

УДК 669.162

<https://doi.org/10.34185/tpm.4.2022.02>

Крячко Г.Ю., Сігарьов Є.М.

## Про підходи до проектування раціонального профілю доменних печей

Kryachko G., Sigarev E.

### About approaches to design rational profile of blast furnaces

Метою роботи є вирішення питань, пов'язаних з відмінністю підходів до проектування раціонального профілю доменних печей. Питання стосуються врахування попереднього досвіду профілювання і змін, що відбуваються в доменному процесі при збільшенні об'єму агрегатів.

Результати досліджень. Аналіз розбіжностей при створенні перших профілів радянських і японських потужних печей з обпиранням на майже однакові наукову і проектну бази показав суттєві необгрунтовані завищення висоти шахт і заниження глибини горна радянських печей, що в подальшому поряд зі заниженням чисельності повітряних фурм призвело до відомих ускладнень при виведенні цих печей на проектний режим. Показано, що віддалення проекції рудної лінзи від фурменних вогнищ в горні і стін розпару є неминучим явищем при збільшенні об'єму печей, негативний вплив якого слід усувати застосуванням безконусних авантажувальних пристроїв зверху і покращенням якості дуття знизу.

Розгляд недоліків профілів ДП №3 заводу Елікуіппа і типової радянської печі об'ємом 2300 м<sup>3</sup>, пов'язаних між собою низькими значеннями  $d_w/D$  в межах 0,62-0,63 показав, що низька продуктивність печей і важкі етапи освоєння пов'язані не тільки зі звуженими колошниками, але і іншими недоліками їх профілю, що були, зазвичай неврахованими. На сучасному етапі розвитку доменного виробництва кардинальні зміни сировинних умов, засобів авантаження і технології плавки призвели до повернення пляшкоподібного профілю з величинами  $d_w/D$  0,61-0,59.

Показано, що в останній досліджуваний період, відбулася зміна підходів до визначення раціонального об'єму потужних печей. Так в проміжок часу між 2011 і 2022 рр. більшість побудованих печей (68,8 %) мали об'єм в межах 4200-4400 м<sup>3</sup>, що в середньому на 300 м<sup>3</sup> менше, ніж у попередній період. Це підтверджує раніше зроблений висновок про закінчення екстенсивного розвитку доменного процесу.

Наукова новизна роботи полягає у виявленні тенденції 2011-2022 рр. обмеження корисного об'єму нових потужних доменних печей в межах 4200-4400 м<sup>3</sup>, а також тенденції до повернення пляшкоподібного профілю у визначених сировинних та експлуатаційних умовах плавки.

Ключові слова: доменна піч, підходи, проектування, раціональний профіль, рудна лінза, об'єм.

The purpose work is to resolve issues related to difference in approaches design of a rational profile of blast furnaces. The questions relate to taking into account previous profiling experience and changes occurring in the domain process when the volume of aggregates increases.

Research results. The analysis discrepancies in creation first profiles of Soviet and Japanese powerful furnaces based on almost same scientific and design basis showed significant unjustified overestimation height shafts and underestimation depth shaft of the Soviet furnaces, which subsequently, along with underestimation number of air nozzles, led to known complications in removal of these furnaces to project mode. It is shown that the distance projection ore lens from tuyere hearths in furnace and walls gap is an inevitable phenomenon when volume of the furnaces increases, negative effect of which should be eliminated by using coneless loading devices from above and improving quality of blowing from below.

Examination shortcomings profiles of DP No. 3 of the Eliquippa plant and a typical Soviet furnace with a volume of 2,300 m<sup>3</sup>, connected with each other by low  $d_w/D$  values in the range of 0,62-0,63, showed that low productivity furnaces and difficult stages development are related not only with narrowed speakers, but also other shortcomings of their profile that were usually not taken into account. At the current stage development of blast furnace production, drastic changes in raw material conditions, means loading, and smelting technology have led to return of bottle-shaped profile with  $d_w/D$  values of 0,61-0,59.

It is shown that in the last researched period, there was a change in approaches to determining rational volume of powerful furnaces. Thus, in period between 2011 and 2022, majority of built furnaces (68,8%) had a volume of 4200-4400 m<sup>3</sup>, which is on average 300 m<sup>3</sup> less than in the previous period. This confirms earlier conclusion about end extensive development of domain process.

The scientific novelty work lies in identification of 2011-2022 tendency to limit useful volume of new powerful blast furnaces within 4200-4400 m<sup>3</sup>, as well as tendency to return to the bottle-shaped profile under defined raw material and operating conditions of smelting.

Keywords: blast furnace, approaches, design, rational profile, ore lens, volume.

#### Вступ

Тривалий час головним критерієм оцінки результативності нового профілю доменної печі була її продуктивність. Так в період створення профілю, який на початку ХХ ст. став прообразом сучасного, пошук кращих його параметрів йшов в напрямі досягнення пічку середньодобової продуктивності 1000 т чавуну [1]. Взірцем раціонального профілю на той час була ДП №5 заводу Елікуіппа (США) об'ємом 900 м<sup>3</sup>, яка першою в світі досягла такої

позначки. Характерним є те, що на якість коксу і залізородних матеріалів та на ступінь форсування процесу, який залежав від потужності повітродувних засобів, майже не зверталось уваги.

Після другої світової війни в проектуванні доменних печей виник напрям в сторону збільшення потужності агрегатів, де об'єм печі мав вирішальне значення, оскільки небезпідставно передбачалося підвищення результативності плавки внаслідок збільшення обсягів проплавлення залізородних

матеріалів. Максимальний об'єм печі став свого роду показником рівня розвитку металургії конкретної країни. В 70-80-ті роки минулого століття виникла своєрідна гонка за створення і освоєння найбільшої за об'ємом печі в світі, відзвуки якої спостерігались навіть на початку XXI ст. (Японія, Китай, Південна Корея).

