

УДК 669.162.231/238

**Л. П. Грес**, д.т.н., проф., ORCID 0000-0002-5343-3438**О. О. Єрємін**, д.т.н., проф., ORCID 0000-0001-8306-578X**О. В. Гупало**, к.т.н., доцент, ORCID 0000-0003-3145-9220*Український державний університет науки і технологій*

## **ВПЛИВ ЗБАГАЧЕННЯ ПОВІТРЯ ГОРІННЯ КИСНЕМ НА СТІЙКІСТЬ КЛАДКИ ДОМЕННИХ ПОВІТРОНАГРІВАЧІВ**

**Анотація.** Статтю присвячено проблемі підвищення ефективності роботи обладнання доменних печей. Нині доменний газ не забезпечує заданих технологічних температур високотемпературних теплових агрегатів (доменні повітрянагрівачі, нагрівальні печі, тощо), так як його теплота спалення незначна (3200-3500 кДж/м<sup>3</sup>). В роботі виконано розрахунково-порівняльний аналіз двох способів підвищення температури горіння: збагачення доменного газу природним (базовий варіант) та збагачення повітря горіння киснем для умов доменних повітрянагрівачів с температурою під куполом 1300 та 1350 °С. Показано, що для забезпечення цих температур необхідно доменний газ з теплоото спалення 3228 кДж/м<sup>3</sup> збагачувати природним газом (відповідно 4,0 та 5,37 %) або збагачувати повітря горіння киснем (відповідно 29,4 та 32,3 %). При цьому необхідно мати резерв по наявності достатньої кількості технологічного кисню. При збагаченні повітря горіння киснем зменшується питомий вихід продуктів спалення, а для збереження тих же параметрів теплообміну в насадці повітрянагрівачів необхідно значно збільшувати витрати доменного газу. При цьому загальні витрати повітря горіння практично не змінюються.

Виконані розрахунки довжини факелу, розподілу температури та дійсних і допустимих навантажень по висоті камери горіння доменних повітрянагрівачів при забезпеченні температури під куполом 1350 °С за рахунок збагачення доменного газу природним (базовий варіант) та збагачення повітря горіння технологічним киснем. Показано, що при опаленні повітрянагрівачів з використанням кисню зменшується довжина факелу і максимум температур зміщується в нижню зону, де більше статичне навантаження на вогнетривку цеглу. Але при цьому допустимі навантаження більші дійсних і таким чином стійкість кладки камери горіння буде забезпечена. При сучасних дефіциті та вартості природного газу його використання є нерациональним. Підігрів компонентів горіння потребує значних капітальних витрат для будівництва комплексу теплообмінників. В деяких випадках на існуючих теплових агрегатах відсутні площі для розміщення теплообмінників. В той же час пристрої для використання кисню прості та дешеві.

**Ключові слова:** повітрянагрівачі, камера горіння, вогнетривка кладка, технологічний кисень, довжина факелу, дійсні та допустимі навантаження.

**Посилання для цитування:** Грес Л. П., Єрємін О. О., Гупало О. В. Вплив збагачення повітря горіння киснем на стійкість кладки доменних повітрянагрівачів. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. Вип. 36. 2022. С. 123-133. DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-123-133.

**Вступ.** На металургійних підприємствах з повним циклом основним видом палива для повітрянагрівачів є доменний газ. Але він не забезпечує потрібної температури горіння, так як його теплота спалення незначна (3,2-3,5 МДж/м<sup>3</sup>).

Температура горіння залежить від хімічної теплоти (теплоти спалення палива), фізичної теплоти компонентів горіння (температури підігріву газу та повітря горіння) та питомого виходу продуктів спалення, який визначається відсотковим вмістом кисню та азоту у повітрі спалення.

Для забезпечення необхідної температури у робочому просторі теплового агрегату зазвичай використовують наступні способи: збагачення доменного газу висококалорійними добавками (природний або коксовий газ); підігрів палива та повітря горіння; збагачення повітря горіння киснем.

