



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **87552** (13) **U**
(51) МПК (2014.01)
C21B 13/00
C21B 13/06 (2006.01)
F27B 15/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2013 10787	(72) Винахідник(и): Бодров Володимир Вікторович (UA), Скребцов Олександр Михайлович (UA), Троцан Анатолій Іванович (UA)
(22) Дата подання заявки: 02.04.2013	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.02.2014	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.02.2014, Бюл.№ 3	(73) Власник(и): Бодров Володимир Вікторович, вул. Артема, б. 37, кв. 51, м. Маріуполь, Донецька обл., 87515 (UA), Скребцов Олександр Михайлович, вул. Межевая, 23/2, м. Маріуполь, Донецька обл., 87526 (UA), Троцан Анатолій Іванович, пр. Ілліча, 30, кв. 194, м. Донецьк, 83003 (UA)
(62) Номер та дата подання попередньої заявки, з якої виділено заявку, позначену кодом (21): u201304084, 02.04.2013	

(54) ВИПАЛЮВАЛЬНИЙ РАДІОРЕАКТОР В.В. БОДРОВА - О.М. СКРЕБЦОВА - А.І. ТРОЦАНА**(57) Реферат:**

Випалювальний радіореактор містить корпус, газопроникні горизонтальні перегородки з каналами для пересипання матеріалу на нижче розташовані перегородки, що розділяють внутрішній простір корпусу на камери, та трубопроводи. Крім цього корпус виконаний у вигляді прямокутного паралелепіпеда, перегородки виконані у вигляді аерожолобів жалюзійного типу, ширина яких дорівнює внутрішній ширині корпусу, при цьому один кінець кожного аерожолоба примикає до бічної стінки камери, а другий кінець віддалений від протилежної бічної стінки і граничить з верхнім кінцем перегородки, що утворює зі стінкою камери вертикальний канал. Під нижнім торцем каналів установлені з можливістю повороту навколо горизонтальної осі підтиснуті до вертикальних перегородок клапани, над аерожолобами розташовані джерела іонізуючого випромінювання, у просторі між аерожолобами розташовані труби-теплообмінники і труби підведення окисного газу, корпус з трубами-теплообмінниками, з трубами підведення і відводу відновного газу і з контейнерами для джерел іонізуючого випромінювання розташований усередині кожуха, виконаного у вигляді бункера для сипучих матеріалів.

UA 87552 U

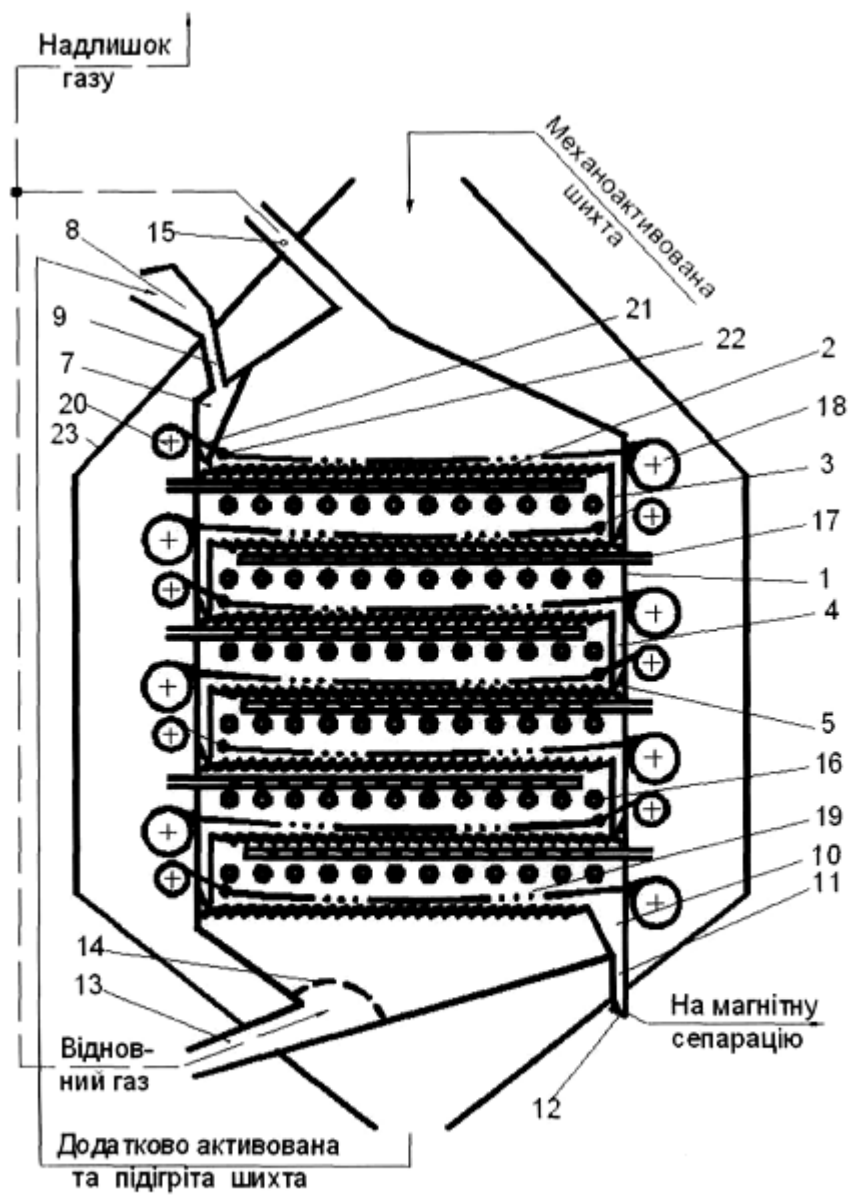


Fig. 1

Корисна модель належить до області збагачення залізних руд магнітною сепарацією.

Найбільш розповсюджений спосіб збагачення залізних руд - це магнітна сепарація тонко дрібної сировини, але для руд, основним залізовмісним компонентом яких є слабомагнітні гематит (Fe_2O_3) або сидерит (Fe_2O_3), ефективність магнітної сепарації невелика. Для перетворення гематитових і сидеритових залізних руд у сильномагнітні магнетитові (Fe_3O_4) для наступної магнітної сепарації застосовують магнетизуючий випал [1].

