—2,0 м над фурменним вогнищем. У зв'язку з цим рекомендували тримати витрату кисню на збагачення дуття на рівні, який відповідає робочому режиму до кінця видувки.

Не заперечуючи цілком вірогідність цього пояснення слід зазначити, що газодинаміка видувального процесу, коли тиск газу на колошнику переважає перепад тисків $P_k > \Delta P$ означає нову ситуацію. Ситуація характерна тим, що в одну сторону зниження можливості «прориву» кисню крізь скорочений стовп шихти діють два пов'язані між собою фактори: «внутрішній» для стовпа з низькою різницею тисків на вході і виході і «зовнішній» — з опором пічного простору, заповненого газом підвищеного тиску (див. рис. 3).

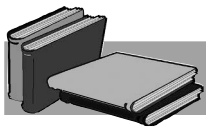
Саме обґрунтоване намагання технологів забезпечити безаварійне завершення видувального процесу пояснює появу екстремумів надмірного тиску дуття на ДП № 2 і 3 з прикладів Б.М. Жеребіна (див. рис. 1). Наведені факти свідчать про ще одне важливе застосування підвищеного тиску газів в робочому просторі печі для безпечного виведення доменних печей із експлуатації.

Висновки

Режим формування стовпа видувальної шихти через визначення в ньому об'ємної частки холостого коксу має суттєве значення як для організації безпечної видувки, так і для забезпечення економічності видувального процесу. Встановлено, що величина відношення корисного об'єму заплечиків до діаметра горна задовільно корелюється з об'ємом холостого коксу, визначеного практичним досвідом.

Показано доцільність розгляду газодинаміки видувального процесу, як єдиного системного цілого з одночасним врахуванням характеристик стовпа шихти, параметрів дуття і газу в пічному просторі. Показано, що для забезпечення безаварійної видувки доменної печі, на завершальній її стадії, тиск газу на колошнику повинен суттєво перевищувати перепад тисків «дуття-колошник». Пояснено механізм впливу підвищеного тиску на газодинаміку стовпа шихти зменшеної висоти. Підкреслено ще одну важливу сторону підвищеного тиску газу для безпечного виведення доменних печей із експлуатації.

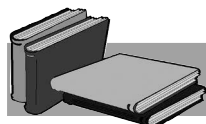
В подальшому заслуговують на увагу дослідження, пов'язані з іншими перехідними режимами видувального процесу.



ЛІТЕРАТУРА

1. Большаков В.И., Можаренко Н.М., Тубольцев Л.Г., Голубых Г.Н. Научно-технические решения по обеспечению безопасной работы доменных печей в стационарных и переходных режимах. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб. науч. трудов*. Дніпропетровськ: ІЧМ НАН України. 2008. Вип. 17. С. 283—300.
2. Русских В.П., Томаш А.А., Тарасов В.П., Хрущев Е.И. Взрывы газов в доменном производстве. Мариуполь: ПГТУ, 2006. 100 с.
3. Можаренко Н.М., Шулико С.Т., Муравьева И.Г. и др. Выдувка доменной печи объемом 5000 м³ на капитальный ремонт I-го разряда. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб. науч. трудов*. Дніпропетровськ: ІЧМ НАН України. 2004. Вип. 8. С. 129—139.
4. Плискановский С.Т., Полтавец В.В. Оборудование и эксплуатация доменных печей. Дніпропетровськ: Пороги, 2004. 495 с.
5. Большаков В.И., Голубых Г.Н., Можаренко Н.М., Тубольцев Л.Г. Промышленная безопасность доменных печей при задувке и выдувке. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб. науч. трудов*. Дніпропетровськ: ІЧМ НАН України. 2007. Вип. 14. С. 290—309.
6. Большаков В.И., Можаренко Н.М., Тубольцев Л.Г. Технологические особенности выдувки доменных печей на капитальный ремонт. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб. науч. трудов*. Дніпропетровськ: ІЧМ НАН України. 2009. Вип. 19. С. 40—48.
7. Большаков В.И., Тубольцев Л.Г., Голубых Г.Н. Обеспечение промышленной безопасности металлургического производства. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб. науч. трудов*. Дніпропетровськ: ІЧМ НАН України. 2011. Вип. 23. С. 305—324.
8. Hatano M., Kurita K., Yamaoka H., Yokoi T. Computer Aided-analysis of Blow-out Operation of Blast Furnace by Mathematical Simulation Models. *Transactions ISIJ*. 1985. Vol. 25. P. 941—947.
9. Дружков В.Г., Сысоев Н.П., Павлов А.В. Особенности характера схода материалов и очертание зоны когезии в доменных печах различного объема. В сб. трудов V международного конгресса доменщиков. Днепропетровск — Кривой Рог. 7—12 июня 1999 г. Дніпропетровськ: Пороги, 1999. С. 266—269.

