
ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ПРОЄКТУВАННЯ МАШИН МЕТАЛУРГІЙНОГО ТА ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

OPERATION AND DESIGN OF METALLURGICAL AND FOUNDRY MACHINES

ISSN 2077-1304. Met. lit'e Ukr., vol. 34, 2026, № 3 (346), 96-103

<https://doi.org/10.15407/steelcast2026.03.096>

УДК 669.162

Г.Ю. Крячко, канд. техн. наук, доц., доц. кафедри металургії ім. проф. В.І. Логінова,

e-mail: nauka_m4m@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-8773-508X>

Є.М. Сігарьов, д-р техн. наук, проф., 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)

Тенденції у зміні висоти визначальних елементів профілю доменних печей різного об'єму

Метою роботи є виявлення тенденцій у зміні висоти визначальних елементів профілю доменних печей різного об'єму для подальшого його удосконалення. Для кількісної оцінки зміни висотних розмірів профілю останній поділено на три специфічні частини — зону помірних температур (ЗПТ), що дорівнює висоті шахти, надфурмену зону високих температур (НЗВТ), що дорівнює сумі висот розпару, заплечиків і частини горна від рівня фурм до нижньої крайки, а також загальну зону високих температур (ЗЗВТ) від нижньої крайки шахти до лещаді печі. В якості показників відносної висоти вказаних зон використали відношення абсолютних висот НЗВТ і ЗЗВТ до абсолютної висоти зони помірних температур. Співставленням характеристик рівня доменної технології і ступеня досягнення рівноважного стану для реакції відновлення вюститу монооксидом вуглецю показано причину зниження абсолютної і відносної висоти шахти, як частини профілю печі з переважним розвитком помірних температур. Розглянуто фактори, що впливають на висоту горна. Показано, що вертикальний розмір горна залежить від горизонтального. Зростання діаметра горна типових печей з 7,2 до 14,7 м призвело (при однакових дуттьових умовах) до зменшення активної площі горна майже удвічі, з відповідним скороченням транспорту тепла для прогрівання масиву коксу в горні. Компенсаційним ресурсом для підтримки теплового режиму горна, з укрупненням печей, є суттєве збільшення витрати дуття на одну повітряну фурму. Встановлено тенденцію поступового наближення висоти елементів профілю, пов'язаних з розвитком помірних і високих температур в робочому просторі доменних печей.

Ключові слова: доменні печі, температурні зони, висота, елементи профілю, горн, активна площа, тенденції, зміни.

Вступ. Профіль доменної печі, що представляє собою обриси вертикального осевого перетину печі, є визначальною технологічною частиною її конструкції. Кожен елемент профілю має відповідні розміри і функціональне призначення. Рациональне поєднання цих елементів в кінцевому рахунку визначає досконалість профілю, від якої залежать результативність, ефективність і тривалість роботи доменної печі.

Постановка проблеми. Протягом минулого і в першій чверті нинішнього століття науковці і технологи намагалися створити так званий «раціональний» профіль, що забезпечував би стабільне рівне сходження матеріалів у перетині печі і максимальне використання відновлювальної здатності газу в широкому діапазоні проплавки сировини різного виду і якості. На жаль, до сьогодення часу, як слушно відмічено в роботі [1], наука і практика не виробили надійної методики розрахунку профілю, що задовольняв би всім

вимогам технології. Особливо це стосується вибору висотних розмірів робочого простору доменної печі.

М.О. Павлов (1947 р.) аналізував тенденції зміни профілю доменних печей за період з другої половини XIX ст. по 40-і роки XX ст. при виплавці чавуну на коксі і сирих (переважно) залізних рудах. Було досліджено масиви даних про розміри профілів печей США і країн Європи об'ємом від 181 до 1413 м³, що працювали з питомою продуктивністю 0,50—1,10 т/м³-доб. Дослідник стверджував, що удосконалення профілю йшло в напрямку перерозподілу корисного об'єму печей так, що зосередило значну частину його в горні, заплечиках, циліндричному розпарі і поблизу його (тобто у нижній частині шахти) в області високих температур, тоді як старий профіль з вузьким горном, широким колошником і високими заплечиками давав набагато менший об'єм в горні і заплечиках і більший в шахті, тобто в області помірних температур.

Дослідник вважав, що така зміна профілю повинна дати краще використання корисного об'єму печі, оскільки значення 1 м³ корисного об'єму — як фактора продуктивності печі — в області високих температур вище, ніж в області низьких. Приймаючи висновок М.О. Павлова до уваги, слід вважати за доцільне визначити, як подальший розвиток профілю вплинув на перерозподіл висот елементів профілю (замість їх об'ємів) для створення можливості порівняння профілів колишньої генерації зі сучасною.