Відомий спосіб магнітної сепарації залізгорудних матеріалів, описаний у роботах [2, 3]. Суть його полягає в тому, що на руду дрібнокускової або зернистої фракції впливають до перетворення гематиту в магнетит димом від спалювання палива з коефіцієнтом надлишку повітря менш 1, що має температуру 700-800 °C і утримуючого менш ніж 10 % CO, при швидкості газу більш 1 м/с, після чого обпалений матеріал, щоб уникнути вторинного окислювання магнетиту, ізолюють від кисню повітря і прохолоджують до температури менш 100 °C шляхом занурення у воду, потім подрібнюють для розкриття зростків магнітних і немагнітних кристалів і піддають дво- або тристадійної слабомагнітної мокрої сепарації.

Випал ведуть у шахтних і трубчастих печах, а також у реакторах киплячого шару.

Реакція відновлення гематиту починає йти у бік утворення магнетиту при температурі 140 °C навіть при малій концентрації відновного газу в газовому потоці і з підвищенням температури швидкість процесу експоненціально збільшується, тому, з погляду динаміки процесу, бажано мати як можна більш високу температуру, але зі збільшенням температури зменшується відношення у відновлювальному газі CO до CO_2 , при якому термодинамічно можливе утворення слабомагнітного FeO, - перевідновлення гематиту і стабілізація вюститу при швидкому охолодженні у воді зі зменшенням магнітних властивостей обпаленої руди.

Оскільки при спалюванні палива в повітрі вміст ($\text{CO} + \text{CO}_2$) у димі не перевищує 25 %, згідно з діаграмою термодинамічної рівноваги оксидів заліза і вуглецю [4], при 750 °C гранично припустимий вміст CO у відновлювальному газі - 7,5 % і з ростом температури ще зменшується. При перевищенні цих значень - зона рівноваги вюститу.

З погляду хімії, для перетворення 1 тонни Fe_2O_3 у Fe_3O_4 потрібно, щоб прореагувало 24 кг CO, а для цього необхідно прокачати уздовж поверхні часток руди більш 50 кг CO. При цьому для випалу при 700 °C мінімальна питома витрата відновного газу з 8 % CO дорівнює 1769 м³/т, а при 900 °C з 5 % CO - 3413 м³/т гематиту, вміст якого в руді далеко не 100 %.

Для зменшення тривалості прогону необхідного обсягу газу через перетин печі, його продувають з високою (більш 1 м/с) швидкістю, при цьому рудний дріб'язок виноситься з робочої зони, але зі збільшенням розміру часток збільшується тривалість дифузії CO до їх центру, значить збільшується відношення прокачаного газу до засвоєного, а отже і питома витрата газу.

Таким чином, виходить замкнуте коло суперечливих умов, що обмежують мінімальні габарити випалювальної печі, які обумовлюють високу питому витрату палива (1200-2500 Мкал/т [3]), а також електроенергії для пристроїв, які подають паливо і повітря. У цьому і полягає перший принциповий недолік описаного способу.

При температурі навколишнього середовища ферити побіжних металів, не завжди бажаних у складі сталей, а також сульфідів, фосфідів і фосфатів заліза мають порівняно високу магнітну сприйнятливості, тому велика частина цих сполук при магнітній сепарації попадає в концентрат. У цьому - другий принциповий недолік описаного і всіх інших відомих способів магнітної сепарації залізгорудних матеріалів.

Третій недолік - висока енергоємність сушіння концентрату після мокрої сепарації.

Найближчим технічним рішенням до пристрою, що заявляється, за істотними ознаками і розв'язуваною задачею, є багатокамерний випалювальний реактор киплячого шару, що містить циліндричний корпус з вертикальною віссю, футерований зсередини вогнетривкою цеглою, кілька газопроникних горизонтальних перегородок з каналами для пересипання матеріалу на нижче розташовану перегородку, що розділяють внутрішній простір корпусу на камери, піддон із трубопроводом для підведення повітря і ковпак для відводу диму, а також патрубків для відводу з нижньої камери випаленого матеріалу, трубопровід для підведення газоподібного палива в другу знизу камеру і засіб подачі підлягаючому випалові матеріалу у верхню камеру, причому горизонтальні перегородки виконані з вогнетривкої цегли з безліччю отворів малого діаметра для проходу газу і з одним отвором порівняно великого діаметра, у який вставлена керамічна труба для пересипання матеріалу в нижче розташовану камеру, отвори з керамічними трубами розташовані поблизу стін корпусу й у суміжних камерах - діаметрально протилежні [4].

Процес випалу в основному відбувається в другій знизу (випалювальній) камері, куди подають паливний газ і куди з нижньої камери через малі отвори в горизонтальній перегородці надходить підігріте повітря. Газ згоряє, забезпечуючи процес випалу теплом, гарячий дим

проходить через вище розташовані камери, підсушуючи і нагріваючи до температури випалу матеріал, і виходить назовні через трубопровід у ковпак. Дрібнозернистий матеріал, що має випалитися, який подається у верхню камеру, аерується і за час переміщення до керамічної труби попередньо підігрівається і підсушується минаючим димом, потім пересипається в нижче розташовану камеру з більш високою температурою, аерується, остаточно висушується, переміщається до керамічної труби і пересипається в нижче розташовану камеру з ще більш високою температурою, нагрівається до заданої температури, можливо частково обпікається і пересипається у випалювальну камеру, де в основному відбувається і завершується процес хімічного перетворення матеріалу в продукт випалу. Пересипаючись в нижню камеру й аеруючись повітрям, що подається, випалений матеріал частково проохолоджується їм і висипається назовні через патрубок, а нагріте повітря надходить у випалювальну камеру.

