

**РОЗПОДІЛ РАДІАЛЬНИХ РУДНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ПРИ ФОРМУВАННІ
У ДОМЕННІЙ ПЕЧІ ЧОТИРИСКІПОВИХ РУДНИХ І КОКСОВИХ ШАРІВ**

Мета статті – аналітично дослідити розподіл рудних навантажень на кокс по радіусу колошника доменної печі при її завантаженні конусним завантажувальним пристроєм циклами, які забезпечують послідовне укладання в стовпі шихтових матеріалів чотирьох скіпів агломерату і чотирьох скіпів коксу при їх різному розділенні по подачах, при підвищенні рудного навантаження на кокс у циклі з двох подач з 3,5 до 5,0 кг/кг. Математичне моделювання проводилося за умов завантаження шихти на горизонтальну поверхню та укладання гребеню матеріалів біля стін колошника. Встановлено рудне навантаження на кокс у циклі подач $4A \downarrow 4K \downarrow$, при якому протяжності агломерату і коксу радіусом колошника вирівнюються. Перевищення протяжності агломерату радіусом колошника протяжності коксу унеможливило створення газопроникної осевої зони. Завантаження доменної печі роздільними збільшеними подачами забезпечує найбільш рівномірний розподіл рудних навантажень на кокс по радіусу колошника, близьких до загального рудного навантаження у циклі $4A \downarrow 4K \downarrow$. Більшому зосередженню агломерату в периферійній і проміжній зонах колошника при формуванні чотирискіпових рудних і коксових шарів сприяють цикли завантаження $nK (3-n)A \downarrow (n+1)A (4-n)K \downarrow$ при кількості скіпів $n = 0, 1, 2$. Завантаження циклу подач $3A \downarrow 4K \downarrow$ показало надмірне зосередження біля стін рудного матеріалу з різким зниженням рудного навантаження до центру колошника. Більш рівномірний розподіл радіальних рудних навантажень, підвищених щодо загального рудного навантаження, забезпечується завантаженням шихти за циклом $K2A \downarrow 2A3K \downarrow$. Більшій протяжності рудного гребеня сприяє завантаження шихти за циклом $2KA \downarrow 3A2K \downarrow$.

Ключові слова: доменна піч, конусний завантажувальний пристрій, агломерат, кокс, роздільне завантаження, рудне навантаження, розподіл шарів матеріалів.

Волошин В.С., Семакова В.Б. Харченко І.І., Семаков В.В., Гудим Л.О. Распределение радиальных рудных нагрузок при формировании в доменной печи четырехскиповых рудных и коксовых слоев. Цель статьи – аналитически исследовать распределение рудных нагрузок на кокс по радиусу колошника доменной печи при ее загрузке конусным загрузочным устройством циклами, которые обеспечивают последовательную укладку в столбе шихтовых материалов четырех скипов агломерата и четырех скипов кокса при их различном разделении по подачам, при повышении рудной нагрузки на кокс в цикле из двух подач с 3,5 до 5,0 кг/кг. Математическое моделирование проводилось в условиях загрузки шихты на горизонтальную поверхность и укладки гребня материалов у стен колошника. Установлена рудная нагрузка на кокс в цикле подач $4A \downarrow 4K \downarrow$, при которой протяженности агломерата и кокса по радиусу колошника выравниваются. Превышение протяженности агломерата по радиусу колошника над протяженностью кокса препятствует созданию газопроницаемой осевой зоны. Загрузка доменной печи отдельными увеличен-

¹ д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

² канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, ORCID ID: 0000-0001-6415-180X, semakova-v@ukr.net

³ аспірант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

⁴ канд. техн. наук, ст. викладач, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь, [semakov v v @ukr.net](mailto:semakov_v_v@ukr.net)

⁵ студент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

ними подачами забезпечує найбільш рівномірне розподілення рудних нагрузок на кокс по радіусу колошника, близьких до загальної рудної нагрузки в циклі $4A \downarrow 4K \downarrow$. Більшому зосередженню агломерата в периферійній і проміжній зонах колошника при формуванні чотирьохскіпових рудних і коксових шарів сприяють цикли завантаження $nK (3-n)A \downarrow (n+1)A (4-n)K \downarrow$ при кількості скіпов $n = 0, 1, 2$. Завантаження циклу подач $3A \downarrow 4K \downarrow$ показало надмірне зосередження у стінок рудного матеріалу з різким зниженням рудної нагрузки до центру колошника. Більш рівномірне розподілення радіальних рудних нагрузок, підвищених порівняно з загальною рудною нагрузкою, забезпечується завантаженням шихти по циклу $K2A \downarrow 2A3K \downarrow$. Більш протяжності рудного гребня сприяє завантаження шихти по циклу $2KA \downarrow 3A2K \downarrow$.

