(19) UA (11) 79 247 (13) C2

(51)МПК

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ДЕПАРТАМЕНТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ УКРАИНЫ

(21), (22) Заявка: 20040604130 , 01.06.2004

(24) Дата начала действия патента: 11.06.2007

(46) Дата публикации: 11.06.2007B03B 13/00
20070101CFI20070411RHUA B07C 5/34
20070101CLI20070411BHUA

(72) Изобретатель:
ВОЛОШИН ВЛАДИМИР МИХАЙЛОВИЧ, UA,
ЗУБКЕВИЧ ВИКТОР ЮРЬЕВИЧ, UA

(73) Патентовладелец:
ВОЛОШИН ВЛАДИМИР МИХАЙЛОВИЧ, UA,
ЗУБКЕВИЧ ВИКТОР ЮРЬЕВИЧ, UA

(54) Способ термографической кусковой сепарации сырья (варианты) и устройство для его осуществления (варианты)

(57) Реферат:

Группа изобретений относится к способам и устройствам кусковой сепарации сырья и может быть использована для обогащения руд черных и цветных металлов, горно-химического сырья, вторичного сырья и техногенных отходов. Способ включает подачу кусков сырья, облучение их электромагнитным излучением сверхвысокой частоты, регистрацию вторичного излучения, определение наличия полезного компонента, сравнение показателя содержания полезного компонента в куске с его предельным значением и по полученному результату деление кусков на полезный компонент и пустую породу. Согласно с изобретением, облучают каждый кусок сырья, фиксируют тепловую картину куска, по которой определяют необходимую температуру и показатель содержания полезного компонента. Устройство содержит устройство подачи сырья, установку электромагнитного излучения сверхвысокой частоты с системой управления, датчики и вычислительное устройство с входным интерфейсом. В соответствии с изобретением, устройство содержит камеру нагревания, термографическую систему обработки сигналов термодатчиков, системы управления электроприводами, излучатель, фотоприемник, устройство сравнения. Реализация изобретений позволяет обеспечить при одинаковых условиях и нагрузках увеличение содержания полезного компонента с 6-10% до 18-25%, прирост массовой частицы полезного компонента на 4,5% при уменьшении содержания полезного компонента в "хвостах" до 3%, снизить общий расход электроэнергии на 5% за счет снижения засоренности сырья в процессе его обогащения.

Официальный бюлетень "Промышленная собственность". Книга 1 "Изобретения, полезные модели, топографии интегральных микросхем", 2007, N 8, 11.06.2007. Государственный департамент интеллектуальной собственности Министерства образования и науки Украины.

UA 79247 C2

UA 79247 C2

(19) UA (11) 79 247 (13) C2

(51) Int. Cl.

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

STATE DEPARTMENT OF INTELLECTUAL PROPERTY

(12) DESCRIPTION OF PATENT OF UKRAINE FOR INVENTION

(21), (22) Application: 20040604130 , 01.06.2004

(24) Effective date for property rights: 11.06.2007

(46) Publication date: 11.06.2007 B03B 13/00
20070101CFI20070411RHUA B07C 5/34
20070101CLI20070411BHUA

(72) Inventor:
VOLOSHYN VOLODYMYR MYKHAILOVYCH, UA,
ZUBKEVYCH VYKTOR YURIIOVYCH, UA

(73) Proprietor:
VOLOSHYN VOLODYMYR MYKHAILOVYCH, UA,
ZUBKEVYCH VYKTOR YURIIOVYCH, UA

(54) method and device (variants) of separation of raw material by lumps

(57) Abstract:

The invention relates to methods and devices for separation of raw material by lumps and can be used for ore concentration of ferrous and nonferrous metals, mining and chemical raw material, secondary raw material and induced waste. A method includes supply of the lumps of raw material, their irradiation with electromagnetic radiation of superhigh frequency, recording of secondary radiation, determination of the presence of useful component, comparison of the index of content of useful component in the piece with its limiting value and, according to the obtained result, the division of pieces into useful component and rock waste. In accordance with the invention, each lump of raw material is irradiated, thermal picture of the lump is fixed, according to which the required temperature and the index of content of useful component are determined. A device contains mechanism for supply of raw material, an installation of electromagnetic radiation of superhigh frequency with control system, sensors and a computer with input interface. In accordance with the invention, the device contains a heating chamber, a thermograph system of processing the signals of temperature-sensitive elements, control systems of electric drives, an emitter, a photodetector, a comparison device. The implementation of the invention allows to ensure at identical conditions and loads the increase of the content of useful component from 6-10% to 18-25%, increase of mass particle of useful component to 4.5% at decrease of the content of useful component in the “tails” to 3%, to decrease the total consumption of electricity for 5% due to decrease of content of impurities in raw material during its enrichment.

Official bulletin "Industrial property". Book 1 "Inventions, utility models, topographies of integrated circuits", 2007, N 8, 11.06.2007. State Department of Intellectual Property of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

UA 79247 C2

UA 79247 C2

(19) UA (11) 79 247 (13) C2

(51)МПК

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ

(12) ОПИС ВИНАХОДУ ДО ПАТЕНТУ УКРАЇНИ

(21), (22) Дані стосовно заявки:
20040604130 , 01.06.2004

(24) Дата набуття чинності: 11.06.2007

(46) Публікація відомостей про видачу патенту (деклараційного патенту): 11.06.2007 B03B 13/00
20070101CFI20070411RHUA B07C 5/34
20070101CLI20070411BHUA

(72) Винахідник(и):
ВОЛОШИН ВОЛОДИМИР МИХАЙЛОВИЧ, UA,
ЗУБКЕВИЧ ВІКТОР ЮРІЙОВИЧ, UA

(73) Власник(и):
ВОЛОШИН ВОЛОДИМИР МИХАЙЛОВИЧ, UA,
ЗУБКЕВИЧ ВІКТОР ЮРІЙОВИЧ, UA

(54) СПОСІБ ТЕРМОГРАФІЧНОЇ КУСКОВОЇ СЕПАРАЦІЇ СИРОВИНИ (ВАРІАНТИ) І ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ (ВАРІАНТИ)

(57) Реферат:

Група винаходів належить до способів і пристроїв кускової сепарації сировини і може бути використана для збагачення руд чорних і кольорових металів, гірничо-хімічної сировини, вторинної сировини і техногенних відходів. Спосіб включає подавання кусків сировини, опромінення їх електромагнітним випромінюванням надвисокої частоти, реєстрацію вторинного випромінювання, визначення наявності корисного компонента, порівняння показника вмісту корисного компонента в куску з його граничним значенням і по отриманому результату поділ кусків на корисний компонент та порожню породу. Згідно з винаходом, опромінюють кожен кусок сировини, фіксують теплову картину куска, по якій визначають необхідну температуру та показник вмісту корисного компонента. Пристрій містить пристрій подавання сировини, установку електромагнітного випромінювання надвисокої частоти із системою керування, датчики і обчислювальний пристрій з вхідним інтерфейсом. Згідно з винаходом, пристрій містить камеру нагрівання, термографічну систему обробки сигналів термодатчиків, системи керування електроприводами, випромінювач, фотоприймач, пристрій порівняння. Реалізація винаходів дозволяє забезпечити при однакових умовах і навантаженнях збільшення вмісту корисного компонента з 6-10% до 18-25%, приріст масової частки корисного компонента на 4,5% при зменшенні вмісту корисного компонента в "хвостах" до 3%, знизити загальну витрату електроенергії на 5% за рахунок зниження засмічення сировини в процесі її збагачення.

UA 79247 C2

UA 79247 C2

Опис винаходу

Взаємозалежна група винаходів належить до способів і пристроїв кускової сепарації сировини і може бути використана для збагачення руд чорних і кольорових металів, гірничо-хімічної і вторинної сировини та техногенних відходів.

Відомий спосіб термографування для дослідження структури і сторонніх вкраплень у досліджуваному об'єкті. Спосіб полягає в тому, що перед термографуванням об'єкт розігрівається індукційними струмами. Унаслідок цього елементи структури і сторонні об'єкти мають підвищену температуру. За допомогою тепловізора формується профілограма з інформацією про середню температуру об'єкта і генеруються сигнали координатної прив'язки від датчика. На підставі визначення ділянок з підвищеною температурою визначається наявність структурних елементів, а також сторонніх вкраплень в об'єкті. [Тепловизор - дефектоскоп "Статор - 1" М.М. Мирошников, Г.А. Падалко и др. // Оптико-механическая промышленность - 1979. - №12. - С.17-18].

Недоліком такого способу є неможливість одержання кількісної оцінки структурних елементів і сторонніх вкраплень.

Найбільш близьким технічним рішенням, обраним як прототип, є спосіб термографічної кускової сепарації сировини, що включає поштучне подавання кусків сировини, опромінення їх електромагнітним випромінюванням надвисокої частоти, реєстрацію вторинного випромінювання, визначення наявності корисного компонента, порівняння показника вмісту корисного компонента в куску з його граничною величиною і по отриманому результату поділ кусків на корисний продукт і порожню породу [А.С. №1570777 СРСР, МПК [5] B03B13/06, БВ №22, 1990].

Недоліком такого способу є низька вибірковість, тому що кусок сировини опромінюється електромагнітним іонізуючим (гама) випромінюванням, інтенсивність якого при відбиванні від куска пропорційна його усередненій густині, й не дозволяє прямо визначити масу куска і показник вмісту корисного компонента в ньому. У результаті погіршується якість кускової сепарації, що приводить до засмічення корисного продукту при сортуванні, збільшення вмісту корисного компонента у хвостах збагачення і підвищення витрат при подальшому їх переробленні.

Відомий пристрій для термографування, який забезпечує виявлення порушення структури і наявність сторонніх вкраплень у досліджуваному об'єкті. [Тепловизор-дефектоскоп "Статор - 1" М.М. Мирошников, Г.А. Падалко и др. // Оптико-механическая промышленность - 1979. - №12. - С.17-18]. Пристрій складається з установки випромінювання електромагнітного поля надвисокої частоти із системою керування, датчиків залишкового випромінювання, обчислювального пристрою із вхідним інтерфейсом, термографа у вигляді тепловізора з можливістю формування профілограм з інформацією про середню температуру зразка, який контролюється, і сигналів координатної прив'язки.

Недоліком такого пристрою є неможливість одержання кількісних показників оцінки порушення структури і сторонніх вкраплень у зразку, який контролюється.

Найбільш близьким пристроєм, прийнятим як прототип, є пристрій термографічної кускової сепарації сировини, який містить пристрій дозованої подачі кусків, що складається з прийомного бункера, шнекового живильника з електроприводом, конвеєра з електроприводом, установки електромагнітного випромінювання надвисокої частоти із системою її керування, датчиків вторинного випромінювання, обчислювального пристрою із вхідним інтерфейсом [А.С. №1570777 СРСР, МПК [5] B03B13/06, БВ №22, 1990].

Недоліком такого пристрою є низька вибірковість, тому що інтенсивність випромінювання буде визначатися тільки наявністю корисної складової, але не дає можливості визначити її кількості у куску. У результаті погіршується якість сепарації, що приводить до збіднювання розмеленої сировини, підвищення витрат і зниження ефективності подальшого процесу збагачення в цілому.

В основу групи винаходів поставлено завдання вдосконалення способу і пристрою кускової сепарації за рахунок створення умов для визначення кількісних показників вмісту корисного компонента у первинної сировини, обліку геометричних параметрів контрольованих кусків і регламентованого їхнього опромінення енергією електромагнітного поля надвисокої частоти. Вирішення поставленого завдання основане на тому, що кусок, який містить корисний компонент і порожню породу, що мають різні електричні, магнітні та теплофізичні властивості, опромінюють електромагнітним полем надвисокої частоти (НВЧ). Частота випромінювання вибирається таким чином, щоб глибина проникнення електромагнітної хвилі була більше, ніж максимальний лінійний розмір куска при максимальному згасанні електромагнітної хвилі, яка залежить від властивостей матеріалу куска. Енергія НВЧ електромагнітного випромінювання, поглинена матеріалом куска, викликає нагрівання компонентів куска до температури, обумовленої їх електричними, магнітними і теплофізичними властивостями. При цьому компонент, що має вищу електропровідність, за той самий проміжок часу буде поглинати енергію НВЧ більше, ніж компонент із нижчою електропровідністю. У результаті температура нагрівання корисного компонента і порожньої породи, по закінченню НВЧ опромінення, буде різною. Після закінчення дії електромагнітного випромінювання, протягом деякого часу відбувається передавання теплової енергії від більш нагрітого компонента до менш нагрітого. При цьому характер зміни температури куска буде залежати від співвідношення в куску компонентів з різними електричними, магнітними і теплофізичними властивостями. Характер зміни температури куска в часі може реєструватися термографічною системою. Термографічна система є пристроєм, який здатний у реальному масштабі часу перетворювати теплове вторинне випромінювання від окремих суміжних ділянок джерела теплового випромінювання у відповідний сигнал, що являє собою теплову картину джерела теплового випромінювання, величину якого можна було б вводити в

UA 79247 C2

UA 79247 C2

обчислювальний пристрій для наступної обробки. Прикладом термографічної системи може бути тепловізор. Обробка отриманого теплового зображення контрольованого куска дозволяє визначити співвідношення розподілу компонентів з різними електричними, магнітними і теплофізичними властивостями в обсязі контрольованого куска.

Це забезпечить більш точніше визначення властивостей контрольованих кусків, дозволить підвищити ефективність сепарації і подальшого технологічного процесу збагачення, переробки гірничорудної і гірничо-хімічної сировини, вторинної сировини і техногенних відходів.

Перший винахід поставлену задачу вирішує за рахунок того, що спосіб термографічної кускової сепарації сировини включає поштучне подавання кусків сировини, опромінення їх електромагнітним випромінюванням надвисокої частоти, реєстрацію вторинного випромінювання, визначення наявності корисного компонента, порівняння показника вмісту корисного компонента в куску з його граничною величиною і по отриманому результату поділ кусків на корисний продукт і порожню породу.

Згідно з винаходом, кожен кусок сировини опромінюють електромагнітним випромінюванням надвисокої частоти, потім після припинення опромінення і згасання теплообмінних процесів між компонентами контрольованого куска фіксують теплову картину контрольованого куска, по який спочатку визначають сталу температуру контрольованого куска, а потім масову частку корисного компонента в контрольованому куску за формулою:

$$Q = \frac{(T_U - N_O)c}{U_O c_r - T_U(c_r - c)T_O c},$$

де

Q - масова частка корисного компонента в куску (%);

T_U - виміряна стала температура контрольованого куска(°К);

T_O - температура нагрівання порожньої породи (°К);

U_O - температура нагрівання корисного компонента (°К);

c_r - теплоємність корисного компонента $\left(\frac{Дж}{°К \cdot кг}\right)$;

с - теплоємність порожньої породи $\left(\frac{Дж}{°К \cdot кг}\right)$.

Потім перевіряють умову

$Q \geq Q_{гр}$,

де

$Q_{гр}$ - граничне значення масової частки корисного компонента в куску (%),

Після чого по отриманому результату здійснюють сепарацію кусків сировини двома потоками: один з кусків з вмістом корисного компонента менше граничного значення його масової частки, а інший потік - з кусків з вмістом корисного компонента, не менше граничного значення його масової частки.

Вирішення поставленої задачі першим із групи винаходів основане на виборчому нагріванні компонентів контрольованого куска електромагнітним полем надвисокої частоти і через деякий час, необхідний для згасання теплообмінних процесів між компонентами куска, контролі сталої температури куска, що буде пропорційна співвідношенню мас компонентів контрольованого куска. Спосіб може використовуватися для кускової сепарації первинної сировини з будь-якою структурою фізичних взаємозв'язків компонентів у куску. Спосіб характеризується невисокою швидкодією, обумовленою часом згасання теплообмінних процесів між компонентами куска.

Перший винахід може бути використаний для термографічної кускової сепарації сировини, представленої у вигляді кусків визначеного гранулометричного складу, з будь-якою структурою фізичних взаємозв'язків фаз компонентів у куску.

Другий винахід поставлену задачу вирішує за рахунок того, що спосіб термографічної кускової сепарації сировини включає поштучне подавання кусків сировини, опромінення їх електромагнітним випромінюванням надвисокої частоти, реєстрацію вторинного випромінювання, визначення наявності корисного компонента, порівняння показника вмісту корисного компонента в куску з його граничною величиною і за отриманим результатом поділ кусків на корисний продукт і порожню породу.

Згідно з винаходом, кожен кусок сировини опромінюють електромагнітним випромінюванням надвисокої частоти, а потім після припинення опромінення, до моменту згасання теплообмінних процесів між компонентами куска, фіксують його теплову картину , за якою визначають його середню температуру, а потім визначають об'ємний коефіцієнт концентрації корисного компонента в куску за формулою:

$$y = \frac{2T_C - \frac{U_O \cdot T_O}{T_C} - 2T_O + U_O}{3(U_O - T_O)},$$

де

UA 79247 C2

UA 79247 C2

ν - об'ємний коефіцієнт концентрації корисного компонента;

T_C - виміряна середня температура контрольованого куска (°К),

U_O - температура нагрівання корисного компонента (°К);

T_O - температура нагрівання порожньої породи (°К);

Потім перевіряють умову

$\nu \geq \nu_{гр}$

де

$\nu_{гр}$ - граничне значення об'ємного коефіцієнта концентрації корисного компонента.

Після чого за отриманим результатом здійснюють сепарацію кусків сировини двома потоками. Один потік з кусків з вмістом корисного компонента менше граничного значення його об'ємного коефіцієнта концентрації корисного компонента, а інший потік з кусків з вмістом корисного компонента не менше граничного значення його об'ємного коефіцієнта концентрації корисного компонента.

Вирішення поставленої задачі другим із групи винаходів основане на нагріванні компонентів контрольованого куска електромагнітним полем надвисокої частоти і контролі середньої температури куска в будь-який ненульовий момент часу після припинення впливу на нього електромагнітного поля, що знаходиться в інтервалі часу від моменту припинення впливу електромагнітного поля до моменту згасання теплообмінних процесів між компонентами куска, що буде пропорційно співвідношенню об'ємів компонентів контрольованого куска. Спосіб може використовуватися для кускової сепарації первинної сировини з однорідною (квазіізотропною) структурою фізичних взаємозв'язків компонентів у куску. Швидкодія способу визначається часом нагрівання компонентів контрольованого куска в електромагнітному полі надвисокої частоти.

Другий винахід може бути використаний для термографічної кускової сепарації сировини, представленої у вигляді кусків визначеного гранулометричного складу з однорідною структурою фізичних взаємозв'язків об'ємів компонентів у куску.

Третій винахід поставлену задачу вирішує за рахунок того, що спосіб термографічної кускової сепарації сировини включає поштучну подачу кусків сировини, опромінення їх електромагнітним випромінюванням надвисокої частоти, реєстрацію вторинного випромінювання, визначення наявності корисного компонента, порівняння показника вмісту корисного компонента в куску з його граничною величиною і по отриманому результату поділ кусків на корисний продукт і порожню породу.