Описаний реактор, поряд з такою перевагою, як конструктивне забезпечення високого ступеня використання теплотворної здатності палива за рахунок тепломасообміну матеріалу з димом у протитечії, має принциповий недолік, який полягає в тому, що на круглій горизонтальній газопроникній перегородці переміщення псевдозрідженого матеріалу від периферійної точки надходження матеріалу, до діаметрально протилежної точки стоку рівно ймовірно може відбуватися по нескінченній безлічі траєкторій - від прямої, що з'єднає дві точки, до півкіл і еліптичних кривих, значить тривалість перебування різних часток загального потоку на якій-небудь стадії процесу може розрізнитися на кілька порядків. При цьому для завершення процесу випалу у всьому об'ємі матеріалу продуктивність реактора повинна розраховуватись по мінімально достатньому часі перебування матеріалу у випалювальній камері, а при розрахунку продуктивності по середньому достатньому часі перебування матеріалу в камері, у готовому продукті частина матеріалу буде зі зниженим ступенем випалу. З цього випливає, що реактори круглого перетину з точковими зонами підведення і відводу матеріалу мають низький ступінь корисного використання обсягу.

Якщо швидкість хімічної реакції при випалі невелика, то для високої продуктивності реактора необхідно або істотно збільшувати температуру процесу, або знижувати енергію активації матеріалу, наприклад, застосуванням каталізаторів, або застосовувати реактор з впорядкованим рухом часток і з декількома випалювальними камерами.

Задачею, на вирішення якої спрямована корисна модель, є істотне підвищення продуктивності процесу магнетизуючого випалу залізної руди, чистоти магнетиту, що виходить, а також зниження енергоємності процесу збагачення руди шляхом нової сукупності дій над об'єктом.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що випалювальний радіореактор В.В. Бодрова - О.М. Скребцова - А.І. Троцана, який заявляється, містить корпус, газопроникні горизонтальні перегородки, що розділяють внутрішній простір корпусу на камери, з каналами для пересипання матеріалу на нижче розташовані перегородки, піддон і ковпак із трубопроводами для підведення і відводу газу, у якому, відповідно до корисної моделі, корпус виконаний у вигляді прямокутного паралелепіпеда, перегородки виконані у вигляді аерожолобів жалюзійного типу, ширина яких дорівнює внутрішній ширині корпусу, при цьому один кінець кожного аерожолоба примикає до вузької бічної стінки камери, а другий кінець відстоїть від протилежної вузької бічної стінки і граничить з верхнім кінцем перегородки, що утворює зі стінками камери вертикальні канали, під нижнім торцем каналів установлені з можливістю повороту навколо горизонтальної осі підтиснуті до вертикальних перегородок клапани, над аерожолобами розташовані джерела іонізуючого випромінювання, у просторі між аерожолобами розташовані труби-теплообмінники і труби підведення окисного газу, корпус з колекторами труб-теплообмінників, із трубами підведення і відводу відновного газу і з контейнерами для радіоактивного дроту, розташований усередині кожуха, що виконаний як бункер для сипучих матеріалів, простір між захисним кожухом і корпусом реактора заповнений шихтовою сумішшю, причому:

- жалюзійні пластини аерожолобів установлені з можливістю зміни кута їхнього нахилу до площини аерожолобів;

- джерела іонізуючого випромінювання виконані у вигляді дроту з радіоактивного матеріалу з β - і γ -активністю, періодом напіврозпаду більш 1 року і теплостійкістю більш 600 °С, положення осей радіоактивного дроту збігається з напрямком руху аерованого шару руди, яка обпалюється, відстань радіоактивного дроту від верхнього рівня аерожолобів - менше товщини аерованого шару шихтової суміші;

- зовні кожух обкладений блоками з матеріалу з високою поглинаючою здатністю стосовно γ -випромінювання.

Продуктивність металургійних процесів визначається швидкістю хімічних реакцій, математично описуваним виразом

$$V=V_0 \exp(-E/RT),$$

де E , R і T - відповідно енергія активації хімічної реакції, універсальна газова постійна й абсолютна температура.

Металургія з давніх часів і дотепер розвивається в напрямку підвищення продуктивності шляхом гранично припустимого збільшення T , але при цьому збільшуються тепловтрати в навколишнє середовище, відновлюються і розчиняються в залізі шкідливі елементи - фосфор, сірка, миш'як, підвищуються вимоги до жаростійкості технологічних агрегатів.

Але з приведеної формули випливає, що збільшувати швидкість реакцій можна зменшенням енергії, необхідної для активації процесу. У цьому напрямку використовуються, і то переважно в хімічних технологіях, практично тільки два прийоми - каталізатори і механоактивація матеріалу при високошвидкісному ударному впливі [4] у процесі його тонкого здрібнювання, наприклад, у дезінтеграторах. Ще раніш було відомо [5], що без підвищення температури хімічні реакції можна прискорити іонізацією і збудженням атомів у молекулах реагентів при впливі радіації, але через технічні і психологічні труднощі, зв'язані з використанням могутніх радіоактивних джерел, цей шлях знайшов застосування тільки в дуже обмеженому числі технологій.

Створення цілком автоматизованих реакторів, захищених від виходу назовні радіоактивного випромінювання, а також механоактивація сировини в принципі дозволяють, по-перше, відновлювати ферооксиди з високою продуктивністю при температурі нижче $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, по-друге, знизити більш ніж на $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ температуру інтенсивного окислювання вуглецю його діоксидом, значить відновлювати ферооксиди вугіллям. Оскільки пряме відновлення гематиту - реакція ендотермічна, до місця реакції необхідно підводити тепло.

При температурі нижче $570\text{ }^{\circ}\text{C}$ вюстит (FeO) термодинамічно нестійкий - розпадається на Fe і Fe_3O_4 , тому виключається імовірність перевідновлення і магнетизуючий випад можна вести при умовах, що забезпечують гранично високу швидкість відновної реакції - перед випалом руду піддавати особливо тонкому здрібнюванню з механоактивацією структури, випад вести з використанням іонізуючого випромінювання і високої концентрації відновного газу.

Отже, при температурі нижче $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ навіть активований процес відновлення йде незадовільно повільно, а при температурі більш $570\text{ }^{\circ}\text{C}$ необхідно обмежувати швидкість відновлення, щоб уникнути утворення вюститу. У температурному інтервалі $450\text{--}570\text{ }^{\circ}\text{C}$ із з'єднань заліза сильну магнітність має тільки магнетит, його точка Кюрі - приблизно $627\text{ }^{\circ}\text{C}$. Цими фактами й обумовлений заявлений температурний інтервал відновлення і магнітної сепарації, на них заснований найбільш простий і економічний шлях одержання особливо чистого по домішках концентрату.

