

DOI: 10.31319/2519-2884.40.2022.2

УДК 669.162

**М.С. Кузнецов**<sup>1</sup>, здобувач, maks\_kuznetsov82@mail.ru

**Г.Ю. Крячко**<sup>2</sup>, к.т.н., доцент, krachkogennadij@gmail.com

**Є.М. Сігарьов**<sup>2</sup>, д.т.н., професор, en\_sigarev@ua.fm

<sup>1</sup>ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», м. Кам'янське

<sup>2</sup>Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

## ТЕНДЕНЦІЇ ЗМІНИ РОЗМІРІВ ГОРНА НОВИХ ТА МОДЕРНІЗОВАНИХ ДОМЕННИХ ПЕЧЕЙ

*Метою роботи є виявлення тенденцій в проектуванні горна доменних печей. Для реалізації поставленої мети використали проектну і практичну інформацію з досліджуваного питання за тривалий проміжок часу з 70-х років минулого століття до останнього десятиліття ХХІ. 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. Абсолютна висота горна сучасних печей середнього ( $d_g = 11\div 12$  м) і великого ( $d_g > 12$  м) об'єму знаходиться в межах 4,5÷5,4 м з уповільненим зростанням при збільшенні корисного об'єму печей. Встановлено діапазон коливання відносного корисного об'єму горна щодо об'єму протитокової частини печей в межах 0,15÷0,22 і його деяке зростання зі збільшенням корисного об'єму агрегатів. При проектуванні конструкції горна нових і модернізації існуючих печей рекомендовано підтримувати значення  $V_{кг}/n_f$  і  $V_{кг}/n_{chl}$  на мінімально можливому рівні зважаючи на специфіку монтажу фурмених пристроїв і обслуговування випускної системи доменних печей.*

**Ключові слова:** доменна піч; горн; розмір; об'єм; відносні показники; тенденція; зміни.

*To achieve the goals set, we used project and practical information on the issue under study for a long period of time from the 70s of the last century to the last decade of the XXI century. To assess the changes that have occurred, in addition to the absolute dimensions hearth, indicators were used that indirectly assess the load hearth volume on the heat supply of one tuyere hearth and load hearth volume on the exhaust system blast furnace. The proposed indicators determine share useful volume of the hearth per one air tuyere, and the share of the useful volume of the hearth related to one cast-iron tap-hole. The absolute height hearth modern furnaces medium ( $d_g = 11\div 12$  m) and large ( $d_g > 12$  m) volume is in the range of 4,5÷5,4 m with slow growth with an increase in the useful volume of furnaces. The range fluctuations relative useful volume hearth relative to the volume countercurrent part furnaces within 0,15÷0,22 and its certain increase with an increase in the useful volume of the units is established. When designing the design of the hearth of new and upgrading existing furnaces, it is recommended to maintain the values of  $V_{kg}/n_f$  and  $V_{kg}/n_{chl}$  at the minimum possible level due specifics installation of tuyere devices and maintenance exhaust system of blast furnaces.*

**Keywords:** blast furnace; furnace; size; volume; relative values; trend; changes.

### Постановка проблеми

Горн доменної печі виконує дві основні функції — приймає гаряче стиснене дуття крізь повітряні фурми у верхній частині, що забезпечує горіння палива і генерування гарячих відновувальних газів, а також служить металоприймачем у нижній своїй частині, де доводяться до кінцевого стану і накопичуються перед періодичним випуском продукти плавки.

Робочий простір горна від горизонту фурмених отворів донизу заповнений розжареним коксом в сипучому та ущільненому станах, крізь який зверху дренуються чавун і шлак. Продукти плавки у процесі накопичення спочатку затоплюють коксовий масив, а потім починають виштовхувати масив вгору, погіршуючи розвиток фурмених вогнищ. Після випуску розплавів кокс осідає, поновлюється активна робота фурм і цикл нестационарності доменного процесу

повторюється. Нестационарність знижує техніко-економічні показники доменної плавки, тому ведеться пошук її усунення шляхом вибору раціональних розмірів горна і режимів випуску продуктів плавки.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Протягом останніх десятиліть будівництво нових і модернізація існуючих доменних печей йшли в напрямку збільшення висоти горна, підвищення рівня повітряних фурм і збільшення їх чисельності [1]. Нажаль в сучасних публікаціях [2,3], присвячених дослідженню тенденцій в розвитку профілювання доменних печей, питання відповідності розмірів горна надфурмній частині профілю зовсім не розглядається. Лише у виданні [4] була відмічена тенденція збільшення висоти горна.