В теперішній час у зв'язку з дефіцитом та значною вартістю природного газу його використання є нерациональним [1, 2]. Підігрів компонентів горіння потребує значних капітальних витрат для будівництва теплообмінників. В деяких випадках на існуючих теплових агрегатах відсутні площі для розміщення теплообмінників. В той же час пристрої для використання кисню при збагаченні повітря прості та дешеві.

В роботах [3, 4] розглянуто результати дослідження різноманітних способів підвищення температури горіння. Показана економічна та екологічна доцільність використання технологічного кисню, але при цьому відсутні данні впливу збагачення повітря киснем на строк експлуатації теплових агрегатів.

В даній роботі розглянуто вплив збагачення повітря киснем на стійкість кладки для умов доменних повітрянагрівачів.

**Методика проведення досліджень.** Розрахунки горіння газу виконували по методиці [5]. Склад доменного газу наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Склад доменного газу, %.

CO <sub>2</sub>	CO	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	$Q_n^p$ , кДж/м <sup>3</sup>
15,95	22,55	3,37	44,39	13,74	3228

Температура під куполом ( $t_{кун}$ ):

$$t_{кун} = \left( \frac{Q_n^p + Q_\phi^2 + Q_\phi^n}{v_\phi \cdot C_0^{t_k}} \right) \cdot \eta_{nir}, \quad (1)$$

де  $Q_n^p$  – теплота спалення газу, кДж/м<sup>3</sup>;  $Q_\phi^2$  та  $Q_\phi^n$  – фізична теплота підігріву газу та повітря, кДж/м<sup>3</sup>;  $v_\phi$  – питомий вихід продуктів горіння, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;  $C_0^{t_k}$  – середня теплоємність продуктів горіння, кДж/(м<sup>3</sup>·К);  $\eta_{nir}$  – пірометричний коефіцієнт, який враховує втрати теплоти в камері горіння.

В роботі [3] порівнювали параметри горіння газу при заданих, стабільних температурах під куполом – 1300 та 1350 °С при забезпеченні цих температур за рахунок збагачення доменного газу природним та збагачення повітря горіння киснем.

Результати розрахунку залежності температури під куполом від вмісту природного газу в природньо-доменній суміші та концентрації кисню в повітрі горіння наведено на рис. 1.

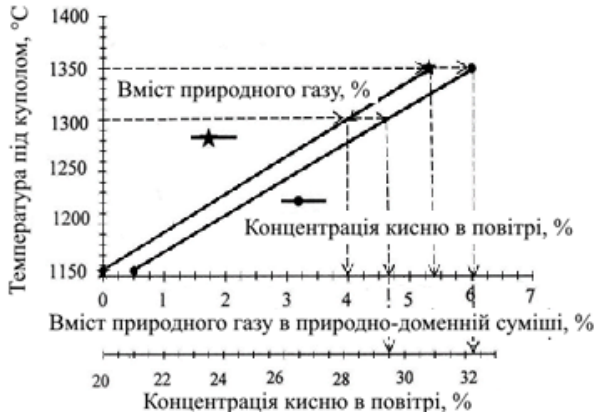


Рисунок 1 – Залежність температури під куполом від процентного вмісту природного газу в природньо-доменній суміші та концентрації кисню в повітрі горіння.

Для забезпечення температур під куполом 1300 та 1350 °С необхідно доменний газ збагачувати природним відповідно на 4,0 та 5,37 %, а повітря горіння киснем – до 29,4 та 32,3 %. Слід зазначити, що при збагаченні повітря горіння киснем зменшується питомий вихід продуктів горіння. Для збереження тих же параметрів теплообміну в насадці повітрянагрівачів необхідно підтримувати ті ж загальні витрати димових газів, як при збагаченні доменного газу природним, так і при збагаченні повітря горіння киснем:

$$V_{\partial}^{\partial z} = V_{\partial}^{O_2}, \quad (2)$$

або

$$B_1 v_{\partial}^{\partial z} = B_2 v_{\partial}^{O_2}, \quad (3)$$

де  $B_1$  та  $B_2$  – витрати доменного газу при збагаченні доменного газу природним та при збагаченні повітря горіння киснем, м<sup>3</sup>/год;  $v_{\partial}^{\partial z}$  та  $v_{\partial}^{O_2}$  – питомий вихід продуктів горіння при атмосферного повітря та повітря збагаченого киснем, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Таким чином витрати доменного газу при збагаченні повітря киснем будуть:

$$B_2 = B_1 \cdot v_{\partial}^{\partial z} / v_{\partial}^{O_2}. \quad (4)$$

Для оцінки стійкості вогнетривкої кладки зазвичай порівнюють значення допустимих та дійсних навантажень для даного матеріалу.

Сила стискання на вогнетривку цеглу

$$G = m \cdot g = V \cdot \rho \cdot g. \quad (5)$$

створює тиск стискання по висоті камери горіння:

$$P = G/f, \quad (6)$$

де  $f$  – площа горизонтального перетину кладки,  $\text{м}^2$ ;  $\rho$  та  $V$  – густина та об'єм кладки,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ,  $\text{м}^3$ .

Таким чином, тиск стискання (статичне навантаження) розраховується як:

$$P = h \cdot g \cdot \rho, \quad (7),$$

де  $h$  – висота кладки, м.

Для кладки, яка складається з декількох шарів різноманітних вогнетривів:

$$P_{\Sigma} = g \cdot (h_1 \cdot \rho_1 + h_2 \cdot \rho_2 + \dots + h_n \cdot \rho_n). \quad (8)$$

Для визначення допустимих навантажень, в залежності від температури, використовують довідкові дані [6].

Для оцінки умов експлуатації вогнетривів в камері горіння повітрянагрівачів необхідно розраховувати довжину факелу та розподіл температур по висоті цієї камери.

Для повітрянагрівачів з пальником типу «труба в трубі» доцільно забезпечити умови для недопущення вібраційного горіння, яке призводить до руйнування вогнетривкої кладки. Тому рекомендовано [5] вибирати діаметр повітряної труби пальника таким чином, щоб швидкості газу та повітря були приблизно однакові:

$$W_{\text{г}} = \frac{B}{f_{\text{г}}} \approx W_n = \frac{V_n}{f_n}. \quad (9)$$

При розрахунку довжини факелу використали методику професора Аверіна С. І. [5].

Загальна довжина факелу складається з довжини шляху захвату ( $L_3$ ) та довжини шляху перемішування ( $L_n$ ):

$$L_{\text{ф}} = L_3 + L_n. \quad (10)$$

Шлях, на протязі якого струмінь захвачує для горіння стехіометричну кількість повітря, називається довжиною захвату. Для завершення процесу горіння потрібен певний шлях, який називається довжиною шляху перемішування.

Алгоритм розрахунку довжини факелу наступний:

– калориметрична ентальпія:

$$Q_{\text{ен}} = Q_n^p + i_{\text{г}} + i_n, \text{ кДж/кг}, \quad (11)$$

де  $i_2$  та  $i_n$  – ентальпії газу та повітря, кДж/кг;

– комплексний параметр  $\Pi$ :

$$\Pi = \sqrt{Q_{en} \cdot \omega \cdot \rho_z}, \quad (12)$$

де  $\omega$  – стехіометричне число;  $\rho_z$  – густина продуктів неповного горіння.

$$\rho_{сум} = \frac{\rho_z \left[ N_0 (1 + \omega) - \frac{1}{b_0} \right]}{(\sigma \Pi)^2}, \quad (13)$$

де  $N_0$  – безрозмірна постійна повного перемішування. Зазвичай приймають  $N_0 = 11,2$ ;  $1/b_0 = 2,14$ ;  $\sigma = 0,48$ ;