Пряме відновлення гематиту вуглецем дозволяє продувати з малою (менш $0,1\text{ м/с}$) швидкістю через аерований шар тонкоздрібненої рудно-вугільної суміші відновний газ, що виконує функцію переносника кисню від оксидів заліза до вугілля, при цьому істотно скоротити розміри випалювального реактора. Оскільки реакція прямого відновлення руди екзотермічна, дефіцит тепла заповнюється за рахунок спалювання частини вугілля в технічному кисні, який підводиться під кожен аерожолоб, а також за рахунок підігріву відновного газу трубами-теплообмінниками.

Ефект механоактивації структури матеріалу при високошвидкісному ударному здрібнюванні [4] полягає в тому, що істотна частина енергії удару переходить в енергію утворення усередині обсягу часток матеріалу густої мережі мікротріщин, руйнування матеріалу відбувається не тільки по гранях мікрокристалів, але і, частково, з розривом внутрікристалічних зв'язків, на поверхні мікротріщин деформуються кристалічні ґрати матеріалу. Усі гетерогенні реакції включають початковий етап - абсорбцію газоподібного реагенту на поверхні розподілу, і, як відомо [6], молекули газу, зокрема відновного, хемосорбуються саме на активних центрах, утворених силовими полями перекручених кристалічних ґрат.

Ефект радіоактивації структури матеріалу полягає в тому, що високоенергетичне випромінювання іонізує атоми в молекулах речовини і руйнує них, а ослаблене активно поглинається і переводить атоми в збуджений стан, прямо знижуючи енергію активації хімічних реакцій.

Як було відзначено вище, побіжні метали в залізних рудах утримуються здебільшого у вигляді феритів і інших складних з'єднань, що не відновлюються нижче $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ і немагнітні при температурі вище $450\text{ }^{\circ}\text{C}$, тому відокремлюються від концентрату, але нікель, а також ферити марганцю, міді, нікелю й ін., уловлюються вторинною магнітною сепарацією немагнітної фракції, охолодженої до температури навколишнього середовища, чим забезпечується висока ступінь витягу з руди корисних компонентів.

Викладена суть корисної моделі пояснюється кресленнями, де зображено:

Фіг. 1 - схема радіореактора;

Фіг. 2 - схематичний фрагмент вертикального розрізу клапана й аерожолоба в закритому (а) і відкритому (б) стані;

5 Фіг. 3 - схема розташування радіоактивного дроту;

Фіг. 4 - схема з'єднання радіоактивного дроту з пристроєм уведення його в реактор.

Корпус 1 (Фіг. 1) радіореактора являє собою прямокутний у плані короб, до бічних широких граней якого жорстко закріплені аерожолоби 2 і перегородки 3, що утворюють з бічними стінками корпусу 1 канали 4, під якими встановлені з можливістю підтиску до перегородок 3 пластинчасті клапани 5 (Фіг. 1, 2). Підтиск клапанів 5 до перегородок 3 відрегульовано контрвантажами 6 (Фіг. 2) так, що при масі матеріалу, висота стовпа якого в каналах 4 (Фіг. 1) створює аеродинамічний опір потокові газу в кілька разів більший, ніж опір межуючого з каналом аерожолоба 2 із шаром матеріалу на ньому, клапани 5 повертаються і пропускають матеріал униз, підтримуючи в каналах 4 необхідну висоту стовпа матеріалу. Для прийому і рівномірної подачі на верхній аерожолоб 2 шихтової суміші радіореактор обладнаний прийомним бункером 7, що з'єднаний з бункером 8 декількома трубами 9. З нижнього аерожолоба 2 відновлена шихтова суміш надходить у розвантажувальний бункер 10, що з'єднаний трубами 11 з магнітним сепаратором (не показаний) зі слабким (порядку 1000 Е) магнітним полем. Кожна труба 11 обладнана клапаном 12, аналогічним клапанам 5.

20 Під нижній аерожолоб свіжий відновний газ подається через трубопровід 13 з розсіювачем 14, відпрацьований газ виходить через трубопровід 15. У просторі між аерожолобами 2 розташовані ряди труб-теплообмінників 16, виконаних із стандартних ребристих чавунних труб, а також перфоровані труби 17 для підведення технічного кисню. Вони з'єднані з колекторами (не показані) підвода і відводу гарячого диму від спалювання малоцінного палива, з колекторами кисню.

25 Зовні корпусу 1 у його коротких бічних сторін розміщені контейнери 18 (Фіг. 1, 2) радіоактивного дроту 19 і лебідки 20 для його натягу. Троси 21 (Фіг. 3, 4) лебідок 20 (Фіг. 3) проходять через відповідні отвори в бічних стінках корпусу 1 (Фіг. 1) і перегородок 3 і жорстко з'єднані зі штангами 22 (Фіг. 1, 3, 4).

30 Корпус 1 (Фіг. 1), контейнери 18 і лебідки 20 розміщені усередині рознімного кожуха 23, виконаного у вигляді бункера для сипучих матеріалів. Кожух 23 зовні обкладений блоками бетону на основі бариту (не показані), товщина блоків достатня для зниження інтенсивності g-випромінювання до припустимого рівня.

35 Кожен аерожолоб 2 (Фіг. 1) містить прямокутну несучу раму 24 (Фіг. 2), пластини 25, встановлені в рамі 24 з можливістю повороту навколо осей 26, і керуючу рамку 27, шарнірно з'єднану по осях 28 із пластинами 25. Рамка 27 розташована під рамою 24 і через ущільнення з'єднана з керуючим механізмом, закріпленим до кожуха 23 (Фіг. 1) із зовнішньої сторони. Крок пластин 25 (Фіг. 2), їхній профіль і ширина вибираються такими, щоб кут між площиною А-А (Фіг. 26) і горизонталлю був меншим кута природного укосу відновлюваного матеріалу. При цьому у випадку аварійного припинення подачі газу аерожолоба 2 (Фіг. 1) виявляються непроникними для осілих на них шарів матеріалу. При умовно закритому аерожолобі (Фіг. 2а) між пластинами 25 залишається зазор порядку 2 мм.

