



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **110435** (13) **C2**  
(51) МПК (2015.01)  
**C21B 5/00**

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

<b>(21)</b> Номер заявки: <b>а 2014 09407</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и): <b>Тогобицька Дар'я Миколаївна (UA), Белькова Алла Іванівна (UA), Степаненко Дмитро Олександрович (UA), Гладков Микола Андрійович (UA), Скачко Олександр Сергійович (UA)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>26.08.2014</b>	
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>25.12.2015</b>	
<b>(41)</b> Публікація відомостей про заяву: <b>25.02.2015, Бюл.№ 4</b>	<b>(73)</b> Власник(и): <b>ІНСТИТУТ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ,</b> пл. Академіка Стародубова, 1, м. Дніпропетровськ, 49050 (UA)
<b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.12.2015, Бюл.№ 24</b>	<b>(56)</b> Перелік документів, взятих до уваги експертизою: Kardas E. The analysis of quality of ferrous burden materials and its effect on the parameters of blast furnace process. – Metalurgija. – 52. – 2013. – No 2. – P. 149 – 152, UA 11142 U, 15.12.2005 SU 1067046 A, 15.01.1984 SU 1788016 A1, 15.01.1993 RU 2172780 C1, 27.08.2001 KR 20140002220 A, 08.01.2014 JP 01156412 A, 20.06.1989 JP 2009046711 A, 05.03.2009,

## (54) СПОСІБ ВЕДЕННЯ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ

### (57) Реферат:

Спосіб ведення доменної плавки належить до чорної металургії та включає завантаження в доменну піч залізорудних матеріалів, флюсу і коксу, зміну складу і витрат компонентів шихти, при цьому здійснюють завантаження шихтових матеріалів таким чином, щоб підтримувати значення інтегрального показника якості шихти в межах від 0,5 до 0,7, причому значення інтегрального показника якості шихти розраховують за даними хімічного складу і витрат компонентів шихти при відповідному співвідношенні. Технічний результат: зниження вмісту сірки і кремнію в чавуні та зменшення витрат коксу і збільшення продуктивності процесу.

UA 110435 C2



Винахід належить до чорної металургії, зокрема до доменного виробництва, і може бути використаним при виплавці чавуну в доменних печах, що проплавляють шихту з залізовмісних матеріалів, флюсів та коксу.

Відомий спосіб ведення доменної плавки (Пат. Україна, № 11142 МПК C21B 5/00, опубл. 15.12.2005), який включає завантаження в доменну піч залізородних матеріалів, флюсу і коксу, змінення хімічного складу і витрат компонентів шихти, контроль складу кінцевого шлаку і чавуну, визначення чисельних значень хімічного ( $\Delta e$ ) і стехіометричного ( $\rho$ ) параметрів кінцевого шлаку відповідно до концепції спрямованого хімічного зв'язку.

На основі цих параметрів визначають величини властивостей кінцевого шлаку: в'язкості, температури затвердіння, ентальпії, поверхневого натягу, сіркопоглинальної здібності, після чого змінюють хімічний склад і витрати компонентів доменної шихти таким чином, щоб в'язкість кінцевого шлаку підтримувати в межах 0,28-0,32 Па·с і температуру затвердіння в межах 1280-1320 °С, при цьому величина сіркопоглинальної здібності повинна прагнути до максимуму, а величини ентальпії та поверхневого натягу - до мінімуму.

Недоліком відомого способу є можливість коректування складу шихти із запізненням на 5-7 годин за показниками виплавленого відповідного завантаженої шихти випуску чавуну і шлакового режиму. Також при цьому, відсутня оцінка якості проплавлюваної шихти, а саме металургійних властивостей проплавлюваних залізородних матеріалів, що визначають багато в чому нормальний хід процесу і досягнення високих техніко-економічних показників доменної плавки.

Відомий спосіб визначення металургійної цінності доменної залізородної сировини за комплексними показниками якості (Пат. РФ. № 2283877 МПК C22B 1/14, опубл.), складовими якого є показники властивостей сировини і відповідні їм бали, за сумою яких здійснюється прогноз витрат коксу на 1 тону чавуну.