Зважаючи на недостатнє висвітлення інформації в сучасних джерелах слід звернутися до публікацій, в яких раніше були окреслені підходи до визначення розмірів горна.

Аргументи на користь необхідності збільшення об'єму горна були наступні. На думку авторів [5] недостатня ємкість горна примушує учащати випуски продуктів плавки, що погіршує десульфурацію чавуну. В іншому дослідженні [6] вказувалося на необхідність деякого збільшення об'єму горна із за збільшення кількості продуктів плавки, що приходилося на одне фурмене вогнище. Автори [7], посиляючись на динаміку горіння шлакових фурм в процесі розгорання кладки печі, рекомендували збільшувати відносну глибину горна за рахунок збільшення відстані між горизонтами повітряних фурм і чавунних льоток. Поглиблювати горн доменних печей з діаметром останнього > 10 м з метою зменшення коливань теплового стану печі, викликаних вертикальним пересуванням коксу, було рекомендовано в роботі [8].

Про напружену роботу горна внаслідок переповнення горна шлаком свідчать джерела [9,10]. Так спеціалістами JEF Corporation (Японія) [9] на доменній печі з діаметром горна 15 м встановлено, що збільшення продуктивності всього лиш на 10 % з 10 до 11 тис. т/добу супроводжується підвищенням рівня шлаку на 1 м. Відмічено також, що робота печі з високою продуктивністю і збільшенням тривалості випуску підвищує рівень шлаку. Автор дослідження [10] розрахунком показав, що при однакових умовах плавки кількість залишкового шлаку, що залишається в горні після випуску, суттєво зростає з об'ємом печі.

Іншої думки про розміри горна дотримувалися автори робіт [11–13]. Зокрема в роботі [11] стверджувалося, що глибокий горн примушує в більшій мірі перегрівати продукти плавки, нерационально витрачаючи додаткове паливо. Автори [12] вважали горн типових радянських доменних печей завищеним, оскільки такий горн збільшує нестационарність процесу. В роботі [13] для зниження рівня залишкового шлаку у металоприймачі при ході печі з низькими витратами палива і температурою чавуну рекомендувалося проектувати піч з неглибоким горном.

Таким чином огляд відомих робіт з досліджуваного питання не виявив визначеності у поглядах на раціональну висоту і відносний об'єм горна.

### Формулювання мети дослідження

Метою роботи є виявлення тенденцій в проектуванні горна доменних печей.

### Виклад основного матеріалу

В якості висхідного матеріалу для аналізу були використані опубліковані дані [3] про розміри типових радянських печей і потужних печей світу, збудованих у 70-ті роки ХХ століття і в наступні десятиліття. До згаданої інформації додали дані з останніх публікацій щодо проектування нових [14] і реконструкції існуючих [15] печей. За розмірами агрегатів, наведених в [3,14 і 15], визначили корисні об'єми горна  $V_{\text{кг}}$ , об'єми протитокової частини печей  $V_{\text{пр}}$ , відносний до протитокової частини корисний об'єм горна  $V_{\text{кг}}/V_{\text{пр}}$ , частку об'єму горна, що припадає на одну повітряну фурму  $V_{\text{кг}}/n_{\text{ф}}$  і частку об'єму горна, що припадає на одну чавунну льотку  $V_{\text{кг}}/V_{\text{чл}}$ .

Останні характеристики горна посередньо оцінюють навантаження об'єму горна на теплове забезпечення одного фурменого вогнища і навантаження об'єму горна на випускную систему доменної печі, а саме на одну чавунну льотку. Перший показник оцінює спроможність забезпечення теплом об'єму горна, а другий здатність випускної системи забезпечити своєчасне видалення продуктів плавки.

Оскільки не тільки горн, але й верхня частина зумпфу приймає участь в циклі накопичення і випуску продуктів плавки, то за корисну висоту горна приймають [10] відстань між рівнями каналу чавунної льотки, який знаходиться всередині печі і рівнем допустимого заповнення горна, що знаходиться нижче на 0,5 м горизонту повітряних фурм. При визначенні корисних висоти і об'єму горна за методикою [10] виникають складнощі при визначенні об'єму зумпфу, що приймає участь в процесі накопичення і видачі продуктів плавки (невідомі кут нахилу каналу чавунної льотки та її довжина). Тому корисний об'єм горна оцінювали об'ємом, який знаходився між вісями повітряних фурм і чавунних льоток. Числові значення корисних об'ємів, розрахованих автором [10] і в нашій роботі виявилися однаковими. Таке спрощення дозволило зберегти частку зумпфу в корисному об'ємі горна за рахунок умовного підняття дзеркала шлаку до рівня фурм.