40 Усередині рознімних циліндричних свинцевих корпусів контейнерів 18 (Фіг. 3, 4) на загальному валові закріплені котушки 29 із дротом 19 однакової довжини з радіоактивного Co^{60} , що має β - і γ -активність, період напіврозпаду 5,3 року. Кінець кожного дроту з'єднаний з гачком 30 (Фіг. 4) так, що в транспортному положенні гачки 30 вставлені у відповідні пази в корпусі контейнера 18. Усередині кожуха 23 контейнери 18 лежать з можливістю повороту навколо своєї осі на жорстко закріплених до кожуха 23 балках 31. У робочому положенні кінці гачків 30 з'єднані з кронштейнами 32 штанг 22, у свою чергу з'єднаних тросами 21 з лебідками 20 (Фіг. 3).

50 Приводи обертання 33 котушок 28 і лебідок 19 виведені за межі кожуха 23. При монтажі радіореактора штанги 22 (Фіг. 4) установлюються так, щоб кінці кронштейнів 32 через відповідні отвори в корпусі 1 були висунуті за його межі. Перед пуском радіореактора в експлуатацію контейнери 18 через отвори, що закриваються люками, укладаються на балки 31, заштовхуються усередину кожуха 23 до відповідного упора, при цьому кінці гачків 30 виявляються строго над отворами в кронштейнах 32 і при повороті контейнерів гачки 30 з'єднуються зі штангами 22. Лебідками 20 штанги 22 переміщуються до протилежної стінки корпусу 1 (Фіг. 1), при цьому радіоактивні дроти 19 втягуються усередину корпусу 1 і розташовуються над аерожолобами 2. Для того, щоб провисання радіоактивних дротів не перевищувало 0,03 м, на відстані 0,04 м від верхнього краю пластин 25 (Фіг. 2) аерожолобів

паралельно їм між довгими бічними стінками корпусу 1 із кроком 1,5-2 м натягнуті нерадіоактивні дроти 34 (Фіг. 3), що служать проміжними опорами радіоактивним дротам 19.

У вихідному положенні радіореактор порожній, газ не подається, клапани 5 (Фіг. 1) перекривають знизу канали 4, аерожолоби 2 закриті (фіг.2б), радіоактивні дроти 19 знаходяться над аерожолобами.

Пристрій працює в такий спосіб.

У простір між кожухом 23 і корпусом 1 завантажують шихтову суміш до заповнення кожуха 23. потім вмикають з малою швидкістю транспортний пристрій, що переміщає шихтову суміш з нижньої частини кожуха 23 у бункер 8, подають гарячий дим (порядку 800 °С) від спалювання малоцінного палива в труби-теплообмінники 16. Застосування труб 9 і 11 дозволяє шихтовій суміші вільно просипатися вниз до виходу з кожуха 23.

При надходженні шихтової суміші в прийомний бункер 7 у трубопровід 13 подають з малою витратою відновний газ, прогрівають установку магнітної сепарації. Коли в бункері 7 накопичується маса матеріалу, вага якої перевищує силу підтиску клапана 5 контрвантажем 6 (Фіг. 2), він повертається, шихтова суміш рівномірним потоком надходить на верхній аерожолоб 2 (Фіг. 1) і під дією струменів відновного газу, що надходить через щілини закритого аерожолоба 2, переміщається до верхнього каналу 4. При його заповненні шихтою відкривається клапан 5 під ним, матеріал надходить на другий аерожолоб, відтіля - на аерожолоб другого модуля і так далі - до клапана 12. При надходженні в автоматичну систему керування пристроєм сигналу від клапана 12 подачу руди в бункер 8 плавно збільшують до нормальної, відкривають аерожолоби, подають кисень у труби 17 і напругу на обмотки електромагнітів. Пристрій переходить у штатний режим роботи, але до досягнення розрахункового співвідношення магнітної і немагнітної фракції отриманий матеріал повертають на повторне відновлення, додаючи його до свіжої шихтової суміші.

При роботі пристрою в штатному режимі автоматизована система керування ступенем відкриття аерожолобів 2, подачею компонентів шихти, витратою відновного газу і кисню, підведенням у радіореактор тепла, відводом надлишку газу, по заданій програмі періодично відбирає проби матеріалу на виході з клапана 12 і визначає ступінь його відновлення, наприклад, по величині електропровідності, у випадку відхилення від заданої величини коректує параметри роботи елементів радіореактора, що дозволяє вести процес з максимальною продуктивністю при заданому ступені відновлення матеріалу.

Приклад здійснення способу.

Технологічний комплекс із продуктивністю 1 млн. т концентрату в рік має 5 технологічних ліній. Технологічна лінія містить один відновний радіореактор, переробляє 44,65 т/годину залізної руди, видає 28,8 т/годину концентрату у вигляді чистого магнетиту. Аерожолоби радіореактора мають ширину 2 і довжину 16 м. У радіореакторі 8 аерожолобів.

Залізна руда зернистої фракції містить 66 % Fe_2O_3 , 2 % магнітних феритів, 0,05 % Р в вигляді фосфористих з'єднань заліза, 0,03 %S у вигляді сульфідів заліза, інше - силікати.

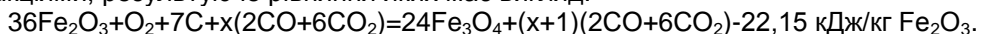
Руду і вугілля марки Т зернистої фракції у ваговому співвідношенні відповідно 98,6:1,4 спільно подрібнюють у дезінтеграторах до середнього розміру часток 20 мкм і подають безперервним потоком 12,41 кг/с у приймальну частину кожуха 23. Заповнюючи простір між кожухом 23 і корпусом 1, шихтова суміш приблизно за 9 годин опускається до виходу з кожуха, нагріваючись в середньому до 350 °С попередньо активуючись частково минаючим крізь стінки корпусу 1 γ -випромінюванням, переміщається в бункер 8 і надходить на верхній аерожолоб, де швидко нагрівається до 550 °С.