Мета дослідження. Метою роботи є виявлення тенденцій у зміні висоти визначальних елементів профілю доменних печей різного об'єму для подальшого його удосконалення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [1] розглянуто доцільність коректування розмірів профілю доменних печей при проведенні ремонтів і модернізацій. Посилаючись на дослідження кінця 60-х початку 70-х років минулого століття, проведених ІЧМ НАН України на промислових доменних печах, показано можливість зниження висоти шахти типових проєктів до 15,5—17,0 м. Аналіз еволюційної зміни проєктних профілів доменних печей в світовій практиці показав збереження тенденції 70—80 рр. минулого століття на пріоритетне збільшення поперечних розмірів, особливо розпару.

Виявленню тенденцій розмірів горна нових та модернізованих доменних печей присвячена публікація [2]. Для оцінки змін, що відбулися, крім абсолютних розмірів горна використали показники, які посередньо оцінюють навантаження об'єму горна на теплове забезпечення одного фурменого вогнища і навантаження об'єму горна на випускну систему доменної печі. Запропоновані показники визначають частку корисного об'єму горна, що припадає на одну повітряну фурму, і частку корисного об'єму горна, віднесено до однієї чавунної льотки ($V_{\text{кр}}/n_{\text{чп}}$). Встановлено діапазон коливання відносного корисного об'єму горна щодо об'єму протитоквої частини печей в межах $0,15 \div 0,22$ і його деяке зростання зі збільшенням корисного об'єму агрегатів. При проєктуванні конструкції горна нових і модернізації існуючих печей

дослідниками рекомендовано підтримувати значення $V_{\text{кр}}/n_{\text{ф}}$ і $V_{\text{кр}}/n_{\text{чп}}$ на мінімально можливому рівні, зважаючи на специфіку монтажу фурмених пристроїв і обслуговування випускної системи доменних печей.

Авторами [3] були запропоновані характеристики технологічних можливостей горна і накопичувальної частини печі, а також критерії для оцінки цих характеристик — частки об'єму накопичувальної частини, що приходяться на одну повітряну фурму $V_{\text{нч}}/n_{\text{ф}}$, потужність однієї повітряної фурми і відносний до протитоквої частини печі об'єм зумпфу $V_{\text{зуп}}/V_{\text{пр}}$. Показано, що при проєктуванні і модернізації доменних печей бажано підтримувати критерії $V_{\text{нч}}/n_{\text{ф}}$ і $V_{\text{нч}}/n_{\text{чп}}$ на мінімально можливому рівні, а критерії потужності повітряної фурми і $V_{\text{зуп}}/V_{\text{пр}}$ — на максимальному.

Встановлено тенденцію гальмування нарощування висоти горна зі збільшенням корисного об'єму печей. На сучасних печах на кожні додаткові 1000 м³ корисного об'єму висота горна зростала в середньому на 9 %, тоді як на радянських печах з типовим профілем — на 20 %.

Було також показано, що випереджаюче зростання глибини зумпфу у порівнянні з іншими розмірами профілю обумовлено не тільки його конструкційною функцією, але й суто технологічними. Тому запропоновано вважати зумпф або мертвий шар шостим після горна невід'ємним елементом профілю доменної печі, оскільки зумпф, як частина робочого простору печі, заповнений рідким чавуном, виконує не тільки функцію захисту лещаді від руйнування при осіданні коксової насадки, але й виконує технологічні функції, а саме від'єднує коксову насадку від лещаді, що унеможливорює утворення тотерману на осіданнях при розладнаннях ходу печі, створює запас тепла, чим збільшує інерційність доменного процесу, а також бере участь в циклі накопичення і випуску продуктів плавки.

Слід зазначити, що в розглянутих роботах [2, 3] головну увагу було приділено змінам відносних об'ємів горна і мертвого шару, а також критеріям, що визначають доцільність корекції цих об'ємів. Однак фактори, що визначають зміну висоти окремих елементів профілю, майже не розглядалися.

Спробою удосконалення підходу до визначення висоти горна і зумпфу є патент RU № 272947 (2022 р.). На основі обробки інформації про зміни висотних розмірів накопичувальної частини сучасних доменних печей авторами патенту запропоновані до захисту співвідношення висоти горна до його діаметра $h_{\text{г}}/d_{\text{г}}$ в межах 0,45—0,50 і висоти мертвого шару (зумпфу) до сумарної висоти горна $H_{\text{г}} = h_{\text{г}} + h_{\text{мш}}$ в межах 0,35—0,40. В табл. 1 наведено розраховані нами висоти горна типового ряду печей відповідно захищеного патентом RU № 272947 співвідношення $h_{\text{г}}/d_{\text{г}}$ за нижньою і верхньою межами.