Ключові слова: доменна печка, конусне завантажувальне пристрій, агломерат, кокс, окреме завантаження, рудна нагрузка, розподілення шарів матеріалів.

V.S. Voloshyn, V.B. Semakova, I.I. Kharchenko, V.V. Semakov, L.O. Gudym. Radial ore loads distribution at the formation of four-skip ore and coke layers in a blast furnace. The objective of the article is to investigate analytically the distribution of ore loads on coke along the blast furnace top radius after the charging with a bell-type charging equipment by means of cycles that ensure the sequential stacking of four sinter skips and four coke skips in a materials column at different separation according to supplies with an increase of ore load to coke ratio from 3,5 to 5,0 kg/kg. Mathematical modelling was carried out under conditions of loading the charge on a horizontal surface and laying a ridge of materials near the top walls. The ore load on coke was established in the cycle of supplies of $4S \downarrow 4C \downarrow$ at which the lengths of the sinter and coke along the top radius are aligned. Surpassing sinter length along the top radius as compared to the coke length prevents the creation of a gas-permeable axial zone. The blast furnace charging with separate increased supplies ensures the most uniform distribution of ore loads on coke along the top radius, close to the total ore load in $4S \downarrow 4C \downarrow$ cycle. The $nC (3-n)S \downarrow (n+1)S (4-n)C \downarrow$ charging cycles with the number of skips $n = 0, 1, 2$ contribute to a greater sinter concentration in the peripheral and intermediate zones of the top during the formation of four-skip ore and coke layers. The charging cycles of $3S \downarrow S4C \downarrow$ supplies showed an excessive concentration of ore material near the walls with a sharp decrease of ore load to the top center. A more uniform distribution of radial ore loads, increased compared to the total ore load, is ensured by charging the charge according to $C2S \downarrow 2S3C \downarrow$ cycle. A greater extent of the ore ridge is achieved by charging the charge according to $2CS \downarrow 3S2C \downarrow$ cycle.

Keywords: blast furnace, bell-type charging equipment, sintered iron ore, coke, separate charging, ore load, distribution of the materials layers.

Постановка проблеми. В умовах використання на доменних печах (ДП) технології вдування пилувугільного палива (ПВП) ускладнюється газодинамічний режим плавки внаслідок скорочення частки коксу в стовпі шихтових матеріалів, що потребує заходів, скерованих на збільшення висоти коксових шарів, зокрема вдосконаленням систем завантаження [1, 2].

Збільшення маси подачі сприяє не тільки підвищенню висоти рудних і коксових шарів, а й більш рівномірному розподілу матеріалів і газів радіусом колошника, що зумовлює зростання ступеня використання відновної роботи газового потоку, економічну і високопродуктивну роботу доменної печі [3-8].

В 2001 р. на доменних печах ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» і ПрАТ «ММК ім. Ілліча» розпочато впровадження технології завантаження шихти роздільними подачами по 4-6 скіпов матеріалу одного виду. Як наслідок, рудне навантаження (РН) на кокс збільшилося до 3,5-3,8 кг/кг без зниження газопроникності стовпа шихтових матеріалів з економією коксу 20-25 кг/т чавуну [6-8].

Згідно дослідженням [6], суттєвому покращенню техніко-економічних показників плавки при застосуванні даної технології завантаження печі сприяє досягнення оптимального радіаль-

ного розподілу РН на кокс за допомогою його регулювання розподільником безконусного завантажувального пристрою. Проте, на ДП, обладнаних конусними завантажувальними пристроями (КЗП), при завантаженні шихти роздільними обтяженими подачами було втрачено можливість застосування основного методу регулювання радіального розподілу шихти – зміною порядку завантаження рудних матеріалів і коксу в подачі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Завантаження шихти циклами подач АААА↓ КККК↓ (А – скіп агломерату, К – скіп коксу) і ААА↓ АКККК↓ забезпечило ефективний перехід печей ПрАТ «ММК ім. Ілліча» на технологію вдування в горн ПВП зі збільшенням РН на кокс у циклі до 4,5-4,8 кг/кг [9]. В ПДТУ [9, 10] запропоновано регулювання розподілу РН на кокс по радіусу колошника ДП при її завантаженні КЗП циклами, що забезпечують послідовне укладання в стовпі шихтових матеріалів чотирьох скіпів рудної шихти і чотирьох скіпів коксу при їх різному розділенні по подачах: АААА↓ КККК↓, ААА↓ АКККК↓, КАА↓ ААККК↓, ККА↓ АААКК↓. Промислова апробація системи завантаження ААККК↓ КАА↓ в умовах ПрАТ «ММК ім. Ілліча» забезпечила зниження питомої витрати коксу і підвищення продуктивності печі до 2%.