Радіоактивний дріт постійно знаходиться в аерованому шарі шихтової суміші, тому β -випромінювання цілком поглинається, а γ -випромінювання частково поглинається рудою на аерожолобах, удвічі послабляється корпусом 1, додатково поглинається рудою, що знаходиться між корпусом 1 і кожухом 23, ще раз удвічі послабляється стінкою кожуха 23, залишкове випромінювання практично цілком поглинається блоками на основі бариту, якими обкладений зовні кожух 23.

У радіореактор під нижній аерожолоб надходить відновний газ з надлишковим тиском 0,1 МПа, з температурою порядку 560 °С, з витратою 1,26 $\text{нм}^3/\text{с}$ (1,92 $\text{м}^3/\text{с}$) і зі вмістом 30 % CO , 60 % CO_2 . Таке співвідношення CO/CO_2 трохи менше рівноважного при даній температурі і ступені активації. В міру проходження через аерожолоби тиск знижується і на виході з радіореактора складає 0,04 МПа.

Відновний газ, обдуваючи труби-теплообмінники 16, нагрівається до 700 °С; при частковому згорянні в кисні, по-перше, температура піднімається до 750-780 °С, по-друге, концентрація CO_2 стає істотно вище рівноважної стосовно вуглецю, але все-таки концентрація CO на порядок перевищує рівноважну стосовно гематиту. В аерованому шарі шихтової суміші гематит частково

відновлюється газом до магнетиту, ще більше видаляючи від рівноважної співвідношення CO/CO_2 , надлишкове тепло газу витрачається на реакцію $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ -165,8 МДж/кмоль, повертаючи концентрацію газу до рівноважного. Відпрацьований газ виходить з радіореактора з температурою 550 °С и містить 30 % CO , 60 % CO_2 . Хімічно процес у радіореакторі описується реакціями, результуюче рівняння яких має вигляд:



Оскільки в міру підйому в радіореакторі газу його обсяг збільшується, а тиск зменшується, для підтримки вертикальної швидкості газу в межах 0,08-0,1 м/с система автоматичного керування відбирає частина газу і направляє надлишок на спалювання для підведення тепла до труб-теплообмінників 16.

У вертикальних каналах 4 підтримується стовп матеріалу висотою 0,3 м, для його аерації необхідний перепад тиску в три рази більший, ніж для аерації шару матеріалу на аеролобі, тому газ практично не проходить через канали 4.

При вертикальній швидкості газового потоку через аеролоб жалюзійного типу, рівної в середньому 0,09 м/с, утворюється горизонтальна складова потоку зі швидкістю порядку 0,012 м/с. Цим потоком псевдозрідений шар матеріалу переміщається уздовж аеролоба зі швидкістю порядку 0,005 м/с. Переміщаючись уздовж аеролобів і пересипаючись з аеролобу на аеролоб, частки доходять до розвантажувального пристрою реактора, при цьому тривалість масообміну матеріалу з відновним газом складає 2,8 години. Такої тривалості вистачає для завершення реакції відновлення. На виході з клапана 12 матеріал попадає в установку магнітної сепарації, заповнену димом.

Як було відзначено вище, при температурі більш 450 °С залишається магнітним тільки залізо і магнетит. Первинною магнітною сепарацією одержують 8 кг/с практично не утримуючого домішок магнетиту і 4,46 кг/с іншого, у тому числі 0,248 кг/с феритів. Магнетит пневмотранспортом з азотом як несучим газом транспортують на склад і в процесі транспортування прохолоджують, а тепло, відібране азотом, утилізують.

Немагнітну фракцію транспортують на ділянку утилізації, прохолоджують до 40 °С, пропускають через вторинний магнітний сепаратор зі слабким полем і виділяють ферити, потім - через сепаратор із сильним (порядку 15000Е) полем, і виділяють сульфід, сульфати і фосфати заліза.

20 % відпрацьованого відновного газу спалюють у трубах-теплообмінниках і в рекуператорі, а 80 % очищають від пилу, прохолоджують у рекуператорі, стискають до 0,2 МПа, нагрівають у тім же рекуператорі до 560 °С, потім подають у радіореактор. Пил, уловлений у сухий газоочистці, повертають у потік свіжої шихтової суміші.

Таким чином, запропонований спосіб збагачення залізної руди дозволяє не тільки витягати практично цілком усе залізо руди, у тому числі і важкозбагачуваної гематитової, але й одержувати концентрат високої чистоти, забезпечує практично мінімально можливі енерговитрати на здійснення процесу.

У порівнянні з найближчим аналогом конструкція запропонованого радіореактора істотно більш проста у виготовленні і монтажі, не містить механічних приводів і швидкозношуваних деталей, технологічне устаткування може бути виготовлене з не дуже дорогих середньолегованих сталей з жароміцністю до 600 °С, воно не містить інтенсивно зношуваних елементів, а значить довговічно. Робота радіореактора і допоміжних пристроїв цілком автоматизована, простір, що оточує радіореактор, захищений від виходу радіоактивного випромінювання, установлені при монтажі радіоактивні джерела можуть служити без перезарядження більш 8 років. Оскільки випромінювання нейтронів у Co^{60} відсутнє, в оточуючих матеріалах не утворюються радіоактивні ізотопи.

Джерела інформації:

1. Большая советская энциклопедия, 1952. - Т. 30. - С. 310.

2. Ефименко Г.Г., Гиммельфарб А.А., Левченко В.Е. Металлургия чугуна. - К.: "Вища школа", 1988. - С. 61-63.

3. Доменное производство: справочник /под ред. д.т.н. Е.Ф. Вегмана. - М: Металлургия, 1989. - Т. 1. - С. 109, 112-113.

