



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 120449

(13) C2

(51) МПК

G01N 21/3563 (2014.01)

G01N 21/85 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки: а 2017 11993

(22) Дата подання заявки: 11.05.2015

(24) Дата, з якої є чинними
права на винахід: 10.12.2019

(41) Публікація відомостей
про заявку: 10.04.2018, Бюл.№ 7

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: 10.12.2019, Бюл.№ 23

(86) Номер та дата
подання міжнародної
заявки, поданої
відповідно до
Договору РСТ: РСТ/ІВ2015/053453,
11.05.2015

(72) Винахідник(и):

Вісенте Рохо Асьєр (ES),

Пікон Руїс Арцаї (ES),

Родріґес Ваамонде Серхіо (ES)

(73) Власник(и):

АРСЕЛОРМІТТАЛ,

24-26, Boulevard d'Avranches, L-1160

Luxembourg, Luxembourg (LU)

(74) Представник:

Слободянюк Тарас Олександрович,

реєстр. №217

(56) Перелік документів, взятих до уваги
експертизою:

US 2007/265783 A1, 15.11.2007

US 2004/232339 A1, 25.11.2004

SERGIO RODRIGUEZ ET AL: "Automatic slag
characterization based on hyperspectral image
processing", Emerging Technologies and
Factory Automation (ETFA), 2010 IEEE
Conference on, 20100913 IEEE, Piscataway,
NJ, USA, 13.09.2010, Page(s):1 - 4,
XP031937169, DOI:

<http://dx.doi.org/10.1109/ETFA.2010.5641225>,
ISBN 1-4244-6848-5

PICON A ET AL: "Fuzzy Spectral and Spatial
Feature Integration for Classification of
Nonferrous Materials in Hyperspectral Data",
IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL
INFORMATICS, 20091101 IEEE SERVICE
CENTER, NEW YORK, NY, US, Vol:5, Nr:4,
01.11.2009, Page(s):483 - 494, XP011334281,
ISSN 1551-3203, DOI:

<http://dx.doi.org/10.1109/TII.2009.2031238>

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ШЛАКОВОЇ ЧАСТИНИ

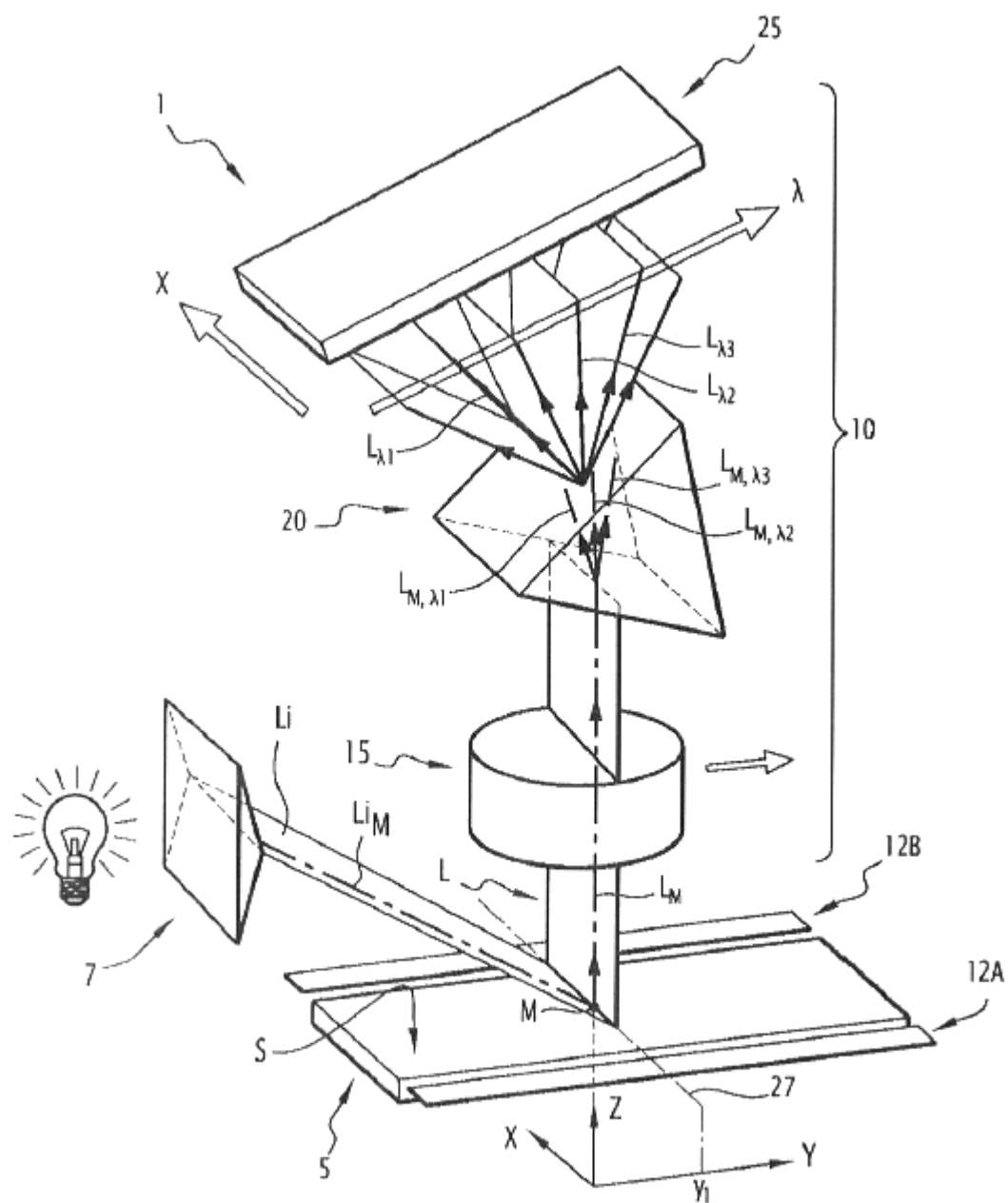
(57) Реферат:

Спосіб визначення хімічного складу шлакової частини (5) який включає етапи, на яких: забезпечують наявність шлакової частини, причому шлакова частина має поверхню (S), збирають світло (L), яке відбивається від поверхні, з використанням оптичної системи (10), отримують набір даних, виходячи з зібраного світла, причому набір даних щонайменше задає матрицю, яка містить значення, що представляють інтенсивність частини ($L_{M, \lambda}$) зібраного світла (L), при цьому кожна частина відповідно зібрана від однієї із множини точок (M) на одній із множини довжин хвиль, причому матрицю індексують щонайменше:

множиною просторових координат зазначеної множини точок, і множиною спектральних параметрів, які представляють вказану множину довжин хвиль, перетворюють матрицю для

UA 120449 C2

отримання скороченого набору значень, і виконують математичний алгоритм з використанням скороченого набору значень для того, щоб отримати сталь заданого хімічного складу.