Згідно з винаходом, кожен кусок сировини опромінюють електромагнітним випромінюванням надвисокої частоти протягом часу, обумовленого виразом:

$$t_H = \frac{\Delta T c_r \rho_r}{f \pi \varepsilon_0 \varepsilon_r E_m^2 tg\delta_r},$$

де

t_H - час впливу електромагнітного випромінювання надвисокої частоти на контрольований кусок (секунди);

ΔT - необхідне підвищення температури нагрівання корисного компонента (°К);

c_r - теплоємність корисного компонента $\left(\frac{Дж}{°К \cdot кг}\right)$;

ρ_r - густина корисного компонента $\left(\frac{кг}{м^3}\right)$;

f - частота коливань НВЧ електромагнітного поля (Гц);

ε_0 - діелектрична проникність, що дорівнює $8{,}8541878 \cdot 10^{-12} \frac{Ф}{м}$;

ε_r - відносна діелектрична проникність корисного компонента;

E_m - напруженість електричного поля НВЧ електромагнітного поля $\left(\frac{В}{м}\right)$;

$tg\delta_r$ - тангенс діелектричних втрат корисного компонента.

Після припинення опромінення, до моменту згасання теплообмінних процесів між компонентами куска, фіксують теплову картину куска, по якій визначають середнє підвищення температури нагрівання в полі НВЧ, а потім визначають масову частку корисного компонента в контрольованому куску за формулою:

$$Q = \frac{\rho_r Ae}{\rho_r Ae - \rho Ae_r},$$

де

$Ae = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 tg\delta t_H$ - $\Delta T_C \rho c$ - допоміжний параметр порожньої породи;

UA 79247 C2

UA 79247 C2

$Ae_r = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r tg\delta_r t_H$ - $\Delta T_C \rho_r c_r$ допоміжний параметр корисного компонента;

Q - масова частка корисного компонента в контрольованому куску;

ΔT_C - середнє підвищення температури нагрівання контрольованого куска (°К);

ρ - густина порожньої породи $\left(\frac{кг}{м^3}\right)$;

ε - відносна діелектрична проникність порожньої породи;

$tg\delta$ - тангенс діелектричних втрат порожньої породи.

Потім перевіряється умова:

$Q \geq Q_{гр}$,

де

$Q_{гр}$ - граничне значення масової частки корисного компонента.

Після чого за отриманим результатом здійснюють сепарацію кусків сировини двома потоками - один з кусків з вмістом корисного компонента менше граничного значення його масової частки, а інший потік - з кусків з вмістом корисного компонента не менше граничного значення його масової частки.

Вирішення поставленої задачі третім із групи винаходів основане на нагріванні компонентів контрольованого куска електромагнітним полем надвисокої частоти і контролі середньої температури куска в будь-який ненульовий момент часу після припинення впливу на нього електромагнітного поля, що знаходиться в інтервалі часу від моменту припинення впливу електромагнітного поля до моменту згасання теплообмінних процесів між компонентами куска, що буде пропорційно співвідношенню мас компонентів контрольованого куска. Спосіб може використовуватися для кускової сепарації первинної сировини з однорідною (квазіізотропною) структурою фізичних взаємозв'язків компонентів у куску. Швидкодія способу визначається часом нагрівання компонентів контрольованого куска в електромагнітному полі надвисокої частоти.

Третій винахід може бути використаний для термографічної кускової сепарації сировини, яка представлена у вигляді кусків визначеного гранулометричного складу з однорідною структурою фізичних взаємозв'язків фаз компонентів у куску.

Четвертий винахід поставлену задачу вирішує за рахунок того, що спосіб термографічної кускової сепарації сировини включає поштучне подавання кусків сировини, опромінення їх електромагнітним випромінюванням надвисокої частоти, реєстрацію вторинного випромінювання, визначення наявності корисного компонента, порівняння показника вмісту корисного компонента в куску з його граничною величиною і за отриманим результатом поділ кусків на корисний продукт і порожню породу.

Згідно з винаходом, кожен кусок сировини опромінюють електромагнітним випромінюванням, частоту якого визначають за формулою:

$$f \leq \frac{1}{\pi \cdot X_m \cdot \sqrt{2\varepsilon_0 \varepsilon_r \mu_0 \mu_r \left(\sqrt{1+tg^2\delta_r}+1\right)}} (Гц),$$

де

X_m - максимальний лінійний розмір куска (м);

$\varepsilon_0 = 8{,}85418782 \cdot 10^{-12}$ - діелектрична проникність (Ф/м);

ε_r - відносна діелектрична проникність корисного компонента;

$\mu_0 = 1{,}25663706 \cdot 10^{-6}$ - магнітна проникність (Гн/м);

μ_r - відносна магнітна проникність корисного компонента;

$tg\delta_r$ - тангенс діелектричних втрат корисного компонента.

Час нагрівання визначають за формулою:

$$t_H = \frac{\Delta T c_r \rho_r}{f \pi \varepsilon_0 \varepsilon_r E_m^2 tg\delta_r} : (с),$$

де

ΔT - необхідне підвищення температури нагрівання корисного компонента (°К);

c_r - теплоємність корисного компонента (Дж/°К·кг);

ρ_r - густина корисного компонента (Кг/м^2);

ε_r - відносна діелектрична проникність корисного компонента;

E_m - напруженість електричного поля НВЧ електромагнітного поля (В/м);

Після чого з моменту припинення впливу електромагнітного поля до моменту згасання теплообмінних процесів між компонентами куска неодноразово фіксують теплові картини куска, по яких визначають середні температури контрольованого куска, а на підставі отриманих даних складають систему рівнянь

UA 79247 C2

UA 79247 C2

$$\begin{cases} T_0 = X_1 + X_2 t_0 + X_3 t_0^2 + X_4 t_0^3 \\ T_1 = X_1 + X_2 t_1 + X_3 t_1^2 + X_4 t_1^3 \\ T_2 = X_1 + X_2 t_2 + X_3 t_2^2 + X_4 t_2^3 \\ T_3 = X_1 + X_2 t_3 + X_3 t_3^2 + X_4 t_3^3 \end{cases},$$

де

T_0, T_1, T_2, T_3 - середня температура куска, визначена в моменти часу t_0, t_1, t_2, t_3.

Вирішивши систему рівнянь відносно X_0, X_1, X_2, X_3, визначають коефіцієнт об'ємного заповнення корисного компонента за формулою:

$$K_V = \frac{c\rho(X_3 \alpha c_r \rho_r + 3X_2 k_r)}{c\rho(X_3 \alpha c_r \rho_r + 3X_2 k_r) - 3X_2 c_r \rho_r k},$$

де

c - теплоємність порожньої породи (Дж/°К·кг);

ρ - густина порожньої породи (Кг/м^3);

α - розмір зерна корисного компонента (м).

k_r - коефіцієнт тепловіддачі корисного компонента (Вт/°К·м^2);

k - коефіцієнт тепловіддачі порожньої породи (Вт/°К·м^2).

Потім перевіряють умову

$K_V \geq K_{V\,гр}$,

де

$K_{V\,гр}$ - граничне значення коефіцієнт об'ємного заповнення корисного компонента.

За отриманим результатом здійснюють сепарацію кусків сировини двома потоками: один з кусків з вмістом корисного компонента менше граничного значення його коефіцієнта об'ємного заповнення корисного компонента, а інший потік з кусків з вмістом корисного компонента не менше граничного значення його коефіцієнта об'ємного заповнення корисного компонента.

Вирішення поставленої задачі четвертим із групи винаходів основане на нагріванні компонентів контрольованого куска електромагнітним полем надвисокої частоти і багаторазовому контролі середньої температури куска в будь-який не співпадаючий момент часу, що знаходяться в інтервалі часу від моменту припинення впливу електромагнітного поля до моменту згасання теплообмінних процесів між компонентами куска. За отриманими даними в результаті багаторазового контролю визначається співвідношення об'ємів фаз компонентів контрольованого куска. Спосіб може використовуватися для кускової сепарації первинної сировини з будь-якою структурою фізичних взаємозв'язків компонентів у куску. Швидкодія способу визначається часом нагрівання компонентів контрольованого куска в електромагнітному полі й часом багаторазового контролю температури куска.

Четвертий винахід може бути використаний для термографічної кускової сепарації сировини, представленої у вигляді кусків визначеного гранулометричного складу з однорідною і не однорідною структурою фізичних взаємозв'язків об'ємів компонентів у куску.

П'ятий винахід поставлену задачу вирішує за рахунок того, що спосіб термографічної кускової сепарації сировини включає поштучне подання кусків сировини, опромінення їх електромагнітним випромінюванням надвисокої частоти, реєстрацію вторинного випромінювання, визначення наявності корисного компонента, порівняння показника вмісту корисного компонента в куску з його граничною величиною і за отриманим результатом поділ кусків на корисний продукт і порожню породу.

Згідно з винаходом, кожний кусок сировини опромінюють електромагнітним випромінюванням надвисокої частоти, а після припинення впливу електромагнітного випромінювання термографічною системою фіксують температурну картину куска після припинення впливу електромагнітного поля до моменту згасання теплообмінних процесів між компонентами куска, при цьому по отриманій тепловій картині визначають різницю максимальної і мінімальної температури куска, а по різниці максимальної і мінімальної температури і відомому інтервалу часу, від моменту припинення впливу електромагнітного поля надвисокої частоти до моменту реєстрації теплового зображення куска, визначають масову частку корисного компонента в куску, відповідно до формули:

$$Q = \frac{cc_r \ln\left(\frac{U_0 - T_0}{\Delta T(t_K)}\right) - \frac{6k_r c t_K}{\alpha \rho_r}}{cc_r \ln\left(\frac{U_0 - T_0}{\Delta T(t_K)}\right) + \frac{6(k_r c - k_r c)_K}{\alpha \rho_r}},$$

де

Q - масова частка корисного компонента в контрольованому куску;

UA 79247 C2

UA 79247 C2

U_O - температура нагрівання корисного компонента (°К);

T_0 - температура нагрівання порожньої породи (°К);

ρ_k - густина корисного компонента $\left(\frac{кг}{м^3}\right)$;

c_r - теплоємність корисного компонента $\left(\frac{Дж}{°К \cdot кг}\right)$;

c - теплоємність порожньої породи $\left(\frac{Дж}{°К \cdot кг}\right)$;

k_r - коефіцієнт тепловіддачі корисного компонента $\left(\frac{Вт}{°К \cdot м^2}\right)$;

k - - коефіцієнт тепловіддачі порожньої породи $\left(\frac{Вт}{°К \cdot м^2}\right)$;

t_K - інтервалу часу від моменту припинення впливу електромагнітного поля НВЧ до моменту реєстрації теплового зображення (секунда);

α - розмір зерна корисного компонента в контрольованому куску (м);

$\Delta T(t_K)$ - різниця максимальної і мінімальної температури контрольованого куска в момент реєстрації теплового зображення контрольованого куска (°К).

Потім перевіряється умова:

$Q \geq Q_{гр}$,

де

$Q_{гр}$ - граничне значення масової частки корисного компонента.

Після чого за отриманим результатом здійснюють сепарацію кусків сировини двома потоками - один з кусків з вмістом корисного компонента менше граничного значення його масової частки, а інший потік - з кусків з вмістом корисного компонента не менше граничного значення його масової частки.

Вирішення поставленої задачі п'ятим із групи винаходів основане на нагріванні компонентів контрольованого куска електромагнітним полем надвисокої частоти і контролі різниці максимальної і мінімальної температур контрольованого куска у фіксований момент часу після припинення впливу на нього електромагнітного поля, що знаходиться в інтервалі часу від моменту припинення впливу електромагнітного поля до моменту згасання теплообмінних процесів між компонентами куска. Отримана різниця температур буде пропорційна співвідношенню мас компонентів контрольованого куска. Спосіб може використовуватися для кускової сепарації первинної сировини з неоднорідною рівномірно-розподіленою структурою фізичних взаємозв'язків компонентів в обсязі куска. Швидкодія способу визначається часом нагрівання компонентів контрольованого куска в електромагнітному полі надвисокої частоти.

П'ятий винахід може бути використаний для термографічної кускової сепарації сировини, представленої у вигляді кусків визначеного гранулометричного складу з неоднорідною випадково-розподіленою структурою фізичних взаємозв'язків фаз компонентів у куску.

Шостий винахід поставлену задачу вирішує за рахунок того, що пристрій термографічної кускової сепарації сировини містить пристрій дозованого подання кусків сировини, що складається з прийомного бункера, живильника з електроприводом, конвеєра з електроприводом; установки електромагнітного випромінювання надвисокої частоти із системою керування, датчиків вторинного випромінювання й обчислювального пристрою із вхідним інтерфейсом.

Згідно з винаходом, пристрій додатково містить камеру нагрівання енергією електромагнітного поля надвисокої частоти, яка приєднана до установки випромінювання енергії надвисокої частоти, термографічну систему оброблення сигналів термодатчиків вторинного теплового випромінювання, систему керування електроприводом живильника, валковий розкладник, систему керування електроприводом конвеєра, світловий вузьконаправлений випромінювач і фотоприймач, пристрій порівняння з двома входами та датчик положення, причому вихід термографічної системи з'єднаний з першим входом вхідного інтерфейсу, вихід якого з'єднаний через обчислювальний пристрій із входом вихідного інтерфейсу, а другий вихід вихідного інтерфейсу з'єднаний с системою керування електроприводом живильника, третій вихід вихідного інтерфейсу з'єднаний через систему керування установкою надвисокої частоти з її входом, четвертий вихід вихідного інтерфейсу з'єднаний із системою керування електропривода конвеєра, на валу якого встановлений датчик положення, з'єднаний із другим входом вхідного інтерфейсу, при цьому перший вихід вихідного інтерфейсу з'єднаний з першим входом пристрою порівняння, а вихід фотоприймача з'єднаний з другим входом пристрою порівняння, вихід пристрою порівняння через блок тимчасової затримки і формувач імпульсів керування зв'язаний з електропневмоклапаном, установленим з можливістю його взаємодії з розділовим пристроєм подавання в приймач кусків сировини з вмістом корисного компонента, який менше граничного і приймач кусків сировини зі

UA 79247 C2

UA 79247 C2

вмістом корисного компонента не менше граничного.

Вирішення поставленої задачі шостим із групи винаходів основане на:

1. Формуванні одношарового потоку сортувального кускового матеріалу.

2. Збудженні в потоці теплового випромінювання сортувального кускового матеріалу за допомогою високо енергетичного електромагнітного поля надвисокої частоти.

3. Контролі в потоці параметрів вторинного теплового випромінювання від кожного куска, на підставі яких визначаються значення параметрів сортування (наприклад, розмір, положення, вага, вміст корисного компонента тощо).

4. Формуванні сортувального впливу, який дозволяє змінювати траєкторію руху контрольованого куска в залежності від результатів порівняння значень параметрів сортування, отриманих у результаті контролю із заданими граничними значеннями.

Шостий винахід може бути використаний для термографічної кускової сепарації сировини, представленої у вигляді кусків визначеного гранулометричного складу, що становлять гетерогенну систему фаз корисного компонента і порожньої породи з неоднорідною випадково-розподіленою структурою фізичних взаємозв'язків компонент у куску.

Сьомий винахід поставлену задачу вирішує за рахунок того, що пристрій термографічної кускової сепарації сировини містить пристрій дозованого подавання кусків, який складається з прийомного бункера, шнекового живильника з електроприводом, конвеєра з електроприводом, установки електромагнітного випромінювання надвисокої частоти із системою її керування, датчиків вторинного випромінювання, обчислювального пристрою із вхідним інтерфейсом.

Згідно з винаходом, пристрій додатково містить камеру нагрівання енергією електромагнітного поля надвисокої частоти, приєднану через елемент введення енергії електромагнітного поля надвисокої частоти до установки випромінювання енергії електромагнітного поля надвисокої частоти, причому в камері нагрівання розміщений валковий розкладник, що складається з валків з термостійкого діелектрика, між якими розташовані елементи уповільнюючої гребінки із кроком, рівним 1/4 довжини хвилі електромагнітного випромінювання надвисокої частоти, а вузол вивантаження камери нагрівання енергією електромагнітного поля надвисокої частоти, має уловлювач енергії електромагнітного поля надвисокої частоти з чвертьхвильовими відбивними елементами, крім того пристрій містить термографічну систему оброблення сигналів, систему керування електроприводом шнекового живильника, систему керування електроприводом конвеєра, світловий вузьконаправлений випромінювач і фотоприймач, пристрій порівняння з двома входами та датчик положення, при цьому вихід термографічної системи з'єднаний з першим входом вхідного інтерфейсу, вихід якого з'єднаний через обчислювальний пристрій із входом вихідного інтерфейсу, другий вихід вихідного інтерфейсу з'єднаний із системою керування електроприводом шнекового живильника, третій вихід вихідного інтерфейсу з'єднаний через систему керування установкою випромінювання енергії електромагнітного поля надвисокої частоти з її входом, четвертий вихід вихідного інтерфейсу з'єднаний із системою керування електропривода конвеєра, на валу якого встановлений датчик положення, з'єднаний із другим входом вхідного інтерфейсу, при цьому перший вихід вихідного інтерфейсу з'єднаний з першим входом пристрою порівняння, а вихід фотоприймача з'єднаний з другим входом пристрою порівняння, вихід пристрою порівняння через блок тимчасової затримки і формувач імпульсів керування зв'язаний з електропневмоклапаном, установленим так, щоб забезпечити його взаємодію з розділовим пристроєм подавання в приймач кусків сировини з вмістом корисного компонента менше граничного і приймач кусків сировини з вмістом корисного компонента не менше граничного, а вихід фотоприймача з'єднаний із другим входом пристрою порівняння.

Вирішення поставленої задачі сьомим із групи винаходів основане на:

1. Формуванні одношарового потоку сортувального кускового матеріалу.

2. Інтенсивному і рівномірному порушенні в потоці теплового випромінювання сортувального кускового матеріалу за допомогою високоенергетичного електромагнітного поля надвисокої частоти.

3. Підвищенні температури нагрівання сортувального кускового матеріалу за рахунок застосування гребінчастої уповільнюючої структури системи.

4. Контролі в потоці параметрів вторинного теплового випромінювання від кожного куска, на підставі яких визначаються значення параметрів сортування (наприклад, розмір, положення, вага, вміст корисного компонента тощо).

5. Формуванні сортувального впливу, який дозволяє змінювати траєкторію руху контрольованого куска в залежності від результатів порівняння значень параметрів сортування, отриманих у результаті контролю, із заданими граничними значеннями.

Сьомий винахід може бути використаний для термографічної кускової сепарації сировини, представленої у вигляді кусків визначеного гранулометричного складу, з не однорідною випадково-розподіленою структурою фізичних взаємозв'язків компонентів у куску.

Заявлені винаходи ілюструються схемами, де

на Фіг.1 - представлено схему першого пристрою для термографічної кускової сепарації сировини, його перший приклад реалізації;

на Фіг.2 - представлено схему першого пристрою для термографічної кускової сепарації сировини, його другий приклад реалізації;

на Фіг.3 - представлено схему другого пристрою для термографічної кускової сепарації сировини.

на Фіг.4 - представлено графік зміни в часі температури компонентів при теплообмінному процесі в двокомпонентному куску з неоднорідним розподілом компонентів по обсягу куска;

UA 79247 C2

UA 79247 C2

на Фіг.5 - графік зміни в часі різниці температур компонентів при теплообмінному процесі в двокомпонентному куску з неоднорідним розподілом компонентів по обсягу куска;

на Фіг.6 - графік залежності коефіцієнта об'ємного заповнення корисного компонента від масової частки корисного компонента в контрольованому куску.