– число подібності Фруда:

$$F_z = \frac{W_z^2}{q \cdot d_0}; \quad (14)$$

– критерій швидкості руху повітря:

$$J_n = \omega \frac{W_n}{W_z}; \quad (15)$$

– гранично допустима довжина факелу:

$$\frac{L_0}{d_0} = \frac{\sigma \cdot \Pi}{\sqrt{1 + J_n}}; \quad (16)$$

– функція характеристичних густин:

$$f(\rho) = \frac{\rho_0}{\rho_z} \left( \frac{\rho_n}{\rho_{сум}} - 1 \right); \quad (17)$$

– критерій  $K_t$ :

$$K_t = \frac{1 + J_n}{f(\omega) \cdot f(\rho)} \cdot \frac{F_z}{(L_0 / d_0)^3}, \quad (18)$$

де  $f(\omega) = 14,8 \cdot 10^{-4}$ ;

– критерій  $Sn$ . Він визначається по довідковій літературі. Зазвичай приймають  $Sn = 0,92$ ;

– довжина факелу при паралельному напрямку руху потоків палива і повітря:

$$\frac{L_\phi}{d_0} = \frac{L_0}{d_0} \cdot Sn; \quad (19)$$

– довжина факелу при повороті газоповітряної суміші на  $90^\circ$ :

$$L'_\phi = \frac{L_\phi}{\sqrt{1 + J_n \cdot (1 - \cos 90^\circ)}}. \quad (20)$$

**Результати досліджень.** Виконані розрахунки розподілу температур та дійсних і допустимих навантажень по висоті камери горіння при температурі під куполом 1350 °С, яка забезпечується збагаченням доменного газу природним (базовий варіант) та збагаченням повітря горіння киснем [7]. Прийняті наступні вихідні данні: температура газу – 50 °С; температура повітря горіння – 20 °С; теплота згоряння доменного газу – 3228 кДж/м<sup>3</sup>; вміст природного газу у природно-доменній суміші – 5,4 % при теплоті її згоряння 5000 кДж/м<sup>3</sup>; вміст кисню у повітрі горіння – 32,3 %; загальна висота камери горіння – 30 м, яка складається із зони муліто-корундового вогнетриву (МКТ-80), що містить 80 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (4,95 м) та дінасу. Результати розрахунку розподілу температур по висоті камери горіння наведені на рис. 2, а розподілу навантажень на кладку камери горіння – на рис. 3. Розрахункові параметри наведені в табл. 2.



Рисунок 2 – Розподіл температур по висоті камери горіння.



Рисунок 3 – Розподіл навантажень на кладку камери горіння.

Таблиця 2 – Розрахункові параметри камери горіння при температурі горіння 1350 °С, яка забезпечується збагаченням доменного газу природним (ПГ) та збагаченням повітря горіння киснем (О<sub>2</sub>).

Параметри	ПГ	О <sub>2</sub>
1. Стехіометричне число $\omega$	1,50	0,47
2. Витрати газу, м <sup>3</sup> /год	16130	38549
3. Витрати повітря горіння, м <sup>3</sup> /год	17743	17000
4. Швидкість газу в пальнику, м/с	12,3	19,50
5. Швидкість повітря в пальнику, м/с	11,8	19,67
6. Діаметр повітряної труби пальника, мм	720	550
7. Мінімальна температура в камері горіння, °С	1150	1150
8. Дійсне навантаження на границі МКТ-80 – дінас, МПа	0,42	0,42
9. Допустиме навантаження на границі МКТ-80 – дінас, МПа:		
– для МКТ-80	0,70	0,58
– для дінасу	1,20	1,18
10. Щільність, кг/м <sup>3</sup> :		
– для МКТ-80	1850	1850
– для дінасу	2700	2700

На деяких металургійних підприємствах ще знаходяться в експлуатації повітрянагрівачі, у яких в камері горіння використовують каолінові вогнетриви з вмістом 42 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (ШВ-42). Так як у цих вогнетривів допустиме навантаження при температурі 1350 °С незначне (0,02 МПа), то розрахунки довжини факелу та допустимих навантажень розраховували при температурах 1250 та 1300 °С. Розрахунки розподілу температур по висоті камери горіння показали, що довжина факелу при температурах 1300 та 1250 °С складає 10,3 та 9,2 м (рис. 4). Розрахунки розподілу навантажень на кладку камери горіння при температурі під куполом 1300 °С виявили, що на границі вогнетривів ШВ-42 та дінасу допустимі навантаження менші дійсних, що являється неможливим (рис. 5). Таким чином, у цьому випадку температура не повинна перевищувати 1250 °С.