Аналізуючи числовий масив, видно, що динаміка зростання висоти $h_{\text{г}}$ відповідає апробованій на практиці глибині горна для ряду печей об'ємом 1033—2002 м³, тоді як для печей більшого об'єму, захищений патентом діапазон зміни $h_{\text{г}}/d_{\text{г}}$ дає завищені висоти. Не зовсім ясно, як користуватися співвідношенням

Висоти горна, розраховані відповідно до патенту RU № 272947 в порівнянні з висотою горна типових доменних печей

$V_{\text{гор}}, \text{ м}^3$	1033	1386	1513	1719	2002	2300	2700	3000	3200	5000	5500
$d_f, \text{ м}$	7,2	8,2	8,6	9,1	9,75	10,5	11,0	11,6	12,0	14,7	15,1
h_f (при $h_f/d_f = 0,45$), м	3,24	3,69	3,87	4,095	4,39	4,725	4,95	5,22	5,4	6,615	6,795
h_f (при $h_f/d_f = 0,50$), м	3,6	4,1	4,3	4,55	4,875	5,25	5,5	5,8	6,0	7,35	7,55
h_f (типових печей), м	3,2	3,2	3,2	3,6	3,8	3,9	3,9	3,9	3,9	4,4	5,7

$h_{\text{мш}}/H_f$ при невідомому значенні $h_{\text{мш}}$.

Матеріали і методи. В якості вихідного матеріалу для аналізу були використані дані з робіт [1, 4–6], а також з монографії під редакцією М.О. Спіріна (2023 р.), зокрема про параметри профілю доменних печей НТМК (рф) № 5 і № 6 об'ємом 2200 м³ кожна. Крім того були задіяні матеріали з фахових видань колишнього СРСР, в тому числі з авторських публікацій.

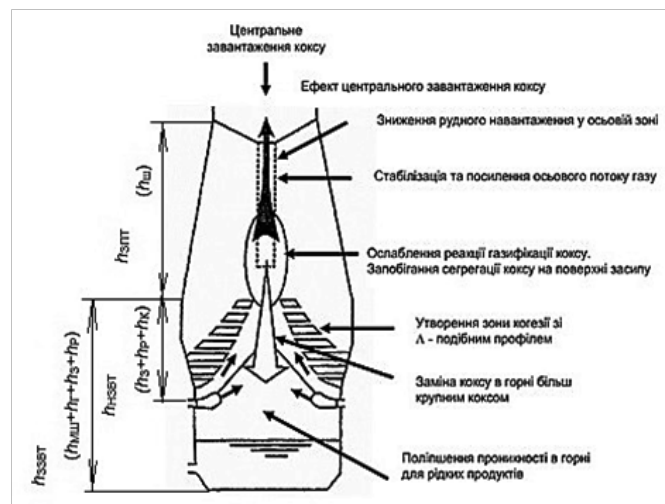


Рис. 1. Схема розрахунку висот надфурменої високотемпературної частини профілю або надфурменої зони високих температур ($h_{\text{нзвт}}$) і загальної високотемпературної частини профілю або загальної зони високих температур ($h_{\text{зпт}}$), представлена ліворуч рисунку у співставленні зі схемою впливу центрального завантаження коксу на доменний процес, запропонованою фірмою «Kobe Steel» (Японія) [7]: $h_{\text{зпт}}$ — зона помірних температур $\approx h_{\text{ш}}$; $h_{\text{ш}}$ — конструктивний розмір $\approx 0,5$ м (відстань від рівня повітряних фурм до нижньої крайки заплечиків); $h_{\text{ш}}$ — висота шахти, м

Для кількісної оцінки зміни висотних розмірів профілю умовно поділили останній на три специфічні частини — зону помірних температур (ЗПТ) з висотою, що дорівнює висоті шахти, надфурменну зону високих температур (НЗВТ), що дорівнює сумі висот заплечиків, розпару і частини горна від рівня фурм до нижньої крайки заплечиків, а також загальну зону високих температур (ЗВТ) від нижньої крайки шахти до лещаді доменної печі (рис. 1).

В якості критерію активності роботи горна в горизонтальному напрямку використали коефіцієнт ЕНА (the ratio of effective hearth cross-sectional area), запропонований авторами [8]. Коефіцієнт ЕНА або ефективної площі горна (ЕПГ) розраховується

за схемою $(S_f - S_{\text{МК}})S_f$, де S_f і $S_{\text{МК}}$ — площі горна і малоактивного круга в центрі горна, відповідно, м²; $S_{\text{МК}} = \pi(d_f/2 - l_{\text{ФВ}})^2$, де d_f і $l_{\text{ФВ}}$ — діаметр горна і довжина фурменого вогнища відповідно, м.