Перший спосіб може бути реалізований на прикладі збагачення первинної сировини, яка містить метал, руду чорних чи кольорових металів. Заявлений спосіб забезпечує сепарацію первинної сировини на два потоки: один потік з вмістом корисного компонента вище заданого значення, а інший потік з вмістом корисного компонента нижче заданого значення. Сепаруватися може первинна сировина, отримана як безпосередньо після обвалення гірничої маси в циклі гірничих робіт при видобутку корисної копалини, так і сировини у вигляді гірничої маси, яка додатково подрібнювалася до заданих розмірів середнього куска.

Первинний потік сировини з дозувального навантажувального пристрою надходить на конвеєр. Обчислювальний пристрій через вихідний інтерфейс формує сигнал керування пристроєм дозованого подавання куска на стрічку конвеєра і сигнал керування системою керування електропривода конвеєра. Конвеєр подає кусок у зону нагрівання електромагнітним полем НВЧ, де забезпечується за командою обчислювального пристрою необхідна потужність електромагнітного випромінювання.

Довжина хвилі електромагнітного випромінювання в контрольованій речовині визначається за виразом:

$$\lambda=2\pi X_m, (м) \quad (1)$$

де

λ - довжина хвилі в контрольованій речовині (м);

X_m - глибина проникнення електромагнітної хвилі в речовині (м).

З іншого боку, довжина електромагнітної хвилі в речовині може бути визначена з виразу:

$$\lambda = \frac{V}{f}:(м) \quad (2)$$

де

V - фазова швидкість електромагнітної хвилі в даній речовині (м/с);

f - частота електромагнітного випромінювання (Гц).

Виходячи з (1) і (2) можна записати:

$$2\pi X_m = \frac{V}{f} \quad (3)$$

чи, вирішивши вираз (3) відносно X_m одержимо:

$$X_m = \frac{V}{2\pi f}(м) \quad (4)$$

Фазова швидкість електромагнітної хвилі в даному середовищі може бути визначена за виразом [Л. А. Бессонов. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле. - 8-е изд., перераб. и допол. М.: Высшая школа, 1986. - С.167]:

$$V = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\varepsilon_0\varepsilon_в\mu_0\mu_в\left(\sqrt{1+tg^2\delta_г}+1\right)}} \quad (5)$$

ε_0 - діелектрична проникність, що дорівнює $8{,}85418782\cdot10^{-12}$ (Ф/м);

$\varepsilon_в$ - відносна діелектрична проникність корисного компонента;

μ_0 - магнітна проникність, що дорівнює $1{,}25663706\cdot10^{-6}$ (Гн/м);

$\mu_в$ - відносна магнітна проникність корисного компонента;

$tg\delta_в$ - тангенс діелектричних втрат корисного компонента.

Підставляючи вираз (5) у вираз (4) і виконавши перетворення, одержимо:

UA 79247 C2

UA 79247 C2

$$X_m = \frac{1}{\pi f \sqrt{2\varepsilon_0\varepsilon_в\mu_0\mu_в\left(\sqrt{1+tg^2\delta_в}+1\right)}} \quad (6)$$

Розв'язавши вираз (6) відносно f одержимо:

$$f = \frac{1}{\pi X_m \sqrt{2\varepsilon_0\varepsilon_в\mu_0\mu_в\left(\sqrt{1+tg^2\delta_в}+1\right)}} \quad (7)$$

Вираз (7) представляє частоту електромагнітної хвилі, для якої амплітуда напруженості електричного поля зменшується в 2,71 разів при проходженні хвилею відстані по напрямку поширення в даній речовині, рівній X_m.

Частота електромагнітного поля НВЧ повинна бути такою, щоб забезпечити проникнення електромагнітних хвиль НВЧ випромінювання на деяку глибину контрольованого куска і, з урахуванням (7), може бути визначена з нерівності:

$$f \le \frac{1}{\pi \cdot X_m \cdot \sqrt{2\varepsilon_0\varepsilon_г\mu_0\mu_г\left(\sqrt{1+tg^2\delta_г}+1\right)}} \text{ (Гц)} \quad (8)$$

де

$\varepsilon_г$ - відносна діелектрична проникність корисного компонента;

$\mu_г$ - відносна магнітна проникність корисного компонента;

$tg\delta_г$ - тангенс діелектричних втрат корисного компонента.

Під дією енергії електромагнітного поля надвисокої частоти відбувається нагрівання куска сировини за рахунок поглинання ним енергії електромагнітного поля НВЧ.

Питома об'ємна енергія електромагнітного поля, яка поглинається речовиною, визначається виразом:

$$W = f\pi\varepsilon_0\varepsilon_в E_m^2 tg\delta_в t_{Нв}, \left(Дж/м^2\right) \quad (9)$$

де

E_m - напруженість електричного поля НВЧ електромагнітного поля $\left(\frac{В}{м}\right)$;

$t_{Нв}$ - час впливу електромагнітного випромінювання надвисокої частоти на речовину (с).

Підвищення температури одиниці об'єму речовини буде визначатися:

$$\Delta T_в = \frac{W}{c_в\rho_в} \text{ (°К)} \quad (10)$$

де

$\Delta T_в$ - необхідне підвищення температури речовини (°К);

$c_в$ - теплоємність речовини (Дж/°К кг);

$\rho_в$ - густина речовини (кг/м^3).

З огляду на (9) і (10), час, необхідний для підвищення температури нагрівання корисного компонента на деяку потрібну величину, може бути визначений за формулою:

$$t_Н = \frac{\Delta T \cdot c_г\rho_г}{f\pi\varepsilon_0\varepsilon_г E_m^2 tg\delta_г} \quad (11)$$

де

ΔT - необхідне підвищення температури нагрівання корисного компонента (°К);

$t_Н$ - час нагрівання контрольованого куска в полі електромагнітного випромінювання надвисокої частоти (с);

UA 79247 C2

UA 79247 C2

c_r - теплоємність корисного компонента {Дж/°К кг);

ρ_r - густина корисного компонента (кг/м^3).

Протягом часу нагрівання t корисний компонент у куску сировини нагрівається до температури:

$$U_O = \frac{f\pi\varepsilon_0\varepsilon_r E_m^2 \cdot tg\delta_r}{c_r\rho_r} \cdot t_H\,(°K) \qquad (12)$$

де

U_O - температура нагрівання корисного компонента у НВЧ електромагнітному полі за час t (°К);

c_r - теплоємність корисного компонента (Дж/°К кг);

ρ_r - густина корисного компонента (кг/м^3).

Порожній компонент у куску сировини нагрівається до температури

$$T_O = \frac{f\pi\varepsilon_0\varepsilon E_m^2 \cdot tg\delta}{c\rho} \cdot t_H\,(°K) \qquad (13)$$

де

T_O - температура нагрівання порожньої породи у НВЧ електромагнітному полі за час t (°К);

c - теплоємність порожньої породи (Дж/°К кг);

ρ - густина порожньої породи (кг/м^3);

ε - відносна діелектрична проникність порожньої породи;

$tg\delta$ - тангенс діелектричних втрат порожньої породи.

Після припинення дії електромагнітного поля процес теплообміну між корисним компонентом і порожньою породою описується системою диференціальних рівнянь з початковими умовами U_O і T_O:

$$\begin{cases} m_r c_r \dfrac{dU}{dt} = S_O k_r (T - U) \\ mc \dfrac{dT}{dt} = S_O k (U - T) \end{cases} \qquad (14)$$

де

m_r - маса корисного компонента в контрольованому куску (кг);

m - маса порожньої породи в контрольованому куску (кг);

$\dfrac{dU}{dt}$ - швидкість зміни температури корисного компонента після нагрівання $\left(\dfrac{°K}{c}\right)$;

$\dfrac{dT}{dt}$ - швидкість зміни температури порожньої породи після нагрівання $\left(\dfrac{°K}{c}\right)$;

U - поточна температура корисного компонента (°К);

T - поточна температура порожньої породи (°К);

S_O - площа теплообміну між корисним компонентом і порожньою породою.

Площа теплообміну між корисним компонентом і порожньою породою визначається за формулою:

$$S_O = \frac{6m_r}{\alpha\rho_r}\,(м^2)$$

де

α - розмір зерна корисного компонента (м);

k - коефіцієнт тепловіддачі порожньої породи (Вт/(°К·м^2));

k_r - коефіцієнт тепловіддачі корисного компонента (Вт/(°К·м^2)).

Вирішення системи диференціальних рівнянь теплообміну між корисним компонентом і порожньою породою в куску має вигляд:

UA 79247 C2

UA 79247 C2

$$U(t) = A_0 e^{p_0 t} - \frac{mk_r c}{m_r k c_r} A_1 e^{p_1 t} \quad (15)$$

$$T(t) = A_0 e^{p_0 t} + A_1 \cdot e^{p_1 t} \quad (16)$$

де

A_0, A_1, - постійні коефіцієнти, які визначаються за формулами:

$$A_0 = \frac{mk_r c T_0 + m_r k c_r U_0}{m_r k c_r + mk_r c} (°K) \quad (17)$$

$$A_1 = \frac{m_r k c_r (T_0 - U_0)}{m_r k c_r + mk_r c} (°K) \quad (18)$$

Характеристичне рівняння:

$$p \cdot \left(p + \frac{6km_r}{\alpha c \rho_r m} + \frac{6k_r}{\alpha c_r \rho_r} \right) = 0 \quad (19)$$

Корені характеристичного рівняння p_0, і p_1

$$p_0 = 0 \quad (20)$$

$$p_1 = -\frac{6}{\alpha \rho_r} \left(\frac{m_r k}{mc} + \frac{k_r}{c_r} \right) \left(\frac{1}{c} \right) \quad (21)$$

Остаточним рішенням системи диференціальних рівнянь (14) буде;

$$U(t) = A_0 - \frac{mk_r c}{m_r k c_r} A_1 e^{p_1 t} \quad (22)$$

$$T(t) = A_0 + A_1 \cdot e^{p_1 t} \quad (23)$$

Графік зміни в часі температури корисного компонента U(t) (крива 56) і порожньої породи T(t) (крива 57) при теплообмінному процесі в куску з неоднорідним розподілом компонентів по об'єму представлений на Фіг.4.

Стале значення температури нагрітого куска буде визначатися за формулою;

$$T_U = A_0 = \frac{U_0 + \frac{k_r c}{k c_r} \cdot T_0}{1 + \frac{m}{m_r} \cdot \frac{k_r c}{k c_r}} (°K) \quad (24)$$

де

T_U - температура контрольованого куска після завершення внутрішніх теплообмінних процесів між компонентами куска (стала температура нагрівання контрольованого куска) (°K).

Зважаючи на те, що при рівноважному теплообміні $k=k_r$, розв'язавши рівняння (24) відносно $\frac{m}{m_r}$, одержимо;

$$\frac{m}{m_r} = \frac{(U_0 - T_U) c_r}{(T_U - T_0) c}$$

UA 79247 C2

UA 79247 C2

При відомому співвідношенні $\frac{m}{m_r}$ масова частка корисного компонента в куску визначається виразом:

$$Q = \frac{1}{\frac{m}{m_r} + 1},$$

підставляючи в який значення співвідношення $\frac{m}{m_r}$, одержимо вираз на підставі якого визначають кількість корисного компонента в куску:

$$Q = \frac{(T_U - T_O)c}{U_O c_r - T_U(c_r - c) - T_O c} \cdot 100\% \quad (25)$$

де

Q - масова частка корисного компонента контрольованого куска (%).

Для визначення сталого значення температури куска контролювати її за допомогою термографічної системи необхідно через деякий проміжок часу після нагрівання куска. Цей проміжок часу визначається тривалістю перехідного процесу теплообміну між корисним компонентом куска і порожньою породою. Час затримки між кінцем опромінення енергією НВЧ і моментом контролю сталої температури куска визначається за виразом:

$$\Delta t_k = \frac{4}{|p_1|} = \frac{\alpha \rho_r c_r (U_O - T_{U_p})}{1{,}5 k_r (U_O - T_O)} \quad (26)$$

де

$$T_{U_p} = \frac{U_O c_r Q_{гр} + T_O c(1 - Q_{гр})}{c_r Q_{гр} + c(1 - Q_{гр})} \quad (27)$$

де

Δt_k - час затримки контролю;

$Q_{гр}$ - граничне значення масової частки корисного компонента в куску;

T_{U_p} - стала температура для куска з граничним значенням масової частки корисного компонента.

Після визначення масової частки корисного компонента перевіряємо умову:

$Q \geq Q_{гр}$.

У залежності від отриманого результату, кусок подається в зону дії пристрою, який за командою обчислювального комплексу здійснює сепарацію первинної сировини в залежності від кількісних показників вмісту корисного компонента.

Приклад 1 реалізації першого способу.

Кусок містить два основних компоненти - магнетит і кварцит, на який впливає НВЧ електромагнітне поле протягом одної секунди. Фізичні параметри куска, який опромінюється, і параметри НВЧ електромагнітного поля наведені в Таблиця 1.

Таблиця 1

Параметри	Одиниці виміру	Речовина	
		Магнетит	Кварцит
Відносна діелектрична проникність	-	68	од
Тангенс діелектричних утрат	-	0,4	0,009
Густина	Кг/(м^3)	4700	3720
Теплоємність	Дж/(°К·кг)	600	920
Коефіцієнт тепловіддачі	Вт/(°К·м^2)	10	10
Температура нагрівання	°К	283,5173	273,0003
Початкова температура	°К	273	
Електрична напруженість НВЧ поля	В/м	4000	

UA 79247 C2

UA 79247 C2

Частота НВЧ поля	Гц	2450000000
Час нагрівання	с	1
Розмір зерна	м	0,000075

Значення сталої температури куска з граничним вмістом корисного компонента 33% визначається за виразом (27):

$$T_{U_*} = \frac{U_O c_r Q_{гр} + T_O c(1 - Q_{гр})}{c_r Q_{гр} + c(1 - Q_{гр})} =$$

$$= \frac{283,5173 \cdot 600 \cdot 0,33 + 273,0003 \cdot 920 \cdot (1 - 0,33)}{600 \cdot 0,33 + 920 \cdot (1 - 0,33)} =$$

$$= 275,5572\,°K$$

Після закінчення часу контролю Δt_k, що визначається виразом (26):

$$\Delta t_k = \frac{4}{|p_1|} = \frac{\alpha \rho_r c_r (U_O - T_{U_*})}{1,5 k_r (U_O - T_O)} =$$

$$= \frac{0,000075 \cdot 4700 \cdot 600 \cdot (283,5173 - 275,5572)}{1,5 \cdot 10 \cdot (283,5173 - 273,0003)} \approx$$

$$\approx 1\,с$$

За допомогою термографічної системи визначають сталу температуру куска. Нехай стала температура складе T_U= 275,9°К.

За формулою (25) визначаємо масову частку вмісту корисного компонента в куску:

$$Q = \frac{(T_U - T_O) \cdot c}{U_O \cdot c_r - T_U \cdot (c_r - c) - T_O \cdot c} =$$

$$= \frac{(275,9 - 273,0003) \cdot 920 \cdot 100\%}{283,5173 \cdot 600 - 275,9 \cdot (600 - 920) - 273,0003 \cdot 920} =$$

$$= 36,87\%$$

Перевіряємо умову: $Q \geq Q_{гр}$.

Виходячи з отриманих значень переконуємося, що умова виконується (36,87%>33%), а контрольований кусок варто віднести до технологічного потоку кусків з корисним компонентом.

Приклад 2 реалізації першого способу.

Кусок містить два основних компоненти - гематит і кварцит, на який впливає НВЧ електромагнітне поле протягом двох секунд. Фізичні параметри куска, який опромінюється, і параметри НВЧ електромагнітного поля наведені в Таблиці 2.

Таблиця 2

Параметри	Одиниці виміру	Речовина	
		Гематит	Кварцит
Відносна діелектрична проникність	-	48	6,8
Тангенс діелектричних утрат	-	0,2	0,009
Густина	Кг/(м^3)	5100	2660
Теплоємність	Дж/(°К·кг)	630	850
Коефіцієнт тепловіддачі	Вт/(°К·м^2)	10	10
Температура нагрівання	°К	279,5159	273,0590
Початкова температура	°К	273	
Електрична напруженість НВЧ поля	В/м	4000	
Частота НВЧ поля	Гц	2450000000	
Час нагрівання	с	2	
Розмір зерна	м	0,000075	

Значення сталої температури куска з граничним вмістом корисного компонента 42% визначається за виразом (27):

UA 79247 C2

UA 79247 C2

$$T_{U_n} = \frac{U_O c_r Q_{гр} + T_O c(1-Q_{гр})}{c_r Q_{гр} + c(1-Q_{гр})} =$$

$$= \frac{279{,}5159 \cdot 630 \cdot 0{,}42 + 273{,}059 \cdot 850 \cdot (1-0{,}42)}{630 \cdot 0{,}42 + 850 \cdot (1-0{,}42)} =$$

$$= 275{,}3142°K$$

Після закінчення часу контролю Δt_k, обумовленому виразом (26):

$$\Delta t_k = \frac{4}{|p_1|} = \frac{\alpha \rho_r c_r (U_O - T_{U_n})}{1{,}5 k_r (U_O - T_O)} =$$

$$= \frac{0{,}000075 \cdot 5100 \cdot 630 \cdot (279{,}5159 - 275{,}3142)}{1{,}5 \cdot 10 \cdot (279{,}5159 - 273{,}059)} \approx$$

$$\approx 10c$$

За допомогою термографічної системи визначають сталу температура куска. Нехай стала температура складе T_U=275,2°К

За формулою (25) визначаємо масову частку вмісту корисного компонента в куску:

$$Q = \frac{(T_U - T_O) \cdot c}{U_O \cdot c_r - T_U \cdot (c_r - c) - T_O \cdot c} =$$

$$= \frac{(275{,}2 - 273{,}059) \cdot 850 \cdot 100\%}{279{,}5159 \cdot 600 - 275{,}2 \cdot (600 - 850) - 273{,}059 \cdot 850} =$$

$$= 40{,}09\%$$

Перевіряємо умову: $Q \geq Q_{гр}$.

Виходячи з отриманих значень переконуємося, що умова не виконується (40,09% <42%), а контрольований кусок варто віднести до технологічного потоку кусків з порожньою породою.

Спосіб, що заявляється, може бути використаний у технологічних процесах кускової сепарації сировини при збагаченні руд чорних і кольорових металів, гірничо-хімічної сировини і техногенних відходів з визначеним гранулометричним складом кусків.

Внутрішній склад кусків сировини може бути бінарним (що складається з двох фаз) чи квазібінарним і являє собою гетерогенну матричну систему чи гетерогенну систему типу статистичної суміші, з ізотропною (квазіізотропною) чи анізотропною макроструктурою.

Спосіб, що заявляється, може використовуватися на початкових етапах у технологіях збагачення (попереднє збагачення) і підготовки кускової сировини до подальшого переділу, наприклад, для попередньої кускової сепарації добутої сировини в умовах підземного способу розробки корисних копалин безпосередньо на місці видобутку (у вибої), для попередньої кускової сепарації первинної сировини при переробленні техногенних відходів, а також на кінцевих стадіях збагачення в тих технологіях, де кінцевим продуктом збагачення є кусковий матеріал із заданими фізико-хімічними властивостями, (наприклад, доменний кусок, мартенівський кусок та ін.).

Другий спосіб може бути реалізований на прикладі збагачення первинної металовміщуючої сировини, руд чорних чи кольорових металів. Заявлений спосіб забезпечує сепарацію первинної сировини на два потоки: один потік з вмістом корисного компонента вище заданого значення, а інший потік з вмістом корисного компонента нижче заданого значення. Сепаруватися може первинна сировина, отримана як безпосередньо після обвалення гірничої маси в циклі гірничих робіт при видобутку корисної копалини, так і сировини у вигляді гірничої маси, яка додатково подрібнена до заданих розмірів середнього куска, або сировини техногенного походження.