Фіг. 1

Даний винахід відноситься до способу визначення хімічного складу шлакової частини. Винахід також відноситься до установки для визначення вказаного хімічного складу і до способу виробництва сталі.

Сталь можливо виробляти двома різними способами.

- 5 Перший спосіб полягає в виробництві чушкового чавуну всередині доменної печі і в перетворенні цього чушкового чавуну на нерафіновану сталь в кисневому конвертері або в основній сталеплавильній печі з подачею кисню (BOF). Другий спосіб полягає у розплавленні металевго брукхту в електродуговій печі (EAF), щоб безпосередньо виробляти нерафіновану сталь. Після виконання будь-якого з цих способів нерафіновану сталь очищають, щоб отримати
- 10 сталь необхідного хімічного складу, причому цей етап очищення виконують в ковшовій печі (LF).

- Відповідно до першого способу, чушковий чавун, який надходить з доменної печі, заливають в кисневий конвертер, який можливо містить лом. Кисень вдувають в конвертер для декарбонування чушкового чавуну і його перетворення на рідку сталь. Також в конвертер додають мінеральні добавки, такі як вапно і доломіт. Перетворення чушкового чавуну
- 15 відбувається в швидких окисних реакціях, індукованих контактом між газоподібним киснем і розплавленим металом за умов, які дуже далекі від термодинамічної рівноваги, в присутності інших хімічних елементів, наприклад, марганцю, кремнію або фосфору. Одержані таким чином оксиди разом з доданими мінеральними добавками сприяють утворенню рідкого шлаку, який плаває на поверхні металевго ванни внаслідок своєї більш низької щільності. Для ефективного
- 20 очищення металу рівноважні коефіцієнти розподілу різних елементів (фосфору, сірки тощо) між шлаком і металом повинні бути як можна більш високими, які б відповідали, наприклад, максимальним значенням для співвідношень: $LP = \% P_{\text{шлак}} / \% P_{\text{сталь}}$ і $LS = \% S_{\text{шлак}} / \% S_{\text{сталь}}$. Визначення хімічного складу шлаку дозволяє виробляти якісну нерафіновану сталь.

- Відповідно до другого способу металевий лом завантажують в піч і розплавляють. Енергію, необхідну для розплавлення такого твердого брукхту, в основному, забезпечують за допомогою електричної дуги, яка утворюється між одним або декількома графітовими електродами і
- 25 металевго шихтою. Реакції очищення дуже подібні до реакцій в кисневому конвертері. Окислення небажаних елементів досягають за допомогою отримання окислених домішок в шихті шляхом подачі кисню або через фурми, або через сопла в печі, або з допомогою
- 30 атмосферного кисню, котрий надходить через отвори в печі. Окислені домішки утворюють шлак.

- Потім, нерафіновану сталь, отриману одним з вищенаведених способів, заливають в ковш, щоб відрегулювати хімічний склад сталі. Аналітичну якість рідкого металу регулюють, включаючи скорочення складу не тільки металевих легуючих елементів, але і контроль
- 35 металоїдів (C, H, N, O, P, S), в різному ступені, залежно від класу. Тип і вміст оксидних включень контролюють шляхом розкислення (або "заспокоювання") сталі, загалом, за допомогою алюмінію, для листової сталі шляхом обробки кальцієм, щоб модифікувати їх вміст, а також шляхом контролюваної флотації. Для здійснення такої обробки в ковшову піч додають різні
- добавки, такі як вапно, доломіт, плавиковий шпат і/або різні флюси.

- Як пояснювалося вище, отримані домішки утворюють шлак, який плаває на поверхні
- 40 розплавленого металу. Залежно від складу шлаку, додають добавки, щоб видалити решту домішок. Таким чином, знання складу шлаку має велике значення для керування якістю рафінованої сталі.

- В процесі EAF знання хімічного складу шлаку дозволяє дізнатися його валентність і окисленість. Тим не менше, хімічний склад шлаку під час процесу не відомий. Після завершення
- 45 процесу зразки аналізують з використанням спектрометрів.

- Під час процесу LF ступінь розкислення і десульфуризації сталі також оцінюють, виходячи з візуальної оцінки зразків шлаку і хімічного складу сталі. Під час процесу використовують зовнішній вигляд охолодженого шлаку. Таким чином, при додаванні феросплавів та інших
- 50 добавок в партію, все ще має місце людський фактор, пов'язаний з компетенцією і суб'єктивністю робітників. В зв'язку з цим, після завершення процесу використовують спектроскопи. Для цього потрібно додатковий час на підготовку зразків.

В обох випадках це впливає на керування процесом, негативно позначаючись на кількості відходів, продуктивності і виробничих витратах.

- Мета винаходу полягає в тому, щоб запропонувати спосіб визначення хімічного складу
- 55 шлакової частини, який вирішує або скорочує, щонайменше, деякі з зазначених вище проблем, зокрема, такий спосіб, який підвищує продуктивність виробничого процесу і при цьому залишається простим в реалізації.

В зв'язку з цим, винаходом запропонований спосіб визначення хімічного складу шлаку, причому спосіб передбачає наступні етапи:

- 60 - беруть шлакову частину, причому шлакова частина має поверхню,

- збирають світло, яке відбивається від поверхні, з використанням оптичної системи,
 - отримують набір даних з зібраного світла, причому набір даних, щонайменше, задає матрицю, яка містить значення, які представляють інтенсивність зібраного світла, причому кожну частину відповідно збирають з однієї із множини точок на одній із множини довжин хвиль,
 5 при цьому матрицю індексують щонайменше:

- множиною просторових координат множини точок, і
- множиною спектральних параметрів, які представляють множину довжин хвиль,
- перетворюють матрицю, щоб отримати скорочений набір значень, і
- виконують математичний алгоритм з використанням скороченого набору значень, щоб

10 отримати хімічний склад.
 В інших варіантах здійснення спосіб має одну або кілька з поміж наступних ознак, взятих окремо або в будь-якому технічно допустимому поєднанні:

- множина спектральних параметрів включає спектральні параметри, які є довжинами хвиль в діапазоні від 200 нм до 20000 нм;
- 15 - множина спектральних параметрів включає спектральні параметри, які є довжинами хвиль в діапазоні від 399 нм до 965 нм;
- множина спектральних параметрів представляє усі довжини хвиль, які знаходяться в діапазоні від 399 нм до 965 нм;
- етап отримання набору даних включає наступні підетапи:
- 20 - надають значення відтінків сірого, які задають інтенсивність частин, і
- отримують значення, які містяться в матриці, з використанням згаданих значень відтінків сірого;

- етап перетворення включає підетап нормування кожного значення в матриці, щоб отримати нормовані значення, які є вільними від впливу зовнішнього освітлення шлакової частини на етапі збору відбитого світла;