Результати дослідження та їх обговорення. Ефективність роботи і вертикальний розмір шахти як тепло- і масообмінника залежить від відновлювальної здатності пічного газу, яка в свою чергу, залежить від сировинних та експлуатаційних умов плавки. Для ілюстрації обмежень в роботі шахти при зміні цих умов використали дані вертикального зондування доменних печей, проведеного в різні періоди становлення доменної технології. В якості критерію досконалості коксодоменої технології $K_{\text{РТ}}$ використали відношення питомої продуктивності печі $\Pi_{\text{пит}} = \Pi_{\text{доб}}/V_k$ (де $\Pi_{\text{доб}}$ — добова продуктивність печі, а V_k — корисний її об'єм) до питомої витрати коксу K , т/т чавуну. Цей критерій являє собою кількісний відбиток на головні показники плавки всіх удосконалень у підготовці шихти і виплавці чавуну на момент зондування пічного простору.

В якості показника відновлювальної здатності пічного газу використали відношення фактичного ступеня використання монооксиду вуглецю $\eta_{\text{CO}}^{\text{ф}}$ до рівноважного значення $\eta_{\text{CO}}^{\text{р}}$ при конкретній температурі, зокрема при 920 °С. Співставлення характеристик рівня технології і ступеня досягнення рівноважного стану реакції відновлення вюститу показує (рис. 2), що з покращенням умов плавки, з'являється вагома причина для зменшення абсолютної і відносної висот шахти, як частини профілю доменної печі з розвитком помірних температур.

Слід зазначити, що ще в 1960 році Г.Г. Орешкін [9] пропонував висоту шахти для печей об'ємом від 800 до 2400 м³ обмежити 12 м. Висоту шахт сучасних ДП № 5 і № 6 НТМК (рф) знизили до 14,2 і до 13,65 м при корисному об'ємі 2200 м³.

Разом з тим, специфіка формування стовпа шихти потужних печей потребує організації центрального газового потоку і зростання висоти конусу коксової насадки над горизонтом повітряних фурм. Саме ця обставина вимушено стабілізує висоту шахти надпотужних доменних печей в межах 16—17 м, оскільки високотемпературна зона конусу коксової насадки зменшує об'єм зони помірних температур в шахті (див. рис. 1).

Фактором, що обумовлює необхідність збільшення висоти горна зі зростанням об'єму доменних печей є специфіка поведінки шлаку під час випуску продуктів плавки. О.М. Новохатський (2009 р.) розрахунком по-

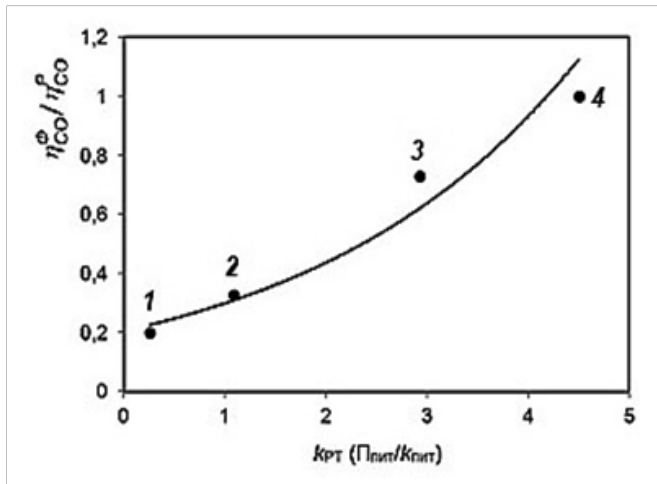


Рис. 2. Зміна ступеня досягнення рівноважного стану реакції $\text{FeO} + \text{CO} = \text{Fe} + \text{CO}_2$ при 920°C залежно від рівня коксодоменної технології за результатами вертикального зондування доменних печей:

1 — корисний об'єм печі $V_k = 500 \text{ м}^3$; Π — питома продуктивність $0,50 \text{ т/м}^3\cdot\text{доб}$; питома витрата коксу (k) 1935 кг/т чавуну (Фродінгем, ФРН, М.О. Павлов, 1945 р.);
 2 — $V_k = 1300 \text{ м}^3$; $\Pi = 0,92 \text{ т/м}^3\cdot\text{доб}$; $k = 850 \text{ кг/т}$ чавуну; Запоріжсталь, І.З. Козлович, 1951 р.;
 3 — $V_k = 1719 \text{ м}^3$; $\Pi = 1,59 \text{ т/м}^3\cdot\text{доб}$; $k = 545 \text{ кг/т}$ чавуну; ім. Дзержинського, В.І. Логінов та ін., 1966 р.;
 4 — $V_k = 1300 \text{ м}^3$; $\Pi = 0,92 \text{ т/м}^3\cdot\text{доб}$; $k = 850 \text{ кг/т}$ чавуну; Череповецький, Л.А. Бялий та ін., 1973 р.

казав, що при тривалості випуску 45 хв, об'єм залишкового шлаку після закінчення випуску на ДП 1033 м^3 складав $31,5 \text{ м}^3$ або 28 % об'єму горна, тоді як на ДП 3000 м^3 шлаку залишалось 279 м^3 або 72 % об'єму горна.