Перегони в боротьбі за більший об'єм печі призводили іноді до суттєвих втрат, оскільки не вистачало часу на доведення профілю до прийнятних кондицій, на доведення огороження робочого простору до надійної експлуатації, на створення обладнання для забезпечення нормальної роботи потужних печей.

#### Аналіз публікацій з досліджуваної теми

Зважаючи на те, що деякі вади в проектуванні профілю вітчизняних доменних печей не усунути до сих пір, слід звернутися до аналізу прикладів, які визначили різні підходи радянських і японських проектувальників до створення раціонального профілю. Вибір для порівняння підходів двох шкіл проектувальників обґрунтовано тим, що профілі потужних печей в 70-х роках XX ст. створювалися на практично однаковій експериментальній (СРСР, Японія) і проєктній базі (СРСР), оскільки японські промислові компанії придбали в СРСР ліцензії на проєктні профілі печей об'ємом 1719, 2000 і 2700 м<sup>3</sup> [2].

Дослідницька база була створена науковцями СРСР в 60-х роках XX ст., коли колективами дослідників Інституту чорної металургії (м. Дніпропетровськ), ДонНДІчормету (м. Донецьк) і Дніпродзержинського індустріального та Ленінградського політехнічного інститутів були проведені горизонтальні і вертикальні зондування доменних печей різного об'єму.

Суттєвий внесок в розширення знань про структуру стовпа шихти зробили японські науковці, дослідивши заморожені на ходу доменні печі [3, 4].

Ще в радянські часи, коли будівництво потужних печей вважалось магістральним напрямом розвитку, з'явилася робота [5], автори якої посилаються на труднощі експлуатації таких вітчизняних печей на залізородних матеріалах і коксі власного виробництва, вважали необхідним всебічне дослідження доцільності подальшого нарощування об'єму доменних печей. На погляд дослідників [5] заслуговує уваги і така показова цифра, як виробництво чавуну з кожного кубічного метру корисного об'єму печі за кампанію до капітального ремонту: на печі №8 Криворіжсталі об'ємом 2700 м<sup>3</sup> воно склало 5096 т, в той час як на печі №9 об'ємом 5000 м<sup>3</sup> лише 1836 т. Слід додати, що це порівняння не досить коректне в тому плані, що внаслідок

док прорахунків з визначенням кількості повітряних фурм, період освоєння ДП №8 Криворіжсталі у свій час був також важким і тривалим, про що буде повідомлено далі.

Також в [5] вважали зниження куту нахилу шахти з 85 до 82°, обумовлене зростанням діаметру розпару негативним фактором, оскільки на потужних печах проєкція рудної лінзи віддаляється від фурменого вогнища (рис. 1) внаслідок чого можна прогнозувати труднощі обробки лінзи фурменими газами.

До недоліків цієї умовної схеми слід віднести те, що, по перше рудна лінза при опусканні в ширші горизонти печі розосереджується, тоншає і наближається до стін внаслідок бокового тиску, по друге, враховуючи різні висоти вісьової зони малорухомого коксу, проплавлення рудної лінзи відбувається тим вище, чим більше діаметр горна при нормальному ході печі.

Що стосується розладнань ходу, то прихід не підготовлених матеріалів рудної лінзи на горизонт повітряних фурм цілком можливий і може бути одним із визначальних факторів в обмеженні поперекових розмірів доменних печей. Тому запропонований підхід до визначення розмірів елементів профілю за допомогою кількісних показників, пов'язаних з опусканням рудної лінзи заслуговує на увагу.

Перший показник являє собою відстань від торця повітряної фурми до зовнішнього краю проєкції рудної лінзи в горні доменної печі і визначається як половина різниці між діаметрами горна  $d_r$  і колошника  $d_k$  за відрахуванням величини висову повітряної фурми ВПФ в робочий простір горна:

$$\text{ПРЛГ} = \frac{1}{2} (d_r - d_k) - \text{ВПФ}, \quad \text{м}$$

де ПРЛГ – умовна назва показника – проєкція рудної лінзи в горні.

Другий показник – це відстань від стін розпару до зовнішнього краю проєкції рудної лінзи в розпар

$$\text{ПРЛР} = \frac{1}{2} (D - d_k), \quad \text{м}$$

де ПРЛР – умовна назва показника – проєкція рудної лінзи в розпар.

Використовуючи запропоновані показники автори [5] згадали широко відомий пляшкоподібний профіль ДП №3 заводу Елікуіппа. Стіни розпару відходили на цій печі від кромки проєкції рудної лінзи на 1677 мм, а стіни горна на 1443 мм. Оскільки ця піч працювала з хронічним периферійним потоком газу з неможливістю підвантажити залізородною шихтою пристінний простір від профілю пляшки відмовились.

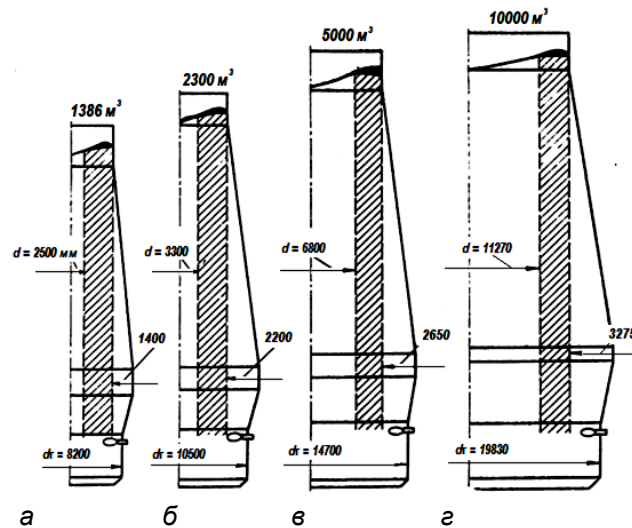


Рис. 1. Величина відступу проєкції рудної лінзи на колошнику від стін печей в залежності від діаметру розпару за даними [5]: а - типова поширена в СРСР піч малого об'єму; б - ДП №5 колишнього Ждановського металургійного заводу (ЖМЗ); в - ДП №9 Криворіжсталі; з - нездійснений радянський варіант надпотужної доменної печі

Причину незадовільної роботи типової печі об'ємом  $2300 \text{ м}^3$  на ЖМЗ автори [5] вбачали також у віддаленні проєкції рудної лінзи від активної зони фурмених вогнищ. Тому зменшення кута нахилу стін шахти зі збільшенням об'єму печей дослідники вважали негативним явищем, що погіршує газодинаміку доменного процесу.