Однак, при цьому спосіб не враховує взаємозв'язок показників завантажуваної залізородної сировини з показниками кінцевих продуктів доменної плавки (чавуну і шлаку), а саме якість виплавленого із завантаженої шихти чавуну.

Найбільш близьким за технічною суттю і результатом, що досягається, є спосіб ведення доменної плавки, (Авт. свід. СРСР № 1067046, опубл. 1984), що включає зміну хімічного складу і витрат шлакоутворюючих компонентів шихти, залізородних матеріалів, коксу і флюсу, згідно з яким підтримуються постійними інтегральні показники шихти: хімічний еквівалент ( $\Delta e$ ) і стехіометричний показник ( $\rho$ ) шихти в межах 1,93-1,98 і 0,68-0,7 відповідно. При цьому чисельні значення хімічного еквівалента ( $\Delta e$ ) і стехіометричного показника ( $\rho$ ) шихти знаходять шляхом розв'язування рівнянь, що включають табельовані значення іонних радіусів, зарядів і атомних часток хімічних елементів шлакоутворюючих хімічних елементів шихти.

У відомому способі при стабільності параметрів  $\Delta e$  та  $\rho$  забезпечується стабільність фізико-хімічних властивостей кінцевого шлаку.

Недоліком даного способу є відсутність обліку показників, що характеризують процеси агрегатних і фазових перетворень залізородних матеріалів в умовах доменної плавки. У той же час реалізація цих процесів значною мірою зумовлюється мінералогічним складом шихтових матеріалів і розплавів, що з них утворюються.

Зокрема формується шлаковий розплав, який внаслідок процесів ошлакування порожньої породи залізородних матеріалів, зумовлює тепло- і масообмінні процеси доменної плавки і формування чавуну необхідної якості.

Задача способу ведення доменної плавки полягає в отриманні чавуну необхідної якості за рахунок спрямованого формування розплавів в доменній печі шляхом врахування показників, що характеризують процеси агрегатних і фазових перетворень залізородних матеріалів, що забезпечують зниження вмісту сірки і кремнію в чавуні, зменшення витрат коксу і збільшення продуктивності.

Вирішення поставленої задачі досягається тим, що в способі ведення доменної плавки, який включає завантаження в доменну піч залізородних матеріалів, флюсу і коксу, змінення складу і витрат компонентів шихти за значенням інтегрального показника якості шихти, формують завантажувану в доменну піч подачу такого складу, у якого значення інтегрального показника якості шихти перебуває в межах від 0,5 до 0,7, який визначається за такою формулою:

$$K_{\text{ш}} = \left( \frac{\text{FeO}}{\text{SiO}_2} \right)^{\alpha_1} \cdot \left( \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2} \right)^{\alpha_2} \cdot \left( \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2} \right)^{\alpha_3} \cdot \left( \frac{\text{MgO}}{\text{SiO}_2} \right)^{\alpha_4} \cdot \left( \frac{\text{R}_2\text{O}}{\text{CaO}} \right)^{\alpha_5} \cdot \left( \frac{T_{\text{КТ}}}{T_{\text{нф}}} \right)^{\alpha_6} \cdot \left( \frac{\text{FeO}_{\text{пш}}}{-\Delta e / \rho} \right)^{\alpha_7},$$

55

де  $K_{\text{ш}}$  - інтегральний показник якості доменної шихти, частки одиниці;  $\text{Fe}_{06}/\text{SiO}_2$  - показник багатства шихти, частки одиниці;  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  - основність шихти, частки одиниці;  $\text{MgO}/\text{SiO}_2$  - магнезійний модуль шихти, частки одиниці;  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  - глиноземний модуль шихти, частки одиниці;  $\text{R}_2\text{O}/\text{CaO}$  - лужний модуль шихти, частки одиниці;  $T_{\text{нф}}$  - температура фільтрації