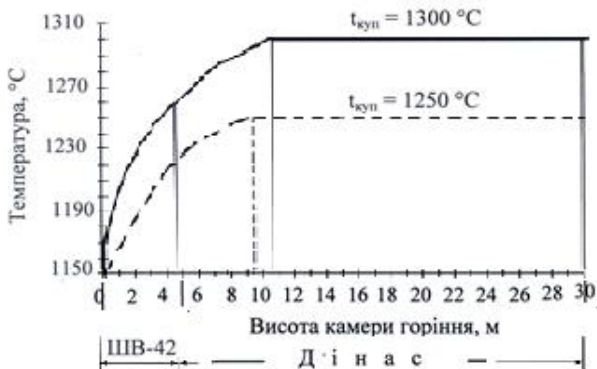


Рисунок 4 – Розподіл температур по висоті камери горіння.

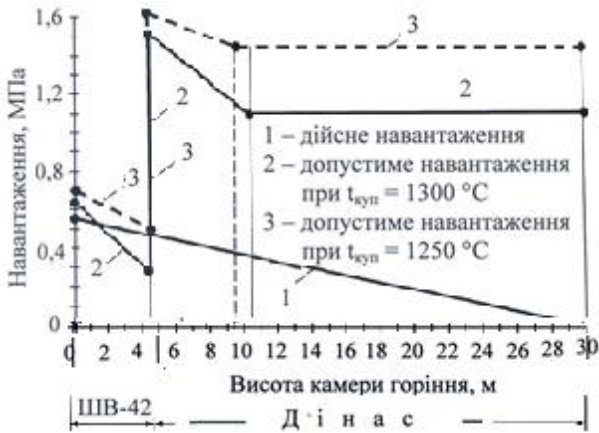


Рисунок 5 – Розподіл навантаження на кладку камери горіння по її висоті.

### Висновки

1. Теплота згоряння доменного газу незначна (3,2-3,5 МДж/м<sup>3</sup>), тому для забезпечення температури під куполом 1350 °С доменних повітрянагрівачів зазвичай цей газ збагачується природним (5,37 %). У зв'язку із дефіцитом та значною вартістю природного газу його доцільно замінити технологічним киснем, який використовується для збагачення повітря горіння (34,3 %).

2. При збагаченні повітря киснем зменшується питомий вихід продуктів горіння. Для збереження тих же параметрів теплообміну в насадці повітрянагрівачів необхідно забезпечити такі ж загальні витрати димових газів, як при використанні природного газу. Тому при збагаченні повітря киснем необхідно збільшити витрати доменного газу в 2,4 рази, при цьому кількість повітря горіння залишається практично однаковою.

3. При опаленні повітрянагрівачів з використанням технологічного кисню зменшується довжина факелу, що призводить до переміщення максимальних температур в нижню зону камери горіння, де статичне навантаження на вогнетривку цеглу більше. При цьому допустиме навантаження на кладку на границі МКТ-80 – дінаса складає 0,70 МПа при використанні природного газу, а при використанні кисню – 0,58 МПа. Але ці значення більші допустимих навантажень (0,42 МПа), що забезпечує необхідну стійкість кладки із муліто-корундових вогнетривів (МКТ-80).

4. Допустиме навантаження на дінасову цеглу більше, ніж на муліто-корундову (відносно 1,18 та 0,58 МПа). Незважаючи на це, дінаса використовують тільки у верхній зоні камери горіння, де статичне навантаження менше. Це пов'язано з низькою термостійкістю дінасу, а в нижній зоні камери горіння має місце значне коливання температур.