Результати розрахунків представлені в табл. 1 і 2. Першою особливістю даних, наведених у табл. 1 є наявність печей суттєво різного об'єму — від так званих компактних ( $V_{\text{кор}}$  1033—1513 м<sup>3</sup>) до потужних великого об'єму ( $V_{\text{кор}}$  5000 і 5500 м<sup>3</sup>).

Таблиця 1. Характеристика профілю типових радянських печей

Об'єм		Горн			Кіл-сть фурм, $n_{\text{ф}}$	$V_{\text{кг}} /$ $V_{\text{пр}}$	$V_{\text{кг}} / n_{\text{ф}},$ м <sup>3</sup>
корисний	протитоківий $V_{\text{пр}}$	діаметр, м	висота, м	корисний об'єм, м <sup>3</sup>			
1033	884	7,2	3,2	111	14+16	0,13	7,9+6,9
1386	1195	8,2	3,2	143	16	0,12	8,9
1513	1317	8,6	3,2	195	18	0,15	10,8
1719	1495	9,1	3,2	176	18	0,12	9,8
2000	1704	9,75	3,5	225	20	0,13	11,2
2300	1958	10,5	3,8	286	20	0,15	14,3
2700	2116	11,0	3,9	323	20+24	0,15	16,2+13,5
3000	2566	11,6	3,9	358	28	0,14	12,8
3200	2763	12,0	3,9	385	28	0,14	13,8
5000	4257	14,7	4,4	654	36+42	0,15	18,2+15,6
5500	4501	15,1	5,7	931	40	0,21	23,2
Середні значення для 11-ти печей :						0,14	13,2
Середні значення для печей з діаметром горна 14,7-15,1 м :						0,18	20,0

Таблиця 2. Характеристики профілю потужних печей Японії, Західної Європи і США, побудованих в 70-х роках ХХ ст.

Назва печі, рік пуску	Об'єм, м <sup>3</sup>		Горн			Кіл-сть фурм, шт. $n_{\text{ф}}$	$V_{\text{кг}} /$ $V_{\text{пр}}$	$V_{\text{кг}} /$ $n_{\text{ф}}$
	корисний	протитоківий (робочий), м <sup>3</sup> $V_{\text{пр}}$	діаметр, м	висота, м	корисний об'єм, м <sup>3</sup> $V_{\text{кг}}$			
«Kashima», Japan, №2, 1973	4080	3400	13,800	6,300	867	38	0,25	22,8
«Oita», Japan, №1, 1972	4158	3265	14,000	5,200	723	38	0,22	19,0

Продовження таблиці 2

«Indiana Harbor», USA, №7, 1980	4175	3424	13,715	4,995	663	40	0,19	16,6
«Fukuyama», Japan, №4, 1971	4197	3519	13,800	5,750	784	40	0,22	19,6
«Sparrows Point», USA, L, н.д.	4220	3453	13,565	5,715	752	38	0,22	19,8
«Kashima», Japan, №4, 1977	4500	3693	14,100	5,300	904	40	0,24	22,6
«Redcar», UK, №1, 1977	4572	3748	14,000	5,400	754	36	0,20	20,9
«Fukuyama», Japan, №5, 1973	4617	3813	14,000	6,200	877	42	0,23	20,9
«Kashima», Japan, №3, 1977	5050	4096	15,000	5,100	812	40	0,20	20,3
«Oita», Japan, №2, 1976	5070	3982	14,800	4,165	631	40	0,16	15,8

Другою особливістю є те, що поява проектних профілів розтягнута у значному проміжку часу від 20-х до 80-х років минулого століття, що закономірно пов'язано з активним розвитком доменного виробництва в цей період. Тому, враховуючи вказані особливості, не слід сприймати усереднені дані як загальні характеристики широкого спектру печей спроектованих у різний час. Порівнянню з даними табл. 2 підлягають тільки розміри профілів доменних печей об'ємом 3200 і 5000 м<sup>3</sup>, введених в дію в 1978 і 1974 роках відповідно.

Однак не можна не відзначити те, що довгий час при проектуванні профілів печей об'ємом 1513, 2300, 2700 і 5000 м<sup>3</sup> зберігався один і той же відносний об'єм горна  $V_{\text{кр}}/V_{\text{пр}} = 0,15$ . І лише в останньому проекті печі об'ємом 5500 м<sup>3</sup>, враховуючи світову тенденцію, ця величина була збільшена до 0,21.