5 первинного шлакового розплаву через коксову насадку, °C;  $T_{\text{кт}}$  - температура крапельної течії первинного шлакового розплаву, °C;  $\text{FeO}_{\text{пш}}$  - вміст FeO в первинному шлаковому розплаві, мас. %;  $\Delta e$  - хімічний еквівалент шлакоутворюючої частини шихти, e;  $\rho$  - показник стехіометрії шлакоутворюючої частини шихти; де  $K_{\text{ш}}$  – інтегральний показник якості доменної шихти, частки одиниці,

10  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6, \alpha_7$  – показники ступенів, які характеризують значимість кожного показника доменної шихти та визначають в результаті експертних оцінок на основі регресивного аналізу поточних даних роботи доменної печі в сталих шихтових і технологічних умовах, при цьому значення показників  $\alpha_i$ , де  $i = 1-7$  змінюють в діапазонах: 0,12-0,14, 0,18-0,22, 0,13-0,16, 0,13-0,16, 0,11-0,14, 0,11-0,14 та 0,22-0,26 відповідно.

15 Частинні показники хімічного складу шихти  $\text{Fe}_{06}/\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}/\text{SiO}_2$  характеризують багатство шихти, склад зв'язки рудної частини агломерату і характер фазових перетворень, гарячу міцність. Облік в узагальненому показнику відношень  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}/\text{SiO}_2$  пов'язаний також з їх роллю у формуванні шлакового режиму завдяки наявності спадкових зв'язків співвідношень відповідних компонентів залізорудних матеріалів з основними мінералогічними фазами кінцевих шлаків в процесі ведення доменної плавки.

20 Кінцевий доменний шлак є наслідком процесів ошлакування порожньої породи залізорудних матеріалів, яка належить до групи силікатів. В основі всіх силікатів лежать складні зв'язки кремнієкисневих тетраедрів, що складають структурну основу більшості мінералів залізорудних матеріалів і доменних шлаків.

25 Досвід вивчення мінералогії кінцевих доменних шлаків показав, що властивості шлакових розплавів, зокрема, температура ліквідує і в'язкість, є наслідком не тільки складу і термодинамічних умов, але і його певної структури, яку відображає мінералогічний склад (Вплив мікро- і макрөгетерогенності на властивості доменних шлаків Д.М. Тогобицька, А.Ф. Хамхотько, Д.О. Степаненко та ін. Металургійна і гірничорудна промисловість. - 2009. - № 5. - С. 12-15.).

30 Зокрема, встановлений зв'язок температури ліквідує шлакових розплавів з їх показником стехіометрії обумовлений міцністю зв'язку іонів або їх груп, що визначають утворення конкретних мінералогічних фаз. Так, найбільші значення температури ліквідує мають ті шлаки, у яких первинна кристалічна фаза представлена мінералом ларніт. Оскільки мінерал ларніт є самим тугоплавким мінералом доменних шлаків, то наявність в розплаві відповідних іонних груп з характерними зв'язками визначають теплофізичні властивості шлаку, зокрема його ентальпію.

35 Показники первинного шлакового розплаву  $T_{\text{кт}}/T_{\text{нф}}$ ,  $\text{FeO}_{\text{пш}}/(-\Delta e/\rho)$  пов'язані з формуванням простору і поверхні, доступної газу-відновлювачу і визначають такі характеристики, як відновлюваність, місце розташування і товщину в'язкопластичної зони, здатність розплаву до фільтрації через насадку.

40 Відношення  $T_{\text{кт}}/T_{\text{нф}}$  - характеризує діапазон розвитку та існування оксидного розплаву, що утворюється в результаті агрегатних перетворень даного залізорудного матеріалу.

Поліпшення газодинамічного режиму доменної плавки і стабілізація теплового стану горна спостерігаються в тому випадку, якщо плавлення залізорудних матеріалів починається при

45 досить високих температурах. Від відношення  $T_{\text{кт}}/T_{\text{нф}}$  залежить дренажна здатність металевих і оксидних розплавів через коксову насадку, тимчасовий і просторовий розвиток цього процесу.

Зменшення температурного діапазону переходу рудних складових зі стану розплавлення в крапельний рідкорухомий стан обумовлює оптимізацію газодинамічного режиму та низки процесів, в тому числі підвищення стабільності кінцевого шлаку і якості чавуну.