Первинний потік сировини з дозувального навантажувального пристрою надходить на конвеєр. Обчислювальний пристрій через вихідний інтерфейс формує сигнал керування пристроєм дозованого подання куска на стрічку і сигнал керування системою керування електропривода конвеєра. Конвеєр подає кусок у зону нагрівання установки НВЧ, що забезпечує за командою обчислювального комплексу заданий час нагрівання і необхідну потужність електромагнітного випромінювання.

Після нагрівання контрольованого куска в електромагнітному НВЧ полі, компоненти куска, через різні електричні, магнітні та теплофізичні властивості, нагріваються до різних температур.

Беручи середню температуру нагрітого в електромагнітному НВЧ полі контрольованого куска як узагальнений параметр двофазної статистичної суміші й знаючи об'ємні концентрації фаз у контрольованому куску, можна визначити середню температуру контрольованого куска за виразом [В.И. Оделевский. Расчет обобщенной проводимости гетерогенных систем. // Техническая физика. - 1951. Том XXI, вып.6. - С.683]:

UA 79247 C2

UA 79247 C2

$$Tc = \frac{(3\nu - 1)U_O + [3(1-\nu) - T_O]}{4} + \sqrt{\left\{\frac{(3\nu - 1)U_O + [3(1-\nu) - 1]T_O}{4}\right\}^2 + \frac{U_O T_O}{2}} \quad (28)$$

де

ν - об'ємний коефіцієнт концентрації корисного компонента;

Tc - виміряна середня температура контрольованого куска (°К);

U_O - температура нагрівання корисного компонента (°К);

T_O - температура нагрівання порожньої породи (°К).

Об'ємний коефіцієнт концентрації корисного компонента для двофазної статистичної суміші визначається за виразом:

$$\nu = \frac{m_r}{m_r + m\frac{\rho_r}{\rho}} \quad (29)$$

де

m_r - маса фази корисного компонента в контрольованому куску (кг);

m - маса фази порожньої породи в контрольованому куску (кг);

ρ_r - густина фази корисного компонента в контрольованому куску (кг/м^3);

ρ - густина фази порожньої породи в контрольованому куску (кг/м).

Вирішуючи рівняння (28) відносно N одержимо вираз:

$$\nu = \frac{2T_c - \frac{U_O T_O}{T_c} - 2T_O + U_O}{3(U_O - T_O)} \quad (30)$$

За виразом (30), вимірявши температуру нагрівання корисного компонента, порожньої породи і середню температуру контрольованого куска, можна розрахувати об'ємний коефіцієнт концентрації корисного компонента в контрольованому куску.

Після нагрівання куска у НВЧ електромагнітному полі обчислювальний комплекс формує сигнал керування електроприводом для подачі куска в зону дії термографічної установки. Вихідні сигнали термографічної установки через вхідний інтерфейс надходять в обчислювальний комплекс, який обчислює значення об'ємного коефіцієнта концентрації корисного компонента для контрольованого куска відповідно за формулою (30) і перевіряють умову

$$\nu \geq \nu_{гр} \quad (31)$$

де

$\nu_{гр}$ - граничне значення об'ємного коефіцієнта концентрації корисного компонента.

Граничне значення об'ємного коефіцієнта концентрації корисного компонента визначається з виразу:

$$\nu_{гр} = \frac{2Tc_{гр} - \frac{U_O \cdot T_O}{Tc_{гр}} - 2T_O + U_O}{3(U_O - T_O)} \quad (32)$$

де

$Tc_{гр}$ - середнє значення температури куска з граничним значенням масової частки корисного компонента, що визначається за виразом:

UA 79247 C2

UA 79247 C2

$$Tc_{гр} = \left| \frac{U_O + \frac{(1-Q_{гр})}{Q_{гр}} \cdot \frac{k_г c}{kc_г} \cdot T_O}{1 + \frac{(1-Q_{гр})}{Q_{гр}} \cdot \frac{k_г c}{kc_г}} \right| \quad (33)$$

При виконанні умови (31), кількість корисного компонента в контрольованому куску дорівнює чи перевищує деяке граничне значення з витримкою часу, необхідною для подавання куска в зону дії сепараційного пристрою, обчислювальний комплекс через вихідний інтерфейс включає сепараційний пристрій, який змінює траєкторію падіння куска з корисним компонентом і, відповідно, поділяє первинну сировину на два технологічних потоки: з вмістом корисного компонента і без нього.

Приклад 1 реалізації другого способу.

Кусок містить два основних компоненти - магнетит і кварцит, на який впливає НВЧ електромагнітне поле протягом одної секунди. Фізичні параметри куска, який опромінюється, і параметри НВЧ електромагнітного поля наведені в Таблиця 3.

Таблиця 3

Параметри	Одиниці виміру	Речовина	
		Магнетит	Кварцит
Відносна діелектрична проникність	-	68	0,1
Тангенс діелектричних втрат	-	0,4	0,009
Густина	Кг/(м^3)	4700	3720
Теплоємність	Дж/(°К·кг)	600	920
Коефіцієнт тепловіддачі	Вт/(°К·м^2)	10	10
Температура нагрівання	°К	283,5173	273,0003
Початкова температура	°К	273	
Електрична напруженість НВЧ поля	В/м	4000	
Частота НВЧ поля	Гц	2450000000	
Час нагрівання	с	1	
Розмір зерна	м	0,000075	

Середня температура контрольованого куска з граничним вмістом корисного компонента, що дорівнює $Q_{гр}$=33%, визначається за виразом (33):

$$Tc_{гр} = \frac{U_O + \frac{(1-Q_{гр})}{Q_{гр}} \cdot \frac{k_г c}{kc_г} \cdot T_O}{1 + \frac{(1-Q_{гр})}{Q_{гр}} \cdot \frac{k_г c}{kc_г}} =$$

$$= \frac{283,5173 + \frac{(1-0,33)}{0,3} \cdot \frac{10 \cdot 920}{10 \cdot 600} \cdot 273,0003}{1 + \frac{(1-0,33)}{0,33} \cdot \frac{10 \cdot 920}{10 \cdot 600}} =$$

$$= 275,5572°К$$

Граничне значення об'ємного коефіцієнта концентрації корисного компонента $\nu_{гр}$ з граничним вмістом корисного компонента 33% визначається за виразом (32):

$$\nu_{гр} = \frac{2Tc_{гр} - \frac{U_O T_O}{Tc_{гр}} - 2T_O + U_O}{3(U_O - T_O)} =$$

$$= \frac{2 \cdot 275,5572 - \frac{283,5173 \cdot 273,0003}{275,5572} - 2 \cdot 273,0003 + 283,5173}{3 \cdot (283,5173 - 273,0003)} =$$

$$= 0,24546483$$

Після закінчення впливу НВЧ опромінення за допомогою термографічної системи визначаються середнє значення Тс температури контрольованого куска, що в даному прикладі склало:

UA 79247 C2
UA 79247 C2

Tc=275,9°K.

За формулою (30) визначаємо значення об'ємного коефіцієнта концентрації корисного компонента V для даного контрольованого куска:

$$\nu = \frac{2T_c - \frac{U_0 - T_0}{T_c} - 2T_0 + U_0}{3(U_0 - T_0)} =$$

$$= \frac{2 \cdot 276{,}9 - \frac{283{,}5173 \cdot 273{,}0003}{275{,}9} - 2 \cdot 279{,}0003 + 283{,}5173}{3 \cdot (283{,}5173 - 273{,}0003)} =$$

$$= 0{,}27949039$$

Перевіряємо умову: $\nu \geq \nu_{гр}$.

Виходячи з отриманих значень переконуємося, що умова виконується (0,27949039 >0,24546483), а контрольований кусок варто віднести до технологічного потоку кусків з корисним компонентом.

Приклад 2 реалізації другого способу.

Кусок містить два основних компоненти - гематит і кварцит, на який впливає НВЧ електромагнітне поле протягом двох секунд. Фізичні параметри куска, який опромінюється, і параметри НВЧ електромагнітного поля наведені в Таблиця 4.

Таблиця 4

Параметри	Одиниці виміру	Речовина	
		Гематит	Кварцит
Відносна діелектрична проникність	-	48	6,8
Тангенс діелектричних утрат	-	0,2	0,009
Густина	Кг/(м^3)	5100	2660
Теплоємність	Дж/(°К·кг)	630	850
Коефіцієнт тепловіддачі	Вт/(°К·м^2)	10	10
Температура нагрівання	°К	279,5159	273,0590
Початкова температура	°К	273	
Електрична напруженість НВЧ поля	В/м	4000	
Частота НВЧ поля	Гц	2450000000	
Час нагрівання	с	2	
Розмір зерна	м	0,000075	

Середня температура контрольованого куска з граничним вмістом корисного компонента, що дорівнює $Q_{гр}$=42%, визначається за виразом (33):

$$Tc_{гр} = \frac{U_0 + \frac{(1 - Q_{гр})}{Q_{гр}} \cdot \frac{k_r c}{k c_r} \cdot T_0}{1 + \frac{(1 - Q_{гр})}{Q_{гр}} \cdot \frac{k_r c}{k c_r}} =$$

$$= \frac{279{,}5159 + \frac{(1 - 0{,}42)}{0{,}42} \cdot \frac{10 \cdot 860}{10 \cdot 630} \cdot 273{,}059}{1 + \frac{(1 - 0{,}33)}{0{,}33} \cdot \frac{10 \cdot 920}{10 \cdot 600}} =$$

$$= 275{,}3142°K$$

Граничне значення об'ємного коефіцієнта концентрації корисного компонента $\nu_{гр}$ з граничним вмістом корисного компонента 42% визначається за виразом (32):

$$\nu_{гр} = \frac{2Tc_{гр} - \frac{U_0 T_0}{Tc_{гр}} - 2T_0 + U_0}{3(U_0 - T_0)} =$$

$$= \frac{2 \cdot 275{,}9142 - \frac{279{,}5159 \cdot 273{,}059}{275{,}9142} - 2 \cdot 273{,}059 + 279{,}5159}{3 \cdot (279{,}6169 - 273{,}059)} =$$

$$= 0{,}351037759$$

Після закінчення впливу НВЧ опромінення за допомогою термографічної системи визначаються середнє

UA 79247 C2

UA 79247 C2

значення Тс температури контрольованого куска, що в даному прикладі склало:

Тс=275,2°К.

За формулою (30) визначаємо значення об'ємного коефіцієнта концентрації корисного компонента ν для даного контрольованого куска:

$$\nu = \frac{2T_C - \frac{U_0 - T_0}{T_C} - 2T_0 + U_0}{3(U_0 - T_0)} =$$

$$= \frac{2 \cdot 276{,}2 - \frac{279{,}5 \cdot 278{,}1}{275{,}2} - 2 \cdot 278{,}1 + 279{,}5}{3 \cdot (279{,}5 - 278{,}1)} =$$

$$= 0{,}33243976$$

Перевіряємо умову: $\nu \geq \nu_{гр}$.

Виходячи з отриманих значень переконуємося, що умова не виконується (0,33243976 <0,35103759), а контрольований кусок варто віднести до технологічного потоку кусків з порожньою породою.

Спосіб, що заявляється, може бути використаний у технологічних процесах кускової сепарації сировини при збагаченні руд чорних і кольорових металів, гірничо-хімічної сировини і техногенних відходів з визначеним гранулометричним складом кусків.

Внутрішній склад кусків сировини може бути бінарним (що складається з двох фаз) чи квазібінарним і являти собою гетерогенну матричну систему чи гетерогенну систему типу статистична суміш з ізотропною (квазіізотропною) макроструктурою.

Спосіб, що заявляється, може використовуватися на початкових етапах у технологіях збагачення (попереднє збагачення) і підготовки кускової сировини до подальшого переділу, наприклад, для попередньої кускової сепарації добутої сировини в умовах підземного способу розробки корисних копалин безпосередньо на місці видобутку (у вибої), для попередньої кускової сепарації первинної сировини при переробленні техногенних відходів, а також на кінцевих стадіях збагачення в тих технологіях, де кінцевим продуктом збагачення є кусковий матеріал із заданими фізико-хімічними властивостями, (наприклад, доменний кусок, мартенівський кусок та ін.).

Третій спосіб може бути реалізований на прикладі збагачення первинної металовміщуючої сировини, руд чорних чи кольорових металів. Заявлений спосіб забезпечує сепарацію первинної сировини на два потоки: один потік з вмістом корисного компонента вище заданого значення, а інший потік з вмістом корисного компонента нижче заданого значення. Сепаруватися може первинна сировина, отримана як безпосередньо після обвалення гірничої маси в циклі гірничих робіт при видобутку корисної копалини, так і сировина у вигляді гірничої маси, яка додатково подрібнювалась до заданих розмірів середнього куска, або сировина техногенного походження.

Первинний потік сировини з дозувального навантажувального пристрою надходить на конвеєр. Обчислювальний пристрій через вихідний інтерфейс і систему керування формує сигнал керування пристроєм дозованого подавання куска на конвеєр і сигнал керування на систему керування електропривода конвеєра. Конвеєр подає кусок у зону нагрівання установки НВЧ, що забезпечує за командою обчислювального пристрою необхідну потужність електромагнітного випромінювання.

Сигнал з датчика швидкості конвеєра через вхідний інтерфейс надходить в обчислювальний пристрій, який через вихідний інтерфейс формує такий сигнал керування на систему керування електропривода конвеєра, що забезпечує швидкість конвеєра, необхідну для перебування куска в зоні опромінення і нагрівання електромагнітним полем заданий час, що визначається за формулою (11).

Необхідна лінійна швидкість конвеєрної стрічки У може бути визначена за формулою:

$$V_K = \frac{L_H}{t_H}\left(\frac{м}{с}\right) \quad (34)$$

де

L_H - еквівалентний лінійний розмір зони опромінення НВЧ електромагнітним полем уздовж вектора швидкості конвеєрної стрічки (м);

t_H - необхідний час впливу НВЧ електромагнітного поля на контрольований кусок, що визначається за виразом (11) (с).

Кусок сировини, що складається з корисного компонента і порожньої породи опромінюється НВЧ електромагнітним полем.

За рахунок поглинання НВЧ енергії речовиною куска, його середня температура, за час нагрівання, підвищиться на величину, обумовлену виразом:

$$\Delta T_C = \frac{\pi E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon_{cp} tg\delta_{cp}}{c_{cp}\rho_{cp}} \cdot t_H \, (°K) \quad (35)$$

UA 79247 C2

UA 79247 C2

де

$\rho_{ср}$ - середня густина речовини куска $\left(\frac{кг}{м^3}\right)$;

$c_{ср}$ - середня питома теплоємність речовини куска $\left(\frac{Дж}{°К \cdot кг}\right)$;

$\varepsilon_{ср}$ - середня відносна діелектрична проникність речовини куска;

$tg\delta_{ср}$ - середнє значення тангенса діелектричних утрат речовини куска.

Середня густина речовини куска визначається за виразом:

$$\rho_{ср} = \frac{M}{V_в}\left(\frac{кг}{м^3}\right) \quad (36)$$

де

M - маса куска (кг);

$V_в$ - об'єм куска ($м^3$);

У свою чергу:

$M=m_г+m$ (кг),

де

$m_г$ - маса корисного компонента в куску (кг);

m - маса порожньої породи в куску (кг).

Об'єм куска буде

$V_в=\nu_г+\nu$ ($м^3$),

де

$\nu_г$ - об'єм корисного компонента в куску ($м^3$);

ν - об'єм порожньої породи в куску ($м^3$).

Об'єми корисного компонента і порожньої породи в куску можна виразити через їхні маси і густини, тоді:

$$\nu_г = \frac{m_г}{\rho_г}; \quad \nu = \frac{m}{\rho};$$

З урахуванням вище сказаного, середня густина куска буде визначатися за виразом:

$$\rho_{ср} = \frac{\rho_г \rho\left(\frac{m_г}{m}+1\right)}{\rho\frac{m_г}{m}+\rho_г}\left(\frac{кг}{м^2}\right) \quad (37)$$

Середня теплоємність речовини куска визначається з виразу:

$c_{ср}M=c_г m_г+cm$

відкіля

$$c_{ср} = \frac{c_г m_г + cm}{m_г + m}\left[\frac{Дж}{°К \cdot кг}\right] \quad (38)$$

Енергія НВЧ електромагнітного поля, яка витрачається на нагрівання одиниці об'єму речовини контрольованого куска в одиницю часу, визначається виразом:

$$p_{ср} = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon_{ср} tg\delta_{ср}\ (Вт) \quad (39)$$

Енергія НВЧ електромагнітного поля, яка витрачається на нагрівання всього об'єму корисного компонента контрольованого куска в одиницю часу, визначається виразом:

UA 79247 C2

UA 79247 C2

$$P_r = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r tg\delta_r \nu_r = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r tg\delta_r \frac{m_r}{\rho_r} (Вт)$$

Енергія НВЧ електромагнітного поля, витрачена на нагрівання всього об'єму порожньої породи контрольованого куска в одиницю часу, визначається виразом:

$$P_o = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon tg\delta \nu = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon tg\delta \frac{m}{\rho} (Вт)$$

Енергія НВЧ електромагнітного поля, витрачена на нагрівання всього об'єму речовини контрольованого куска в одиницю часу, визначається виразом:

$$P = P_r + P_o = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \left(\varepsilon_r tg\delta_r \frac{m_r}{\rho_r} + \varepsilon tg\delta \frac{m}{\rho} \right) (Вт)$$

Тоді енергія НВЧ електромагнітного поля, яка витрачається на нагрівання одиниці об'єму речовини контрольованого куска в одиницю часу, буде визначається виразом:

$$P_{cp} = \frac{P}{\nu_r + \nu} = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \cdot \frac{\varepsilon_r tg\delta_r \frac{m_r}{\rho_r} + \varepsilon tg\delta \frac{m}{\rho}}{\frac{m_r}{\rho_r} + \frac{m}{\rho}} (Вт)$$

або

$$P_{cp} = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \cdot \frac{\varepsilon_r tg\delta_r \frac{m_r}{m} \rho + \varepsilon tg\delta \rho_r}{\frac{m_r}{m} \rho + \rho_r} (Вт) \quad (40)$$

Порівнюючи вирази (39) і (40), можна зробити висновок, що:

$$\varepsilon_{cp} tg\delta_{cp} = \frac{\varepsilon_r tg\delta_r \frac{m_r}{m} \rho + \varepsilon tg\delta \rho_r}{\frac{m_r}{m} \rho + \rho_r} \quad (41)$$

Вираз (41) являє собою фактор втрат речовини контрольованого куска, який виражається через фактори втрат корисного компонента $\varepsilon_r tg\delta_r$ і порожньої породи $\varepsilon tg\delta$ та співвідношення мас корисного компонента і порожньої породи у контрольованому куску.

Підставляючи у формулу (35) вирази (37), (38) і (41) і виконуючи відповідні перетворення, одержимо вираз для середнього підвищення температури контрольованого куска:

$$\Delta T_C = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 t_H \cdot \frac{\varepsilon_r tg\delta_r \frac{m_r}{m} \rho + \varepsilon tg\delta \rho_r}{\rho_r \rho \left(c_r \frac{m_r}{m} + c \right)} \quad (42)$$

Вимірюючи середнє підвищення температури контрольованого куска, попередньо нагрітого у НВЧ електромагнітному полі, з виразу (42) можна визначити співвідношення $\frac{m_r}{m}$ - маси корисного компонента до маси порожньої породи в цьому куску.