Стосовно даних, наведених у табл. 2, слід зазначити відповідність інформації обмеженому проміжку часу, а саме 70-х рокам минулого століття. Цей період був переламним в плані переходу до будівництва потужних доменних печей з широким діапазоном коливання висоти горна від 4 до 7 м. Навіть на одному підприємстві йшов пошук раціональної глибини горна. Заслугує розгляд тенденції його напрямку на підприємствах Японії. Так ДП №2 заводу Kashima, введена в дію в 1973 р. мала висоту горна 6,3 м, а ДП №3 і 4, що мали більший об'єм і були пущені в 1977 р. відповідала висота горна 5,1 і 5,3 м. На ДП №2 заводу Oita, задатої у 1976 р., горн був меншої величини (4,165 м) ніж на ДП №1 з меншим корисним об'ємом (5,2 м), яка була задата у 1972 р.

Різний підхід проектувальників до створення раціонального профілю сучасних доменних печей можна ілюструвати даними, наведеними в табл. 3.

З даних, приведених в табл. 3 видно, що зі збільшенням діаметру горна зростають його абсолютна висота і відносний об'єм. Найменший відносний об'єм горна спостерігався для доменних печей, запроєктованих Гипрометзом (РФ) 0,15; найбільший для ДП №6 Порт Кембла (Австралія) — 0,19 і для японських печей — 0,20÷0,21. Щодо зменшеного корисного об'єму

китайської печі слід зазначити, що піч мала конструкційний розмір на 0,5 м, як було прийнято в інших розрахунках, а 1 м. Тому при суттєвій абсолютній висоті горна  $V_{\text{кг}}$  знизився до 0,18.

Таблиця 3. Характеристики профілю доменних печей відомих проектувальників за даними Метпромпоекту (РФ) [3] і [14]

Назва печі	Проектувальник	Горн, м		Робочий об'єм, м <sup>3</sup>	$V_{\text{кг}} / V_{\text{пр}}$
		Діаметр $d_r$	Висота $h_r$		
Печі з діаметром горна 11-12 м					
Сидмар А, Бельгія	PW	11,0	4,60	2550	0,16
НЛМК №6, РФ	Гипромез	12,0	4,60	2992	0,15
Порт Кембла №5, Австралія	PW	12,0	4,35	2860	0,17
Порт Кембла №6, Австралія	PW	11,8	4,80	2749	0,19
Северсталь №4, РФ	Гипромез	11,0	4,40	2469	0,15
середнє			4,46	2724	0,16
Печі з діаметром горна 13-14 м					
НЛМК №7, РФ	PW	13,0	5,20	3739	0,17
Швельгерн №1, Німеччина	MANGHN	13,6	5,10	3844	0,18
Курашики №2, Японія		13,7	5,10	4100	0,20
середнє			5,13	3894	0,18
Печі з діаметром горна 15,5-15,6 м					
Шоуганд, Китай		15,5	5,40	4670	0,18
Oita №2, Японія		15,6	5,35	4753	0,21
середнє			5,38	4712	0,19

Дані із наведеної вище табл. 3 свідчать також про уповільнення зростання висоти горна в міру збільшення поперечних розмірів і робочого об'єму печей. Якщо для групи печей з  $d_r = 13 \div 14$  м в порівнянні із групою з  $d_r = 11 \div 12$  м середня висота горна зросла на 0,67 м або на 15 %, то для печей з  $d_r = 15,5 \div 15,6$  м у порівнянні з групою  $d_r = 13 \div 14$  м підвищення складало лише 0,25 м або 5 %.

На прикладі модернізації однієї з надпотужних доменних печей світу Oita №2 відслідковується напрям до збільшення висоти горна у другу кампанію експлуатації (табл. 4), завдяки чому відносний об'єм горна збільшився з 0,158 до 0,216.