В той же час, на висоту горна впливають фактори, спрямовані на обмеження висоти, серед яких головними є віддалення зони генерації тепла на повітряних фурмах від центру печі і її лежачі. На рис. 3 наведено залежність ефективної площі горна від об'єму печей за умови підтримання однакової довжини фурменого вогнища разом з висовом фурми в $1,5 \text{ м}$.

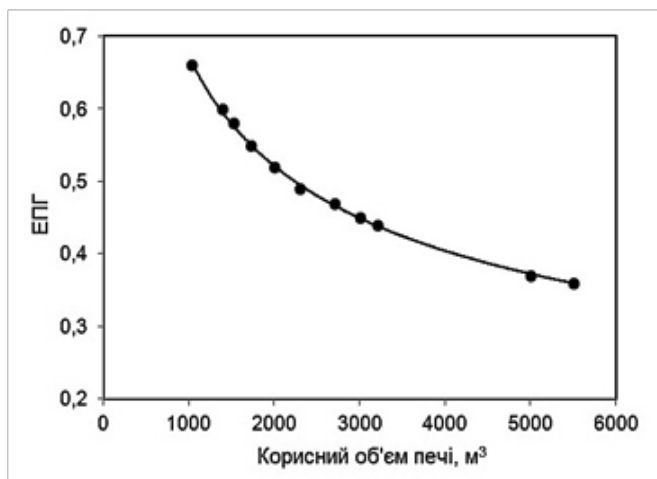


Рис. 3. Залежність коефіцієнту ефективної площі поперечного перерізу горна ЕПГ від корисного об'єму типових доменних печей

Зростання корисного об'єму печей у п'ять разів з 1033 до 5500 м^3 призвело до скорочення площі активної зони горна майже удвічі. Тобто, умови прогрівання коксової насадки при збереженні однакових розмірів фурменої зони погіршились з відповідним зменшенням перенесення тепла до горизонту чавунних льоток.

В якості компенсаційного ресурсу для збереження теплового режиму горна і його достатньої висоти кількість дуття, поданого крізь одну повітряну фурму, збільшують зі зростанням корисного об'єму печей (рис. 4).

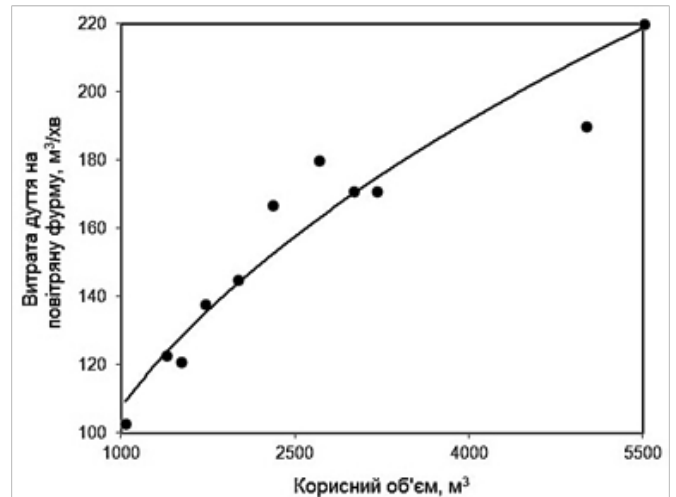


Рис. 4. Залежність витрати дуття, що приходиться на одну повітряну фурму від об'єму доменної печі при однаковій питомій витраті дуття на піч у $1,6 \text{ м}^3/\text{хв}$ на 1 м^3 об'єму типової печі

В процесі розвитку технології і збільшення об'єму доменних печей змінювалося відношення висот зон з помірними температурами і високими. В проєктних установах колишнього СРСР тривалий час домінували теорія і практика створення геометрично подібних профілів. Внаслідок цього висота надфурменої високотемпературної частини профілю, віднесена до висоти шахти, змінювалася мало — в межах $0,26\text{—}0,33$ (табл. 2). Найменші значення мали печі об'ємом $2000, 2300, 3000$ і 5000 м^3 , тобто ті агрегати, які створювалися в час, коли виплавка чавуну на сирій залізній руді стала анахронізмом. Невипадково, що печі перехідного періоду, від плавки на руді до плавки на підготовлених залізрудних матеріалах (а це печі об'ємом $1513, 1719$ і 2000 м^3) мали найменші значення відносної висоти загальної високотемпературної частини профілю $0,52$, тоді як наступні проєкти печей, об'ємом 2700 і 5500 м^3 , мали суттєво більшу таку висоту $0,60$ і $0,62$ відповідно. Слід зазначити, що профіль печі об'ємом 5000 м^3 майже не відрізнявся за критерієм $3ВЧП/h_{\text{ш}}$ від профілів згаданих вище печей перехідного періоду.