5. На деяких металургійних підприємствах знаходяться в експлуатації повітрянагрівачі, в яких в нижній зоні камери горіння ще використовують



каолінові вогнетриви ШВ-42. Розрахунки показують, що при температурі під куполом 1300 °С допустимі навантаження нижче дійсних, що призводить до руйнування вогнетривкої цегли. Тому на цих повітрянагрівачах температура під куполом не повинна перевищувати 1250 °С, а під час запланованого ремонту необхідно замінити каолінову кладку на муліто-корундову.

6. Для оцінки умов експлуатації вогнетривкої цегли зазвичай порівнюють значення допустимих та дійсних навантажень. Але при цьому не враховується значення (5-8 років) строку експлуатації камери горіння. Тому доцільно для цього використовувати параметр повзучості матеріалу, який враховує як статичне навантаження, так і час його дії. Але, на жаль, поки відсутні данні повзучості вогнетривів.

7. Треба відзначити, що на міжремонтний період камери горіння повітрянагрівачів впливають також інші фактори, які не пов'язані з використанням кисню:

- нерівномірність нагріву по периметру камери горіння (зі сторони насадки вона вища), що визиває різку зміну довжини цегли;

- нерівномірність тиску стискання по периметру камери, особливо, якщо вона некруглої форми;

- попадання води на розігріту кладку при виході із ладу шибєру гарячого дуття;

- випадання конденсату доменного газу внизу камери горіння за рахунок різниці температур газу та вентиляторного повітря, особливо в осінньо-зимовий період.

#### **Перелік посилань**

1. Мазур В. Л. Металургія України: стан, конкурентноспроможність, перспективи. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2010. № 2. С. 12-16.
2. Модлип Р. Природный газ для промышленности – существующее положение и перспективы. *Индустриал хитинг*. 1980, 47. № 2. С. 8-9, 41.
3. Повышение энергоэффективности нагрева доменного дутья. Монография. / Л. П. Грес, С. А. Карпенко, А. А. Науменко, В. П. Иващенко, А. О. Еремін, Е. А. Каракаш, Е. В. Гупало. Под общей редакцией д.т.н., проф. Л. П. Греса. - Днепр, 2021. 612 с.
4. Грес Л. П., Карпенко С. А., Миленина А. Е. Теплообменники доменных печей: Монография. Под общей редакцией д.т.н., проф. Л. П. Греса. Днепропетровск : Пороги, 2012. 491 с.
5. Расчеты нагревательных печей / Под общ. ред. Н. Ю. Тайца. Киев: Техника, 1967. 540 с.
6. Доменные воздушнонагреватели /Ф. Р. Шкляр, В. М. Малкин, С. П. Каштанова и др. Москва : Металлургия, 1982. 176 с.
7. Дослідження ефективності використання технологічного кисню при опаленні теплотехнічних металургійних агрегатів. / Л. П. Грес, О. В. Гупало, О. О. Єрємін, Є. О. Каракаш, Е. К. Д'якова. *Металургійна та гірничорудна*

**References**

1. Mazur V. L. Metalurhiia Ukrainy: stan, konkurentnospromozhnist, perspektyvy. *Metalurhiina ta hirnychorudna promyslovist*. 2010. No. 2. P. 12-16.
2. Modlip R. Prirodnyi gaz dlia promyshlennosti – sushchestvuiushchee polozhenie i perspektivy. *Industrial khiting*. 1980, 47. No. 2. P. 8-9, 41.
3. *Povyshenie energoeffektivnosti nagreva domennogo dutia*. Monografiia / L. P. Gres, S. A. Karpenko, A. A. Naumenko, V. P. Ivashchenko, A. O. Eremin, E. A. Karakash, O. V. Gupalo. Dnepr, 2021. 612 p.
4. Gres L. P., Karpenko S. A., Milenina A. E. *Teploobmenniki domennykh pechei*. Monografiia. Dnepropetrovsk : Porogi, 2012. 491 p.
5. *Raschety nagrevatelnykh pechei* / Pod obshechei redaktsiei N. Iu. Taitca. Kiev: Tekhnika, 1967. 540 p.
6. *Domennye vozdukhonagrevateli* / F. R. Shkliar, V. M. Malkin, S. P. Kashtanova et al. Moskva: Metallurgiiia, 1982. 176 p.
7. Gres L. P., Gupalo O. V., Yeromin O. O., Karakash Ye. O., Diakova E. K. Doslidzhennia efektyvnosti vykorystannia tekhnolohichnoho kysniu pry opalenni teplotekhnichnykh metalurhiinykh ahrehativ. *Metalurhiina ta hirnychorudna promyslovist*. 2019. No. 3-4. P. 14-24. DOI: 10.34185/0543-5749.2019-3-4-14-24