У зв'язку з викладеним слід повернутися до розгляду загальновідомих прикладів реалізації помилкових рішень в створенні нових профілів доменних печей.

З 1986 по 2010 рр. за 24 роки максимальний об'єм печей зріс на  $500 \text{ м}^3$ . Це печі №5 «Северсталь» (РФ) об'ємом  $5500 \text{ м}^3$  [6] і №1 фірми POSCO (Південна Корея) об'ємом  $6000 \text{ м}^3$  у Гваньяні [7]. Хоча ще у 80-х роках ХХ ст. в колишньому СРСР розглядалися як перспективні проєкти печей об'ємом до  $10000 \text{ м}^3$  [5]. Вочевидь під впливом досвіду експлуатації раніше побудованих печей спостерігається деяке гальмування нарощування об'єму нових агрегатів. Тому важливим є визначення тенденції в зміні об'єму потужних печей починаючи з періоду стійкого нарощування їх кількості.

#### Формулювання мети дослідження

Метою роботи є вирішення кількох задач, пов'язаних з відмінністю підходів до проєктування раціонального профілю доменних печей, для чого передбачені:

розгляд розбіжностей при створенні перших профілів потужних радянських і японських печей;

аналіз змін розміщення проєкції рудної лінзи відносно стін горна і розпару, зі збільшенням об'єму печей, змінами профілю і завантажувальних пристроїв;

аналіз класичних прикладів недосконалості профілів в ДП №3 Елікуіппа і ДП №5 ЖМЗ;

визначення раціонального діапазону зміни об'єму потужних доменних печей з урахуванням сучасного рівня підготовки шихтових матеріалів і організації доменного процесу.

#### Виклад основного матеріалу

Для аналізу використали доступні друковані джерела інформації та електронний ресурс.

Порівняння профілів приблизно однакових за об'ємом доменних печей радянських і японських проєктів (табл. 1) показує суттєву різницю у виборі визначальних для профілю параметрів, а саме діаметрів горна і колошника, а також висот горна і шахти. Зокрема діаметр горна японських печей був на  $300\text{—}400 \text{ мм}$  більше радянських, а висота шахти на  $3800\text{—}4250 \text{ мм}$  менша. Це дозволяло, зважаючи, зазвичай, на більшу кількість повітряних фурм і помірно знижені шахти вести японські печі більш форсовано ніж радянські.

Найбільш суттєві розбіжності виявилися для печей об'ємом  $3159$  і  $3200 \text{ м}^3$ , зокрема по кількості повітряних фурм. Про значення вибору достатнього числа фурм для забезпечення нормальної роботи печі свідчить негативний досвід освоєння ДП №8 об'ємом  $2700 \text{ м}^3$  комбінату «Криворіжсталь». Недостатня кількість фурм (20) і кількість чавунних льоток (2) при тогочасному режимі випусків продуктів плавки, недостатня товщина футерівки зумпфу і горна призвели до трьох проривів горна (березень 1970 р., квітень і вересень 1971 р.). Тільки після збалансування роботи горна за збільшеною кількістю повітряних фурм (24) і чавунних льоток (3) вдалося збільшити тривалість кампанії цієї печі з 2-х до 8-ми років [8]. Краща в галузі серед печей об'ємом  $2700 \text{ м}^3$  ДП №4 Череповецького комбінату мала 28 фурм і три чавунних льотки [9].

На рис. 2 показана зміна показників знаходження проєкції рудної лінзи відносно торця повітряної фурми і стін горна типових печей колишньо-

го СРСР. При збільшенні об'єму печей з 1033 до 2000 м<sup>3</sup> ці показники монотонно зростали, а далі в межах 2300-3000 м<sup>3</sup> помітно зріс ПРЛГ для печі 2300 м<sup>3</sup> (до 1,4 м) і ПРЛР для групи печей 2300-3000 м<sup>3</sup> (до 2,2 м). Найменша різниця між вказаними показниками спостерігалася для печей 1033 і 1513 м<sup>3</sup> (0,7 м). Найбільша різниця (0,95 м) стосу-

валася профілю 2700 м<sup>3</sup>. Низькі значення різниці ПРЛР-ПРЛГ=0,75 м відносяться до печей 1386, 1719 і 3200 м<sup>3</sup>. Вірогідно, що в умовах роботи на агломераті з вдуванням природного газу ця відмінність профілю 3200 м<sup>3</sup> була однією з особливостей, за якими ДП №6 НЛМК вважали кращим російським проектом [10].