Таблиця 4. Модернізаційні зміни у проектуванні профілю доменної печі Oita №2 (Японія) за даними [3] і [15]

Параметри	Кампанії		
	1	2	3
Об'єм, м <sup>3</sup> :			
- корисний	5070	5245	5775
- робочий	3982	4312	4753
Горн:			
- діаметр, м	14,8	14,9	15,6
- висота, м	4,165	5,35	5,35
- площа, м <sup>2</sup>	172	174	191
- об'єм, м <sup>3</sup>	631	933	1022
$V_{\text{кг}} / V_{\text{пр}}$	0,158	0,216	0,215

Продовження таблиці 4

Продуктивність, т/м <sup>2</sup> ·добу:			
- проектна	н.д.	71,8	70,7
- рекордна	н.д.	76,8	72,3
Кількість:			
- повітряних фурм	40	40	42
- чавунних льоток	4	4	5
$V_{кг}/n_{ф}, м^3$	15,8	23,3	24,3
$V_{кг}/n_{чл}, м^3$	157,8	233,2	204,4

І цей об'єм залишився приблизно однаковим (0,215) у третю кампанію при збереженні однакової висоти горна незважаючи на збільшення його діаметру і абсолютного об'єму. При реконструкції печі на третю кампанію були прийняті раціональні рішення збільшення кількості повітряних фурм і чавунних льоток, за рахунок чого не суттєво зросло навантаження об'єму горна на одну повітряну фурму з 23,3 до 24,3 м<sup>3</sup> і навіть зменшено навантаження на одну чавунну льотку, а саме з 233,2 до 204,4 м<sup>3</sup>.

Раніше вважалося [16], що при добовій продуктивності 10÷15 тис. т чавуну для нормальної роботи горна достатньо 3-х чавунних льоток. Практика роботи радянських печей показала ефективність наряду збільшення числа льоток на печах середнього об'єму з меншою абсолютною продуктивністю. Так на ДП №4 «Северсталі» об'ємом 2700 м<sup>3</sup> і добовій продуктивності печі 5000 т було обладнано 3 чавунні льотки при відносному об'ємі горна на льотку 107,7 м<sup>3</sup>. Саме тому на протязі тривалого часу ДП №4 залишалася найбільш продуктивним агрегатом серед печей об'ємом 2700 м<sup>3</sup> колишнього СРСР [17]. Обладнання ДП №6 Новолипецького металкомбінату чотирма чавунними льотками при добовій продуктивності 7000 т чавуну і навантаженні на одну льотку 96,2 м<sup>3</sup> корисного об'єму горна створило умови для високої дренажної спроможності горна, внаслідок чого кількість горілих повітряних фурм була найнижчою в країні серед печей середнього і великого об'єму [15].

Дані про проектні профілі розробки фірми Tissen Shtal [3], свідчать (табл. 5) про збільшення об'єму горна як при зростанні корисного об'єму агрегату (ДП №1 → ДП №2 TS) так і зменшенні його (ДП №4 → ДП №9 Hoogowens).

Таблиця 5. Характеристики проектних профілів доменних печей Tissen Shtal і Hoogowens за даними [3]

Характеристики	Tissen Shtal		Hoogowens	
Об'єм, м <sup>3</sup> :				
- робочий, протитоковий	3601	4477	1852	1800
- корисний	4416	5513	2323	2132
Горн, м:				
- діаметр	13,1	14,4	10,4	10,05
- висота	4,859	5,1	4,238	4,5
Кількість повітряних фурм				
$n_{ф}, шт.$	40	42	30	28
$V_{кг}/V_{пр}$	0,16	0,17	0,17	0,18
$V_{кг}/n_{ф}, м^3$	22,1	29,4	16,2	17,6

Зважаючи на дані табл. 3—5 можна стверджувати, що раціональна висота горна для печей з діаметром горна в межах 10÷15,6 м знаходиться у діапазоні 4,5÷5,5 м.

Порівнюючи дані табл. 2 з однієї сторони і табл. 3—5 з другої видно, що в більш сучасних проектах профілю звужився діапазон коливання розмірів відносного об'єму горна японських печей з 0,16÷0,25 до 0,20÷0,216. Звужений діапазон зміни притаманний проектам європей-

ських печей  $0,16 \div 0,18$  (див. табл. 3 і 5). Винятком є доменні печі РФ — НМЛК №6 і «Северсталь» №4 де, як і в радянські часи  $V_{\text{кг}}/V_{\text{пр}}$  склав  $0,15$ .

Причиною відсутності змін у збільшенні відносного об'єму горна при реконструкції доменних печей країн колишнього СРСР є намагання зберегти висоту протитокової частини профілю, перш за все шахти. На прикладі ДП №6 НЛМК (РФ), реконструйованої в 1993 р [19]. видно, що незважаючи на збільшення висоти горна з 3,9 до 4,6 м відносний об'єм горна зріс тільки з  $0,14$  до  $0,15$ , що не відповідає сучасним підходам до модернізації профілю печей.