50 Показник  $\text{FeO}_{\text{пш}}/(-\Delta e/\rho)$  визначає плавкість первинного розплаву, оскільки відношення відображає в'язкість та інші властивості оксидних розплавів і, за певних чисельних значеннях, є межею гетерогенності. Частка  $\text{FeO}_{\text{пш}}$  з одного боку є показником широти розвитку і якості розплаву, а з іншого боку визначає ступінь непрямого відновлення заліза і витрату коксу,

необхідного для його відновлення прямим шляхом: чим вище  $\text{FeO}_{\text{пш}}$ , тим більше коксу знадобиться для переходу заліза в чавун у нижніх зонах печі.

Хімічний еквівалент  $\Delta e$ , рівний середньостатистичному числу електронів на зв'язуючих орбіталях в напрямку зв'язку катіон-аніон, обчислюють за хімічним складом в результаті рішення комплексу рівнянь, що описують умови стабільності аніонного каркаса і катіонної підрешітки шлакоутворюючої частини шихти за відомою методикою (Приходько Е.В. Металохімія багатокомпонентних систем - М.: Металургія. - 1995. - 320 с). У цій же роботі показник стехіометрії обчислюють як відношення чисел катіонів до аніонів.

Вхідні до складу інтегрального показника шихти частинні показники  $T_{\text{нф}}$ ,  $T_{\text{кт}}$ ,  $\text{FeO}_{\text{пш}}$  визначаються або експериментально, або розраховують за хімічним складом залізородної сировини за статистичними залежностями, отриманими з використанням експериментальних даних.

Комплекс врахованих співвідношень оксидів шихти в інтегральному показнику якості шихти визначають як характеристики міцності сировини, так і відновлюваність і високотемпературні властивості, від яких залежить місце розташування і товщина в'язкопластичної зони, здатність розплавів до фільтрації через коксову насадку, і, як наслідок, стабільність хімічного складу кінцевих продуктів плавки.

Визначення інтегрального показника якості шихти одержують з використанням методики побудови узагальненої функції бажаності Харрінгтона, що дозволяє різні показники перетворювати в безрозмірну шкалу бажаності і "згортати" їх в єдиний узагальнений показник.

На фіг. 1 - представлені графіки взаємозв'язку інтегрального показника якості шихти  $K_{\text{ш}}$  з температурою початку плавлення шихти, вмістом сірки в чавуні і витратою коксу.

Спосіб ведення доменної плавки представлений для умов роботи ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг".

Високий ступінь зв'язку представлених залежностей, який характеризується коефіцієнтом кореляції  $R$  на рівні 0,6-0,8, дозволяє рекомендувати показник  $K_{\text{ш}}$  як критерій для оцінки плавкості завантажуваної залізородної сировини з метою спрямованого формування розплавів необхідних властивостей, що забезпечують виплавку чавуну заданого складу при зниженні витрат коксу (табл. 1).

Зокрема, найкращі значення техніко-економічних показників досягаються в разі, коли значення інтегрального показника якості шихти  $K_{\text{ш}}$  лежить в межах від 0,5 до 0,7 (креслення).

Таблиця 1

Показники	Середнє значення показника в інтервалі значень показника $K_{\text{ш}}$		
	0-0,5	0,5-0,7	0,7-1,0
Інтегральний показник якості шихти $K_{\text{ш}}$ , д.е.	0,33	0,62	0,77
Зміст $\text{FeO}$ в первинному шлаковому розплаві, мас. %;	22,3	19,1	17,6
Температура початку плавлення шихти, °C	1128	1135	1143
Ступінь використання газу, д.е.	0,34	0,38	0,38
Ступінь прямого відновлення заліза, д.е.	0,46	0,41	0,42
Вміст сірки в чавуні, мас. %	0,025	0,014	0,012
Вміст кремнію в чавуні, мас. %	0,9	1,03	1,17
Виробництво чавуну, тонн за випуск	412	469	433
Витрата коксу, кг/т	505	449	471

Сутність способу ведення доменної плавки, що заявляється, полягає в наступному.