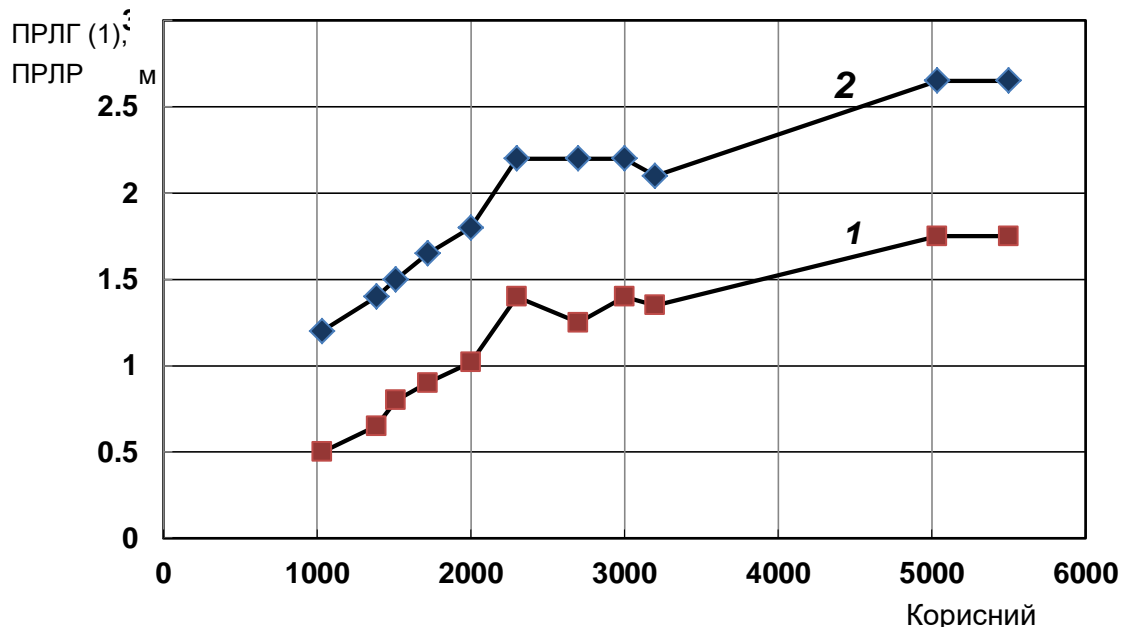


Рис. 2. Зміна відстаней від кромки проекції рудної лінзи до торця повітряної фурми в горні (ПРЛГ) і від тієї ж кромки до стінки розпару (ПРЛР) на типових радянських печах

Таблиця 1 - Порівняння підходів радянських і японських фахівців до створення профілів доменних печей середнього (3159-3200 м<sup>3</sup>) і великого (5037-5050 м<sup>3</sup>) об'єму періоду 70-х років ХХ ст. за даними [2, 6]

Країна, завод, піч	Корисний об'єм, м <sup>3</sup>	Діаметр, мм				Висота, мм						Кут нахилу, град.		ПРЛГ	ПРЛР	Кількість повітряних фурм
		горна	розпару	колошника	зуп фу	горна	зап ечки в	розпару	шахти	колошника	корисна	заплекчиків	шахти			
СРСР, НЛМК, №5	3200	12000	13100	8900	1185	3900	3400	2300	19600	2990	32130	80° 49'	83° 53'	1,35	2,10	28
Японія, Kashima, №1	3159	12400	13100	9600	н. д.	5200	3200	2800	15350	1890	28440	н. д.	н. д.	1,20	1,75	36
Різниця ±	- 41	+ 400	-	+ 700	-	+ 1300	- 200	+ 500	- 4250	- 1100	- 3690			- 0,15	- 0,35	+ 8
%	- 1,3	+ 3,3	-	+ 7,9	-	+ 33,3	- 5,9	+ 21,7	- 21,7	- 36,8	- 11,5			- 11,1	- 16,7	+ 28,6
СРСР, Криворізь-сталь, №9	5037	14700	16100	10800	1113	4400	3700	1700	20700	3000	33500	79° 13' 17"	82° 42' 17"	1,75	2,65	36
Японія, Kashima, №3	5050	15000	16300	11200	1500	5100	4000	2800	16900	2400	31200	80° 19'	81° 41'	1,70	2,55	40
Різниця ±	+ 13	+ 300	+ 200	+ 400	+ 387	+ 700	+ 300	+ 1100	- 3800	- 600	- 2300			- 0,05	- 0,10	+ 4
%	+ 0,3	+ 2,0	+ 1,2	+ 3,7	+ 34,8	+ 15,9	+ 8,1	+ 64,7	- 18,4	- 20,0	- 6,9			- 2,9	- 3,8	+ 11,1

Як і для радянських типових печей прослідковується тенденція відходження проекції рудної лінзи від фурмених вогнищ і відповідно стін горна зі зростанням потужності сучасних агрегатів (табл. 2). Однак заслуговує на увагу те, що незважаючи

на збільшення робочого об'єму печей Schwelgern на 39 і 72 % в порівнянні з меншими печами CSA показник ПРЛР залишився майже на одному рівні (3,0-3,1 м). Вочевидь така величина ПРЛР для печей середнього і потужного об'ємів забезпечує

кращі умови для збереження огороження шахти і послаблення периферійного газопотоку.

Відносно хрестоматійного прикладу профілю ДП №3 заводу Елікуіппа (США), в якому розширення горна відбулося одночасно з переломом утворюючої у верхній частині шахти. Вважали [12], що вузький колошник лімітував проходження газів, погіршував газорозподіл, збільшував витрату коксу і знижував продуктивність. Насправді не тільки звужений колошник ДП №3 погіршував роботу печі. Причина незадовільної роботи печі пояснювалась також невдалою спробою вирішення конструкції

шахти зі змінним кутом нахилу. Аналізуючи профіль ДП №3 дослідники не звертали увагу на те, що її шахта зроблена з переломом — верхня частина шахти мала більший кут нахилу  $86^{\circ}10'$ , ніж нижня  $81^{\circ}30'$ . В результаті проектувальники зробили «горловину» у верхній частині печі, висота якої разом з колошником становила 5 м. Горловина утворилася з вигином не зовні, як було запропоновано і впроваджено пізніше, а в середину робочого простору на протиріч розвитку тепломасообмінних процесів в цій зоні.