При використанні роздільних обтяжених подач розподіл РН на кокс радіусом колошника вирівнюється. Так, на ДП № 8 ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» вміст CO_2 у стін колошника і у вісі зрівнявся і сягнув 12% при його вмісті в проміжній зоні біля 21%, маса рудної колоші становила 104 т при РН на кокс до 3,8 кг/кг [8]. Це відбувалося завдяки зближенню протяжності рудних матеріалів подачі АААА↓ і коксового шару подачі КККК↓ радіусом колошника [11].

Мета статті – аналітично дослідити розподіл РН на кокс по радіусу колошника доменної печі при її завантаженні КЗП циклами, які забезпечують послідовне укладання в стовпі шихтових матеріалів чотирьох скіпів агломерату і чотирьох скіпів коксу при їх різному розділенні по подачах, при підвищенні рудного навантаження на кокс у циклі з двох подач від 3,5 до 5,0 кг/кг.

Виклад основного матеріалу. За допомогою математичного моделювання розташування шарів агломерату і коксу роздільних обтяжених подач АААА↓ і КККК↓ при завантаженні КЗП доменної печі корисним об'ємом 2000 м^3 з радіусом колошника $r = 3,65 \text{ м}$ при масі рудного скіпа 14,5 т підтверджено, що характер радіального розподілу РН на кокс залежить від співвідношення кутів природного укосу α та об'ємів матеріалів V одного виду, а також кута нахилу поверхні засипу шихти, на яку завантажують матеріали подачі [11, 12]. Дані чинники визначають протяжність радіусом колошника матеріалу подачі l (рис. 1).

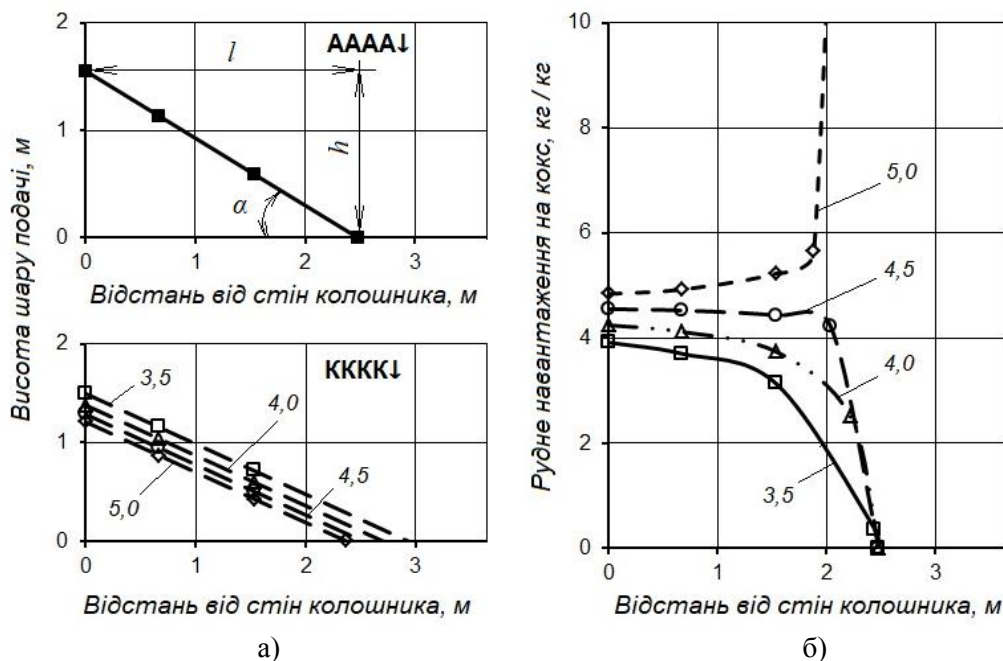


Рис. 1 – Радіальний розподіл висоти шару шихти подач АААА↓, КККК↓ (а) і рудних навантажень на кокс (б) циклу подач 4А↓ 4К↓. Цифри у кривих – рудне навантаження на кокс у циклі подач, кг/кг

За обраних умов моделювання [11] при укладанні шихти на пологу поверхню засипу (при рівні засипу, що відповідає укладці гребеня шихти безпосередньо до стін колошника, без урахування перетікання матеріалів до вісі печі, яке дещо вирівнює розподіл шихти перетином колошника) завантажений матеріал подачі створює нову воронкоподібну поверхню з кутом нахилу α , що дорівнює куту природного укосу даного виду матеріалу, і висотою h (рис. 1). Слід зазначити, що прийняті умови моделювання лише підсилюють якісні відмінності характеру радіального розподілу рудних навантажень при різних циклах завантаження, а представлені на рис. 1-3 висоти шарів матеріалів відповідають початковому моменту розподілу колошником матеріалів подачі – до стабілізації поверхні шихтових матеріалів завантаженої подачі [2, 11].