#### Висновки

Показано, що перехід від проектування високих горнів з  $d_r > 6$  м до горнів з  $d_r < 6$  м відбувся ще у 70-х роках ХХ ст. Абсолютна висота горна сучасних печей середнього ( $d_r = 11-12$  м) і великого ( $d_r > 12$  м) об'єму знаходиться в межах  $4,5 \div 5,4$  м з уповільненим зростанням при збільшенні корисного об'єму печей.

Встановлено діапазон коливання відносного корисного об'єму горна щодо об'єму протитокової частини печей в межах  $0,15 \div 0,22$  і його деяке зростання зі збільшенням корисного об'єму агрегатів.

Причиною відсутності змін  $V_{\text{кг}}/V_{\text{пр}}$  для реконструйованих типових радянських печей, незважаючи на зростання висоти горна, є збереження надмірної висоти протитокової частини печей.

Зважаючи на подвійну роль горна в доменному процесі запропоновані показники, які являють собою частки корисного об'єму горна, що припадають на одну повітряну фурму  $V_{\text{кг}}/n_{\text{ф}}$  і на одну чавунну лютку  $V_{\text{кг}}/n_{\text{чл}}$ . За допомогою цих показників можлива посередня оцінка навантаження корисного об'єму горна на теплове забезпечення одного фурменого вогнища і навантаження корисного об'єму горна на випускну систему доменної печі. Показано, що при проектуванні конструкції горна бажано підтримувати значення  $V_{\text{кг}}/n_{\text{ф}}$  і  $V_{\text{кг}}/n_{\text{чл}}$  на мінімально можливому рівні.

#### Список використаної літератури

1. Кривченко Ю.С., Бычков С.В., Жариков А.Н. Состояние и проблема реконструкции доменных печей Украины. *Теория и практика производства чугуна : Сб. тр. Международной научно-технической конференции*. Кривой Рог. КГГМК «Криворожсталь». 2004. С. 122–132.
2. Чайка А.Л., Лебедь В.В., Сохацкий А.А. и др. Исследование и анализ проектов конструкций профиля и показателей доменной плавки при переходе к технологии работы с применением пылеугольного топлива в условиях Украины. *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии : Сб. научн. тр.* Дніпро : ІЧМ НАН України. 2017. Вип. 31. С. 53–67.
3. Горупаха В.В., Семенов Ю.С., Шумельчик Е.И., Вышинская Е.Д. Тенденции изменения проектных профилей доменных печей в современных топливно-сырьевых условиях. *Сталь*. 2019. №2. С. 2–7.
4. Каплун Л.И., Малыгин А.В., Онорин О.П., Пархачев А.В. Устройство и проектирование доменных печей : учебное пособие. Екатеринбург : УрФУ. 2016. 219 с.
5. Остроухов М.Я., Шпарбер Л.Я. Эксплуатация доменных печей. М. : Металлургия. 1975. 264 с.
6. Леонидов Н.К. Стефанович М.А., Дружков В.Г. О профиле доменной печи. *Сталь*. 1976. №6. С. 485–491.
7. Крячко Г.Ю., Лебедь П.К., Бабенко О.А. и др. О профиле проектируемых доменных печей большого объема. *Интенсификация процессов доменной плавки и освоение печей большого объема*. Темат. отрасл. сб. №7. М. : Металлургия. 1981. С. 4–10.
8. Бабарыкин Н.Н. О рациональном профиле современной печи. *Изв. вузов. Черная металлургия*. 1987. №7. С. 20–32.
9. *Реферативный журнал «Металлургия»*. 2007. Реф. 07.03-15В.112.
10. Новохатский А.М. Теоретические основы движения продуктов плавки и управление процессами в горне доменной печи : Дис. ... д-ра техн. наук. Алчевск. 2009. 392 с.
11. Жембус М.Д. Совершенствование профиля доменных печей. *Сталь*. 1977. №5. С. 388–390.