Таблиця 2 – Параметри профілю доменних печей фірми ThyssenKrupp Steel [11], оснащених безконусними завантажувальними пристроями

Піч	Робочий об'єм, м <sup>3</sup>	Діаметр, м			$d_k/D$	ПРЛГ	ПРЛР
		горна $d_t$	розпару $D$	колошника $d_k$			
CSA №1,2, Бразилія	2775	12,0	14,5	8,5	0,59	1,55	3,0
Schwelgerm №1, ФРН	3844	13,6	16,0	10,0	0,62	1,60	3,0
Schwelgerm №2, ФРН	4769	14,9	17,2	11,0	0,64	1,75	3,1

Профіль згаданої вище печі з відношенням діаметру колошника  $d_k$  до діаметру розпару  $D$  рівним 0,63 в деякій мірі був повторений на типовій печі Діпромезу об'ємом 2300 м<sup>3</sup> з  $d_k/D = 0,62$ . Поява профілю останньої печі зобов'язана перш за все рішенням оснащення її засипним апаратом, призначеним для меншої печі об'ємом 2000 м<sup>3</sup>. Така інновація призвела до значних утруднень реалізації процесу,

Як і у випадку ДП №3 Елікуіппа при аналізі профілю ДП №5 тоді Ждановського металургійного заводу вбачали [5] негативну дію одного помилкового рішення. Цим рішенням, на думку авторів, було зменшення кута нахилу стін шахти до  $82^{\circ}23'47''$  і відходження проекції рудної лінзи від стін розпару на 2200 мм і фурмених вогнищ в горні. Із-за розвиненого периферійного ходу ДП №5 швидко втратила вогнетривке огороження шахти, із-за перегрівання деформувалась верхня частина оболонки шахти.

Під час капітального ремонту розширили колошник з 7300 до 7700 мм ( $d_k/D = 0,67$ ), внаслідок чого відхід проекції рудної лінзи від стін розпару зменшився з 2200 до 2000 мм, а в горні відповідно з 1600 до 1400 мм. Дані про роботу печі після корекції профілю показали, що здатність печі працювати форсованіше і економічно значно не збільшилась, добавка дуття на цій печі приводила до розвитку периферійного ходу.

Слід зазначити, що при аналізі профілю ДП №5 ЖМЗ автори [5] не прийняли до уваги суттєвий недолік цього профілю, який був притаманний всім типовим печам радянської генерації, а саме завищена висота шахти. Висота шахти ДП №5 складала 19 м, що на 2 м більше, ніж у сучасних печей об'ємом > 4000 м<sup>3</sup>. Якщо додати до 19 м метровий стовп шихти на колошнику, то стає зрозумілим її

хронічний периферійний хід, зважаючи на недостатню кількість повітряних фурм (20 шт.) і недостатню потужність вітчизняних доменних компресорів [13, 14].

Із порівняльної таблиці 3, де представлені профілі печей різних поколінь з близькими корисним об'ємом і відношенням  $d_k/D$  в межах 0,61-0,62 добре видно ще один суттєвий недолік ДП №5 ЖМЗ, а саме недостатню кількість повітряних фурм. Занижена кількість фурм обмежувала рівномірність утворення і розподілу гарячих відновлювальних газів по окружності печі з однієї сторони і з другої сприяла переохолодженню коксової насадки в горні і втрати нею газопроникності і дренажної здатності. Зрозуміло, що нормальна робота італійської і голандської печей з вдуванням ПВП і використанням обкотишів була можливою за рахунок розосередження рудної лінзи в перетині печі за допомогою безконусних завантажувальних пристроїв.

Слід зазначити, що необґрунтований підхід Діпромеців колишнього СРСР до визначення висоти шахт на тривалий час зробив заручниками старих ідей і прорахунків існуючі вітчизняні доменні печі. Сучасні проектувальники розуміють хибність рішень попередників, але на заваді впровадження раціонального профілю печі часто стають бажання замовників зберегти колошникові конструкції і обладнання з метою зменшення капітальних витрат [15].

Досвід освоєння потужних печей об'ємом > 4000 м<sup>3</sup> в Європі, США і, перш за все, в Японії, накопичений в 70—х роках дозволяв поширювати ареал розповсюдження високопродуктивних агрегатів. Потужні печі зі своїм новітнім оснащенням були і є своєрідними маркерами розвитку доменного процесу, як складної технічної системи. Для

кількісної оцінки зміни головного параметру профілю — корисного об'єму від 80-х років ХХ ст. до сьогоднішнього за допомогою доступної інформації [17—26] було зібрано відповідні дані. Результати обробки цих даних представлені в таблиці 4. Інформація, зібрана в цій таблиці, не претендує на повний обсяг даних, але переважна більшість потужних печей врахована.

Із таблиці видно, що найбільша кількість потужних печей припадає на період 2001-2010 рр. і зобов'язана вона бурхливому розвитку доменно-конвертерної переробки металу в Китаї і Південній Кореї. Завищений середній об'єм потужних печей в цей період пояснюється введенням в дію печей об'ємом 5775-6000 м<sup>3</sup> в Японії, Китаї і Південній Кореї.