При виході з зони опромінення електромагнітним полем кусок попадає в зону дії термографічної системи, де визначають середнє підвищення температури нагрітого куска шляхом фіксації картини його теплового випромінювання.

Вихідні сигнали термографічної установки через вхідний інтерфейс надходять в обчислювальний пристрій.

При контролі температури за допомогою термографічної установки фіксована картина теплового

UA 79247 C2

UA 79247 C2

випромінювання нагрітого контрольованого куска представляє карту теплових точок. Кожна точка фіксованої картини теплового випромінювання відповідає досить малій (елементарній) ділянці контрольованого куска. Тому температуру на елементарній ділянці контролю куска можна вважати однаковою.

Тоді середнє підвищення температури всього куска може бути визначене за виразом:

$$\Delta T_C = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N} \Delta S_i} \cdot \sum_{i=1}^{N} \Delta T_i \cdot \Delta S_i ,$$

де

ΔS_i - площа елементарної ділянки, що відповідає точці фіксованої картини теплового випромінювання нагрітого контрольованого куска;

ΔT_i - підвищення температури точки фіксованої картини теплового випромінювання нагрітого контрольованого куска;

N - кількість точок фіксованої картини теплового випромінювання нагрітого контрольованого куска.

Чи, якщо ΔS_i відповідають однаковим за розміром елементарним ділянкам контрольованого куска, то середнє підвищення температури всього куска може бути визначена за виразом:

$$\Delta T_C = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{N} \Delta T_i \qquad (43)$$

Вирішивши вираз (42) відносно $\frac{m_r}{m}$, одержуємо:

$$\frac{m_r}{m} = \frac{\pi f E_m^2 t_H \varepsilon_0 \operatorname{tg}\delta \rho_r - \Delta T_C \rho_r \rho c}{\Delta T_C \rho_r \rho c_r - \pi f E_m^2 t_H \varepsilon_0 \varepsilon_r \operatorname{tg}\delta_r \rho} \qquad (44)$$

Вміст (масова частка) корисного компонента в контрольованому куску визначається виразом:

$$Q = \frac{\frac{m_r}{m}}{\frac{m_r}{m} + 1} \qquad (45)$$

Підставляючи у вираз (45) вираз (44) і виконавши необхідні перетворення, одержимо формулу визначення масової частки корисного компонента в куску:

$$Q = \frac{\rho_r A_e}{\rho_r A_e - \rho A_{e_r}} \qquad (46)$$

де

$A_e = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon \operatorname{tg}\delta t_H - \Delta T_C \rho c$ - допоміжний параметр порожньої породи;

$A_{e_r} = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r \operatorname{tg}\delta_r t_H - \Delta T_C \rho_r c_r$ - допоміжний параметр корисного компонента.

На практиці, виходячи з конкретних властивостей корисного компонента і порожньої породи та їхніх співвідношень, параметрів контрольованого потоку, чутливості і швидкодії застосовуваних пристроїв контролю температури, вибираючи частоту і напруженість НВЧ електромагнітного поля, час опромінення, тактику контролю (одноточковий, двоточковий і багатоточковий контроль) можна досягти необхідної точності кускової сепарації сировини в потоці.

При виконанні умови

$Q \geq Q_{гр}$

з витримкою часу, необхідного для подавання куска в зону дії, обчислювальний пристрій через вихідний інтерфейс включає виконавчі органи сепараційного пристрою, які змінюють траєкторію руху куска з корисним компонентом, чим і забезпечується поділ на потоки кусків, які містять або не містять корисний компонент.

UA 79247 C2

UA 79247 C2

Приклад 1 реалізації третього способу.

Кусок містить два основних компоненти - магнетит і кварцит, на який впливає НВЧ електромагнітне поле протягом одної секунди. Фізичні параметри куска, який опромінюється, і параметри НВЧ електромагнітного поля наведені в Таблиця 5.

Таблиця 5

Параметри	Одиниці виміру	Речовина	
		Магнетит	Кварцит
Відносна діелектрична проникність	-	68	0,1
Тангенс діелектричних утрат	-	0,4	0,009
Густина	Кг/(м^3)	4700	3720
Теплоємність	Дж/(°К·кг)	600	920
Коефіцієнт тепловіддачі	Вт/(°К·м^2)	10	10
Температура нагрівання	°К	283,5173	273,0003
Початкова температура	°К	273	
Електрична напруженість НВЧ поля	В/м	4000	
Частота НВЧ поля	Гц	2450000000	
Час нагрівання	с	1	
Розмір зерна	м	0,000075	

Граничний вміст корисного компонента беремо $Q_{гр}$=33%.

За допомогою термографічної системи визначають середню температура куска. Нехай середня температура контрольованого куска складе Тс=275,9°К, а отже, підвищення температури нагрівання буде:

ΔT_C=Тс-Тн=275,9-273=2,9°К,

де

Тн - початкова температура контрольованого куска (див. Таблиця 5).

За формулою (46) визначаємо масову частку вмісту корисного компонента в куску:

$$Q = \frac{\rho_r Ae}{\rho_r Ae - \rho Ae_r}$$

де

$$Ae = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon tg\delta t_H - \Delta T_C pc =$$

$$= \pi \cdot 2,45 \cdot 10^9 \cdot 4000^2 \cdot 8,85419 \cdot 10^{-12} \cdot 0,1 \cdot 0,009 \cdot 1 -$$

$$- 2,9 \cdot 3720 \cdot 920 = -9923978,643$$

- допоміжний параметр порожньої породи;

$$Ae_r = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r tg\delta_r t_H - \Delta T_C p_r c_r =$$

$$= \pi \cdot 2,45 \cdot 10^9 \cdot 4000^2 \cdot 8,85419 \cdot 10^{-12} \cdot 0,1 \cdot 0,009 \cdot 1 -$$

$$- 2,9 \cdot 3720 \cdot 920 = 21480799,89$$

- допоміжний параметр корисного компонента.

Тоді

$$Q = \frac{4700 \cdot (-9923978,643) \cdot 100\%}{4700 \cdot (-9923978,643) - 3720 \cdot (21480799,89)} =$$

$$= 36,86\%$$

Перевіряємо умову: $Q \geq Q_{гр}$.

Виходячи з отриманих значень переконуємося, що умова виконується (36,86%>33%), а контрольований кусок варто віднести до технологічного потоку кусків з корисним компонентом.

Приклад 2 реалізації третього способу.

Кусок містить два основних компоненти - гематит і кварцит, на який впливає НВЧ електромагнітне поле протягом двох секунд. Фізичні параметри куска, який опромінюється, і параметри НВЧ електромагнітного поля наведені в Таблиця 6.

Таблиця 6

Параметри	Одиниці виміру	Речовина	
		Гематит	Кварцит
Відносна діелектрична проникність	-	48	6,8

UA 79247 C2

UA 79247 C2

Тангенс діелектричних утрат	-	0,2	0,009
Густина	Кг/(м^3)	5100	2660
Теплоємність	Дж/(°К·кг)	630	850
Коефіцієнт тепловіддачі	Вт/(°К·м^2)	10	10
Температура нагрівання	°К	279,5159	273,0590
Діелектрична проникність	Ф/м	8,8541878E-12	
Початкова температура	°К	273	
Електрична напруженість НВЧ поля	В/м	4000	
Частота НВЧ поля	Гц	2450000000	
Час нагрівання	с	2	
Розмір зерна	м	0,000075	

Граничний вміст корисного компонента беремо $Q_{гр}$=42%.

За допомогою термографічної системи визначають середню температура куска. Нехай середня температура контрольованого куска буде Тс=275,2°К, а отже, підвищення температури нагрівання буде

ΔT_C=Тс-Тн=275,2-273=2,2°К,

де

Тн - початкова температура контрольованого куска (див. Таблиця 6).

За формулою (46) визначаємо масову частку вмісту корисного компонента в куску:

$$Q = \frac{\rho_r Ae}{\rho_r Ae - \rho Ae_r}$$

де

$Ae = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon tg\delta_H t_H - \Delta T_C \rho c =$ - допоміжний параметр порожньої породи;

$= \pi \cdot 2,45 \cdot 10^9 \cdot 4000^2 \cdot 8,8541878 \cdot 10^{-12} \cdot 6,8 \cdot 0,009 \cdot 2 -$

$- 2,2 \cdot 2660 \cdot 850 = -4840735,4$

$Ae_r = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r tg\delta_r t_H - \Delta T_C \rho_r c_r =$ - допоміжний параметр корисного компонента.

$= \pi \cdot 2,45 \cdot 10^9 \cdot 4000^2 \cdot 8,8541878 \cdot 10^{-12} \cdot 48 \cdot 0,2 \cdot 2 -$

$- 2,2 \cdot 5100 \cdot 630 = 13867023,45$

Тоді

$$Q = \frac{5100 \cdot (-4840735,4) \cdot 100\%}{5100 \cdot (-4840735,4) - 2660 \cdot (13867023,45)} =$$

$$= 40,09\%$$

Перевіряємо умову: $Q \geq Q_{гр}$.

Виходячи з отриманих значень переконуємося, що умова не виконується (40,09% <42%), а контрольований кусок варто віднести до технологічного потоку кусків з порожньою породою.

Спосіб, що заявляється, може бути використаний у технологічних процесах кускової сепарації сировини при збагаченні руд чорних і кольорових металів, гірничо-хімічної сировини і техногенних відходів з визначеним гранулометричним складом кусків.

Внутрішній склад кусків сировини може бути бінарним (що складається з двох фаз) чи квазібінарним і являти собою гетерогенну матричну систему чи гетерогенну систему типу статистична суміш з ізотропною (квазіізотропною) макроструктурою.

Спосіб, що заявляється, може використовуватися на початкових етапах у технологіях збагачення (попереднє збагачення) і підготовки кускової сировини до подальшого переділу, наприклад, для попередньої кускової сепарації добутої сировини в умовах підземного способу розробки корисних копалин безпосередньо на місці видобутку (у вибої), для попередньої кускової сепарації первинної сировини при переробленні техногенних відходів, а також на кінцевих стадіях збагачення в тих технологіях, де кінцевим продуктом збагачення є кусковий матеріал із заданими фізико-хімічними властивостями, (наприклад, доменний кусок, мартенівський кусок та ін.).

Четвертий спосіб може бути реалізований на прикладі збагачення первинної металовміщуючої сировини, руд чорних чи кольорових металів. Заявлений спосіб забезпечує сепарацію первинної сировини на два потоки: один потік з вмістом корисного компонента вище заданого значення, а інший потік з вмістом корисного компонента нижче заданого значення. Сепаруватися може первинна сировина, отримана як безпосередньо після обвалення

UA 79247 C2

UA 79247 C2

гірничої маси в циклі гірничих робіт при видобутку корисної копалини, так і сировина у вигляді гірничої маси, яка додатково подрібнювалася до заданих розмірів середнього куска, і сировина техногенного походження.

Первинний потік сировини з дозувального навантажувального пристрою надходить на конвеєр. Обчислювальний пристрій через вихідний інтерфейс формує сигнал керування пристроєм дозованого подавання куска на стрічку і сигнал керування системою керування електропривода конвеєра. Конвеєр подає кусок у зону нагрівання установки НВЧ, яка забезпечує за командою обчислювального пристрою заданий час нагрівання і необхідну потужність електромагнітного випромінювання.

Кусок сировини опромінюється електромагнітним полем частотою f, що відповідає умові за формулою (8), с напруженістю E_m протягом часу t_H, обумовленому виразом (11). Частота f, напруженість E_m НВЧ електромагнітного поля і час впливу НВЧ електромагнітного поля t_H можуть вибиратися і з інших технічних чи технологічних умов.

За час нагрівання корисний компонент нагрівається до температури U_O, обумовленої виразом (12), а порожній компонент до температури T_O, обумовленої виразом (13).

Після припинення дії електромагнітного поля процес теплообміну між корисним компонентом і порожньою породою описується системою диференціальних рівнянь (14) з початковими умовами U_O і T_O.

Вирішення системи диференціальних рівнянь для нагрівання куска згідно з (16) має вид:

$$T(t) = A_0 + A_1 \cdot e^{p_1 t}.$$

Використовуючи розкладання експонентної функції в статечної ряд і обмеживши членами n-го порядку (наприклад, третього порядку), представимо рішення системи у вигляді:

$$T(t) = A_0 + A_1 + A_1 p_1 t + \frac{A_1 p_1^2}{2} t^2 + \frac{A_1 p_1^3}{6} t^3 \quad (47)$$

або

$$T(t) = X_1 + X_2 t + X_3 t^2 + X_4 t^3 \quad (48)$$

де

A_0, A_1, p_1 - постійні коефіцієнти, які визначаються виразами (17), (18) і (21). Або, подаючи масу через відповідний об'єм і густину компонентів, одержимо:

$$A_0 = T_O - A_1 \quad (49)$$

$$A_1 = \frac{T_O - U_0}{1 + \frac{c\rho k_r (V_B - v)}{c_r \rho_r k v}} \quad (50)$$

$$p_1 = -\frac{6}{\alpha} \cdot \left(\frac{kv}{c\rho(V_B - v)} + \frac{k_r}{c_r \rho_r} \right) \quad (51)$$

Тому що, в рівнянні (48) входять чотири складових, які необхідно знайти, складається система з чотирьох рівнянь (52) для чотирьох не співпадаючих моментів часу:

$$\begin{cases} T(t_1) = X_1 + X_2 \cdot t_1 + X_3 \cdot t_1^2 + X_4 \cdot t_1^3 \\ T(t_2) = X_1 + X_2 \cdot t_2 + X_3 \cdot t_2^2 + X_4 \cdot t_2^3 \\ T(t_3) = X_1 + X_2 \cdot t_3 + X_3 \cdot t_3^2 + X_4 \cdot t_3^3 \\ T(t_4) = X_1 + X_2 \cdot t_4 + X_3 \cdot t_4^2 + X_4 \cdot t_4^3 \end{cases} \quad (52)$$

де

$T(t_1)$, $T(t_2)$, $T(t_3)$, $T(t_4)$ - середня температура куска, визначена в моменти часу t_1, t_2, t_3 t_4.

Вирішивши систему рівнянь (52) відносно X_1, X_2, X_3, X_4, і враховуючи те, що відношення $\frac{2X_3}{X_2} = p_1$, і при відомому вираженні для кореня характеристичного рівняння, визначаємо коефіцієнт об'ємного заповнення

UA 79247 C2

UA 79247 C2

корисного компонента для контрольованого куска:

$$K_V = \frac{c\rho(X_3\alpha c_n\rho_r + 3X_2k_r)}{c\rho(X_3\alpha c_n\rho_r + 3X_2k_r) - 3X_2c_n\rho_r k} \quad (53)$$

і перевіряють умову

$$K_V \geq K_{V_*} \quad (54)$$

де

K_{V_*} - граничне значення коефіцієнт об'ємного заповнення корисного компонента.

У залежності від отриманого результату, кусок подається в зону дії пристрою, який за командою обчислювального комплексу здійснює сепарацію первинної сировини в залежності від кількісних показників вмісту корисного компонента.

Графік залежності коефіцієнта об'ємного заповнення корисного компонента від масової частки корисного компонента в контрольованому куску представлений на Фіг.6, крива 59. Точка 60 відповідає граничному значенню коефіцієнта об'ємного заповнення корисного компонента, а точка 61 відповідає поточному значенню коефіцієнта об'ємного заповнення корисного компонента.

Приклад 1 реалізації четвертого способу.

Кусок містить два основних компоненти - магнетит і кварцит, на який впливає НВЧ електромагнітне поле протягом одної секунди. Фізичні параметри куска, який опромінюється, і параметри НВЧ електромагнітного поля наведені в Таблиця 7.

Таблиця 7

Параметри	Одиниці виміру	Речовина	
		Магнетит	Кварцит
Відносна діелектрична проникність	-	68	0,1
Тангенс діелектричних утрат	-	0,4	0,009
Густина	Кг/(м^3)	4700	3720
Теплоємність	Дж/(°К·кг)	600	920
Коефіцієнт тепловіддачі	Вт/(°К·м^2)	10	10
Температура нагрівання	°К	283,5173	273,0003
Вага куска	Кг	1	
Початкова температура	°К	273	
Електрична напруженість НВЧ поля	В/м	4000	
Частота НВЧ поля	Гц	2450000000	
Час нагрівання	с	1	
Розмір зерна	м	0,000075	

Для граничного вмісту корисного компонента, що дорівнює $Q_{гр}$=33%, визначаємо:

Вага корисного компонента - $m_к=M\cdot Q_{гр}=1\cdot 0,33=0,33$кг.

Вага порожньої породи - $m=M\cdot(1-Q_{гр})=1\cdot(1-0,33)=0,67$кг.

$$A_{0гр} = \frac{mk_r cT_0 + m_r kc_r U_0}{mk_r c + m_r kc_r} =$$

$$= \frac{0,67\cdot 10\cdot 920\cdot 273,0003 + 0,33\cdot 10\cdot 600\cdot 283,5173}{0,67\cdot 10\cdot 920 + 0,33\cdot 10\cdot 600} =$$

$$= 275,557224\,°K$$

$$A_{1гр} = \frac{m_r kc_r(T_0 - U_0)}{mk_r c + m_r kc_r} =$$

$$= \frac{0,33\cdot 10\cdot 600\cdot(273,0003 - 283,5173)}{0,67\cdot 10\cdot 920 + 0,33\cdot 10\cdot 600} =$$

$$= -2,556937\,°K$$

UA 79247 C2

UA 79247 C2

$$p_{1гр} = -\frac{6}{\alpha\rho_r}\cdot\left(\frac{m_r k}{mc}+\frac{k_r}{c_r}\right)=$$

$$=-\frac{6}{0{,}000075\cdot 4700}\cdot\left(\frac{0{,}33\cdot 10}{0{,}67\cdot 920}+\frac{10}{600}\right)=$$

$$=-0{,}374814\ \frac{1}{c}$$

У деяких чотирьох визначених моментах часу t_1, t_2, t_3, t_4 після припинення впливу НВЧ випромінювання, за допомогою термографічної системи визначаємо середні значення $T(t_i)$ температури контрольованого куска, які в даному прикладі склали:

- моменти часу контролю - t_1=1c; t_2=2c; t_3=3c; t_4=4c;
- середні значення температури - $T(t_1)$=273,98°К; $T(t_2)$=274,64°К; $T(t_3)$=275,09°К; $T(t_4)$=215,39°К.