Застосування якісних шихтових матеріалів і викликане цим зниження відновлювальної здатності пічного газу послабило значення шахти як реактора відновлення оксидів заліза в зоні помірних температур. Це обумовило зсув активного відновлення у

Абсолютні висоти та віднесені до висоти шахти значення надфурменної високотемпературної частини профілю (НВЧП) і загальної високотемпературної частини профілю (ЗВЧП) для типових доменних печей колишнього Діпромезу*

$V_{\text{кор}}, \text{м}^3$	1033	1386	1513	1719	2002	2300	2700	3000	3200	5000	5500
НВЧП (НЗВТ), м	5,5	5,7	5,5	5,5	5,2	5,4	6,1	5,7	6,2	5,9	6,2
ЗВЧП (ЗЗВТ), м	8,8	8,85	8,96	9,3	9,4	10,35	11,2	10,85	10,78	10,91	12,56
$h_{\text{ш}}$ (ЗПТ), м	15,0	16,0	17,3	17,8	18,2	19,0	18,7	20,1	19,6	20,7	20,4
НВЧП/ $h_{\text{ш}}$	0,33	0,32	0,29	0,28	0,26	0,26	0,30	0,26	0,29	0,26	0,28
ЗВЧП/ $h_{\text{ш}}$	0,59	0,55	0,52	0,52	0,52	0,54	0,60	0,54	0,55	0,53	0,62

Примітка: * пояснення інших скорочень (аббревіатур) в тексті

високотемпературні частини профілю, перш за все, в розпар і заплечики. Вже у 70-і роки минулого століття в дальньому зарубіжжі спостерігаються помітні зміни у підходах до проектування профілю, а саме відносна висота елементів профілю, пов'язана з високими температурами ведення процесу, зростає, а висота зони помірних температур, сконцентрованих переважно в шахті, знижується. Однак діапазон коливання відносної висоти високотемпературних елементів профілю ще достатньо великий. Так, на ДП № 2 Oita

(Японія), побудований в 1976 р., ця висота складала 0,68 висоти шахти, тоді як на ДП № 4 Kashima, уведений в дію в 1977 р., — вже 0,83 $h_{\text{ш}}$.

Характерною особливістю профілю сучасних печей є поступове наближення розмірів елементів профілю печей, які пов'язані з розвитком помірних і високих температур в робочому просторі (табл. 3). Особливо це помітно на прикладі профілів печей НТМК, де на ДП № 6 довжина високотемпературних елементів профілю перевищила висоту шахти.

Таблиця 3

Параметри профілю сучасних доменних печей [1, монографія 2023 р., під редакцією М.О. Спіріна]

Елементи профілю	Підприємство, країна, піч							
	Port Kembla, Австралія		Tissen Shtal, Німеччина		Hoogowens, Нідерланди		НТМК, рф	
	ДП № 5	ДП № 6	ДП № 1	ДП № 2	ДП № 4	ДП № 9	ДП № 5	ДП № 6
Діаметр горна d_r , м	12,0	11,8	13,1	14,4	10,4	10,05	9,8	9,7
Об'єм, м^3 : робочий корисний	2860 н. д.	2749 н. д.	н. д. 4416	н. д. 5513	н. д. 2323	н. д. 2123	н. д. 2200	н. д. 2200
Висота, м: зумпфу $h_{\text{зум}}$	2,4	2,36	2,72	2,98	2,012	2,22	1,66	1,66
горна h_r	4,35	4,8	5,1	5,3	3,738	4,0	4,6	4,6
заплечиків h_z	4,5	3,95	3,71	3,9	3,25	3,5	5,066	4,5
розпару h_p	2,5	2,35	2,5	3,0	1,5	2,5	2,6	3,0
шахти $h_{\text{ш}}$	16,47	16,47	17,0	17,7	16,31	15,0	14,23	13,65
Загальна висота високотемпературної частини профілю, ЗВЧП, м	13,75	13,46	14,03	15,18	10,5	12,22	13,93	13,76
ЗВЧП/ $h_{\text{ш}}$	0,83	0,82	0,83	0,86	0,64	0,81	0,98	1,01

Примітка: н. д. — немає даних

Являє інтерес порівняння відносної висоти високотемпературної частини профілю домниці — металургійного агрегату минулих часів з відповідним показником сучасних доменних печей. Для порівняння використано профіль домниці, що став хрестоматійним прикладом у фаховій літературі, починаючи, певно, з роботи М.О. Павлова (1945 р.). Профіль цієї домниці складався з двох зрізаних конусів, з'єднаних широкими основами в районі розпару. Верхній конус (шахта) мав висоту 2,4 м, а нижній (заплечики з горном) — 2,1 м. Відношення високотемпературної зони домниці до зони помірних

температур склало $2,1/2,4 = 0,88$, що кореспондується з відповідними показниками сучасних печей, зокрема, фірми TS ДП № 2 і ДП № 5 НТМК (див. табл. 3).