Таблиця 3 – Порівняння параметрів профілю доменних печей різних поколінь за даними [2, 6, 15]

Піч, завант. пристрій, дуттєва паливна добавка	Період	Корисний об'єм, м <sup>3</sup>	Діаметр, мм			Висота шахти, мм	d <sub>к</sub> /D	ПРЛГ, м	ПРЛР, м	Кількість повітряних фурм
			горна	розпару	колошника					
№5, Ждановський метзавод КЗП <sup>1</sup> , ПГ <sup>2</sup>	60-і роки ХХ ст.	2300	10500	11700	7300	19000	0,62	1,4	2,2	20
№4, Пйомбіно, Італія, БЗП <sup>3</sup> , ПВП <sup>4</sup>	90-і роки ХХ ст.	2400	10600	11846	7500	17800	0,63	1,35	2,17	27
№4, Хооговенс-Голандія, БЗП, ПВП	2000 роки	2323	10640	12234	7500	16310	0,61	1,37	2,37	30

\*1 - конусний завантажувальний пристрій; \*2 – природний газ; \*3 – безконсний завантажувальний пристрій; \*4 – пиловугільне паливо

Судячи по величині середнього об'єму доменних печей в період 2011-2022 рр., а саме 4579 м<sup>3</sup> можна зробити висновок про те, що технічна сис-

тема — доменний процес при сучасних умовах експлуатації і розвитку доменної техніки досягла певного максимуму.

Таблиця 4 - Динаміка введення в дію нових і реконструйованих доменних печей об'ємом > 4000 м<sup>3</sup> з 80-х років ХХ ст. до 2022 року

Роки	1981 - 1990	1991 - 2000	2001 - 2010	2011 - 2022
Кількість печей з об'ємом > 4000 м <sup>3</sup>	6	10	24	16
Середній об'єм	4685	4481	4735	4579
Кількість печей (чисельник) і їх середній об'єм (знаменник) по країнам і регіонам:				
Європа	1 / 5500	2 / 4450	1 / 4200	1 / 5513
Японія	5 / 4522	5 / 4687	8 / 5076	3 / 4892
Китай		3 / 4159	11 / 4507	5 / 4351
Південна Корея			3 / 5067	1 / 5600
Індія			1 / 4060	6 / 4287

Цей максимум в 5500-6000 м<sup>3</sup> обумовлений суто технологічними обмеженнями, починаючи зі забезпечення задовільного протитоку шихти і газів при периферійному підведенні дуття, зі забезпечення дуття високих тиску і витрати, зі забезпечення високої якості сировини у великих обсягах, тощо. На користь цього припущення свідчать дані про зменшення середнього об'єму потужних печей Японії і Китаю в останній період 2011-2022 рр. у порівнянні з попереднім періодом.

Про зміну підходів до визначення раціонального об'єму потужних печей свідчать наступні дані (див. табл. 4). Якщо в період з 1981 по 2010 рр. із побудованих 40 печей об'ємом > 4000 м<sup>3</sup> 21 агрегат або 52,5 % мали об'єм в діапазоні 4500-4700

м<sup>3</sup>, то в останній період, а саме з 2011 по 2022 рр. більшість печей, 11 із 16 врахованих (68,8 %) мали об'єм в межах 4200-4400 м<sup>3</sup>. Це підтверджує висновок [27] про завершення екстенсивного розвитку доменного процесу, оскільки для успішної організації протитоку в потужних печах неминучі витрати на покращення якості плавильних матеріалів, коксу і на підвищення тиску газу в робочому просторі.

**Висновки.** Аналіз класичних прикладів недосконалої профілів доменних печей №3 заводу Елікуіппа об'ємом 1085 м<sup>3</sup> (США) і №5 Ждановського металургійного заводу (колишній СРСР) об'ємом 2300 м<sup>3</sup> показав, що завужений колошник d<sub>к</sub>/D = 0,62-0,63 цих печей був не єдиним недоли-

ком. Так суттєвою вадою американської пляшкоподібної печі слід вважати, перш за все, конструкцію шахти зі змінним кутом нахилу – верхня частина її мала більший кут нахилу ніж нижня, в результаті чого утворилась висока горловина разом з колошником, яка стала перешкодою для опускання шихти і форсування процесу. Профіль типової печі об'ємом 2300 м<sup>3</sup>, крім відмічених в спеціальній літературі недоліків, мав завищену висоту шахти 19 м, що на 2 м більше ніж на сучасних печах об'ємом > 4000 м<sup>3</sup>, а також суттєво занижену кількість повітряних фурм.

На сучасному етапі розвитку доменного виробництва кардинальні зміни сировинних умов, засобів завантаження і технології плавки з вдуванням пилувугільного палива призвели до повернення

пляшкоподібного профілю з величинами  $d/D$  до 0,61-0,59.

Показано, що в останній досліджуваний період відбулася зміна підходів до визначення раціонального об'єму потужних печей. Так в проміжок часу між 2011 і 2022 рр. більшість побудованих потужних печей (68,8 %) мала обмежений об'єм 4200-4400 м<sup>3</sup>, що в середньому на 300 м<sup>3</sup> менше, ніж за попередній суміжний період.

Необґрунтований підхід до проектування раціонального профілю доменних печей, що виник ще в 60-70-х роках ХХ ст. на тривалий час зробив вітчизняні печі заручниками старих ідей і прорахунків. В умовах, що склалися, сучасним проектувальникам з об'єктивних причин далеко не завжди вдається виправити помилки попередників.