З рисунку 1 (а) випливає, що при завантаженні роздільних обтяжених подач АААА↓ і КККК↓ протяжність матеріалів обох подач близька. При моделюванні маса агломерату чотирискіпової подачі приймалася постійною – 58 т, а маса коксової чотирискіпової подачі варіювалася залежно від рудного навантаження на кокс у циклі подач.

Визначимо RH_p на кокс у циклі подач АААА↓ КККК↓ за умови рівності протяжності агломерату l_a подачі АААА↓ і коксу l_k подачі КККК↓ радіусом колошника: $l_a = l_k$. Якщо об'єм матеріалів одного виду становить $V = \pi h l (r - \frac{1}{2}l)$, м³, то з урахуванням співвідношення $h = l \operatorname{tg} \alpha$, м, і насипної маси матеріалу ρ , т/м³, маса матеріалів одного виду дорівнює: $m = \pi l^2 (r - \frac{1}{2}l) \rho \operatorname{tg} \alpha$, т.

Тоді рудне навантаження на кокс, що визначається відношенням m_a/m_k , де m_a і m_k – маси агломерату і коксу в циклі подач 4А↓ 4К↓, відповідно, становитиме: $RH = \rho_a \operatorname{tg} \alpha_a / (\rho_k \operatorname{tg} \alpha_k)$, де ρ_a і ρ_k – насипні маси агломерату і коксу, відповідно; α_a і α_k – кути природного укосу агломерату і коксу, відповідно. За обраних умов моделювання ($\alpha_k = 27^\circ$, $\rho_k = 0,45$ т/м³, $\alpha_a = 32^\circ$, $\rho_a = 1,70$ т/м³) RH на кокс у циклі подач ($l_a = l_k = 2,48$ м) дорівнює 4,63 кг/кг. При цьому висота шарів у стін колошника становить для агломерату $h_a = 1,55$ м і для коксу $h_k = 1,26$ м.

Таким чином, при RH на кокс у циклі подач 4А↓ 4К↓ нижче 4,63 кг/кг протяжність коксу радіусом колошника перевищує відповідну протяжність агломерату $l_k > l_a$, що сприяє створенню газопроникної осьової коксової віддушини площею не менш 6% площі колошника при $l_k > 1,03l_a$, наявність якої зумовлює економічну роботу доменної печі. Як видно на рисунку 1 (б), RH на кокс по радіусу колошника знижується в напрямку до центру колошника.

При RH на кокс у циклі подач 4А↓ 4К↓ вище 4,63 кг/кг, навпаки, протяжність агломерату радіусом колошника перевищує відповідну протяжність коксу $l_a > l_k$, що унеможливує потрапляння кусків коксу до вісі печі та призводить до погіршення газопроникності стовпа шихти у центрі та нерівного ходу печі. RH на кокс різко підвищується в центральній зоні колошника.

Щоб уникнути цього явища на доменних печах ПрАТ «ММК ім. Ілліча» використовували цикл завантаження з двох подач: ААА↓ і АКККК↓, розташування шарів матеріалу яких наведено на рис. 2 (а). Порівняно з циклом 4А↓ 4К↓ протяжність агломерату радіусом колошника скоротилася на 15%, а коксу, навпаки, у середньому зросла на 16%, що призвело до надмірного довантаження рудними матеріалами периферійної зони. Висота шару агломерату у стін зросла на 31%, а висота шару коксу – скоротилася у середньому на 35%, тобто рудні матеріали сконцентрувалися переважно в периферійній та проміжній зонах, а кокс перерозподілився ближче до центру, створюючи умови щодо розвитку осьового газового потоку. Таке співвідношення висот шарів агломерату і коксу зумовлює односпрямовану зміну рудних навантажень на кокс радіусом колошника при підвищенні рудного навантаження на кокс у циклі подач з 3,5 до 5,0 кг/кг, а саме – різке зниження радіальних рудних навантажень (PPH) на кокс від стін до центру колошника (рис. 3).

Аналогічне скорочення протяжності агломерату радіусом колошника спостерігається за результатами моделювання розташування шарів матеріалів, що формуються з чотирьох скіпів одного компоненту, при їх завантаженні за циклами nK (3- n)А↓ ($n+1$)А (4- n)К↓ при кількості скіпів $n = 0, 1, 2$.