Причина близькості порівнюваних профілів одна і та ж — недостатня відновлювальна підготовка залізрудних матеріалів в зоні помірних температур. Але є суттєва відмінність, яка полягає в тому, що в сучасних печах, в зоні помірних температур, підготовка матеріалів гальмується дефіцитом відновників, а в домниці — ультранизькою шахтою і дефіцитом тепла в ній внаслідок великих втрат тепла з робочого простору.

Висновки

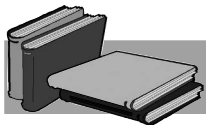
1. Запропоновано критерії для оцінки досконалості профілю доменної печі — відносні висоти надфурменої і загальної високотемпературної частини профілю. Для кількісної оцінки зміни висотних розмірів профілю останній умовно поділено на три специфічні частини — зону помірних температур (ЗПТ), що дорівнює висоті шахти, надфурмену зону високих температур (НЗВТ), що дорівнює сумі висот розпару, заплечиків і частини горна від рівня фурм до нижньої крайки заплечиків, а також загальну зону високих температур (ЗЗВТ) від нижньої крайки шахти до лещаді печі. В якості показників відносної висоти вказаних зон використали відношення абсолютних висот НЗВТ і ЗЗВТ до абсолютної висоти зони помірних температур.

2. За рахунок співставлення характеристик рівня доменної технології і ступеня досягнення рівноважного стану для реакції відновлення вугілля монооксидом вуглецю показано причину появи

можливості зниження абсолютної і відносної висоти шахти, як частини профілю печі з переважним розвитком помірних температур.

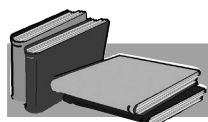
3. Розглянуто фактори, що впливають на висоту горна. Показано, що вертикальний розмір горна залежить від горизонтального. Зростання діаметра горна типових печей з 7,2 до 14,7 м (при однакових дуттьових умовах), призвело до зменшення активної площі горна майже удвічі, з відповідним скороченням транспорту тепла для прогрівання масиву коксу в горні. Компенсаційним ресурсом для підтримки теплового режиму горна з укрупненням печей є суттєве збільшення витрати дуття на одну повітряну фурму.

4. Показано, що визначальними тенденціями в проектуванні профілю сучасних печей є збільшення відносної висоти надфурменої високотемпературної зони ($h_k + h_z + h_p$) і збільшення загальної висоти високотемпературної зони. Поява цих тенденцій обумовлена зсувом відновлювальних процесів в нижні горизонти печей внаслідок зниження відновлювальної здатності пічного газу в зоні помірних температур.



ЛІТЕРАТУРА

1. Можаренко Н.М., Вышинская Е.Д., Горупаха В.В. Тенденции изменения проектных профилей доменных печей в современных топливно-сырьевых условиях. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сборник научных трудов*. Дніпро: ІЧМ НАН України. 2017. Вип. 31. С. 40—52. URL: <https://nasplib.isofts.kiev.ua/handle/123456789/143981> (дата звернення: 29.05.2026).
2. Кузнєцов М.С., Крячко Г.Ю., Сігарьов Є.М. Тенденції зміни розмірів горна нових та модернізованих доменних печей. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки)*. 2022. Т. 1. № 40. С. 16—24. <https://doi.org/10.31319/2519-2884.40.2022.2>
3. Кузнєцов М.С., Крячко Г.Ю., Сігарьов Є.М. Зміни у проектуванні і роботі накопичувальної частини доменних печей в процесі удосконалення технології плавки. *Теорія і практика металургії*. 2022. № 1. С. 5—14. <https://doi.org/10.34185/tpm.1.2022.01>
4. Fuming Zh. Design, construction and commissioning of 5500 m³ blast furnace at Shougang Jingtang, p. 185—194. In: *42^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas / 6th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking*, Rio de Janeiro, RJ — Brasil, 2012. ISSN: 2594-357X. URL: <https://abmproceedings.com.br/en/article/design-construction-and-commissioning-of-5500m3-blast-furnace-at-shougang-jingtang-3> (дата звернення: 29.05.2026).
5. Miwa T., Kurihara K. Recent Developments in Iron-Making Technologies in Japan. *Steel Research International*. 2011. Vol. 82. Iss. 5. P. 466—472. <https://doi.org/10.1002/srin.201100031>
6. Мотидзуки С., Морисита Н., Хигути М., Мисава Д. Кампании и капитальные ремонты доменной печи завода Oita фирмы Steel Corp. *Черные металлы*. 1997. № 5. С. 16—22.
7. Matsuki Y., Shibata K., Yoshida Yu. et. al. Development of blast furnace technology at Kobe Steel and the concept of axial furnace running. *News of ferrous metallurgy abroad*. 2006. № 4. P. 25—29.
8. Ichida M., Anan K., Takao M., Kakiuchi K., Morizane Y., Yamada I., Nakayama T. Inner Profile and Burden Descent Behavior in the Blast Furnace. *Nippon Steel Technical Report*. 2006. No. 94. P. 80—86.
9. Орешкин Г.Г. Вопросы рационализации работы доменных печей. Харьков: Металлургиздат, 1960. 189 с.