25 - етап перетворення включає підетап сегментації матриці, причому аналізують щонайменше деякі з значень матриці, щоб визначити, чи належать відповідні точки шлаковій частини, чи ні, і при цьому в матриці залишають тільки ті значення матриці, які відповідають точкам, що належать шлаковій частині;

30 - етап перетворення включає підетап просторового згладжування нормованих значень, щоб отримати спектральну сигнатуру шлакової частини;

- етап перетворення включає підетап скорочення розміру спектральної сигнатури шляхом вибору підмножини значень в спектральній сигнатурі, щоб отримати скорочений набір значень, причому вибрану підмножину індексують підмножиною спектральних параметрів, обраних із множини спектральних параметрів;

35 - етап перетворення включає підетап, включення додаткових параметрів до спектральної сигнатури, щоб отримати повний набір значень, причому додаткові параметри отримують із множини спектральних параметрів;

40 - спосіб також включає етап навчання, який включає підетап, на якому отримують підмножину спектральних параметрів з використанням рекурсивного видалення ознак;

- етап виконання математичного алгоритму включає підетап регресії;

- спосіб включає етап навчання, що включає підетап отримання параметрів, які використовуються на підетапі регресії;

45 - регресія заснована на моделі машини опорних векторів; і

- машина опорних векторів має радіальне базисне функціональне ядро.

Винахід також відноситься до способу виробництва сталі, який включає наступні етапи:

- етап задання цільового хімічного складу сталі,

- етап визначення хімічного складу частини шлаку, одержаного в процесі виробництва сталі, як було описано вище,

50 - етап оцінки хімічного складу сталі з використанням отриманого хімічного складу шлакової частини,

- етап обчислення кількості добавок з використанням оціненого хімічного складу сталі, і

- етап додавання вказаних добавок в згаданих кількостях в сталь, щоб досягти згаданого цільового хімічного складу сталі.

55 Винахід також відноситься до установки для визначення хімічного складу шлакової частини, причому установка включає:

- оптичну систему, пристосовану для збору світла, відбитого від поверхні шлакової частини,

- засіб отримання набору даних з зібраного світла, причому набір даних щонайменше задає матрицю, яка включає значення, які представляють інтенсивність частини зібраного світла,

причому кожен частину відповідно збирають з однієї із множини точок на одній із множини довжин хвиль, при цьому матрицю індексують щонайменше:

- множиною просторових координат множини точок, і
- множиною спектральних параметрів, які представляють множину довжин хвиль,
- 5 - засіб перетворення матриці, для отримання скороченого набору значень, і
- засіб виконання математичного алгоритму з використанням перетвореного скороченого набору значень, для отримання хімічного складу.

В інших варіантах здійснення установка має одну або кілька з поміж наступних ознак, взятих окремо або в будь-якому технічно допустимому поєднанні:

- 10 - оптична система включає щонайменше або CCD, або CMOS сенсор;
- сенсор пристосований для збору світла тільки з одного сегмента поверхні за один раз, і при цьому установка також включає пристрій, придатний для переміщення шлакової частини і оптичної системи одне відносно одного, щоб зібрати світло з іншого сегмента поверхні; і
- оптична система включає щонайменше один спектрограф, пристосований для відділення
- 15 кожної частини зібраного світла на основі множини довжин хвиль.

Інші ознаки і переваги винаходу стануть очевидними по прочитанні подальшого опису, наведеного в вигляді прикладу і зі посиланням на наведені креслення, на яких:

- на Фіг. 1 наведено схематичний вигляд установки для виконання етапів запропонованого винаходом способу, зокрема, для збору світла;
- 20 на Фіг. 2 наведено схематичний вигляд тривимірної матриці, отриманої способом з використанням світла, зібраного установкою, показаною на Фіг. 1; і
- на Фіг. 3 приведена діаграма, яка показує основні етапи способу.

З посиланням на Фіг. 1, описана установка 1, яка виконує етапи запропонованого винаходом способу. Установка 1 пристосована для роботи зі шлаковою частиною 5.

- 25 Установка 1 містить джерело 7 світла, оптичну систему 10, пристосовану для збору світла L від шлакової частини 5, два еталонних стандартних елемента 12A, 12B, розташованих біля шлакової частини 5, і, як варіант, пристрій зміщення (не представлений), придатний для переміщення оптичної системи відносно шлакової частини.

- 30 Шлакова частина 5, наприклад, є зразком, взятим з електродугової печі (EAF, не представлена) або з ковшової печі (LF, не представлена).

Шлакова частина 5 має хімічний склад, що його треба визначити.

Фізичний аспект шлаку (колір і товщина) пов'язаний з його хімічним складом. Наприклад, оксиди, такі як FeO або MnO, роблять шлак більш темним, в то час як такі оксиди, як CaO або MgO, збільшують товщину шлаку.

- 35 Шлакова частина 5 має верхню поверхню S, яка простягається уздовж двох осей X, Y, які, наприклад, є власне перпендикулярними одна до одної. Третю вісь Z також задають як вісь, перпендикулярну до обох осей X і Y.

Поверхня S, наприклад, є горизонтальною.

- 40 Хімічний склад, наприклад, визначають як відповідні масові частки однієї або декількох сполук із наступного списку: CaO, SiO₂, MgO, Al₂O₃, S, Fe₂O₃, FeO, F, MnO, TiO₂, Na₂O, Cr₂O₃, Cl, BaO, SrO, P₂O₅, K₂O, ZrO₂, ZnO, CuO.

Джерело 7 світла пристосоване для того, щоб подавати промінь Li світла на шлакову частину 5. Джерело 7 світла, наприклад, включає в себе LED (світлодіоди) і/або галогенну лампу.

- 45 Два еталонних стандартних елемента 12A, 12B, наприклад, розташовані з кожного боку від шлакової частини 5 уздовж осі X, переважно на тому ж рівні уздовж осі Z, що і поверхня S. Еталонні стандартні елементи 12A, 12B містять, наприклад, нержавіючу сталь з масовою часткою, щонайменше 95 %, наприклад, марки AISI 310, де "AISI" означає "Американський інститут чорної металургії".

- 50 Як варіант (не показаний), використовують інше число еталонних стандартних елементів. Наприклад, може бути тільки один елемент, такий як еталонний стандартний елемент 12A.

Пристрій зміщення пристосований для того, щоб переміщати оптичну систему 10 відносно поверхні S, наприклад, уздовж осі Y.

- 55 Оптична система 10 придатна для прийому частин L_M світла L з множини точок M, з яких на Фіг. 1 показана тільки одна. Оптична система 10 включає щонайменше один CCD або CMOS сенсор 25, щонайменше один спектрограф 20 і щонайменше одну оптичну лінзу 15. Багато точок M, в основному, розташовані на поверхні S і на еталонних стандартних елементах 12A, 12B. Точки M бажано розташовані на однаковій відстані одна від одної. Відстань між двома точками M, наприклад, лежить в діапазоні від 0,3 до 1 мм, наприклад, 0,5 мм.