Моделювання радіального розташування шарів шихти при завантаженні циклу подач К2А↓ 2А3К↓ (рис. 2, б) показало вирівнювання PPH на кокс (рис. 3) на межі периферійної та проміжної зон за рахунок зниження RH на кокс біля стін у середньому на 36% і відповідного зростання RH на частині площі проміжної зони, прилеглої до периферії, порівняно з розподілом PPH за циклом 3А↓ А4К↓. На решті площі колошника спостерігалася зниження рудних навантажень на кокс у напрямку до центру.

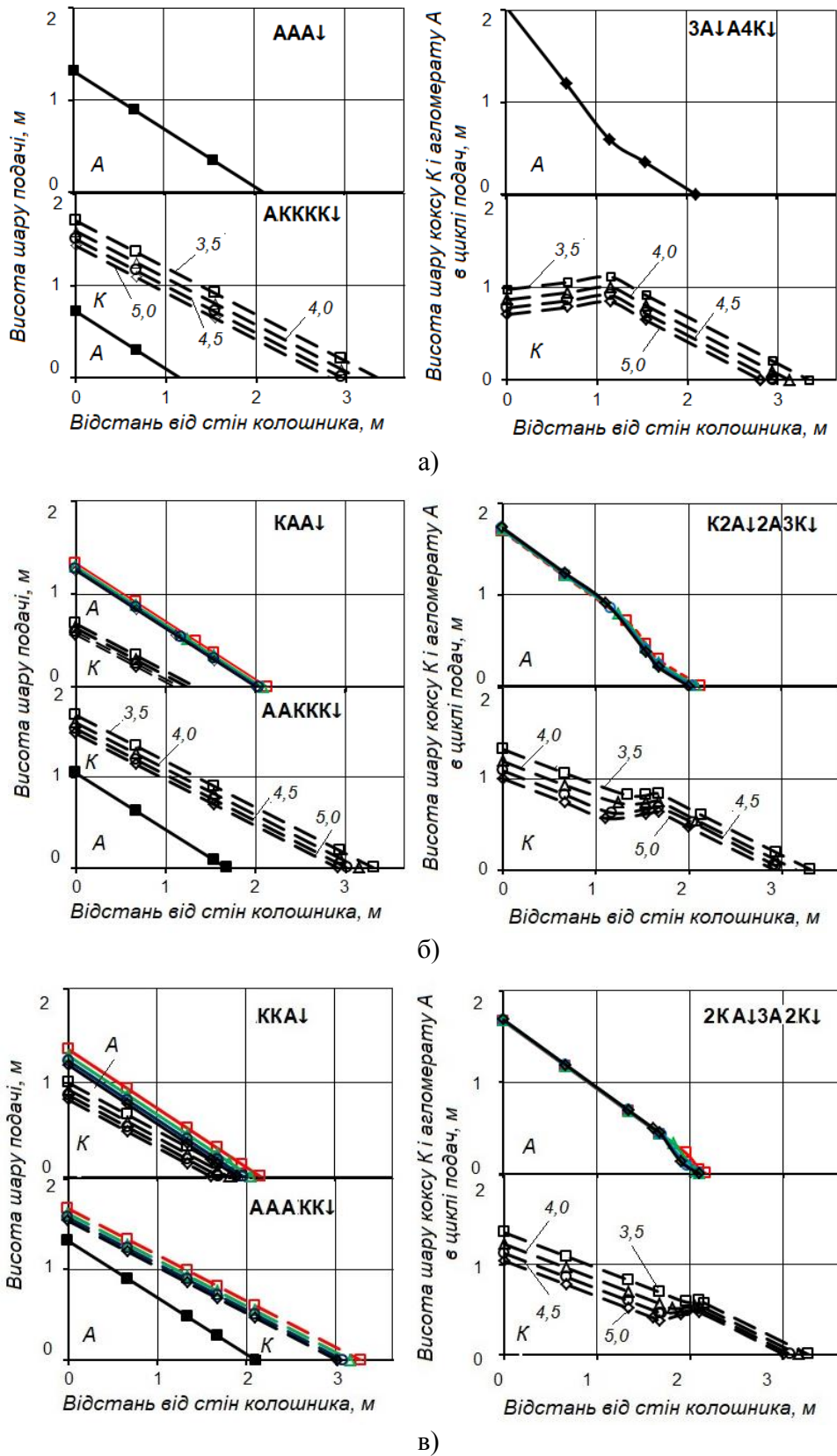


Рис. 2 – Радіальний розподіл висоти шару шихти окремих подач та прошарків агломерату А і коксу К при завантаженні доменної печі циклами: а – ААА↓ АККК↓; б – КАА↓ ААКК↓; в – ККА↓ АААК↓. Цифри у кривих – рудне навантаження на кокс у циклі подач, кг/кг: □ – 3,5; Δ – 4,0; ○ – 4,5; ◇ – 5,0