При зміні шихтових умов або необхідності перешихтовки на етапі формування завантажуваної в доменну піч подачі за заданими показниками хімічного складу і витрат компонентів доменної шихти визначають інтегральний показник якості шихти  $K_{\text{ш}}$  за формулою.

У випадках виходу значення інтегрального показника якості доменної шихти за допустимі межі від 0,5 до 0,7, які забезпечують спрямоване формування розплавів в доменній печі і виплавку чавуну необхідного складу, виконують коригування шихти.

Таблиця 2

Показники	Існуючий спосіб	запропонований спосіб
Склад подачі, т:		
агломерат НКГОК	80,0	80,0
шлак збагачений	2,5	2,5
скрап	3,8	3,8
брикети	2,5	2,5
МОЖ	2,0	2,0
Антрацит	3,0	3,0
Кокс	21,9	21,75
Показники шихти:		
Fe <sub>об</sub> , %	53,13	53,71
Основність CaO/SiO <sub>2</sub>	1,09	1,11
Рудне навантаження, т/т	3,64	3,67
Вміст FeO в первинному шлаку, %	22	18
Інтегральний показник шихти	0,48	0,66
Витрата дуття, м3 / хв	6100	6300
Витрата природного газу, м3 / хв	200	233
Ступінь використання газу, д.е.	0,35	0,41
Теоретична температура горіння, °C	2083	2092
Ступінь прямого відновлення заліза	0,44	0,41
Склад чавуну:		
[Si], %	0,78	0,84
[S], %	0,026	0,015
[Mn], %	0,39	0,40
Основність шлаку:		
CaO/SiO <sub>2</sub>	1,18	1,21
Виробництво чавуну, тонн з подачі	50,5	51,30
Витрата коксу, кг / т	433	424

В результаті виконання способу, що заявляється, досягається зниження вмісту сірки і кремнію в чавуні, зниження витрат коксу і збільшення продуктивності доменної печі.

Конкретний приклад використання способу ведення доменної плавки, що заявляється, реалізований на доменній печі об'ємом 5000 м<sup>3</sup>.

Результати надані в таблиці 2.

Таким чином, застосування запропонованого способу ведення доменної плавки сприяє поліпшенню якості чавуну (зниження вмісту сірки і кремнію в чавуні) і підвищенню техніко-економічних показників доменної плавки (зменшенню витрат коксу і збільшенню продуктивності).

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб ведення доменної плавки, що включає завантаження в доменну піч залізородних матеріалів, флюсу і коксу та зміну складу і витрат компонентів шихти, який **відрізняється** тим, що формування завантажуваної подачі шихти здійснюють таким чином, щоб підтримувати значення інтегрального показника якості шихти в межах від 0,5 до 0,7, при цьому значення інтегрального показника якості шихти розраховують за даними хімічного складу і витрат компонентів шихти за наступним співвідношенням:

$$K_{ш} = \left( \frac{Fe_{об}}{SiO_2} \right)^{\alpha_1} \cdot \left( \frac{CaO}{SiO_2} \right)^{\alpha_2} \cdot \left( \frac{Al_2O_3}{SiO_2} \right)^{\alpha_3} \cdot \left( \frac{MgO}{SiO_2} \right)^{\alpha_4} \cdot \left( \frac{R_2O}{CaO} \right)^{\alpha_5} \cdot \left( \frac{T_{кт}}{T_{нф}} \right)^{\alpha_6} \cdot \left( \frac{FeO_{ни}}{-\Delta e / \rho} \right)^{\alpha_7},$$

де K<sub>ш</sub> - інтегральний показник якості доменної шихти, частки одиниці,

Fe<sub>об</sub>/SiO<sub>2</sub> - показник багатства шихти, частки одиниці,

CaO/SiO<sub>2</sub> - основність шихти, частки одиниці,

MgO/SiO<sub>2</sub> - магнезійний модуль шихти, частки одиниці,

$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  - глиноземний модуль шихти, частки одиниці,  
 $\text{R}_2\text{O}/\text{CaO}$  - лужний модуль шихти, частки одиниці,  
 $T_{\text{нф}}$  - температура фільтрації первинного шлакового розплаву через коксову насадку, °C,  
 $T_{\text{кт}}$  - температура крапельної течії первинного шлакового розплаву, °C,