Для тих же моментів часу t_1, t_2, t_3, t_4 обчислюємо значення температур куска з граничним вмістом корисного компонента:

$$T_{гр}(t_1)=A_{0гр}+A_{1гр}e^{p_{1гр}\cdot t_1}=$$

$$=275{,}5572239-2{,}55693713\cdot e^{-0{,}374814181}=$$

$$\simeq 273{,}80°К$$

$$T_{гр}(t_2)=A_{0гр}+A_{1гр}e^{p_{1гр}\cdot t_2}=$$

$$=275{,}5572239-2{,}55693713\cdot e^{-0{,}374814182}=$$

$$\simeq 274{,}35°К$$

$$T_{гр}(t_3)=A_{0гр}+A_{1гр}e^{p_{1гр}\cdot t_3}=$$

$$=275{,}5572239-2{,}55693713\cdot e^{-0{,}374814183}=$$

$$\simeq 274{,}72°К$$

$$T_{гр}(t_4)=A_{0гр}+A_{1гр}e^{p_{1гр}\cdot t_4}=$$

$$=275{,}5572239-2{,}55693713\cdot e^{-0{,}374814184}=$$

$$\simeq 274{,}99°К$$

За отриманим значенням $T_{гр}(t_i)$ складаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} T_{гр}(t_1)=X_{1гр}+X_{2гр}\cdot t_1+X_{3гр}\cdot t_1^2+X_{4гр}\cdot t_1^3 \\ T_{гр}(t_2)=X_{1гр}+X_{2гр}\cdot t_2+X_{3гр}\cdot t_2^2+X_{4гр}\cdot t_2^3 \\ T_{гр}(t_3)=X_{1гр}+X_{2гр}\cdot t_3+X_{3гр}\cdot t_3^2+X_{4гр}\cdot t_3^3 \\ T_{гр}(t_4)=X_{1гр}+X_{2гр}\cdot t_4+X_{3гр}\cdot t_4^2+X_{4гр}\cdot t_4^3 \end{cases}$$

вирішивши яку, визначаємо значення $X_{2гр}$ і $X_{3гр}$:

$X_{2гр}$=0,90545; $X_{3гр}$=-0,13955.

За виразом (53) визначаємо граничне значення коефіцієнта об'ємного заповнення корисного компонента:

$$K_V=\frac{c_\rho\left(X_{3гр}\alpha c_r\rho_r+3X_{2гр}k_r\right)}{c_\rho\left(X_{3гр}\alpha c_r\rho_r+3X_{2гр}k_r\right)-3X_{2гр}c_r\rho_r k}$$

$\Theta 1_{гр}=c_\rho(X_{3гр}\alpha c_r\rho_r+3X_{2гр}k_r)=920.3720.((-0{,}13955).7{,}5.10^{-5}.600.4700+3.0{,}90545.10)=-8049246{,}77$.

$\Theta 2_{гр}=3X_{2гр}c_r\rho_r k=3.0{,}90545.600.4700.10=76601070{,}9$.

UA 79247 C2

UA 79247 C2

$$K_{V_\phi} = \frac{\Theta 1_{гр}}{\Theta 1_{гр} - \Theta 2_{гр}} =$$

$$= \frac{-8049246,77}{-8079246,77 - 76601070,9} = 0,095088$$

Для виміряних значень $T(t_i)$ складаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} T(t_1) = X_1 + X_2 \cdot t_1 + X_3 \cdot t_1^2 + X_4 \cdot t_1^3 \\ T(t_2) = X_1 + X_2 \cdot t_2 + X_3 \cdot t_2^2 + X_4 \cdot t_2^3 \\ T(t_3) = X_1 + X_2 \cdot t_3 + X_3 \cdot t_3^2 + X_4 \cdot t_3^3 \\ T(t_4) = X_1 + X_2 \cdot t_4 + X_3 \cdot t_4^2 + X_4 \cdot t_4^3 \end{cases}$$

вирішивши яку визначаємо значення X_2 і X_3:

X_2=1,11727; X_3=-0,17949

За виразом (53) визначаємо значення коефіцієнта об'ємного заповнення корисного компонента контрольованого куска:

$$K_V = \frac{c_\rho (X_3 \alpha c_r \rho_r + 3X_2 k_r)}{c_\rho (X_3 \alpha c_r \rho_r + 3X_2 k_r) - 3X_2 c_r \rho_r k}.$$

$\Theta 1 = c_\rho (X_3 \alpha c_r \rho_r + 3X_2 k_r) = 920 \cdot 3720 \cdot ((-0,17949) \cdot 7,5 \cdot 10^{-5} \cdot 600 \cdot 4700 + 3 \cdot 1,1727 \cdot 10) = -15212483,49.$

$\Theta 2 = 3X_2 c_r \rho_r k = 3 \cdot 1,11727 \cdot 600 \cdot 4700 \cdot 10 = 94521258,62.$

$$K_V = \frac{\Theta 1}{\Theta 1 - \Theta 2} =$$

$$= \frac{-15212483,49}{-15212483,49 - 94521258,62} = 0,138631$$

Перевіряємо умову: $K_V \geq K_{V_\phi}$.

Виходячи з отриманих значень переконуємося, що умова виконується (0,138631 >0,095088), а контрольований кусок варто віднести до технологічного потоку кусків з корисним компонентом.

Приклад 2 реалізації четвертого способу.

Кусок містить два основних компоненти - гематит і кварцит, на який впливає НВЧ електромагнітне поле протягом двох секунд. Фізичні параметри куска, який опромінюється, і параметри НВЧ електромагнітного поля наведені в Таблиця 8.

Таблиця 8

Параметри	Одиниці виміру	Речовина	
		Гематит	Кварцит
Відносна діелектрична проникність	-	48	6,8
Тангенс діелектричних утрат	-	0,2	0,009
Густина	Кг/(м^3)	5100	2660
Теплоємність	Дж/(°К·кг)	630	850
Коефіцієнт тепловіддачі	Вт/(°К·м^2)	10	10
Температура нагрівання	°К	279,5159	273,0590
Вага куска	Кг	1	
Початкова температура	°К	273	
Електрична напруженість НВЧ поля	В/м	4000	
Частота НВЧ поля	Гц	2450000000	
Час нагрівання	с	2	
Розмір зерна	м	0,000075	

Для граничного вмісту корисного компонента, що дорівнює $Q_{гр}$=42%, визначаємо:

Вага корисного компонента - $m_r = M \cdot Q_{гр} = 1.0,42 = 0,42$кг.

Вага порожньої породи - $m = M \cdot (1 - Q_{гр}) = 1 \cdot (1 - 0,58) = 0,58$кг.

UA 79247 C2

UA 79247 C2

$$A_{0гр} = \frac{mk_r cT_O + m_r kc_r U_O}{mk_r c + m_r kc_r} =$$

$$= \frac{0{,}58 \cdot 10 \cdot 850 \cdot 273{,}059 + 0{,}42 \cdot 10 \cdot 630 \cdot 279{,}5159}{0{,}58 \cdot 10 \cdot 850 + 0{,}42 \cdot 10 \cdot 630} =$$

$$= 275{,}314165\,°K$$

$$A_{1гр} = \frac{m_r kc_r (T_O - U_O)}{mk_r c + m_r kc_r} =$$

$$= \frac{0{,}42 \cdot 10 \cdot 630 \cdot (273{,}059 - 279{,}5159)}{0{,}58 \cdot 10 \cdot 850 + 0{,}42 \cdot 10 \cdot 630} =$$

$$= -2{,}255136\,°K$$

$$p_{1гр} = -\frac{6}{\alpha\rho_r} \cdot \left(\frac{m_r k}{mc} + \frac{k_r}{c_r}\right) =$$

$$= -\frac{6}{0{,}000075 \cdot 5100} \cdot \left(\frac{0{,}42 \cdot 10}{0{,}58 \cdot 850} + \frac{10}{630}\right) =$$

$$= -0{,}382624\,\frac{1}{c}$$

У деяких чотирьох визначених моментах часу t_1, t_2, t_3, f_4 після припинення впливу НВЧ випромінювання, за допомогою термографічної системи визначаємо середні значення $T(t_i)$ температури контрольованого куска, який в даному прикладі склали:

- моменти часу контролю - t_1=1с; t_2=1с; t_3=3с; t_4=4с;
- середні значення температури - $T(t_1)$=273,67°К; $T(t_2)$=274,10°К; $T(t_3)$=274,40°К; $T(t_4)$=274,60°К.

Для тих же моментів часу t_1, t_2, t_3, t_4 обчислюємо значення температур куска з граничним вмістом корисного компонента:

$$T_{гр}(t_1) = A_{0гр} + A_{1гр} e^{p_{1гр} \cdot t_1} =$$

$$= 275{,}3141651 - 2{,}255136074 \cdot e^{-0{,}3826240891} =$$

$$= 273{,}78°K$$

$$T_{гр}(t_1) = A_{0гр} + A_{1гр} e^{p_{1гр} \cdot t_2} =$$

$$= 275{,}3141651 - 2{,}255136074 \cdot e^{-0{,}3826240892} =$$

$$= 274{,}27°K$$

$$T_{гр}(t_1) = A_{0гр} + A_{1гр} e^{p_{1гр} \cdot t_3} =$$

$$= 275{,}3141651 - 2{,}255136074 \cdot e^{-0{,}3826240893} =$$

$$= 274{,}60°K$$

$$T_{гр}(t_1) = A_{0гр} + A_{1гр} e^{p_{1гр} \cdot t_4} =$$

$$= 275{,}3141651 - 2{,}255136074 \cdot e^{-0{,}3826240894} =$$

$$= 274{,}83°K$$

За отриманим значенням $T_{гр}(t_i)$ складаємо систему рівнянь:

UA 79247 C2

UA 79247 C2

$$\begin{cases} T_{гр}(t_1) = X_{1гр} + X_{2гр} \cdot t_1 + X_{3гр} \cdot t_1^2 + X_{4гр} \cdot t_1^3 \\ T_{гр}(t_2) = X_{1гр} + X_{2гр} \cdot t_2 + X_{3гр} \cdot t_2^2 + X_{4гр} \cdot t_2^3 \\ T_{гр}(t_3) = X_{1гр} + X_{2гр} \cdot t_3 + X_{3гр} \cdot t_3^2 + X_{4гр} \cdot t_3^3 \\ T_{гр}(t_4) = X_{1гр} + X_{2гр} \cdot t_4 + X_{3гр} \cdot t_4^2 + X_{4гр} \cdot t_4^3 \end{cases}$$

вирішивши яку, визначаємо значення $X_{2гр}$ і $X_{3гр}$:

$X_{2гр}=0,812867$; $X_{3гр}=-0,127169$.

За виразом (53) визначаємо граничне значення коефіцієнта об'ємного заповнення корисного компонента:

$$K_{V_{гр}} = \frac{c\rho\left(X_{3гр}\alpha c_r\rho_r + 3X_{2гр}k_r\right)}{c\rho\left(X_{3гр}\alpha c_r\rho_r + 3X_{2гр}k_r\right) - 3X_{2гр}c_r\rho_r k},$$

$\Theta 1_{гр}=c_\rho(X_{3гр}\alpha c_r\rho_r+3X_{2гр}k_r)=850{\cdot}2660{\cdot}((-0,127169){\cdot}7,5{\cdot}10^{-5}{\cdot}600{\cdot}5100+3{\cdot}0,812867{\cdot}10)=-14150810,33$.

$\Theta 2_{гр}=3X_{2гр}c_r\rho_r k=3{\cdot}0,812867{\cdot}630{\cdot}5100{\cdot}10=78352249,63$.

$$K_{V_{гр}} = \frac{\Theta 1_{гр}}{\Theta 1_{гр} - \Theta 2_{гр}} =$$

$$= \frac{-14150810,0}{-14150810,0 - 78352249,0} = 0,152977$$

Для виміряних значень $T(t_i)$ складаємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} T(t_1) = X_1 + X_2 \cdot t_1 + X_3 \cdot t_1^2 + X_4 \cdot t_1^3 \\ T(t_2) = X_1 + X_2 \cdot t_2 + X_3 \cdot t_2^2 + X_4 \cdot t_2^3 \\ T(t_3) = X_1 + X_2 \cdot t_3 + X_3 \cdot t_3^2 + X_4 \cdot t_3^3 \\ T(t_4) = X_1 + X_2 \cdot t_4 + X_3 \cdot t_4^2 + X_4 \cdot t_4^3 \end{cases}$$

вирішивши яку визначаємо значення X_2 і X_3:

$X_2=0,693136$; $X_3=-0,104161$

За виразом (53) визначаємо значення коефіцієнта об'ємного заповнення корисного компонента контрольованого куска:

$$K_V = \frac{c\rho\left(X_3\alpha c_r\rho_r + 3X_2k_r\right)}{c\rho\left(X_3\alpha c_r\rho_r + 3X_2k_r\right) - 3X_2c_r\rho_r k}.$$

$\Theta 1=c_\rho(X_3\alpha c_r\rho_r+3X_2k_r)=850{\cdot}2660{\cdot}((-0,104161){\cdot}7,5{\cdot}10^{-5}{\cdot}630{\cdot}5100+3{\cdot}0,693136{\cdot}10)=-9736303,468$.

$\Theta 2=3X_2c_r\rho_r k=3{\cdot}0,693136{\cdot}630{\cdot}5100{\cdot}10=66811414,71$.

$$K_V = \frac{\Theta 1}{\Theta 1 - \Theta 2} =$$

$$= \frac{-9736303,468}{-9736303,468 - 66811414,71} = 0,127193$$

Перевіряємо умову: $K_V \geq K_{V_{гр}}$.

Виходячи з отриманих значень переконуємося, що умова не виконується (0,127193 <0,152977), а контрольований кусок варто віднести до технологічного потоку кусків з порожньою породою.

Спосіб, що заявляється, може бути використаний у технологічних процесах кускової сепарації сировини при збагаченні руд чорних і кольорових металів, гірничо-хімічної сировини і техногенних відходів з визначеним гранулометричним складом кусків.

Внутрішній склад кусків сировини може бути бінарним (що складається з двох фаз) чи квазібінарним і являти собою гетерогенну матричну систему або гетерогенну систему типу статистична суміш з ізотропною (квазіізотропною) чи анізотропною макроструктурою.

Спосіб, що заявляється, може використовуватися на початкових етапах у технологіях збагачення (попереднє збагачення) і підготовки кускової сировини до подальшого переділу, наприклад, для попередньої кускової сепарації видобутої сировини в умови підземного способу розробки корисних копалин безпосередньо на місці видобутку (у вибої), для попередньої кускової сепарації первинної сировини, при переробленні техногенних відходів, а також на кінцевих стадіях збагачення в тих технологіях, де кінцевим продуктом збагачення є

UA 79247 C2

UA 79247 C2

кусковий матеріал із заданими фізико-хімічними властивостями, (наприклад, доменний кусок, мартенівський кусок та ін.).

П'ятий спосіб може бути реалізований на прикладі збагачення первинної металовміщуючої сировини, руд чорних чи кольорових металів. Заявлений спосіб забезпечує сепарацію первинної сировини на два потоки: один потік з вмістом корисного компонента вище заданого значення, а інший потік з вмістом корисного компонента нижче заданого значення. Сепаруватися може первинна сировина, отримана як безпосередньо після обвалення гірничої маси в циклі гірничих робіт при видобутку корисної копалини, так і сировина у вигляді гірничої маси, яка додатково подрібнювалася до заданих розмірів середнього куска, або сировина техногенного походження.

Первинний потік сировини з дозувального навантажувального пристрою надходить на конвеєр. Обчислювальний пристрій через вихідний інтерфейс і систему керування формує сигнал керування пристроєм дозованого подавання куска на конвеєр і сигнал керування на систему керування електропривода конвеєра. Конвеєр подає кусок у зону нагрівання установки НВЧ, що забезпечує за командою обчислювального пристрою необхідну потужність електромагнітного випромінювання.

Кусок сировини, який складається з корисного компонента і порожньої породи, опромінюється НВЧ електромагнітним полем частотою f, напруженістю E_m протягом часу t_H.

Після припинення дії НВЧ електромагнітного поля процес теплообміну між корисним компонентом і порожньою породою описується системою диференціальних рівнянь (14) з початковими умовами U_O і T_O.

Вирішенням системи диференціальних рівнянь (14) є вирази (15) і (16).

Віднімаючи з виразу (15) вираз (16) відповідно ліві й праві частини і підставляючи значення коефіцієнта A_1 (вираз (18) і кореня характеристичного рівняння p_1 (вираз (21), одержимо залежність у часі (див. Фіг.5, крива 58) підвищення температури корисного компонента над температурою порожньої породи контрольованого куска після припинення впливу НВЧ електромагнітного поля, що буде визначатися виразом:

$$\Delta T(t) = (U_O - T_O)e^{-\frac{6}{\alpha\rho_r}\left(\frac{m_r k}{mc}+\frac{k_r}{c_r}\right)t} \quad (55)$$

Вирішивши рівняння (55) відносно $\frac{m_r}{m}$, одержимо вираз для визначення значень $\frac{m_r}{m}$ будь-який момент часу після припинення впливу НВЧ електромагнітного поля на контрольований кусок:

$$\frac{m_r}{m} = \frac{cc_r \ln\left(\frac{U_O - T_O}{\Delta T(t)}\right) - \frac{6}{\alpha\rho_r}ck_r t}{\frac{6}{\alpha\rho_r}c_r k d} \quad (56)$$

Після реєстрації термографічною установкою (тепловізором) теплового зображення контрольованого куска в момент часу t_K, по якому визначаються максимальна $T_{max}(t_K)$ і мінімальна $T_{min}(t_K)$ температури контрольованого куска.

У момент часу t_K значення $\frac{m_r}{m}$ у контрольованому куску можна визначити за виразом:

$$\frac{m_r}{m} = \frac{cc_r \ln\left(\frac{U_O - T_O}{\Delta T(t_K)}\right) - \frac{6}{\alpha\rho_r}ck_r t_K}{\frac{6}{\alpha\rho_r}c_r k d_K} \quad (57)$$

де

$$\Delta T(t_K) = T_{max}(t_K) - T_{min}(t_K) \quad (58)$$

При відомому співвідношенні $\frac{m_r}{m}$ масова частка корисного компонента в куску визначається виразом:

UA 79247 C2

UA 79247 C2

$$Q = \frac{\frac{m_r}{m}}{\frac{m_r}{m} + 1} \quad (59)$$

Підставляючи у вираз (59) значення виразів (57) і (58), одержимо вираз для визначення вмісту корисного компонента в контрольованому куску:

$$Q = \frac{cc_r \ln\left(\frac{U_0 - T_0}{\Delta T(t_K)}\right) - \frac{6k_r ct_K}{\alpha\rho_r}}{cc_r \ln\left(\frac{U_0 - T_0}{\Delta T(t_K)}\right) + \frac{6(kc_r - k_r c)_K}{\alpha\rho_r}} \quad (60)$$

Після визначення масової частки корисного компонента перевіряємо умову:

$Q \geq Q_{гр}$.

У залежності від отриманого результату, кусок подається в зону дії пристрою, який за командою обчислювального комплексу здійснює сепарацію первинної сировини в залежності від кількісних показників вмісту корисного компонента.

Приклад 1 реалізації п'ятого способу.

Кусок містить два основних компоненти - магнетит і кварцит, на який впливає НВЧ електромагнітне поле протягом одної секунди. Фізичні параметри куска, який опромінюється, і параметри НВЧ електромагнітного поля наведені в Таблиця 9.

Таблиця 9

Параметри	Одиниці виміру	Речовина	
		Магнетит	Кварцит
Відносна діелектрична проникність	-	68	0,1
Тангенс діелектричних утрат	-	0,4	0,009
Густина	Кг/(м^3)	4700	3720
Теплоємність	Дж/(°К·кг)	600	920
Коефіцієнт тепловіддачі	Вт/(°К·м^2)	10	10
Температура нагрівання	°К	283,5173	273,0003
Початкова температура	°К	273	
Електрична напруженість НВЧ поля	В/м	4000	
Частота НВЧ поля	Гц	2450000000	
Час нагрівання	с	1	
Розмір зерна	м	0,000075	

Граничний вміст корисного компонента беремо $Q_{гр}$=33%.