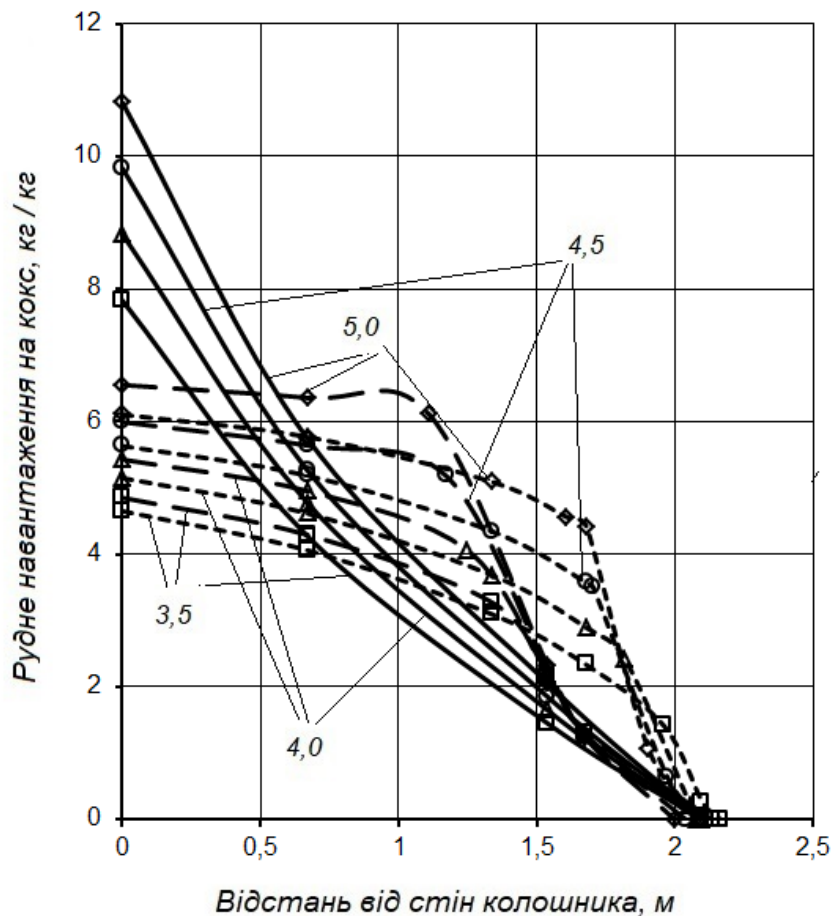


Рис. 3 – Радіальний розподіл рудних навантажень на кокс для циклів подач: — 3A↓A4K↓; — — — K2A↓2A3K↓; - - - 2KA↓3A2K↓. Цифри у кривих – рудне навантаження на кокс у циклі подач, кг/кг: □ – 3,5; Δ – 4,0; ○ – 4,5; ◇ – 5,0

Результати моделювання радіального розташування шарів шихти при завантаженні циклу подач 2KA↓3A2K↓, надані на рис. 2 (в), показали вирівнювання РРН на кокс (рис. 3) у периферійній та проміжній зонах за рахунок більш значного зниження РН біля стін – приблизно на 42% порівняно з розподілом РРН на кокс за циклом 3A↓A4K↓. Протяжність рудного гребеня зросла у середньому на 48% порівняно з циклом K2A↓2A3K↓.

При зростанні РН на кокс у розглянутих циклах подач виду nK (3-n)A↓(n+1)A (4-n)K↓ від 3,5 до 5,0 кг/кг якісно розподіл РРН на кокс не змінювався. Отримані результати моделювання радіального розташування шарів шихти при завантаженні розглянутими циклами подач доцільно використовувати щодо регулювання радіального розподілу шихти і газів у доменній печі.

Висновки

1. За обраних умов моделювання встановлено рудне навантаження на кокс у циклі подач 4A↓4K↓: $PH = \rho_a \operatorname{tg} \alpha_a / (\rho_k \operatorname{tg} \alpha_k) = 4,63$ кг/кг, при якому протяжності агломерату і коксу радіусом колошника вирівнюються.

2. Характер розподілу радіальних рудних навантажень на кокс при завантаженні циклу подач 4A↓4K↓ є неоднозначним: при РН у циклі нижче 4,63 кг/кг РРН на кокс розподіляються досить рівномірно у периферійній і проміжній зонах, знижуючись у напрямку до центру печі, та навпаки – при РН на кокс у циклі вище 4,63 кг/кг РРН на кокс зростають у центральній зоні, досить рівномірно розподіляючись рештою площі колошника.