Кожну точку M визначають, наприклад, за першою просторовою координатою x уздовж осі X , взятою з першої множини просторових координат x_1, x_2, \dots , і за другою просторовою координатою y уздовж осі Y , взятою з другої множини просторових координат y_1, y_2, \dots . Іншими словами, перша множина просторових координат x_1, x_2, \dots і друга множина просторових координат y_1, y_2, \dots визначають множину точок M .

Світло L є, наприклад, світлом, відбитим від поверхні S уздовж осі Z . Поверхню S освітлюють джерелом 7 світла. В інших варіантах здійснення (не показаних) світло L проводять за допомогою одного або декількох оптоволоконних кабелів.

Сегмент 27 бажано є власне паралельним до осі X . Сегмент 27 включає точки M з однією і тією ж заданою другою просторовою координатою y , наприклад, y_1 , як показано на Фіг. 1. Внаслідок переміщення оптичної системи 10 уздовж осі Y , сенсор 25 може сканувати послідовні сегменти, паралельні до сегменту 27, щоб, бажано, охопити всю поверхню S .

Спектрограф 20 є, наприклад, спектрографом Specim V10_04204. Спектрограф 20 може відокремлювати частину L_M світла, яке надходить від точки M , виходячи з довжин хвилі, представлених множиною спектральних параметрів $\lambda_1, \lambda_2, \dots$, щоб отримати частини $L_{M, \lambda_1}, L_{M, \lambda_2}, \dots$, які потрапляють на сенсор 25. Бажано, спектрограф 20 може розділяти світло L , яке надходить від всього сегмента 27, щоб безпосередньо отримувати частини $L_{\lambda_1}, L_{\lambda_2}, \dots$, які потрапляють на сенсор 25.

Кожна частина $L_{M, \lambda}$ є частиною світла L_M , зібраного з однієї з точок M на заданій довжині хвилі, представлений спектральним параметром λ .

Кожна частина L_{λ} є частиною світла L , зібраного зі всього сегмента 27 на заданій довжині хвилі, представлений спектральним параметром λ . Кожна частина L_{λ} містить частини $L_{M, \lambda}$, які надходять від точок M , що належать сегменту 27.

В описаному прикладі спектральний параметр λ є самою довжиною хвилі.

Множина спектральних параметрів $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ представляє множину довжин хвиль, які використовують для визначення хімічного складу.

Бажано множина спектральних параметрів $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ представляє довжини хвиль з діапазону від 399 нм до 965 нм. Наприклад, множина спектральних параметрів $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ представляє всі довжини хвиль, які включаються у діапазон від 399 нм до 965 нм.

Бажано, спектральні параметри $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ розташовані через однаковий інтервал, і ця множина містить, наприклад, 1024 спектральних параметри.

В інших варіантах здійснення (не показаних) використовують інші пристрої захоплення, які відрізняються від CCD камери JAI-TM-1327GE і спектрографа Specim V10_04204.

В інших варіантах здійснення (не показаних) замість вказаних вище використовують інші гіперспектральні камери, такі як HySpex або спектрограф HeadWallPhotonics.

Сенсор 25 пристосований для захоплення світла L .

Сенсор 25 є CCD або CMOS сенсором. Сенсор 25 є двовимірним (2D), наприклад, IMX174LLJ CMOS сенсором.

Сенсор 25 пристосований для того, щоб приймати частини $L_{M, \lambda}$ світла L і видавати значення $I_{x, y, \lambda}$, які показують інтенсивність частин $L_{M, \lambda}$.

В прикладі сенсор 25 пристосований для того, щоб виробляти блок даних B (y_1) (Фіг. 2), використовуючи частини L_{λ} , отримані від світла, яке надходить від сегмента 27, що відповідає точкам M , друга просторова координата яких дорівнює y_1 . Сенсор 25 може генерувати блоки B (y_2), ..., як відповідають сегментам, заданим точками M , друга просторова координата яких відповідно дорівнює y_2, \dots . Усі разом блоки даних B (y) дають значення $I_{x, y, \lambda}$.

Значення $I_{x, y, \lambda}$ утворюють тривимірну (3D) матрицю $\Lambda_{x, y, \lambda}$ (Фіг. 2), де x - одна з першої множини просторових координат x_1, x_2, \dots , y - одна з другої множини просторових координат y_1, y_2, \dots , а λ - один із множини спектральних параметрів $\lambda_1, \lambda_2, \dots$. Кожне значення $I_{x, y, \lambda}$ матриці $\Lambda_{x, y, \lambda}$ є, наприклад, значенням градації сірого.

Як варіант, датчик 25 використовує тільки світло, яке надходить від сегмента 27. В матриці $\Lambda_{x, y, \lambda}$ просторові координати y просто видаляють. В цьому варіанті матриця є двовимірною матрицею $\Lambda_{x, \lambda}$.

Матрицю $\Lambda_{x, y, \lambda}$ зазвичай називають "гіперспектральним зображенням", що включає кілька зображень $\Lambda_{x, y}$, взятих на різних довжинах хвиль, представлених спектральними параметрами $\lambda_1, \lambda_2, \dots$.

Установка 1 також включає щонайменше один комп'ютер (не показаний), придатний для використання матриці $\Lambda_{x, y, \lambda}$ для визначення хімічного складу шлакової частини 5.

З посиланням на Фіг. 1-3 тепер буде описаний спосіб 100 запропонований винаходом. Спосіб 100 призначений для визначення хімічного складу шлакової частини 5.

Передбачається, що спосіб 100, наприклад, є частиною процесу виробництва сталі, в якому визначають хімічний склад шлакової частини 5, щоб обчислити кількість добавок, які необхідно внести в сталь під час процесу.

Дійсно, виходячи з хімічного складу шлакової частини 5, можна оцінити хімічний склад сталі, і якщо склад відрізняється від цільового кінцевого складу, то можна виконати необхідні етапи, наприклад, внесення добавок в сталь.

Спосіб 100 включає етап 110, в якому отримують набір даних в вигляді тривимірної матриці $\Lambda_{x,y,\lambda}$, тобто гіперспектрального зображення, етап 120, на якому перетворюють матрицю, щоб отримати перетворену матрицю, і етап 120, на якому виконують математичний алгоритм з використанням перетвореної матриці, щоб отримати хімічний склад.

Бажано, спосіб 100 також включає етап 104, на якому здійснюють калібрування, щоб отримати значення, придатні для етапу 120 перетворення, і етап 106 навчання, щоб визначити параметри, які використовують на етапі 120 перетворення і на етапі 130 виконання алгоритму.