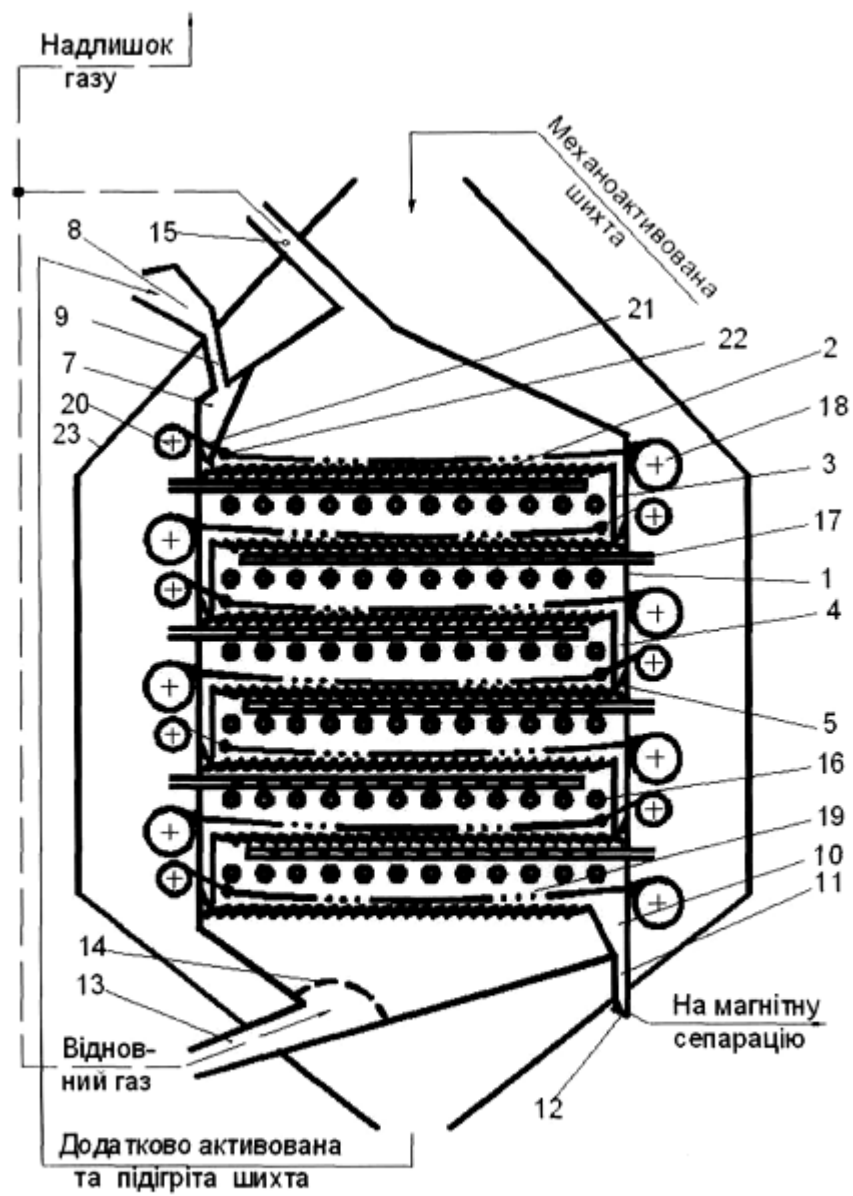
4. Богданди Л.Ф., Энгель Г.-Ю. Восстановление железных руд; пер. с нем. д.т.н. Е.Ф. Вегмана и д.т.н. Ю.С. Юсфина. - М.: Металлургия, 1971. - С. 198.

5. Авакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. - Новосибирск, 1980. - 297 с.