3. При завантаженні шихти за циклами nK (3-n)A↓(n+1)A (4-n)K↓ (при кількості скіпів n = 0, 1, 2) спостерігалось скорочення протяжності агломерату радіусом колошника на 15% порівняно з циклом 4A↓4K↓. Максимальне рудне навантаження на кокс у периферійній зоні від-

повідає циклу 3A↓ A 4K↓ при $n = 0$, яке знижується зі збільшенням n : при завантаженні циклом К 2A↓ 2A 3K↓ на 36%, а для циклу 2K A↓ 3A 2K↓ – на 42%, та супроводжується збільшенням протяжності рудного гребеня.

4. Необхідно вдосконалення систем завантаження доменних печей за рахунок скорочення кількості коксових скіпів при досягненні відносно великих рудних навантажень на кокс залежно від параметрів завантажувального обладнання з дослідженням можливості регулювання радіального розподілу шихтових матеріалів.

Перелік використаних джерел:

1. Ярошевский С.Л. Выплавка чугуна с применением пылеугольного топлива / С.Л. Ярошевский. – М. : Metallurgiya. – 1988. – 176 с.
2. Charging System Enhancements for a Blast Furnace at Azovstal Iron and Steel Works Private Joint-Stock Corporation / S.V. Sosin, S.A. Karikov, V.B. Semakova, V.P. Russkikh, V.V. Semakov // Metallurgist. – 2019. – Vol. 63. – № 3-4. – Pp. 327-334. – Mode of access: [DOI: 10.1007/s11015-019-00827-6](https://doi.org/10.1007/s11015-019-00827-6).
3. Регулирование распределения материалов и газов в доменной печи объемом 2700 м³ / Н.А. Потаничев, В.А. Костров, А.П. Котов, В.Д. Кайлов // Metallurg. – 1972. – № 10. – С. 14-17.
4. Опыт «Криворожстали» по рационализации распределения материалов в доменных печах / Е.Г. Донсков [и др.] // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2003. – № 1. – С. 19-22.
5. Работа доменных печей на увеличенной массе подачи / В.П. Лялюк [и др.] // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 1. – С. 5-9.
6. Кассим Д.А. Анализ влияния массы железорудной подачи на технико-экономические показатели доменной плавки / Д.А. Кассим // Вісник Криворізького національного університету. – 2014. – Вип. 36. – С. 137-140.
7. Управление радиальным распределением шихты и газов в доменных печах ОАО «ММК им. Ильича» при раздельной загрузке увеличенных масс кокса и агломерата / А.А. Томаш [и др.] // Metallургические процессы и оборудование. – 2005. – № 2. – С. 35-38.
8. Semakova V.B. Economic analysis of reduction processes in blast furnaces / V.B. Semakova, V.V. Semakov, D.I. Gavriloglu // Steel Transl. – 2012. – Vol. 42. – № 4. – Pp. 319-323. – Mode of access: [DOI: 10.3103/S0967091212040146](https://doi.org/10.3103/S0967091212040146).
9. Совершенствование режимов загрузки доменных печей ЧАО «ММК им. Ильича» в условиях вдувания пылеугольного топлива / Ю.А. Зинченко, А.Г. Курпе, А.В. Форман, В.П. Русских, В.Б. Семакова, В.В. Семаков // Металл и литье Украины. – 2017. – № 1 (284). – С. 5-10.
10. Семаков В.В. Исследование влияния порядка загрузки шихтовых материалов при формировании их высоких слоев на распределение рудных нагрузок по радиусу колошника доменной печи / В.В. Семаков // Проблеми енергозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика: тези доп. II Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених, фахівців, аспірантів (11-12 травня 2016 р.; Маріуполь). – Маріуполь : ДВНЗ «ПДТУ», 2016. – С. 82-84.
11. Семакова В.Б. Распределение материалов по радиусу колошника при загрузке в доменную печь раздельных коксовых и рудных подач / В.Б. Семакова // Вісник Приазовського державного технічного університету : Зб. наук. пр. / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2019. – Вип. 38. – С. 14-22. – (Серія : Технічні науки). – Mode of access: [DOI: 10.31498/2225-6733.38.2019.181267](https://doi.org/10.31498/2225-6733.38.2019.181267).
12. Тарасов В.П. Газодинамика доменного процесса / В.П. Тарасов. – М. : Metallurgiya, 1990. – 216 с.