Після деякого відомого проміжку часу, наприклад t_k=2 секунди, за допомогою термографічної системи реєструють теплове зображення контрольованого куска, по якому визначають різницю максимальної і мінімальної температур $\Delta T(t_k)$.

Нехай різниця максимальної і мінімальної температур $\Delta T(t_k)$=4,8 °К.

За формулою (60) визначаємо масову частку вмісту корисного компонента в куску:

UA 79247 C2

UA 79247 C2

$$Q = \frac{cc_r \ln\left(\frac{U_O - T_O}{\Delta T(t_K)}\right) - \frac{6 \cdot k_T \cdot c \cdot t_K}{\alpha \cdot \rho_r}}{cc_r \ln\left(\frac{U_O - T_O}{\Delta T(t_K)}\right) + \frac{6 \cdot (k \cdot c_r - k_T \cdot c) \cdot t_K}{\alpha \cdot \rho_r}} =$$

$$= \frac{600 \cdot 920 \cdot \ln\left(\frac{283{,}5173 - 273{,}0003}{4{,}8}\right) - \frac{6 \cdot 10 \cdot 920 \cdot 2}{0{,}000075 \cdot 4700}}{600 \cdot 920 \cdot \ln\left(\frac{283{,}5173 - 273{,}0003}{4{,}8}\right) + \frac{6 \cdot (10 \cdot 600 - 10 \cdot 920) \cdot 2}{0{,}000075 \cdot 4700}} \cdot$$

$$\cdot 100\% = 36{,}97\%$$

Перевіряємо умову: $Q \geq Q_{гр}$.

Виходячи з отриманих значень переконуємося, що умова виконується (36,97%>33%), а контрольований кусок варто віднести до технологічного потоку кусків з корисним компонентом.

Приклад 2 реалізації п'ятого способу.

Кусок містить два основних компоненти - гематит і кварцит, на який впливає НВЧ електромагнітне поле протягом двох секунд. Фізичні параметри куска, який опромінюється, і параметри НВЧ електромагнітного поля наведені в Таблиця 10.

Таблиця 10

Параметри	Одиниці виміру	Речовина	
		Гематит	Кварцит
Відносна діелектрична проникність	-	48	6,8
Тангенс діелектричних утрат	-	0,2	0,009
Густина	Кг/(м^3)	5100	2660
Теплоємність	Дж/(°К·кг)	630	850
Коефіцієнт тепловіддачі	Вт/(°К·м^2)	10	10
Температура нагрівання	°К	279,5159	273,0590
Діелектрична проникність	Ф/м	8,8541878E-12	
Початкова температура	°К	273	
Електрична напруженість НВЧ поля	В/м	4000	
Частота НВЧ поля	Гц	2450000000	
Час нагрівання	с	2	
Розмір зерна	м	0,000075	

Граничний вміст корисного компонента беремо $Q_{гр}$=42%.

Після деякого відомого проміжку часу, наприклад $t_к$=2 секунди, за допомогою термографічної системи реєструють теплове зображення контрольованого куска, по якому визначають різницю максимальної і мінімальної температур $\Delta T(t_k)$.

Нехай різниця максимальної і мінімальної температур $\Delta T(t_k)$=3,1°К.

За формулою (60) визначаємо масову частку вмісту корисного компонента в куску:

$$Q = \frac{cc_r \ln\left(\frac{U_O - T_O}{\Delta T(t_K)}\right) - \frac{6 \cdot k_T \cdot c \cdot t_K}{\alpha \cdot \rho_r}}{cc_r \ln\left(\frac{U_O - T_O}{\Delta T(t_K)}\right) + \frac{6 \cdot (k \cdot c_r - k_T \cdot c) \cdot t_K}{\alpha \cdot \rho_r}} =$$

$$= \frac{630 \cdot 850 \cdot \ln\left(\frac{279{,}5159 - 273{,}059}{3{,}1}\right) - \frac{6 \cdot 10 \cdot 850 \cdot 2}{0{,}000075 \cdot 5100}}{630 \cdot 850 \cdot \ln\left(\frac{279{,}5159 - 273{,}059}{3{,}1}\right) + \frac{6 \cdot (10 \cdot 630 - 10 \cdot 850) \cdot 2}{0{,}000075 \cdot 5100}} \cdot$$

$$\cdot 100\% = 38{,}98\%$$

Перевіряємо умову: $Q \geq Q_{гр}$.

Виходячи з отриманих значень, переконуємося, що умова не виконується (38,98% <42%), а контрольований

UA 79247 C2

UA 79247 C2

кусок варто віднести до технологічного потоку кусків з порожньою породою.

Спосіб, що заявляється, може бути використаний у технологічних процесах кускової сепарації сировини при збагаченні руд чорних і кольорових металів, гірничо-хімічної сировини і техногенних відходів з визначеним гранулометричним складом кусків.

Внутрішній склад кусків сировини може бути бінарним (що складається з двох фаз) чи квазібінарним і являти собою гетерогенну систему типу статистична суміш з анізотропною макроструктурою.

Спосіб, що заявляється, може використовуватися на початкових етапах у технологіях збагачення (попереднє збагачення) і підготовки кускової сировини до подальшого переділу, наприклад, для попередньої кускової сепарації добутої сировини в умовах підземного способу розробки корисних копалин безпосередньо на місці видобутку (у вибої), для попередньої кускової сепарації первинної сировини при переробленні техногенних відходів, а також на кінцевих стадіях збагачення в тих технологіях, де кінцевим продуктом збагачення є кусковий матеріал із заданими фізико-хімічними властивостями, (наприклад, доменний кусок, мартенівський кусок та ін.).

Перший пристрій складається з пристрою дозованого подавання кусків первинної сировини 1, який містить (див. Фіг.1 і Фіг.2): прийомний бункер 2, живильник 3 з електроприводом 4 і системою керування електроприводом живильника 5, і валкового розкладника 6; конвеєра 9 з електроприводом 7 і системою керування електроприводом конвеєра 8; установку НВЧ випромінювання 10 із системою керування 11 і камерою НВЧ нагрівання 26; термографічну систему 12 з термодатчиками 13; вхідний інтерфейс 14, обчислювальний пристрій 15, вихідний інтерфейс 16; формувач імпульсів керування 17 електропневмоклапаном 18, блок тимчасової затримки 19, пристрій порівняння 20; світловий вузьконаправлений випромінювач 21, фотоприймач 22; датчик положення 23; розділовий пристрій із приймачами порожньої породи 24 і концентрату 25. При цьому вихід термографічної системи 12 з'єднаний з першим входом вхідного інтерфейсу 14, вихід якого з'єднаний через обчислювальний пристрій 15 із входом вихідного інтерфейсу 16; перший вихід вихідного інтерфейсу 16 з'єднаний з першим входом пристрою порівняння 20, другий вхід якого з'єднаний з виходом фотоприймача 22 світлового випромінювача 21, а вихід через блок тимчасової затримки 19 і формувач імпульсів 17 з'єднаний із входом електропневмоклапана 18; другий вихід вихідного інтерфейсу 16 з'єднаний із системою керування електроприводом живильника 5 пристрою дозованого подавання кусків первинної сировини, третій вихід вихідного інтерфейсу 16 з'єднаний через систему керування 11 із входом установки НВЧ випромінювання 10 приєднаної до камери НВЧ нагрівання; четвертий вихід вихідного інтерфейсу 16 з'єднаний із системою керування електроприводом конвеєра 8 електропривода 7 конвеєра 9, на валу якого встановлений датчик положення 23, з'єднаний із другим входом вхідного інтерфейсу 14. Куски первинної сировини, які складаються з корисного компонента і порожньої

породи, у камері НВЧ нагрівання опромінюються електромагнітним полем частотою f, що визначається за формулою (8), напруженістю E_m протягом часу t_H. За час нагрівання корисний компонент нагріється до температури U_O, яка визначається за виразом (12), а порожня порода до температури T_O, яка визначається за виразом (13).

Після припинення впливу електромагнітного НВЧ поля процес теплообміну між корисним компонентом і порожньою породою буде спрямований на вирівнювання температур між корисним компонентом і порожньою породою. Характер цього процесу і його параметрів будуть визначатися властивостями корисного компонента і порожньої породи і співвідношенням їхніх масових часток.

Вимірюючи за допомогою термодатчиків і термографічної системи параметри теплообмінного процесу, визначаємо масову частку корисного компонента в контрольованому куску і порівнюємо з граничним значенням.

За результатом порівняння формується відповідний сортувальний вплив на контрольований кусок.

Приклад 1 реалізації першого пристрою.

Перший пристрій, як варіант реалізації, схема якого представлена на Фіг.1, працює таким чином.

Обчислювальний пристрій 15 через вихідний інтерфейс 16 і систему керування електроприводом конвеєра 8 запускає електропривод 7 конвеєра 9. При досягненні заданої швидкості конвеєрної стрічки, яка обчислюється на підставі даних, що надходять через вхідний інтерфейс 14 від датчика положення конвеєра 23, обчислювальний пристрій 15 через вихідний інтерфейс 16 і систему керування приводом живильника 5 запускає електропривод 4 живильника 3, за допомогою якого куски сировини 1 із прийомного бункера 2 подаються на валковий розкладник 6. Переміщуючись по валковому розкладнику, куски сировини розподіляються по поверхні валкового розкладника в один шар, забезпечуючи тим самим одношарове завантаження конвеєра 9. Одночасно, обчислювальний пристрій 15 через вихідний інтерфейс 16 і систему керування установкою НВЧ 11 запускає установку НВЧ випромінювання 10 і задає необхідну потужність НВЧ опромінення.

НВЧ енергія з установки НВЧ випромінювання 10 надходить у камеру НВЧ нагрівання 26, яка встановлена на конвеєрі 9 таким чином, що куски сировини, переміщуючись конвеєром 9, попадають у камеру НВЧ нагрівання 26 і на них впливає НВЧ електромагнітне поле. Знаходячись у камері НВЧ нагрівання 26, куски сировини нагріваються до температури, значення якої обумовлюється властивостями матеріалу кусків і часом впливу НВЧ електромагнітного поля. Час впливу НВЧ електромагнітного поля на куски сировини в даному пристрої можна визначити з виразу:

$$\Delta t_H = \frac{l_H}{v_K}(c)'$$

де

UA 79247 C2

UA 79247 C2

Δt_H - час впливу НВЧ електромагнітного поля на контрольовані куски (секунди);

l_H - довжина зони впливу НВЧ електромагнітного поля на контрольовані куски по векторі швидкості конвеєрної стрічки (м);

V_K - швидкість конвеєрної стрічки (м/с).

Через деякий ненульовий час t_K після припинення впливу НВЧ електромагнітного поля на кусок сировини, він попадає в зону контролю термодатчиків 13, де за допомогою термографічної системи 12 здійснюється фіксація теплової картини контрольованого куска. Вихідний сигнал термографічної установки 12 через вхідний інтерфейс 14 надходить в обчислювальний пристрій 15, який визначає масову частку корисного компонента в контрольованому куску відповідно до формули (60).

$$Q = \frac{cc_r \ln\left(\frac{U_O - T_O}{\Delta T(t_K)}\right) - \frac{6 \cdot k_r \cdot c \cdot t_K}{\alpha \cdot \rho_r}}{cc_r \ln\left(\frac{U_O - T_O}{\Delta T(t_K)}\right) + \frac{6 \cdot (k \cdot c_r - k_r \cdot c) \cdot t_K}{\alpha \cdot \rho_r}}$$

і перевіряють умову: $Q \geq Q_{гр}$.

Час контролю t_K у даному пристрої можна визначити з виразу:

$$t_K = \frac{l_K}{V_K}(c),$$

де

l_K - відстань від кінця зони впливу НВЧ електромагнітного поля до зони фіксації картини теплового випромінювання термографічною установкою (м).

При перевищенні масової частки корисного компонента в контрольованому куску деякого заданого граничного значення, після досягнення куском точки падіння з конвеєра 9, контрольованого за допомогою датчика положення 23, обчислювальний пристрій 15 з витримкою часу небагато меншою, ніж час падіння куска від точки падіння з конвеєра до точки перетину з тонким променем від світлового випромінювача 21, через вихідний інтерфейс 16 видає сигнал дозволу, на пристрій порівняння 20. При перетині куском тонкого променя від світлового випромінювача 21 на виході фотоприймача 22 формується сигнал, який подається на другий вхід пристрою порівняння 20. При збігу сигналів на обох входах порівняльного пристрою 20 на його виході формується сигнал з витримкою часу, обумовленого часом прольоту куска від світлового випромінювача 21 до осі електропневмоклапана 18 і тимчасової затримки, що задається блоком, 19, через формувач імпульсів керування 17, відкриває електропневмоклапан 18. При відкритті елетропневмоклапана на виході сопла формується повітряний струмінь, під впливом якого змінюється траєкторія руху куска так, що він попадає в приймач концентрату 25.

Якщо масова частка корисного компонента в контрольованому куску не перевищує заданого граничного значення, то обчислювальний пристрій 15 не видає сигнал дозволу на пристрій порівняння 20 і при перетині куском тонкого променя від світлового випромінювача 21, на його виході сигнал не виникає, у результаті чого електропневмоклапан не відкривається, і кусок не змінює траєкторію руху, що забезпечує влучення його в приймач порожньої породи 24.

Приклад 2 реалізації першого пристрою.

Перший пристрій, як варіант реалізації, схема якого представлена на Фіг.2, працює таким чином.

Обчислювальний пристрій 15 через вихідний інтерфейс 16 і систему керування електроприводом конвеєра 8 запускає електропривод 7 конвеєра 9. Одночасно обчислювальний пристрій 15 через вихідний інтерфейс 16 і систему керування установкою НВЧ 11 запускає установку НВЧ випромінювання 10 і задає необхідну потужність НВЧ опромінення. НВЧ енергія з установки НВЧ випромінювання 10 надходить у камеру НВЧ нагрівання 26, що встановлена на випускному пристрої (тічці) прийомного бункера 2 таким чином, що куски сировини з прийомного бункера, переміщаючись, попадають у камеру НВЧ нагрівання 26 і на них впливає НВЧ електромагнітне поле.

При досягненні заданої швидкості конвеєрної стрічки, яка обчислюється на підставі даних, що надходять через вхідний інтерфейс 14 від датчика положення конвеєра 23, обчислювальний пристрій 15 через вихідний інтерфейс 16 і систему керування приводом живильника 5 запускає електропривод 4, живильник 3, за допомогою якого нагріті НВЧ полем куски сировини, з випускного пристрою (тічки) прийомного бункера 2 подаються на валковий розкладник 6. Переміщуючись по валковому розкладнику, нагріті куски сировини розподіляються по поверхні валкового розкладника в один шар, забезпечуючи тим самим одношарове завантаження конвеєра 9.

Знаходячись у камері НВЧ нагрівання 26, куски сировини нагріваються до температури, значення якої обумовлюється властивостями матеріалу кусків і часом впливу НВЧ електромагнітного поля. Час впливу НВЧ електромагнітного поля на куски сировини в даному пристрої можна визначити з виразу:

$$t_H = \frac{l_T}{V_T}(c),$$

де

t_H - час впливу НВЧ електромагнітного поля на контрольовані куски {секунди);

UA 79247 C2

UA 79247 C2

l_T - довжина зони впливу НВЧ електромагнітного поля на куски первинної сировини у випускному пристрої (тічці) прийомного бункера (м);

V_T - середня швидкість переміщення кусків сировини у випускному пристрої (тічці) прийомного бункера (м/с).

Через деякий проміжок часу, після припинення впливу НВЧ електромагнітного поля на кусок сировини, він попадає в зону контролю термодатчиків 13, де за допомогою термографічної системи 12 здійснюється фіксація теплової картини контрольованого куска, по якій визначається середня температура контрольованого куска.

Значення проміжку часу від моменту припинення впливу НВЧ електромагнітного поля до моменту фіксації теплової картини контрольованого куска повинен бути не менше Δt_K, обумовленого за виразом (26).

Вихідний сигнал термографічної системи 12 через вхідний інтерфейс 14 надходить в обчислювальний пристрій 15, що визначає масову частку корисного компонента в контрольованому куску відповідно до формули (25)

$$Q = \frac{(T_U - T_O)c}{U_O c_r - T_U(c_r - c) - T_O c} \cdot 100\%$$

і перевіряють умову

$Q \geq Q_{гр}$

При перевищенні масової частки корисного компонента в контрольованому куску деякого заданого граничного значення, після досягнення куском точки падіння з конвеєра 9, контрольованої за допомогою датчика положення 23, обчислювальний пристрій 15 з витримкою часу небагато меншою, ніж час падіння куска від точки падіння з конвеєра до точки перетинання з тонким променем від світлового випромінювача 21 через вихідний інтерфейс 16 видає сигнал на дозвіл, на пристрій порівняння 20. При перетині куском тонкого променя від світлового випромінювача 21, на виході фотоприймача 22 формується сигнал, який подається на другий вхід пристрою порівняння 20. При збігу сигналів на обох входах порівнювального пристрою 20, на його виході формується сигнал, що з витримкою часу, обумовленою часом прольоту куска від світлового випромінювача 21 до вісі електропневмоклапану 18 і тимчасової затримки, яка задається блоком 19, через формувач імпульсів керування 17, відкриває електропневмоклапан 18. При відкритті елетропневмоклапана на виході сопла формується повітряний струмінь, під впливом якого змінюється траєкторія руху куска так, що він попадає в приймач концентрату 25.

Якщо масова частка корисного компонента в контрольованому куску не перевищує заданого граничного значення, то обчислювальний пристрій 15 не видає сигнал на дозвіл на пристрій порівняння 20 і при перетині куском тонкого променя від світлового випромінювача 21, на його виході сигнал не виникає, у результаті чого електропневмоклапан не відкривається, і кусок не змінює траєкторію руху, що забезпечує влучення його в приймач порожньої породи 24.

До складу пристрою, що заявляється, входять окремі вузли загальнопромислового застосування і спеціальне устаткування, яке випускається промисловістю і наявне на ринку. Для виготовлення пристрою, що заявляється, не потрібне розроблення й освоєння випуску нового обладнання. Для створення пристрою, що заявляється, необхідна інженерне розроблення алгоритмів його функціонування, програмного забезпечення для обчислювального пристрою і поєднання вузлів загальнопромислового та спеціального призначення.

Другий пристрій, схема якого представлена на Фіг.3, містить пристрій дозованого подавання кусків первинної сировини 26, що складається з: прийомного бункера 27, шнекового живильника 28 з електроприводом 29 і системою керування електроприводом шнекового живильника 30; конвеєр 34 з електроприводом 32 і системою керування електроприводом конвеєра 33; камери НВЧ нагрівання 51, яка містить валковий розкладник 31 із валків 54 з термостійкого діелектрика, між якими розташовуються елементи сповільню вальної гребінки 55; установки НВЧ випромінювання 35 з елементом уведення НВЧ енергії 52, вузла вивантаження кусків 53 з камери НВЧ нагрівання, системи керування установкою НВЧ 36; термографічної системи 37 з термодатчиками 38; вхідного інтерфейсу 39, обчислювального пристрою 40, вихідного інтерфейсу 41; формувача імпульсів керування 42 електропневмоклапаном 43, блоку тимчасової затримки 44, пристрою порівняння 45; світлового вузько направленого випромінювача 46, фотоприймача 47; датчика положення 48; пристрою для розділу з приймачами порожньої породи 49 і концентрату 50.