Надійшла 14.05.2025



REFERENCES

1. Bolshakov, V. I., Mozhareno, N. M., Tuboltsev, L. G., & Golubykh, G. N. (2008). Nauchno-tehnicheskie resheniya po obespecheniyu bezopasnoy raboty domennyih pechey v statsionarnyih i perehodnyih rezhimakh [Scientific and technical solutions to ensure the safe operation of blast furnaces in stationary and transient modes]. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*. Dnipropetrovsk: ISI of the National Academy of Sciences of Ukraine, (17), 283-300 [in Russian].
2. Russkikh, V. P., Tomash, A. A., Tarasov, V. P., & Khrushchev, E. I. (2006). Vzryivyi gazov v domennom proizvodstve [Gas explosions in blast furnace production]. Mariupol: PGU [in Russian].
3. Mozhareno, N. M., Shulyko, S. T., Muravyeva, I. G. et al. (2004). Vyiduvka domennoy pechi ob'emom 5000 m³ na kapitalnyiy remont I-go razryada [Blowing blast furnace with a volume of 5000 m³ for capital repair of the 1st category]. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*. Dnipropetrovsk: ISI of the National Academy of Sciences of Ukraine, (8), 129-139 [in Russian].
4. Pliskanovsky, S. T., & Poltavets, V. V. (2004). Oborudovanie i ekspluatatsiya domennyih pechey [Equipment and operation of blast furnaces]. Dnipropetrovsk: Porogi [in Russian].
5. Bolshakov, V. I., Golubykh, G. N., Mozhareno, N. M., & Tuboltsev, L. G. (2007). Promyshlennaya bezopasnost domennyih pechey pri zaduvke i vyiduvke [Industrial safety of blast furnaces during blowing and blowing]. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*. Dnipropetrovsk: ISI of the National Academy of Sciences of Ukraine, (14), 290-309 [in Russian].
6. Bolshakov, V. I., Mozhareno, N. M., & Tuboltsev, L. G. (2009). Tehnologicheskie osobennosti vyiduvki domennyih pechey na kapitalnyiy remont [Technological features of blowing blast furnaces for overhaul]. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*. Dnipropetrovsk: ISI of the National Academy of Sciences of Ukraine, (19), 40-48 [in Russian].
7. Bolshakov, V. I., Tuboltsev, L. G., & Golubykh, G. N. (2011). Obespechenie promyshlennoy bezopasnosti metallurgicheskogo proizvodstva [Ensuring industrial safety of metallurgical production]. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*. Dnipropetrovsk: ISI of the National Academy of Sciences of Ukraine, (23), 305-324 [in Russian].
8. Hatano, M., Kurita, K., Yamaoka, H., & Yokoi, T. (1985). Computer Aided-analysis of Blow-out Operation of Blast Furnace by Mathematical Simulation Models. *Transactions ISIJ*, 25, 941-947.
9. Druzhkov, V. G., Sysoev, N. P., & Pavlov, A. V. (1999). Osobennosti haraktera shoda materialov i ochertanie zonyi kogezi v domennyih pechah razlichnogo ob'ema [Peculiarities of the nature of material growth and the outline of the cohesion zone in blast furnaces of different volumes]. *On Proceedings of the V International Congress of Building Engineers*. Dnipropetrovsk – Kryvyi Rih. June 7–12, 1999. Dnipropetrovsk: Porogi, 266-269 [in Russian].

Received 14.05.2025

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: siharovyevgen@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8229-7877>

Dniprovsky State Technical University (Kamianske, Ukraine)

Features of Technology for Decommissioning Blast Furnaces

The aim of the work is to improve the technology of safe blowing of blast furnaces by substantiating the choice of the volume of idle coke and the dynamics of changes in the gas-blowing mode of the blowing process. To determine the directions of improving the technology of the blowing process, we considered the characteristic modes and formulated the tasks of these modes in accordance with the analyzed information. Consideration of the tasks that certain modes of the blowing process must solve shows that the modes of forming the charge column and the gas-blowing parameters, the study of which was focused on, are decisive in creating conditions for safe blowing of furnaces. It is shown that to determine the justified volume of idle coke, the taper of the top of the coke nozzle should be taken into account, which increases with the increase in the volume of blast furnaces. It is proposed to estimate the taper of the top of the nozzle by the ratio of the shoulder volume V_s to the furnace diameter d_f . It is established, firstly, that the value of the ratio V_s/d_f is satisfactorily correlated with the volume of idle coke from the practice of PJSC "ArcelorMittal Kryvyi Rih". Secondly, a higher level of filling the shoulders with idle coke of a powerful furnace eliminates to a certain extent the breakthrough of tuyeres gases through its layer. The feasibility of considering the gas dynamics of the blowing process as a single systemic whole with simultaneous consideration of the characteristics of the charge column, the parameters of the blast and the gas in the furnace space is shown. The leading role of increased gas pressure in establishing a safe gas-blasting mode of the blowing process is shown on examples of decommissioning industrial blast furnaces. To ensure safe blowing of the blast furnace, the resistance of the charge column to the gas flow ΔP at the beginning of the blowing process can be equal to the excess pressure of gases on the top P_k or exceed it $\Delta P \geq P_k$. In the process of reducing the height of the blowing charge column, the inverse inequality $P_k > \Delta P$ should be maintained, which eliminates the possibility of tuyeres gas breakthrough through the charge column. The results obtained by the authors allow improving the technology of safe blowing of blast furnaces.

Keywords

Blast furnace, blowing, "idle" coke, volume, gas-blowing mode, dynamics of changes, blowing process.