Етап 110 отримання матриці $\Lambda_{x,y,\lambda}$ включає підетап отримання шлакової частини 5, підетап збору світла L , відбитого від поверхні S , з використанням оптичної системи 10, і підетап отримання набору даних з зібраного світла L , причому набір даних, щонайменше, задає матрицю $\Lambda_{x,y,\lambda}$.

В прикладі отриманий набір даних утворює саму матрицю $\Lambda_{x,y,\lambda}$. Як пояснювалося вище, оптичну систему 10 переміщують уздовж осі Y відносно поверхні S , щоб просканувати послідовні сегменти поверхні. Для кожного сегмента оптична система 10 надає блок даних $B(y)$. Усі блоки даних $B(y)$ утворюють матрицю $\Lambda_{x,y,\lambda}$.

В деяких варіантах здійснення (не показаних), в яких оптична система 10 використовує світло тільки з одного сегмента, оптичну систему не переміщують відносно поверхні S .

Етап 120 перетворення включає підетап сегментування матриці $\Lambda_{x,y,\lambda}$, підетап нормування кожного значення $I_{x,y,\lambda}$ в матриці, підетап просторового згладжування значень для отримання спектральної сигнатури $Isig_{\lambda}$ і підетап скорочення розміру спектральної сигнатури $Isig_{\lambda}$.

На підетапі сегментування аналізують значення $I_{x,y,\lambda}$ матриці $\Lambda_{x,y,\lambda}$, щоб визначити, чи належать відповідні точки M шлаковій частині 5. В матриці залишають тільки ті значення $I_{x,y,\lambda}$, які відповідають точкам M , що належить шлаковій частині 5.

Значення $I_{x,y,\lambda}$, наприклад, аналізують від $x=0$ до ширини гіперспектрального зображення, тобто до максимального значення першої просторової координати x , щоб визначити різкі переходи від чорних значень до білим значень і навпаки. Це роблять для кожної другої просторової координати y . Бажано, обчислюють похідну матриці $\Lambda_{x,y,\lambda}$ для єдиної довжини хвилі λ , і шукають значення, які перевищують заданий поріг. Це дозволяє визначити межі шлакової частини 5 в гіперспектральному зображенні.

Підетап нормування дає нормовані значення $Inorm_{x,y,\lambda}$, які вільні від впливу зовнішнього освітлення шлакової частини 5 під час етапу збору відбитого світла L . ці значення $Inorm_{x,y,\lambda}$ утворюють матрицю $Inorm$.

Нормування виконують, наприклад, шляхом вираховування еталонного значення D чорного і коригування на еталонне значення білого відповідно до наступної формули або будь-якого її

$$Inorm_{x,y,\lambda} = \frac{I_{x,y,\lambda} - D}{W - D}$$

еквівалента:

Ці еталонні значення чорного D і білого W можна отримати на етапі 104 калібрування.

Цей етап 104 калібрування включає підетап періодичного отримання набору еталонних значень D чорного і еталонних значень W білого. Еталонне значення D чорного отримують із зображення, захопленого при закритій оптичній лінзі. Еталонне значення W білого отримують з захопленого зображення еталонних стандартних елементів 12A, 12B, які знаходяться в відомих місцях з координатами X_{12A} і X_{12B} . Алгоритми сегментації, аналогічні до описаних вище, використовують для точного розташування еталонних стандартних елементів 12A і 12B.

Цей етап калібрування можна виконати один раз на початку виробництва сталі, або, в найбільш зручному варіанті здійснення, його можна виконувати для поновлення еталонних значень.

Етап нормування з використанням цієї формули дозволяє скорегувати гіперспектральні зображення на вплив системи освітлення, яка не є рівномірною за інтенсивністю уздовж різних положень x і/або за часом, або на модифікації спектральної чутливості до навколишнього освітлення, яка впливає на світло, що сприймається сенсором 25.

Підетап просторового згладжування призначений для того, щоб отримувати спектральну сигнатуру $Isig_{\lambda}$ з використанням нормованих значень $Inorm_{x,y,\lambda}$. Спектральна сигнатура $Isig_{\lambda}$ є

найбільш точним спектральним поданням шлакової частини 5, так як інтегрує шум і відхилення при зборі даних в зразку.

Технологію просторового згладжування застосовують до шлакової частини 5 в матриці Λ_{opt} . Ця технологія передбачає обчислення просторового середнього на кожній довжині хвилі по всій шлаковій частині 5. Результатом є єдина спектральна сигнатура $Isig_{\lambda}$, обчислена з використанням наступної формули:

$$Isig_{\lambda} = \frac{1}{(Nmax_x - Nmin_x) + N_y} \sum_{i=Nmin_x}^{Nmax_x} \sum_{j=0}^{N_y} Inorm_{x,y,\lambda}(x=i, y=j)$$

де:

N_y - загальна величина простору по осі Y, просканованого системою, і

$Nmax_x, Nmin_x$ - обмежує шлакову частину 5 вздовж осі X, яку обчислюють на підетапі сегментування матриці $\Lambda_{x,y,\lambda}$.

На початку підетапу скорочення розміру спектральна сигнатура $Isig_{\lambda}$ може бути доповнена додатковими параметрами, наприклад, відношенням або різницею, отриманими із множини спектральних параметрів $\lambda_1, \lambda_2, \dots$, щоб отримати повну множину значень $Icomp$.

В прикладі множина спектральних параметрів $\lambda_1, \lambda_2, \dots$ представляє 1024 довжин хвиль. Проте, внаслідок ефекту Гуго, бажано скоротити розмірність підмножини спектральних параметрів $\Omega(\lambda)$, яка становить кілька сотень довжин хвиль. Бажано, підмножину спектральних параметрів $\Omega(\lambda)$, яку слід зберегти, визначають на підетапі етапу 106 навчання, як описано нижче. Її також можна визначити, використовуючи сітчасту номограму або будь-який відповідний спосіб.

Етап 106 навчання включає підетап, на якому надають набір даних значень $Icomp$, отриманих для багатьох зразків шлаку, які мають відомий склад, і два незалежних підетапи 106A і 106B. Мета підетапу 106A полягає в отриманні підмножини спектральних параметрів $\Omega(\lambda)$, які слід залишити на етапі скорочення розміру. Мета підетапу 106B полягає в отриманні параметрів для етапу 130 виконання алгоритму, він буде описаний нижче.

На підетапі 106A використовують, наприклад, технологію рекурсивного видалення ознак, при якій, щоб вибрати релевантні значення, видаляють деякі елементи з повної множини $Icomp$. Робочий параметр алгоритму регресії обчислюють, наприклад, як максимальну кореляцію між виходом способу запропонованого винаходом і хімічним складом шлакової частини 5, отриманим, наприклад, з підмножини навчального набору даних. Підмножина навчального набору даних, яка має більш високу кореляцію, визначає підмножину спектральних параметрів $\Omega(\lambda)$, які слід залишити на етапі скорочення розміру.