12. Монетов Г.В., Кропотов В.К. О высоте горна доменных печей. *Изв. вузов. Черная металлургия*. 1981. №10. С. 23–26.
13. Влияние формы свободного пространства в горне на характер выпуска жидких продуктов при снижении температуры в доменной печи. *Новости черной металлургии за рубежом*. 2004. №6. С. 28–29.
14. Zhang Fuming. Design, Construction and commissioning of 5500 m<sup>3</sup> Blast Furnace at Shougang jinotang // *Technical contribution to the 6<sup>th</sup> International Congress on the Science and Technology of Ironmaking – ICSTI*. October 14<sup>th</sup> to 18<sup>th</sup>. 2012. Piode Janeiro. RJ, Brazil. P. 185–194.
15. Takashi Miwa. Recent Development in Iron making Technologies in Japan / Miwa Takashi, Kurihara Kiichiro // *Steel research international*. 2011. Vol. 82. Issue 5. P. 422–466.
16. *Реферативный журнал «Металлургия»*. 1979. Реф. 5В194.
17. Логинов В.Н., Захаров А.В., Нетронин В.И. и др. Капитальный ремонт с реконструкцией доменной печи №4 ОАО «Северсталь» *Черные металлы*. 2007. №6. С. 8–13.
18. Коробов И.И. Анализ работы горна больших доменных печей. *Металлургия и коксохимия*. Киев. 1982. №75. С. 102–106.
19. Курунов И.Ф., Ляпин С.С., Емельянов В.Л. Доменная печь №6 ОАО НЛМК – лучший российский проект. *Металлург*. 2008. №10. С. 40–45.

#### HEARTH SIZE TRENDS IN NEW AND MODERNIZED BLAST FURNACES Kuznetsov M., Kryachko G., Sigarev E.

##### Abstract

The efficiency and effectiveness of blast-furnace smelting largely depends on the parameters hearth and its mode of operation. The purpose work is to identify trends in the design hearth of blast furnaces. To achieve the goals set, we used project and practical information on the issue under study for a long period of time from the 70s of the last century to the last decade of the XXI century. To assess the changes that have occurred, in addition to the absolute dimensions hearth (diameter, height and relative useful volume hearth to the countercurrent part of the furnace), indicators were used that indirectly assess the load hearth volume on the heat supply of one tuyere hearth and load hearth volume on the exhaust system blast furnace. The proposed indicators determine share useful volume of the hearth per one air tuyere, and the share of the useful volume of the hearth related to one cast-iron tap-hole. It is shown that the transition from designing high hearths with  $d_g > 6$  m to hearths with  $d_g < 6$  m occurred as early as in the 70s of the XX century. The absolute height hearth modern furnaces medium ( $d_g = 11–12$  m) and large ( $d_g > 12$  m) volume is in the range of 4,5÷5,4 m with slow growth with an increase in the useful volume of furnaces. The range fluctuations relative useful volume hearth relative to the volume countercurrent part furnaces within 0,15 ÷ 0,22 and its certain increase with an increase in the useful volume of the units is established. The reason for the absence of changes in  $V_{kg}/V_{pr}$  for the reconstructed typical Soviet furnaces, despite increase in the height hearth, is the preservation excessive height countercurrent part of the furnaces. When designing the design of the hearth of new and upgrading existing furnaces, it is recommended to maintain the values of  $V_{kg}/n_f$  and  $V_{kg}/n_{chl}$  at the minimum possible level due specifics installation of tuyere devices and maintenance exhaust system of blast furnaces.

##### References

- [1] Krivchenko, Yu. S. Bichkov, S.V. & Zharikov, A.N. (2004). Sostoyanie i problema rekonstruktsii domennih pechei [Status and problem of reconstruction of blast furnaces in Ukraine]. *Teoriya i praktika proizvodstva chuguna – Theory and practice of iron production : Sb. tr. Mizhnarodnoi nauchno-technicheskoi konferentsii*. Krivoi Rog : KGGMK «Krivorozhstal». (pp. 122-132) [in Russian].
- [2] Chaika, A.L., Lebed V.V. & Sohatskiy, A.A. (2017). Issledovanie i analiz proektov konstruktssii profilia i pokazatelei domennoi plavki pri perehode k technologii raboti s primeneniem