References:

1. Jaroshevskij S.L. *Vyplavka chuguna s primeneniem pyleugol'nogo topliva* [Iron smelting at powder coal injection]. Moscow, Metallurgy Publ., 1988. 176 p. (Rus.)
2. Sosin S.V., Karikov S.A., Semakova V.B., Russkikh V.P., Semakov V.V. Charging System En-

- hancements for a Blast Furnace at Azovstal Iron and Steel Works Private Joint-Stock Corporation. *Metallurgist*, 2019, vol. 63, no. 3-4, pp. 327-334. doi: 10.1007/s11015-019-00827-6.
3. Potanichev N.A., Kostrov V.A., Kotov A.P., Kajlov V.D. Regulirovanie raspredeleniia materialov i gazov v domennoi pechi ob'emom 2700 m³ [Regulation of the distribution of materials and gases in a blast furnace]. *Metallurg – Metallurgist*, 1972, no. 10, pp. 14-17. (Rus.)
 4. Donskov E.G., Kostenko G.P., Orel G.I., Donskov D.E., Adamenko A.V. Opyt «Krivorozhstali» po racionalizacii raspredelenija materialov v domennyh pechah [Krivorozhstal experience in streamlining the distribution of materials in blast furnaces]. *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost' – Metallurgical and Mining Industry*, 2003, no. 1, pp. 19-22. (Rus.)
 5. Ljaljuk V.P., Sheremet V.A., Listopadov V.S., Kostenko G.P., Otorvin P.I., Miroshnichenko O.N., Tarakanov A.K., Kassim D.A. Rabota domennyh pechej na uvelichennoj masse podachi [Operation of blast furnaces with increased supply mass]. *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost' – Metallurgical and Mining Industry*, 2011, no. 1, pp. 5-9. (Rus.)
 6. Kassim D.A. Analiz vlijanija massy zhelezorudnoj podachi na tehniko-jekonomicheskie pokazateli domennoj plavki [Analysis of the influence of the mass of iron ore supply on the technical and economic indicators of blast furnace smelting]. *Visnik Krivoriz'kogo nacional'nogo universitetu – Bulletin of Kryvyi Rih National University*, 2014, vol. 36, pp. 137-140. (Rus.)
 7. Tomash A.A., Kosolap N.V., Malimon A.A., Peftiev I.M., Dolja S.N. Upravlenie radial'nym raspredeleniem shihty i gazov v domennyh pechah OAO «MMK im. Il'icha» pri razdel'noj zagruzke uvelichennyh mass koksa i aglomerata [Control of radial distribution of the charge and gases in blast furnaces belonging to «Ilych Iron and steel Works» PJCS at separate charging of increased quantities of coke and sintered ore]. *Metallurgicheskie processy i oborudovanie – Metallurgical processes and equipment*, 2005, no. 2, pp. 35-38. (Rus.)
 8. Semakova V.B., Semakov V.V., Gavriloglu D.I. Economic analysis of reduction processes in blast furnaces. *Steel in Translation*, 2012, vol. 42, no. 4, pp. 319-323. doi: 10.3103/S0967091212040146.
 9. Zinchenko Ju.A., Kurpe A.G., Forman A.V., Russkih V.P., Semakova V.B., Semakov V.V. Sovershenstvovanie rezhimov zagruzki domennyh pechej ChAO «MMK im. Il'icha» v uslovijah vduvanija pyleugol'nogo topliva [Improvement of the modes of loading of blast furnaces PJSC «Ilych Iron and Steel Works» in the conditions of inflation of coal-dust fuel]. *Metall i lit'e Ukrainy – Metal and casting of Ukraine*, 2017, no. 1 (284), pp. 5-1. (Rus.)
 10. Semakov V.V. Issledovanie vlijanija porjadka zagruzki shihtovyh materialov pri formirovanii ih vysokih sloev na raspredelenie rudnyh nagruzok po radiusu koloshnika domennoj pechi. *Tezi dopovidej II Vseukr. nauk.-prakt. konf. molodih vchenih, fahivciv, aspirantiv «Problemi energozberezhenija v promislovomu regioni. Nauka i praktika»* [Investigation of the materials order charging influence at the high layers formation on the ore loads distribution along the radius of the blast furnace top. Proceedings of II All-Ukrainian Sci.-Pract. Conf. «Problems of energy saving in the industrial region. Science and practice»]. Mariupol, 2016, pp. 82-84. (Rus.)
 11. Semakova V.B. Raspredelenie materialov po radiusu koloshnika pri zagruzke v domennuju pech' razdel'nyh koksovyh i rudnyh podach [Materials distribution along the top radius at charging the blast furnace with separate coke and ore supplies]. *Visnik Priazovs'kogo derzhavnogo tehničnogo universitetu. Serija : Tehnichni nauki – Reporter of the Priazovskiy State Technical University. Section: Technical sciences*, 2019, vol. 38, pp. 14-22. doi: 10.31498/2225-6733.38.2019.181267. (Rus.)
 12. Tarasov V.P. *Gazodinamika domennogo processa* [Gas dynamics of the blast-furnace process]. Moscow, Metallurgy Publ., 1990. 216 p. (Rus.)

Рецензент: В.П. Руських
канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 27.03.2020