Потім, виходячи з етапу 106 навчання, вибирають підмножину значень з повної множини $Icomp$, а невивбрані значення видаляють з сигнатури. Значення обраної підмножини індексують підмножиною спектральних параметрів $\Omega(\lambda)$, обраних із множини спектральних параметрів $\lambda_1, \lambda_2, \dots$, причому згадана підмножина спектральних параметрів $\Omega(\lambda)$ менша, ніж множина спектральних параметрів. Це дозволяє скоротити розмір $Icomp$, щоб отримати скорочений набір значень $Ired$.

Етап 130 виконання математичного алгоритму містить підетап нормування даних і підетап регресії.

На підетапі нормування даних виконують нормування скороченого набору значень $Ired$ в заданий числовий діапазон. На цьому підетапі перетворюють значення, виміряні в різних масштабах, до теоретично одного масштабу. Він може бути заснований, наприклад, на відніманні мінімального значення з набору даних і на розподілі на максимальне значення з того ж набору даних.

Етап регресії виконують з допомогою регресорів, який математично відображає множину значень на очікувані значення хімічного складу. Підетап регресії, наприклад, заснований на моделі машини опорних векторів (SVM). SVM містить два різних параметра ω (опорні вектора) і b (зміщення), які визначають на підетапі 106B етапу 140 навчання. Такі параметри відомі фахівцям.

Хімічний склад, наприклад, отримують шляхом множення скороченого набору значень $Ired$ на вектор ω і додавання значень b . Це дає число, яке представляє хімічний склад.

Як пояснювалося вище, етап 106 навчання включає підетап, на якому надають набір даних значень $Icomp$, отриманих для багатьох зразків шлаку, які мають відомий склад, і два незалежних підетапи 106A і 106B. Підетап 106A отримання підмножини спектральних параметрів $\Omega(\lambda)$, які слід залишити на етапі скорочення розміру, був описаний раніше.

Етап 106В задає параметри регресорів для кожної сполуки шлаку для етапу 130, наприклад, ω і b .

Цей підетап 106В заснований на існуючому способі навчання SVM.

Тести

5 Цей розділ включає виконані перевірочні тести. Навчальний набір даних, складений для шлаку LF, склад якого відомий, поділяють, наприклад, на дві підмножини, причому першу використовують для обчислення параметрів регресорів, а другу використовують для оцінювання похибки і точності системи. Похибку отримують як різницю між значеннями складу, отриманими запропонованим винаходом способом і дійсними значеннями складу. Значення складу виражають в відсотках.

Значення похибки, дані в цьому звіті, є такими:

$$\bar{e}_{100} = \frac{\bar{e}}{M - m} \times 100$$

$$s_{100} = \frac{s}{M - m} \times 100$$

ці значення показують середню похибку і стандартне відхилення, обидва в відсотках, де:

15 \bar{e} - середня абсолютна похибка

s - стандартне відхилення абсолютної похибки

M - максимальна величина вхідних значень з навчального набору даних

m - мінімальна величина вхідних значень з навчального набору даних

В наведеній далі таблиці зібрані результати, отримані для зразків шлаку з використанням винаходу, в порівнянні з лабораторним аналізом тих же зразків шлаку з використанням XRF (рентгенівської флюоресценції) методом Perl.

Таблиця 1

Результати, отримані для похибки і стандартного відхилення

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	S	Fe ₂ O ₃	MnO
Максимальне навчальне значення M	75,61	33,07	8,87	2,80	9,84	10,02
Мінімальне навчальне значення m	37,09	10,94	0,43	0,13	0,45	0,10
Середня абсолютна похибка \bar{e} (склад)	2,11	1,51	0,68	0,25	0,34	0,46
Стандартне відхилення s (склад)	2,00	1,68	0,81	0,22	0,51	0,71
Середня похибка (%)	5,47 %	6,81 %	8,05 %	9,54 %	3,61 %	4,63 %
Стандартне відхилення (%)	5,19 %	7,61 %	9,55 %	8,14 %	5,39 %	7,16 %

25 Залежно від елемента відносно стандартне відхилення між складами, отриманими з використанням винаходу і з використанням відомої технології XRF, варіює від 5 % до 10 %. Така похибка забезпечує достатню точність складу протягом виробничого процесу для швидкої оцінки фізичного стану шлаку, щоб визначити стратегію обробки сталі для досягнення фінальної стадії процесу за найнижчих витрат.

Завдяки вищеописаним ознаками, спосіб є швидким і не порушує процес виробництва сталі.

30 Спосіб дозволяє прогнозувати кількість добавок, які необхідно внести в сталь під час виробництва, щоб отримати сталь заданого хімічного складу.

Спосіб дає точний хімічний склад за дві-три секунди, в той час як відповідно до способів існуючого рівня техніки необхідно відправляти зразки в лабораторію на аналіз.

35 Щоб оптимізувати процес в ковшовій печі на основі інформації про шлак, система аналізу шлаку передає і приймає дані від заводу, так що хід процесу в ковшовій печі відомий в будь-який час (склад сталі, вага сталі і шлаку, добавки, температура, ...) ці дані разом з отриманою інформацією про склад шлаку дозволяють проводити загальний аналіз балансу мас в будь-який момент, так що можна виконати обчислення термодинамічної рівноваги з використанням будь-якого спеціального програмного забезпечення обчислення термодинамічної рівноваги, і за умов рівноваги можна розрахувати кінцевий склад сталі і шлаку.