**L. P. Gres**, D. Sc. (Tech.), Professor, ORCID 0000-0002-5343-3438

**O. O. Yeromin**, Dr. Sc. (Tech.), Professor, ORCID 0000-0001-8306-578X

**O. V. Gupalo**, Ph. D. (Tech.), Associate Professor, ORCID 0000-0003-3145-9220

*Ukrainian State University of Science and Technologies*

### **THE INFLUENCE OF OXYGEN ENRICHMENT OF COMBUSTION AIR ON THE RESISTANCE OF THE LINING OF HOT-BLAST STOVES**

**Summary.** The article is devoted to the problem of increasing the efficiency of blast furnace equipment. Currently, blast furnace gas does not provide the specified technological temperatures of high-temperature heat units (blast blast furnaces, heating furnaces, etc.), since its heat of combustion is insignificant (3200-3500 kJ/m<sup>3</sup>). In the work, a calculation and comparative analysis of two methods of increasing the combustion temperature is performed: enriching the blast furnace gas with natural gas (basic version) and enriching the combustion air with oxygen for the conditions of blast furnace air heaters with a temperature under the dome of 1300 and 1350 °C. It is shown that to ensure these temperatures, it is necessary to enrich blast furnace gas with a calorific value of 3228 kJ/m<sup>3</sup> with natural gas (4.0 and 5.37%, respectively) or to enrich the combustion air with oxygen (29.4% and 32.3%, respectively). At the same time, it is necessary to have a reserve in the presence of a sufficient amount of technological oxygen. When enriching the combustion air with oxygen, the specific yield of combustion products decreases, and to maintain the same parameters of heat exchange in the nozzle of air heaters, it is necessary to significantly increase the consumption of blast furnace gas. At the same time, the total consumption of combustion air practically does not change.

Calculations of the length of the torch, temperature distribution, and actual and permissible loads along the height of the combustion chamber of blast furnace air heaters

were performed while maintaining a temperature under the dome of 1350 °C due to enrichment of blast furnace gas with natural gas (basic version) and enrichment of combustion air with technological oxygen. It is shown that when heating air heaters using oxygen, the length of the torch decreases and the temperature maximum shifts to the lower zone, where the static load on the refractory brick is greater. But at the same time, the permissible loads are greater than the actual loads, and thus the stability of the combustion chamber masonry will be ensured. With the current scarcity and cost of natural gas, its use is irrational. Heating the combustion components requires significant capital expenditures for the construction of a complex of heat exchangers. In some cases, there are no areas for placement of heat exchangers on existing thermal units. At the same time, devices for using oxygen are simple and cheap.

**Key words:** air heaters, combustion chamber, refractory masonry, technological oxygen, torch length, valid and permissible loads.

**For citation:** Gres L. P. , Yeromin O. O., Gupalo O. V . Vplyv zbahachennia povitria horinnia kysnem na stiikist kladky domennykh povitronahrivachiv [The influence of oxygen enrichment of combustion air on the resistance of the lining of hot-blast stoves]. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*. 2022. Collection 36. P. 123-133. [In Ukrainian]. DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-123-133.

*Стаття надійшла до редакції збірника 29.11.2022 р.  
Рекомендовано до друку редколегією збірника (Протокол № 5 від 20.12.2022 р.)*