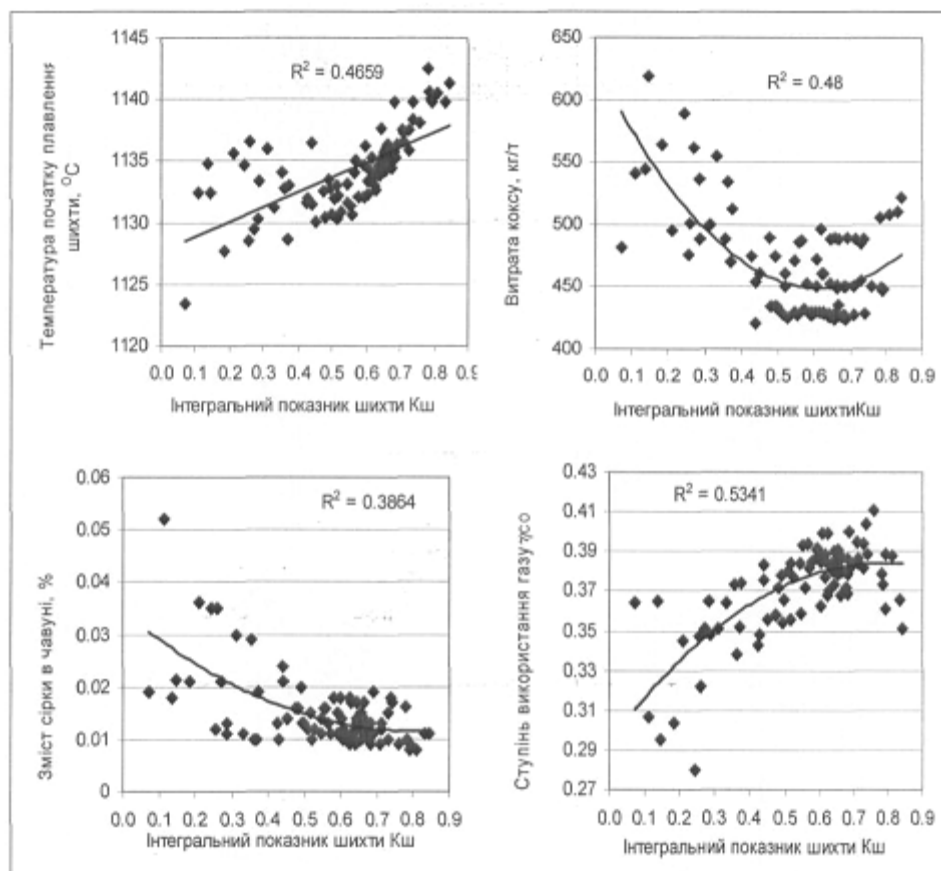
5  $\text{FeO}_{\text{пш}}$  - вміст FeO в первинному шлаковому розплаві, мас. %,

$\Delta e$  - хімічний еквівалент шлакоутворюючої частини шихти, e,

$\rho$  - показник стехіометрії шлакоутворюючої частини шихти,

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6, \alpha_7$  - показники ступенів, які характеризують значимість кожного показника доменної шихти та визначають в результаті експертних оцінок на основі регресивного аналізу поточних даних роботи доменної печі в сталих шихтових і технологічних умовах, при цьому значення показників  $\alpha_i$ , де  $i=1-7$  змінюють в діапазонах: 0,12-0,14, 0,18-0,22, 0,13-0,16, 0,13-0,16, 0,11-0,14, 0,11-0,14 та 0,22-0,26 відповідно, причому значення  $T_{\text{нф}}, T_{\text{кт}}$  та  $\text{FeO}_{\text{пш}}$ , що входять до складу інтегральних показників якості доменної шихти, визначають або експериментально, або розраховують за хімічним складом залізрудних матеріалів по статистичних залежностях,

15 одержаних з використанням експериментальних даних.



Комп'ютерна верстка І. Скворцова

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601