### Бібліографічний список

1. Красавцев Н. И. Перспективы развития доменного производства. М.: Metallurgizdat, 1958. 558 с.
2. Можаренко Н. М., Вышинская Е. Д., Горупаха В. В. Тенденции изменения проектных профилей доменных печей в современных условиях. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. 2014. Вып. 29. С. 52-63.
3. Гуденау Г.-В., Сасабе М., Крайбих К. Исследования на охлажденных доменных печах в Японии. *Черные металлы*. 1977. № 6-7. С. 13-17.
4. Доклад о разборке содержимого доменной печи №1 завода Амагасаки / К. Нарита, Т. Сато, М. Маскава и др. *Тецу то Хагане*. 1980. №13. С. 1975-1984.
5. Гиммельфарб А. А., Воловик Г. А., Левченко В. Е. Рациональный профиль доменной печи и перспективы его развития. *Известия вузов. Черная металлургия*. 1987. №7. С. 32-41.
6. Металлургия чугуна: учебник для вузов. 3—е изд., перераб. и доп. / Е. Ф. Вегман, Б. Н. Жеребин, А. Н. Похвиснев и др. М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. 774 с.
7. Капитальный ремонт и задувка доменной печи №3 в Кванъяне. *Новости черной металлургии за рубежом*. 2009. №4. С. 23-26.
8. Опыт эксплуатации, выдувки, ремонта и пуска после реконструкции доменной печи объемом 2700 м<sup>3</sup> / В. А. Шеремет, В. П. Лялюк, А. В. Кекух и др. *Бюллетень «Черная металлургия»*. 2010. №3. С. 50-59.
9. Капитальный ремонт с реконструкцией доменной печи № 4 ОАО / «Северсталь». В. Н. Логинов, А. В. Захаров, В. И. Нетронин и др. *Сталь*. 2007. № 6. С. 8-13.
10. Доменная печь №6 ОАО НЛМК – лучший российский проект / И. Ф. Курунов, С. С. Ляпин, В. Л. Емельянов и др. *Металлург*. 2008. №10. С. 40-45.
11. Строительство фирмой ThyssenKrupp CSA нового металлургического комбината в Бразилии / Х.-У. Линденберг, Ф.-В. Шефер, И. Игельбюшер. *Черные металлы*. 2008. №2. С. 45-52.
12. Похвиснев А. Н., Абрамов В. С., Красавцев Н. И., Леонидов Н. К. Доменное производство : підручник. М.: Metallurgizdat, 1951. 707 с.
13. Изменение дутьевого режима в процессе совершенствования технологии выплавки чугуна на заводе им. Дзержинского / В. И. Логинов, Г. Ю. Крячко, О. А. Бабенко и др. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 1983. №1. С. 9-13.
14. Режимы работы доменных печей и воздухоподводящих машин в условиях нестабильности производства / Г. Ю. Крячко, Д. В. Пикалов, Л. А. Сафина-Валуева. *Бюллетень «Черная металлургия»*. 2010. №8. С. 26-30.
15. Панін В. Н. Модернізація діючих доменних цехів України. «Новини науки Придніпров'я» до науково-практичної конференції, присвяченої 100-річчю відомого вченого Г. А. Воловика : зб. наукових доповідей. Дніпропетровськ: «Дніпро-VAL», 2010. С. 39-43.
16. Работа доменной печи на 100 % окатышей на заводе в Пьюмбино / G. Perini, J. Merollari, U. Chiarotti et al. // *Новости черной металлургии за рубежом*.
17. Design Innovation and Practice of Laiwu Steel 3# 4000 m<sup>3</sup> Blast Furnace. URL: [http://www.meconlimited.co.in/writereaddata/MIST\\_2016/sesn/tech\\_3/2.pdf](http://www.meconlimited.co.in/writereaddata/MIST_2016/sesn/tech_3/2.pdf)
18. Masaaki Naito. Recent progress of practical BF operation in Japan and innovation trials for the future. *5<sup>th</sup> European Coce and Ironmaking Congress*, 12—15 June 2005. 1. P. Mo 1.2.1 - Mo 1.2.14.
19. Production and Development of large Blast Furnace from 2011 to 2014 in China / D. Zhou, S. Cheng, Y. Wang, X. Jiang. *ISIJ International*. Vol. 55 (2015), №12. pp. 2519-2524.
20. Iron Making - MECON limited. URL : [http://www.meconlimited.co.in/Metals/Iron\\_Making.aspx](http://www.meconlimited.co.in/Metals/Iron_Making.aspx)
21. 5500 m<sup>3</sup> Blast furnace project of Shougang Jingtang. URL: [https://sgbsei.com/blast\\_furnace.html](https://sgbsei.com/blast_furnace.html)
22. Tata Steel limited Kalinganagar Steel Plant Project highlights. URL: <https://www.tatasteel.com/tata-steel-brochure-19-20/inside-tata-steel.html>
23. Blast furnace №3 was expanded from 4350 to 5600 m<sup>3</sup> (POSCO). URL: <https://newsroom.posco.com/en/posco-gets-smart-pohang-blast-furnace-no-3>

24. Nippon Steel to renovate Blast furnace at Nagoya for \$ 450 million. URL : <https://www.reuters.com/article/nippon-steel-japan-idUSL4N2D11BS>
25. JFE Steel starts №6 Blast Furnace renovation Work Chiba 5153 m<sup>3</sup>. URL : <https://www.kallanish.com/en/news/steel/market-reports/article-details/jfe-steel-starts-no6-blast-furnace-renovation-0922>
26. JFE Steel Corporation has announced that it has restarted the BF №4 at is Kurashiki plant inner volume was expanded from 5005 m<sup>3</sup> to 5100 m<sup>3</sup>. URL : <https://www.steelorbis.com/steel-news/latest-news/jfe-steel-restarts-blast-furnace-no-4-at-kurashiki-plant-1226375.htm>
27. Крячко Г. Ю. К вопросу о развитии доменного производства. *Сталь*. 2003. №5. С. 7-11.