40 Крім того, в обчислення можна ввести інформацію про різні добавки феросплавів і флюсів, які використовуються в ковшовій печі, включаючи ціни, так як система може легко їх встановити. Тому, можна провести повний аналіз процесу в ковшовій печі.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб (100) визначення хімічного складу шлакової частини (5), який включає етапи, на яких:
 - забезпечують наявність шлакової частини (5), причому шлакова частина (5) має поверхню (S),
 - збирають світло (L), яке відбивається від поверхні (S), з використанням оптичної системи (10),
 - отримують набір даних, виходячи з зібраного світла (L), причому набір даних щонайменше задає матрицю (Λ), яка містить значення, що представляють інтенсивність частини ($L_{M,\lambda}$) зібраного світла (L), при цьому кожна частина ($L_{M,\lambda}$) відповідно зібрана від однієї із множини точок (M) на одній із множини довжин хвиль, при цьому матрицю (Λ) індексують щонайменше:
 - множиною просторових координат (x_1, x_2, \dots) зазначеної множини точок (M), і
 - множиною спектральних параметрів ($\lambda_1, \lambda_2, \dots$), які представляють вказану множину довжин хвиль,
 - перетворюють (120) матрицю для отримання скороченого набору значень, і
 - виконують (130) математичний алгоритм з використанням скороченого набору значень, з тим щоб отримати вказаний хімічний склад.
2. Спосіб (100) за п. 1, який **відрізняється** тим, що вказана множина спектральних параметрів ($\lambda_1, \lambda_2, \dots$) включає спектральні параметри, які представляють довжини хвиль в діапазоні від 200 до 20000 нм.
3. Спосіб (100) за п. 2, який **відрізняється** тим, що вказана множина спектральних параметрів ($\lambda_1, \lambda_2, \dots$) включає спектральні параметри, які представляють довжини хвиль в діапазоні від 399 до 965 нм.
4. Спосіб (100) за п. 3, який **відрізняється** тим, що вказана множина спектральних параметрів ($\lambda_1, \lambda_2, \dots$) представляє довжини хвиль, які включаються в діапазон від 399 до 965 нм.
5. Спосіб (100) за будь-яким з пп. 1-4, який **відрізняється** тим, що на етапі отримання набору даних:
 - забезпечують наявність значень відтінків сірого, які представляють інтенсивність зазначених частин ($L_{M,\lambda}$), і
 - отримують зазначені значення ($I_{x,y,\lambda}$), які містяться в матриці, з використанням згаданих значень відтінків сірого.
6. Спосіб (100) за п. 5, який **відрізняється** тим, що на етапі (120) перетворення виконують підетап нормалізації кожного значення в матриці, щоб отримати нормалізовані значення, які вільні від впливу зовнішнього освітлення зазначеної шлакової частини (5) під час етапу збору відбитого світла (L).
7. Спосіб (100) за будь-яким з пп. 1-6, який **відрізняється** тим, що на етапі (120) перетворення виконують підетап сегментації матриці, при цьому аналізують щонайменше деякі з значень матриці, щоб визначити, належать чи ні відповідні точки (M) зазначеній шлаковій частині, і залишають в матриці тільки значення матриці, які відповідають точкам (M), що належить зазначеній шлаковій частині (5).
8. Спосіб (100) за п. 6 або 7, який **відрізняється** тим, що на етапі (120) перетворення виконують підетап просторового згладжування нормалізованих значень, щоб отримати спектральну сигнатуру шлакової частини (5).
9. Спосіб (100) за п. 8, який **відрізняється** тим, що на етапі (120) перетворення виконують підетап скорочення розміру спектральної сигнатури шляхом вибору підмножини значень в спектральній сигнатурі, щоб отримати скорочений набір значень, причому вибрану підмножину індексують підмножиною спектральних параметрів ($\Omega(\lambda)$), обраних із зазначеної множини спектральних параметрів ($\lambda_1, \lambda_2, \dots$).
10. Спосіб (100) за п. 8 або 9, який **відрізняється** тим, що на етапі (120) перетворення виконують підетап включення додаткових параметрів в спектральну сигнатуру, щоб отримати повний набір значень, причому додаткові параметри отримують з зазначеної множини спектральних параметрів ($\lambda_1, \lambda_2, \dots$).
11. Спосіб (100) за п. 9 або 10, який **відрізняється** тим, що передбачає також етап (106) навчання, який включає підетап (106A), на якому отримують вказану підмножину спектральних параметрів ($Q(A)$) з використанням рекурсивного видалення ознак.
12. Спосіб (100) за будь-яким з пп. 1-10, який **відрізняється** тим, що на етапі (130) виконання математичного алгоритму виконують підетап регресії.
13. Спосіб (100) за п. 12, який **відрізняється** тим, що передбачає також етап (106) навчання, який включає підетап (106B) отримання параметрів, які використовуються на підетапі регресії.
14. Спосіб (100) за п. 12 або 13, який **відрізняється** тим, що зазначена регресія основана на моделі машини опорних векторів (SVM).

15. Спосіб (100) за п. 14, який **відрізняється** тим, що машина опорних векторів має радіальне базисне функціональне ядро.
16. Спосіб виробництва сталі, який передбачає: етап задання цільового хімічного складу сталі, етап визначення хімічного складу частини шлаку,
- 5 отриманого в процесі виробництва сталі, за будь-яким з пп. 1-15, етап оцінки хімічного складу сталі з використанням отриманого хімічного складу шлакової частини, етап обчислення кількості добавок з використанням оціненого хімічного складу сталі, і етап додавання вказаних добавок в згаданих кількостях в сталь, щоб досягти заданого
- 10 цільового хімічного складу сталі.
17. Установка для визначення хімічного складу шлакової частини (5), яка включає: оптичну систему (10), пристосовану для збору світла (L), відбитого від поверхні (S) шлакової частини (5), засіб отримання набору даних з зібраного світла (L), причому зазначений набір даних
- 15 щонайменше задає матрицю (Λ), яка містить значення, що представляють інтенсивність частини ($L_{M,\lambda}$) зібраного світла (L), при цьому кожна частина ($L_{M,\lambda}$) відповідно зібрана від однієї із множини точок (M) на одній із множини довжин хвиль, при цьому матриця (Λ) індексована щонайменше:
- 20 множиною просторових координат (x_1, x_2, \dots) зазначеної множини точок (M), і множиною спектральних параметрів ($\lambda_1, \lambda_2, \dots$), які представляють вказану множину довжин хвиль, засіб перетворення (120) матриці для отримання скороченого набору значень, і засіб виконання (130) математичного алгоритму з використанням перетвореного скороченого набору значень, щоб отримати заданий хімічний склад.
- 25 18. Установка за п. 17, яка **відрізняється** тим, що оптична система (10) включає щонайменше один CCD і чи CMOS сенсор (25).
19. Установка за п. 18, яка **відрізняється** тим, що сенсор (25) призначений для збору світла тільки з сегмента (27) поверхні (S) за один раз, при цьому установка також включає пристрій, придатний для переміщення шлакової частини (5) і оптичної системи (10) одне відносно одного,
- 30 з тим, щоб зібрати світло з іншого сегмента поверхні (S).
20. Установка за будь-яким з пп. 17-19, яка **відрізняється** тим, що оптична система (10) включає щонайменше один спектрограф (20), виконаний з можливістю відділення кожної частини ($L_{M,\lambda}$) зібраного світла (L), виходячи із вказаної множини довжин хвиль.