- pileugolnogo topliva v usloviyah Ukraini [Research and analysis of profile designs and indicators of blast-furnace melting during the transition to the technology of work with the use of pulverized coal in the conditions of Ukraine]. *Fundamentalnie i prikladnie problemi chernoï metallurgii - Fundamental and Applied Problems of Steel : Sb. nauch. tr. – Dnipro : ICHM NAN Ukraini.* (Issue 31). (pp. 53-67) [in Russian].
- [3] Gorupaha, V.V., Semenov, Yu.S., Shumelchik, E.D. & Vishinskaya, E.D. (2009). Tendetsii izmeneniya proektnih profilei domennih pechei v sovremennih toplivno-sireviih usloviyah [Trends in Changes in Design Profiles of Blast Furnaces in Modern Fuel and Raw Material Conditions]. *Stal – Steel*, 2, (2-7) [in Russian].
- [4] Kaplun, L.I., Maligin, A.V., Onorin, O.P. & Parhachev, A.V. (2016). *Ustroistvo i proektirovanie domennih pechei [Device and design of blast furnaces]*. Ekaterinburg: UrFU [in Russian].
- [5] Ostrouhov, M.Ya. & Shparber, L.Ya. (1975). *Ekspluatatsia domennih pechei [Operation of blast furnaces]*. Moskva : Metallurgy [in Russian].
- [6] Leonidov, N.K., Stefanovich, M.A. & Druzhkov, V.G. (1976). O profile domennoi pechi [About the blast furnace profile]. *Stal – Steel*, 6, (485-491) [in Russian].
- [7] Kryachko, G.Yu., Lebed, P.K. & Babenko, O.A.. (1981). O profile proektiruemih domennih pechei bolshogo obema [About the profile of large volume blast furnaces being designed]. *Intensifikatsia protsetov domennoi plavki i osvoenie pechei bolshogo obema : Temat. otrasl. sb.* Moskva : Metallurgy. (Issue 7), (pp. 4-10) [in Russian].
- [8] Babarikin, N.N. (1987). O ratsionalnom profile sovremennoi pechi [About the rational profile of a modern furnace]. *Izvestia vuzov. Chernaia metallurgia - Steel in Translation*, 7, (20-32) [in Russian].
- [9] *Referativnii zhurnal «Metallurgy»*. 2007. Ref. 07.03-15B.112 [in Russian].
- [10] Novohatskii, A.M. (2009). Teoreticheskie osnovi dvizheniya produktov plavki i upravlenie protsesami v gorne domennoi pechi [Theoretical foundations of the movement of smelting products and process control in the hearth of a blast furnace]. *Doctor's thesis*. Alchevsk [in Russian].
- [11] Zhembus, M.D. (1977). Sovershenstvovanie profilii domennih pechei [Improving the profile of blast furnaces]. *Stal – Steel*, 5,(388-390) [in Russian].
- [12] Monetov, G.V. & Kropotov V.K. (1981). O visote gorna domennih pecheiy [About the height of the hearth of blast furnaces]. *Izvestia vuzov. Chernaia metallurgia - Steel in Translation*, 10, 23-26 [in Russian].
- [13] Nouchi, T., Watakabe S. & Takeda M. (2004). Vliyanie formi svobodnogo prostrantsva v gorne na harakter vipuska zhidkih produktov pri snizhenii temperaturi v domennoi pechi [Influence of the form of free space in the hearth on the nature of the release of liquid products with a decrease in temperature in a blast furnace] // *Novosti chernoï metallurgii za rubezhom*, 6, 28-29 [in Russian].
- [14] Zhang, F. (2012). Design, Construction and commissioning of 5500 m<sup>3</sup> Blast Furnace at Shougang jinotang. *Technical contribution to the 6<sup>th</sup> International Congress on the Science and Technology of Ironmaking – ICSTI*. Rio de Janeiro: RJ, Brazil. (pp. 185-194) [in English].
- [15] Takashi, M. & Kurihara, K. (2011). Recent Development in Ironmaking Technologies in Japan. *Steel research international*. (Vols. 82. Issue 5). (pp. 422-466) [in English].
- [16] *Referativnii zhurnal «Metallurgiya»*. 1979. Ref. 5B194 [in Russian].
- [17] Loginov, V.N., Zaharov, A.V. & Netronin, V.I. (2007). Kapitalniy remont s rekonstruktsieiy domennoiy pechi №4 OAO «Severstal» [Overhaul with reconstruction of blast furnace No. 4 of JSC Severstal]. *Chernie metally - Stahl und Eisen*, 6, 8-13 [in Russian].
- [18] Korobov, I.I. (1982). Analiz raboty gorna bolshih domennih pechei [Analysis of the operation hearth of large blast furnaces]. *Metallurgiya i koksohimiya - Metallurgy and coke chemistry*, 75. 102-106 [in Russian].
- [19] Kurunov, I.F., Lyapin, S.S. & Emelyanov, V.L. (2008). Domennaya pech №6 OAO NMLK – lutshiy rossiyskiy proekt [Blast furnace No. 6 of NLMK OJSC is the best Russian project]. *Metallurgiya – Metallurgy*, 10, 40-45 [in Russian].