#### References

1. Krasavtsev N. I. Perspektivi razvitiya domennogo proizvodstva. M.: Metallurgizdat, 1958. 558 p.
2. Mozhareno N. M., Bishinskaya E.D., Gorupaha V. V. Tendentsii izmeneniya proektnih profilei domennih pechei v sovremennih usloviyah. *Fundamental'nie I prikladnie problem chernoi metallurgii*, 2014. Vip. 29. P. 52-63.
3. Gudenau G.-V., Sasabe M., Kraibih K. Issledovaniya na ohlazhdennih domennih pechah v Yaponii. *Chernie metallic*. 1977. № 6-7. P. 13-17.
4. Doklad o razborke sodержimogo domennoi pechi №1 zavoda Amagasaki / K. Narita, T. Sato, M. Maskava et. al. *Tetsu to Hagane*. 1980. №13. P. 1975-1984.
5. Gimmel'farb A. A., Volovik G. A., Levchenko V. E. Ratsional'nii profil' domennoi pechi I perspektivi ego razvitiya. *Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya*. 1987. №7. P. 32-41.
6. Metallurgiya chuguna : uch. dlya vuzov. 3-e izd., perer. I dop. / E. F. Vegman, B. N. Zherebin, A. N. Pohvisnev et. al. M. : IKTS «Akademkniga», 2004. 774 p.
7. Kapital'nii remont I zaduvka domennoi pechi №3 v Kvan'yane. *Novosti chernoi metallurgii za rubezhom*. 2009. №4. P. 23-26.
8. Opit ekspluatatsii, viduvki, remonta I puska posle rekonstruksii domennoi pechi ob'emom 2700 m<sup>3</sup> / V. A. Sheremet, V. P. Lyaluk, A. V. Keuh et. al. *Bulleten' «Chernaya metallurgiya»*. 2010. №3. P. 50-59.
9. Kapital'nii remont s rekonstruksiei domennoi № 4 OAO «Severstal'». V. N. Loginov, A. V. Zaharov, V. I. Netronin et. al. *Stal'*. 2007. № 6. P. 8-13.
10. Domennaya pech' №6 OAO NLMK – lutshii rossiiskii proekt / I. F. Kurunov, S. S. Lyapin, V. L. Emel'yanov et. al. *Metallurg*. 2008. №10. P. 40-45.
11. Stroitel'stvo firmoi ThyssenKrupp CSA novogo metallurgicheskogo kombinata v Brazilii / H.-U. Lindenberg, F.-V. Shefer, I. Igel'bursher. *Chernie metallic*. 2008. №2. P. 45-52.
12. Pohvisnev A. N., Abramov V. S., Krasavtsev N. I., Leonidov N. K. Domennoe proizvodstvo : pidruchnik. M.: Metallurgizdat, 1951. 707 p.
13. Izmenenie dut'evogo rezhima v protsese sovershenstvovaniya technologii viplavki chuguna na zavode im. Dzerzhinskogo / V. I. Loginov, G. Yu. Kryachko, O. A. Babenko et. al. *Metallurgicheskaya I gomorudnaya promishlennost'*. 1983. №1. P. 9-13.
14. Rezhimi raboti domennih pechei I vozduchoduvnih mashin v usloviyah nestabil'nosti proizvodstva / G. Yu. Kryachko, D. V. Pikalov, L. A. Safina-Valueva. *Bulleten' «Chernaya metallurgiya»*. 2010. №8. P. 26-30.
15. Panin V. N. Modernizatsiya diyuchih domennih tsehiv Ukraini. «*Novini nauki Pridneproviya*» do naukovopraktichnoi konferentsii, prisyachenoj 100-richchyu vidomogo vchenogo G. A. Volovika : zb. naukovih dopovidei. Dnipropetrovsk : «Dnipro-VAL», 2010. P. 39-43.
16. Rabota domennoi pechi na 100% okatishei na zavode v P'ombino / G. Perini, J. Merollari, U. Chiarotti et al. // *Novosti chernoi metallurgii za rubezhom*.
17. Design Innovation and Practice of Laiwu Steel 3# 4000 m<sup>3</sup> Blast Furnace. URL: [http://www.meconlimited.co.in/writereaddata/MIST\\_2016/sesn/tech\\_3/2.pdf](http://www.meconlimited.co.in/writereaddata/MIST_2016/sesn/tech_3/2.pdf)
18. Masaaki Naito. Recent progress of practical BF operation in Japan and innovation trials for the future. *5<sup>th</sup> European Coce and Ironmaking Congress*, 12—15 June 2005. 1. P. Mo 1.2.1 - Mo 1.2.14.
19. Production and Development of large Blast Furnace from 2011 to 2014 in China / D. Zhou, S. Cheng, Y. Wang, X. Jiang. *ISIJ International*. Vol. 55 (2015), №12. pp. 2519-2524.
20. Iron Making - MECON limited. URL : [http://www.meconlimited.co.in/Metals/Iron\\_Making.aspx](http://www.meconlimited.co.in/Metals/Iron_Making.aspx)
21. 5500 m<sup>3</sup> Blast furnace project of Shougang Jingtang. URL: [https://sgbsei.com/blast\\_furnace.html](https://sgbsei.com/blast_furnace.html)
22. Tata Steel limited Kalinganagar Steel Plant Project highlights. URL: <https://www.tatasteel.com/tata-steel-brochure-19-20/inside-tata-steel.html>
23. Blast furnace №3 was expanded from 4350 to 5600 m<sup>3</sup> (POSCO). URL: <https://newsroom.posco.com/en/posco-gets-smart-pohang-blast-furnace-no-3>
24. Nippon Steel to renovate Blast furnace at Nagoya for \$ 450 million. URL : <https://www.reuters.com/article/nippon-steel-japan-idUSL4N2D11BS>
25. JFE Steel starts №6 Blast Furnace renovation Work Chiba 5153 m<sup>3</sup>. URL : <https://www.kallanish.com/en/news/steel/market-reports/article-details/jfe-steel-starts-no6-blast-furnace-renovation-0922>
26. JFE Steel Corporation has announced that it has restarted the BF №4 at is Kurashiki plant inner volume was expanded from 5005 m<sup>3</sup> to 5100 m<sup>3</sup>. URL : <https://www.steelorbis.com/steel-news/latest-news/jfe-steel-restarts-blast-furnace-no-4-at-kurashiki-plant-1226375.htm>
27. Kryachko G. Yu. K voprosu o razvitii domennogo proizvodstva. *Stal'*. 2003. №5. P. 7-11.