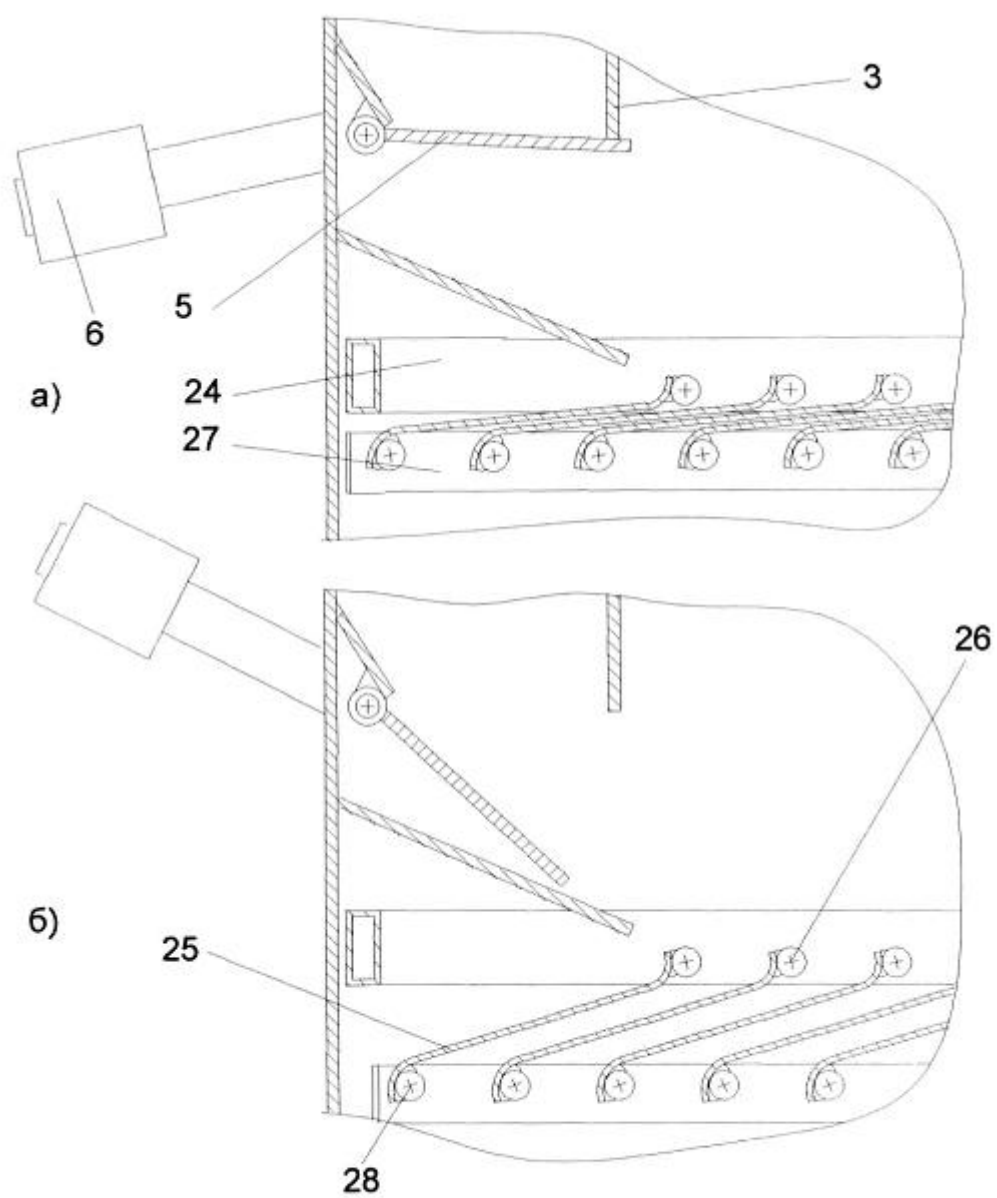
6. Большая советская энциклопедия. - [2-е изд.], 1957. - Т. 15. - С. 57.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Випалювальний радіореактор, що містить корпус, газопроникні горизонтальні перегородки з каналами для пересипання матеріалу на нижче розташовані перегородки, що розділяють внутрішній простір корпусу на камери, та трубопроводи, який **відрізняється** тим, що корпус виконаний у вигляді прямокутного паралелепіпеда, перегородки виконані у вигляді аерожолобів жалюзійного типу, ширина яких дорівнює внутрішній ширині корпусу, при цьому один кінець кожного аерожолоба примикає до бічної стінки камери, а другий кінець віддалений від протилежної бічної стінки і граничить з верхнім кінцем перегородки, що утворює зі стінкою камери вертикальний канал, під нижнім торцем каналів установлені з можливістю повороту навколо горизонтальної осі підтиснуті до вертикальних перегородок клапани, над аерожолобами розташовані джерела іонізуючого випромінювання, у просторі між аерожолобами розташовані труби-теплообмінники і труби підведення окисного газу, корпус з трубами-теплообмінниками, з трубами підведення і відводу відновного газу і з контейнерами для джерел іонізуючого випромінювання розташований усередині кожуха, виконаного у вигляді бункера для сипучих матеріалів, простір між кожухом і корпусом реактора призначений для заповнення шихтовою сумішшю.
2. Радіореактор за п. 1, який **відрізняється** тим, що жалюзійні пластини аерожолобів установлені з можливістю зміни кута їхнього нахилу до площини аерожолобів.
3. Радіореактор за п. 1 або 2, який **відрізняється** тим, що джерела іонізуючого випромінювання виконані у вигляді дроту з радіоактивного матеріалу з β - і γ -активністю, періодом напіврозпаду більше 1 року і теплостійкістю більше 600 °С, положення осей радіоактивного дроту збігається з напрямком руху аерованого шару руди, яка обпалюється, відстань радіоактивного дроту від верхнього рівня аерожолобів менше товщини аерованого шару шихтової суміші.
4. Радіореактор за будь-яким з пп. 1-3, який **відрізняється** тим, що зовні кожух обкладений блоками з матеріалу з високою поглинаючою здатністю стосовно γ -випромінювання.



Фіг. 1



Фиг. 2

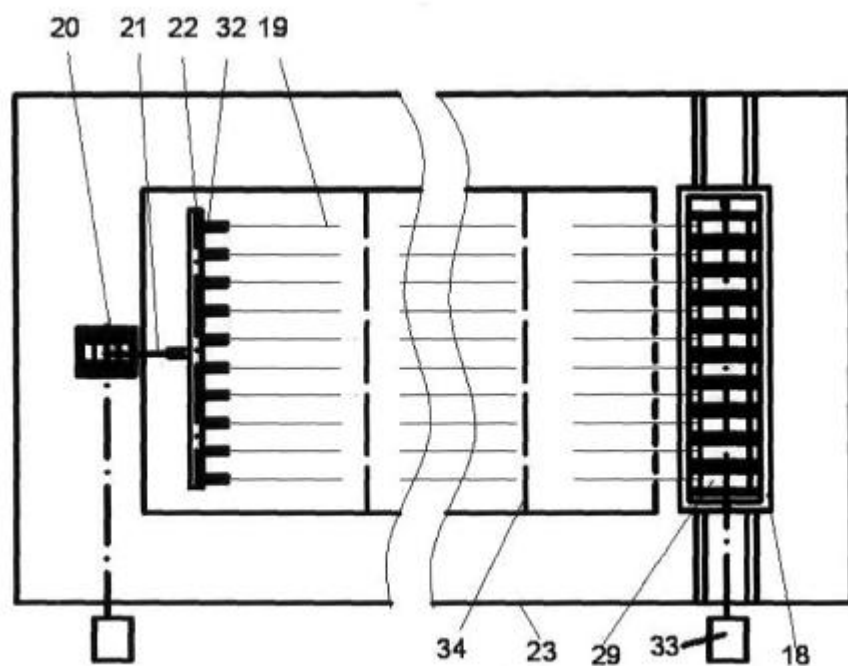


Fig. 3

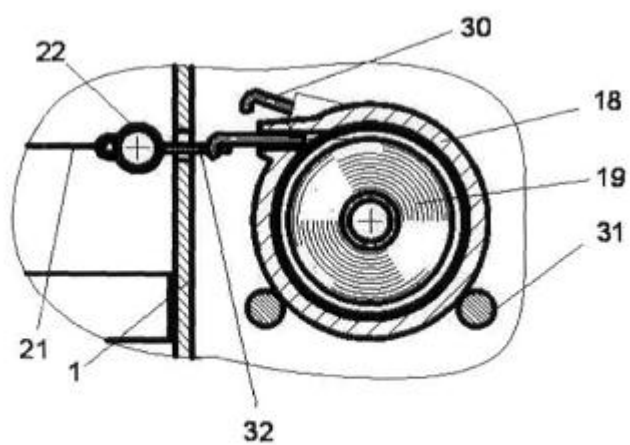


Fig. 4

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

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

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