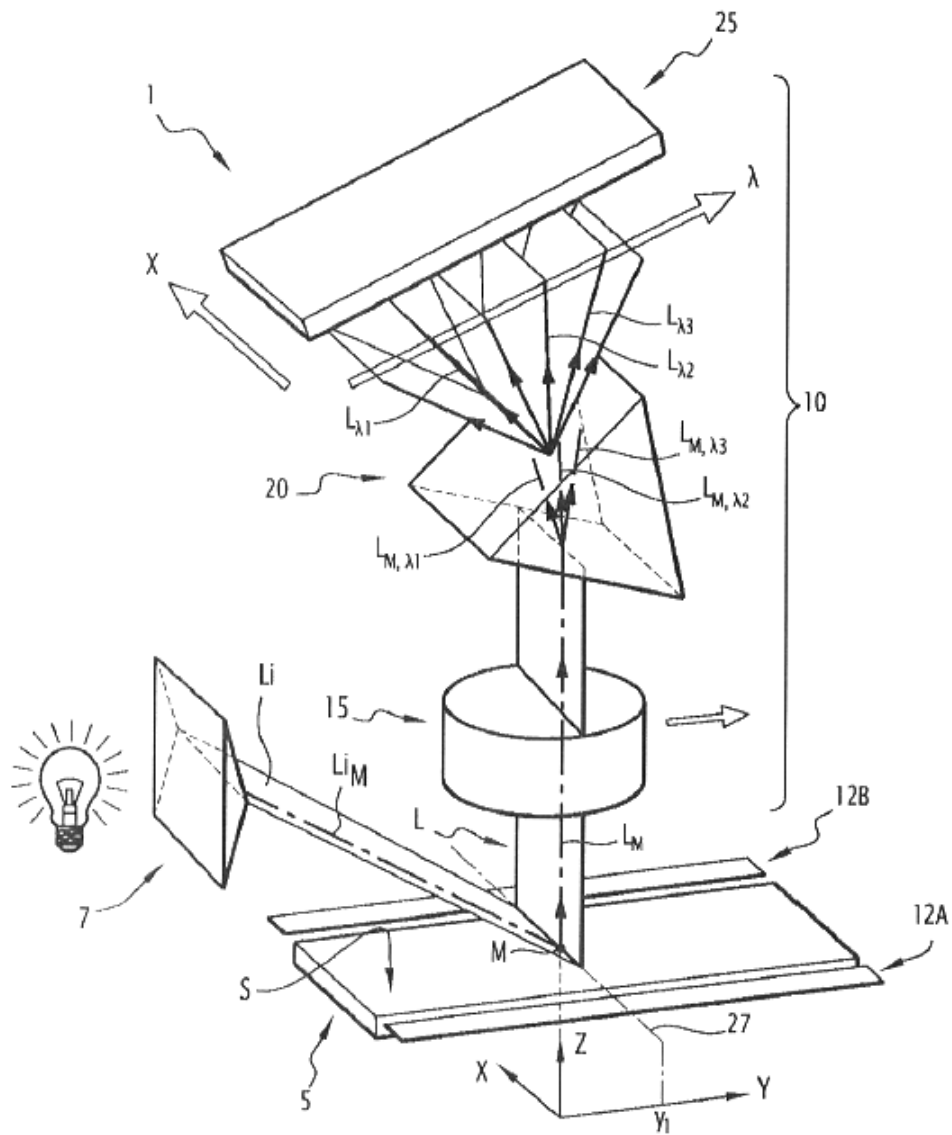


Fig. 1

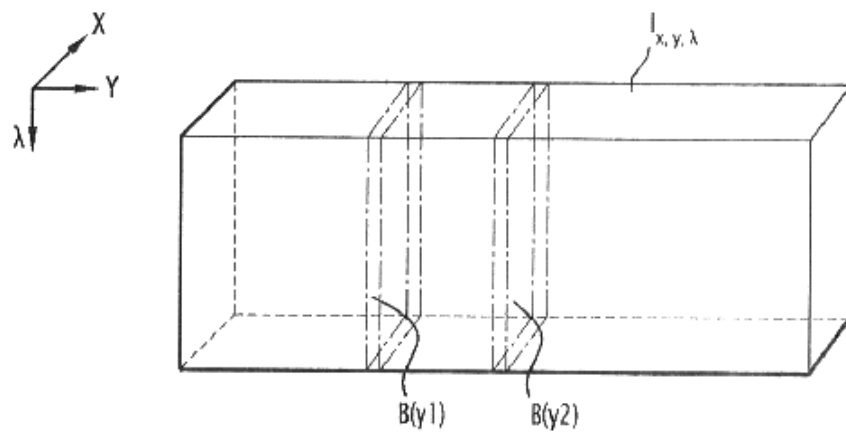
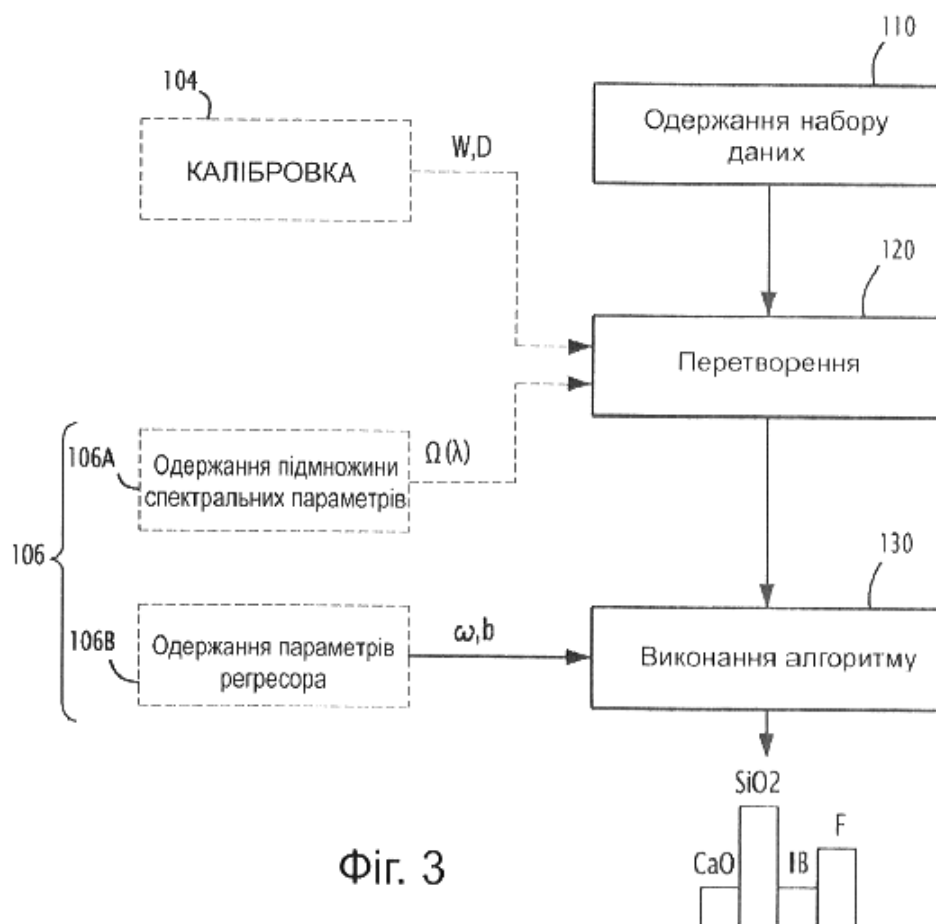


Fig. 2



Фіг. 3

Комп'ютерна верстка В. Юкін

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

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