REFERENCES

1. Mozharensko, N. M., Vyshinskaya, E. D., & Gorupakha, V. V. (2017). Tendencies to change blast furnace project profiles under contemporary fuel and raw materials conditions. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, (31), 40-52. <https://nasplib.isofts.kiev.ua/handle/123456789/143981> [in Russian].
2. Kuznetsov, M., Kryachko, G., & Sigarev, E. (2022). Hearth size trends in new and modernized blast furnaces. *Collection of scholarly papers of Dniprovsk State Technical University (Technical Sciences)*, 1(40), 16-24. <https://doi.org/10.31319/2519-2884.40.2022.2> [in Ukrainian].
3. Kuznetsov, M., Kryachko, G., & Sigarev, E. (2022). Changes in the design and operation of the accumulatory part of domain furnaces in the process improving fuel technology. *Theory and practice of metallurgy*, (1), 5-14. <https://doi.org/10.34185/tpm.1.2022.01> [in Ukrainian].
4. Fuming, Zh. (2012). Design, construction and commissioning of 5500 m³ blast furnace at Shougang Jingtang, p. 185-194. In: *42^o Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas / 6th International Congress on the Science and Technology of Ironmaking*, Rio de Janeiro, RJ — Brasil, 2012. ISSN: 2594-357X. <https://abmproceedings.com.br/en/article/design-construction-and-commissioning-of5500m3-blast-furnace-at-shougang-jingtang-3>
5. Miwa, T., & Kurihara, K. (2011). Recent Developments in Iron-Making Technologies in Japan. *Steel Research International*, 82(5), 466-472. <https://doi.org/10.1002/srin.201100031>
6. Motizuki, S., Morisita, N., Hyguty, M., & Misawa, D. (1997). Kampanii i kapitalnyie remontyi domennoy pechi zavoda Oita firmyi Steel Corp. [Campaigns and capital repairs of the blast furnace of the Oita plant of Steel Corp.]. *Black metals*, (5), 16-22 [in Russian].
7. Matsuki, Y., Shibata, K., Yoshda, Yu. et. al. (2006). Development of blast furnace technology at Kobe Steel and the concept of axial furnace running. *News of ferrous metallurgy abroad*, (4), 25-29.
8. Ichida, M., Anan, K., Takao, M., Kakiuchi, K., Morizane, Y., Yamada, I., & Nakayama, T. (2006). Inner Profile and Burden Descent Behavior in the Blast Furnace. *Nippon Steel Technical Report*, (94), 80-86.
9. Oreshkin, G. G. (1960). Voprosyi ratsionalizatsii raboty domennyih pechey [Issues of Rationalization of Blast Furnaces Operation]. Metallurgizdat [in Russian].

Надійшла/Received 01.06.2026

Прийнята/Accepted 11.08.2026

Опублікована/Published 28.09.2026

Summary

H.Yu. Kriachko, PhD (Engin.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Metallurgy named after Professor V.I. Loginov, e-mail: nauka_m4m@ukr.net, <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)

Trends in the Height Change of the Definitive Profile Elements of Blast Furnaces of Various Volumes

The aim of the work is to identify trends in the change in the height of the defining elements of the profile of blast furnaces of different volumes for its further improvement. To quantify the change in the height dimensions of the profile, the latter is divided into three specific parts – the moderate temperature zone, which is equal to the height of the shaft, the high temperature zone above the tuyere, which is equal to the sum of the heights of the steam, shoulders and part of the hearth from the level of the tuyere to the lower edge, as well as the total high temperature zone from the lower edge of the shaft to the furnace girder. As indicators of the relative height of the specified zones, the ratio of the absolute heights of the high temperature zone above the tuyere and total high temperature zone to the absolute height of the moderate temperature zone was used. By comparing the characteristics of the blast furnace technology level and the degree of achieving an equilibrium state for the reaction of the reduction of wustite with carbon monoxide, the reason for the decrease in the absolute and relative height of the shaft as part of the furnace profile with the predominant development of moderate temperatures is shown. Factors affecting the height of the furnace are considered. It is shown that the vertical size of the furnace depends on the horizontal. An increase in the diameter of the furnace of typical furnaces from 7.2 to 14.7 m led (under the same blowing conditions) to a decrease in the active area of the furnace almost by half, with a corresponding reduction in heat transport for heating the coke mass in the furnace. The compensatory resource for maintaining the thermal regime of the furnace, with the enlargement of the furnaces, is a significant increase in the blast flow rate per air lance. A tendency of gradual approximation of the height of the profile elements associated with the development of moderate and high temperatures in the working space of blast furnaces has been established.

Keywords

Blast furnaces, temperature zones, height, profile elements, furnace, active area, trends, changes.