При цьому вихід термографічної системи 37 з'єднаний з першим входом вхідного інтерфейсу 39, вихід якого з'єднаний через обчислювальний пристрій 40 із входом вихідного інтерфейсу 41; перший вихід вихідного інтерфейсу 41 з'єднаний з першим входом пристрою порівняння 45, другий вхід якого з'єднаний з виходом фотоприймача 47 світлового випромінювача 46, а вихід пристрою порівняння 45 через блок тимчасової затримки 44 і формувач імпульсів 42 з'єднаний із входом електропневмоклапана 43; другий вихід вихідного інтерфейсу 41 з'єднаний із системою керування електроприводом живильника 30 пристрою дозованого подавання, третій вихід вихідного інтерфейсу 41 з'єднаний через систему керування установкою НВЧ 36 з установкою НВЧ випромінювання 35, а вихід її через елемент уведення НВЧ енергії 52 приєднаний до камери НВЧ нагрівання 51; четвертий вихід вихідного інтерфейсу 41 з'єднаний із системою керування електроприводом конвеєра 33 електропривода 32 конвеєра 34, на валу якого встановлений датчик положення 48, з'єднаний із другим входом вхідного інтерфейсу 39.

Для уникнення витоку НВЧ енергії у зовнішній простір розміри вузла вивантаження кусків 53 вибираються такими, щоб він мав властивості позамежового хвильоводу. Крім того, для зменшення витоків НВЧ енергії у момент вивантаження кусків з установки НВЧ випромінювання 35, вузол вивантаження кусків 53 який містить чвертьхвильові відбивальні осередки.

UA 79247 C2

UA 79247 C2

Для рівномірного нагрівання куска з усіх боків у камері НВЧ нагрівання 51 забезпечується існування непарних гармонік вищих порядків. Це забезпечується шляхом вибору геометричних розмірів камери НВЧ нагрівання, кратних нецілій кількості довжин хвиль. Для підвищення напруженості поля і зниження втрат електроенергії у камері НВЧ нагрівання використовується сповільню вальна система гребінчастої структури 55, яка розташована між валками 54 валкового розкладника 31. Всі елементи сповільню вальної гребінки 55 мають висоту рівну чверті довжини хвилі і встановлені на відстані між собою, також рівних чверті довжини хвилі НВЧ випромінювання.

Приклад реалізації другого пристрою.

Другий пристрій, як варіант реалізації, схема якого представлена на Фіг.3, працює таким чином.

Обчислювальний пристрій 40 через вихідний інтерфейс 41 і систему керування електроприводом конвеєра 33 запускає електропривод 32 конвеєра 34 і валковий розкладник 31. При досягненні заданої швидкості конвеєрної стрічки, яка обчислюється на підставі даних, що надходять через вхідний інтерфейс 39 від датчика положення конвеєра 48, обчислювальний пристрій 40 через вихідний інтерфейс 41 і систему керування приводом живильника 30 запускає електропривод 29, живильник 28 і одночасно, обчислювальний пристрій 40 через вихідний інтерфейс 41 і систему керування установкою НВЧ 36 запускає установку НВЧ випромінювання 35 і задає необхідну потужність НВЧ опромінення. Куски сировини з прийомного бункера 27 подаються на валковий розкладник 31, переміщаючись по ньому розподіляються по поверхні валкового розкладника в один шар, забезпечуючи тим самим одношарове завантаження конвеєра 34, і одночасно, піддаючись впливу енергії НВЧ електромагнітного поля, яке надходить у камеру НВЧ нагрівання 51 з установки НВЧ випромінювання 35 через елемент уведення НВЧ енергії 52.

Знаходячись у зоні впливу НВЧ електромагнітного поля, куски сировини нагріваються до температури, значення якої обумовлюється властивостями матеріалу кусків і часом впливу НВЧ електромагнітного поля. Час впливу НВЧ електромагнітного поля на куски сировини в даному пристрої задається з умови необхідного рівня нагрівання кусків сировини і визначаються швидкістю конвеєра 34, яка повинна бути узгоджена з продуктивністю живильника 28.

Сигнал з датчика положення конвеєра 48 через вхідний інтерфейс 39 надходить в обчислювальний пристрій 40, який через вихідний інтерфейс 41 формує такий сигнал керування на систему керування електропривода конвеєра 33 і відповідний сигнал керування на систему керування електроприводом живильника 30, що забезпечують узгоджені швидкості електропривода конвеєра 32 і електропривода живильника 29, які забезпечують перебування кусків сировини в камері НВЧ нагрівання 51 заданий час.

Необхідна лінійна швидкість конвеєрної стрічки V_K може бути визначена за формулою:

$$V_K = \frac{L_H}{t_H} \left(м/с\right)$$

де

t_H - час впливу електромагнітного випромінювання на контрольований кусок, визначається за формулою (11) (секунди);

L_H - еквівалентний лінійний розмір зони опромінення НВЧ електромагнітним полем уздовж вектора швидкості переміщення кусків (м).

Після проходження вузла вивантаження кусків 53, нагріті куски сировини попадають у зону дії термодатчиків 38, за допомогою термографічної системи 37 здійснюється фіксація теплової картини контрольованих кусків. Вихідний сигнал термографічної системи 37 через вхідний інтерфейс 39 надходить в обчислювальний пристрій 40, який за тепловою картиною куска визначає середню температуру куска, а потім масову частку корисного компонента в контрольованому куску відповідно до формули (46):

$$Q = \frac{\rho_T A e}{\rho_T A e - \rho A e_T},$$

і перевіряється умова:

$Q \geq Q_{гр}$.

При перевищенні масової частки корисного компонента в контрольованому куску деякого заданого граничного значення, після досягнення ним точки падіння з конвеєра 34, контрольованої за допомогою датчика положення 48, обчислювальний пристрій 40 з витримкою часу небагато меншою, ніж час падіння куска від точки падіння на конвеєрі до точки перетинання з тонким променем від світлового випромінювача 46, через вихідний інтерфейс 41 видає сигнал дозволу на пристрій порівняння 45. При перетині куском тонкого променя від світлового випромінювача 46, на виході фотоприймача 47 виникає сигнал, який подається на другий вхід пристрою порівняння 45. При збігу сигналів на обох входах, порівнювального пристрою 45 на його виході формується сигнал, який з витримкою часу, обумовленого часом прольоту куска від світлового випромінювача 46 до осі електропневмоклапана 43 і тимчасової затримки, що задається блоком 44, через формувач імпульсів керування 42, відкриває електропневмоклапан 43. При відкритті елетропневмоклапана на виході сопла формується повітряний струмінь, під впливом якого змінюється траєкторія руху куска так, що він попадає в приймач концентрату 50. Якщо масова частка корисного компонента в контрольованому куску не перевищує заданого граничного значення, то обчислювальний пристрій 40 не видає сигнал дозволу на пристрій порівняння 45 і на його виході сигнал не виникає, у результаті чого електропневмоклапан не відкривається і кусок не змінює траєкторію руху, що забезпечує попадання його в приймач порожньої породи 49.

UA 79247 C2

UA 79247 C2

Запропоновані способи і пристрої термографічної кускової сепарації дозволяють значно поліпшити технологічні показники збагачення сировини.

Як показали дослідження й випробування пропонованих способів і пристроїв кускової сепарації, вони дозволяють забезпечити при однакових умовах і навантаженнях збільшення вмісту корисного компонента з 6%-10% до 18%-25%, приріст масової частки корисного компонента на 4,5% при зменшенні вмісту корисного компонента у "хвостах" до 3%, знизити загальні витрати електроенергії на 5% за рахунок зниження засмічення сировини в процесі її збагачення.

До складу пристроїв, що заявляються, входять окремі вузли загальнопромислового застосування і спеціальне устаткування, яке випускається промисловістю і наявне на ринку. Для виготовлення пристроїв, що заявляються, не потрібна розробка й освоєння випуску нового обладнання спеціально призначеного для створення пристроїв. Для створення пристрою, що заявляється, необхідна інженерна розробка алгоритмів його функціонування, програмного забезпечення для обчислювального пристрою і поєднання вузлів загальнопромислового і спеціального призначення.

Формула винаходу

1. Спосіб термографічної кускової сепарації сировини, що включає поштучне подавання кусків сировини, опромінення їх електромагнітним випромінюванням надвисокої частоти, реєстрацію вторинного випромінювання, визначення наявності корисного компонента, порівняння показника вмісту корисного компонента в куску з його граничним значенням і по отриманому результату поділ кусків на корисний продукт і порожню породу, який **відрізняється** тим, що кожен кусок сировини опромінюють електромагнітним випромінюванням надвисокої частоти, потім після припинення опромінення і згасання теплообмінних процесів між компонентами контрольованого куска фіксують теплову картину контрольованого куска, по якій спочатку визначають сталу температуру контрольованого куска, а потім визначають масову частку корисного компонента в контрольованому куску за формулою:

$$Q = \frac{(T_U - T_O)c}{U_O c_r - T_U(c_r - c) - T_O c},$$

де

Q - масова частка корисного компонента в куску ;

T_U - виміряна стала температура контрольованого куска;

T_O - температура нагрівання порожньої породи;

U_O - температура нагрівання корисного компонента;

c_r - теплоємність корисного компонента;

c - теплоємність порожньої породи;

і перевіряють умову

$$Q \geq Q_{пр},$$

де

$Q_{пр}$ - граничне значення масової частки корисного компонента в куску,

після чого по отриманому результату здійснюють сепарацію кусків сировини на два потоки: один з потоків складається із кусків з масовою часткою вмісту корисного компонента менше деякого заданого граничного значення, а інший потік складається із кусків з масовою часткою вмісту корисного компонента не менше того ж граничного значення.

2. Спосіб термографічної кускової сепарації сировини, що включає поштучне подавання кусків сировини, опромінення їх електромагнітним випромінюванням надвисокої частоти, реєстрацію вторинного випромінювання, визначення наявності корисного компонента, порівняння показника вмісту корисного компонента в куску з його граничною величиною і по отриманому результату поділ кусків на корисний продукт і порожню породу, який **відрізняється** тим, що кожен кусок сировини опромінюють електромагнітним випромінюванням надвисокої частоти, а потім після припинення опромінення, до моменту згасання теплообмінних процесів між компонентами куска, фіксують теплову картину куска, по якому визначають його середню температуру, а потім визначають об'ємний коефіцієнт концентрації корисного компонента в куску за формулою:

$$\nu = \frac{2T_C - \frac{U_O \cdot T_O}{T_C} - 2T_O + U_O}{3(U_O - T_O)},$$

де

UA 79247 C2

UA 79247 C2

ν - об'ємний коефіцієнт концентрації корисного компонента;

T_C - виміряна середня температура контрольованого куска;

U_O - температура нагрівання корисного компонента;

T_D - температура нагрівання порожньої породи;

і перевіряють умову

$$\nu \geq \nu_{гр},$$

де

$\nu_{гр}$ - граничне значення об'ємного коефіцієнта концентрації корисного компонента, після чого по отриманому результату здійснюють сепарацію кусків сировини на два потоки: один з потоків складається із кусків з вмістом корисного компонента, для якого об'ємний коефіцієнт концентрації корисного компонента менше деякого заданого граничного значення, а інший потік складається із кусків з вмістом корисного компонента, для якого об'ємний коефіцієнт концентрації корисного компонента не менше того ж заданого граничного значення.

3. Спосіб термографічної кускової сепарації сировини, що включає поштучне подавання кусків сировини, опромінення їх електромагнітним випромінюванням надвисокої частоти, реєстрацію вторинного випромінювання, визначення наявності корисного компонента, порівняння показника вмісту корисного компонента в куску з його граничною величиною і по отриманому результату поділ кусків на корисний продукт і порожню породу, який **відрізняється** тим, що кусок сировини опромінюють електромагнітним випромінюванням надвисокої частоти протягом часу, обумовленого виразом:

$$t_H = \frac{\Delta T c_r \rho_r}{f \pi \varepsilon_0 \varepsilon_r E_m^2 tg\delta_r},$$

де

t_H - час впливу електромагнітного випромінювання надвисокої частоти на контрольований кусок;

ΔT - необхідне підвищення температури нагрівання корисного компонента;

c_r - теплоємність корисного компонента;

ρ_r - густина корисного компонента;

f - частота коливань НВЧ електромагнітного поля;

ε_0 - діелектрична проникність;

ε_r - відносна діелектрична проникність корисного компонента;

E_m - напруженість електричного поля НВЧ електромагнітного поля;

$tg\delta$ - тангенс діелектричних втрат корисного компонента,

а потім після припинення опромінення, до моменту згасання теплообмінних процесів між компонентами куска, фіксують теплову картину куска, по якій визначають його середнє підвищення температури, а потім визначають масову частку корисного компонента в контрольованому куску за формулою:

$$Q = \frac{\rho_r A_e}{\rho_r A_e - \rho A_{e_r}},$$

де

$A_e = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon tg\delta t_H - \Delta T_C \rho c$ - допоміжний параметр порожньої породи;

$A_{e_r} = \pi f E_m^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r tg\delta_r t_H - \Delta T_C \rho_r c_r$ - допоміжний параметр корисного компонента;

Q - масова частка корисного компонента в контрольованому куску;

ΔT_C - середнє підвищення температури нагрівання контрольованого куска;

ρ - густина порожньої породи;

ε - відносна діелектрична проникність порожньої породи;

$tg\delta$ - тангенс діелектричних втрат порожньої породи,

і перевіряється умова:

UA 79247 C2

UA 79247 C2

$$Q \geq Q_{пр},$$

де

$Q_{пр}$ - граничне значення масової частки корисного компонента,

після чого по отриманому результату здійснюють сепарацію кусків сировини на два потоки: один з потоків складається з кусків з масовою часткою вмісту корисного компонента менше деякого заданого граничного значення, а інший потік складається з кусків з масовою часткою вмісту корисного компонента не менше того ж граничного значення.

4. Спосіб термографічної кускової сепарації сировини, що включає поштучне подавання кусків сировини, опромінення їх електромагнітним випромінюванням надвисокої частоти, реєстрацію вторинного випромінювання, визначення наявності корисного компонента, порівняння показника вмісту корисного компонента в куску з його граничною величиною і за отриманим результатом поділ кусків на корисний продукт і порожню породу, який **відрізняється** тим, що кожен кусок сировини опромінюють електромагнітним випромінюванням, частоту якого визначають за формулою:

$$f \leq \frac{1}{\pi \cdot X_m \cdot \sqrt{2\varepsilon_0\varepsilon_r\mu_0\mu_r(\sqrt{1+tg^2\delta_r}+1)}},$$

де

X_m - максимальний лінійний розмір куска;

ε_0 - діелектрична проникність;

ε_r - відносна діелектрична проникність корисного компонента;

μ_0 - магнітна проникність;

μ_r - відносна магнітна проникність корисного компонента;

$tg\delta_r$ - тангенс діелектричних втрат корисного компонента,

а час нагрівання визначають за формулою:

$$t_n = \frac{\Delta T c_r \rho_r}{f\pi\varepsilon_0\varepsilon_r E_m^2 tg\delta_r},$$

де

ΔT - необхідне підвищення температури нагрівання корисного компонента;

c_r - питома теплоємність корисного компонента;

ρ_r - густина корисного компонента;

ε_r - відносна діелектрична проникність корисного компонента;

E_m - напруженість електромагнітного поля,

після чого з моменту припинення впливу електромагнітного поля до моменту згасання теплообмінних процесів між компонентами куска неодноразово фіксують теплові картини куска, по яких визначають середні температури контрольованого куска, а на підставі отриманих даних складають систему рівнянь

$$\begin{cases} T_0 = X_1 + X_2 t_0 + X_3 t_0^2 + X_4 t_0^3 \\ T_1 = X_1 + X_2 t_1 + X_3 t_1^2 + X_4 t_1^3 \\ T_2 = X_1 + X_2 t_2 + X_3 t_2^2 + X_4 t_2^3 \\ T_3 = X_1 + X_2 t_3 + X_3 t_3^2 + X_4 t_3^3 \end{cases},$$

де

T_0, T_1, T_2, T_3 - середня температура куска, визначена в моменти часу t_0, t_1, t_2, t_3,

і вирішують її відносно X_1, X_2, X_3, X_4, після чого визначають коефіцієнт об'ємного заповнення корисного компонента за формулою:

UA 79247 C2

UA 79247 C2

$$K_V = \frac{c\rho(X_3 a c_r \rho_r + 3X_2 k_r)}{c\rho(X_3 a c_r \rho_r + 3X_2 k_r) - 3X_2 c_r \rho_r k},$$

де

c - теплоємність порожньої породи;

$\overline{\rho}$ - густина порожньої породи;

a - розмір зерна корисного компонента;

k_r - коефіцієнт тепловіддачі корисного компонента;

k - коефіцієнт тепловіддачі порожньої породи,

і перевіряють умову

$$K_V \geq K_{V_{гр}},$$

де

$K_{V_{гр}}$ - граничне значення коефіцієнта об'ємного заповнення корисного компонента, а по отриманому результату здійснюють сепарацію кусків сировини на два потоки: один з потоків складається з кусків з вмістом корисного компонента, для якого коефіцієнт об'ємного заповнення корисного компонента менше деякого заданого граничного значення, а інший потік складається із кусків з вмістом корисного компонента, для якого коефіцієнт об'ємного заповнення корисного компонента не менше того ж заданого граничного значення.

5. Спосіб термографічної кускової сепарації сировини, що включає поштучне подавання кусків сировини, опромінення їх електромагнітним випромінюванням надвисокої частоти, реєстрацію вторинного випромінювання, визначення наявності корисного компонента, порівняння показника вмісту корисного компонента в куску з його граничною величиною і по отриманому результату поділ кусків на корисний продукт і порожню породу, який **відрізняється** тим, що кожен кусок сировини опромінюють електромагнітним випромінюванням надвисокої частоти, а після припинення впливу електромагнітного випромінювання термографічною системою фіксують температурну картину куска після припинення впливу електромагнітного поля до моменту згасання теплообмінних процесів між компонентами куска, при цьому по отриманій тепловій картині визначають різницю максимальної і мінімальної температури куска, а по різниці максимальної і мінімальної температури і відомому інтервалу часу від моменту припинення впливу електромагнітного поля надвисокої частоти до моменту реєстрації теплового зображення куска визначають масову частку корисного компонента в куску, відповідно до формули:

$$Q = \frac{cc_r \ln\left(\frac{U_O - T_O}{\Delta T(t_k)}\right) - \frac{6k_r c t_K}{a\rho_r}}{cc_r \ln\left(\frac{U_O - T_O}{\Delta T(t_k)}\right) + \frac{6(kc_r - k_r c)t_K}{a\rho_r}},$$

де

Q - масова частка корисного компонента в контрольованому куску;

U_O - температура нагрівання корисного компонента;

T_O - температура нагрівання порожньої породи;

ρ_r - густина корисного компонента;

c_r - теплоємність корисного компонента;

c - теплоємність порожньої породи;

k_r - коефіцієнт тепловіддачі корисного компонента;

k - коефіцієнт тепловіддачі порожньої породи;

t_K - інтервал часу від моменту припинення впливу НВЧ електромагнітного поля до моменту реєстрації теплового зображення;

a - розмір зерна корисного компонента в контрольованому куску;

$\Delta T(t_k)$ - різниця максимальної і мінімальної температури контрольованого куска в момент реєстрації теплового зображення контрольованого куска,

і перевіряють умову:

UA 79247 C2

UA 79247 C2

$Q \geq Q_{гр}$

де

$Q_{гр}$ - граничне значення масової частки корисного компонента,

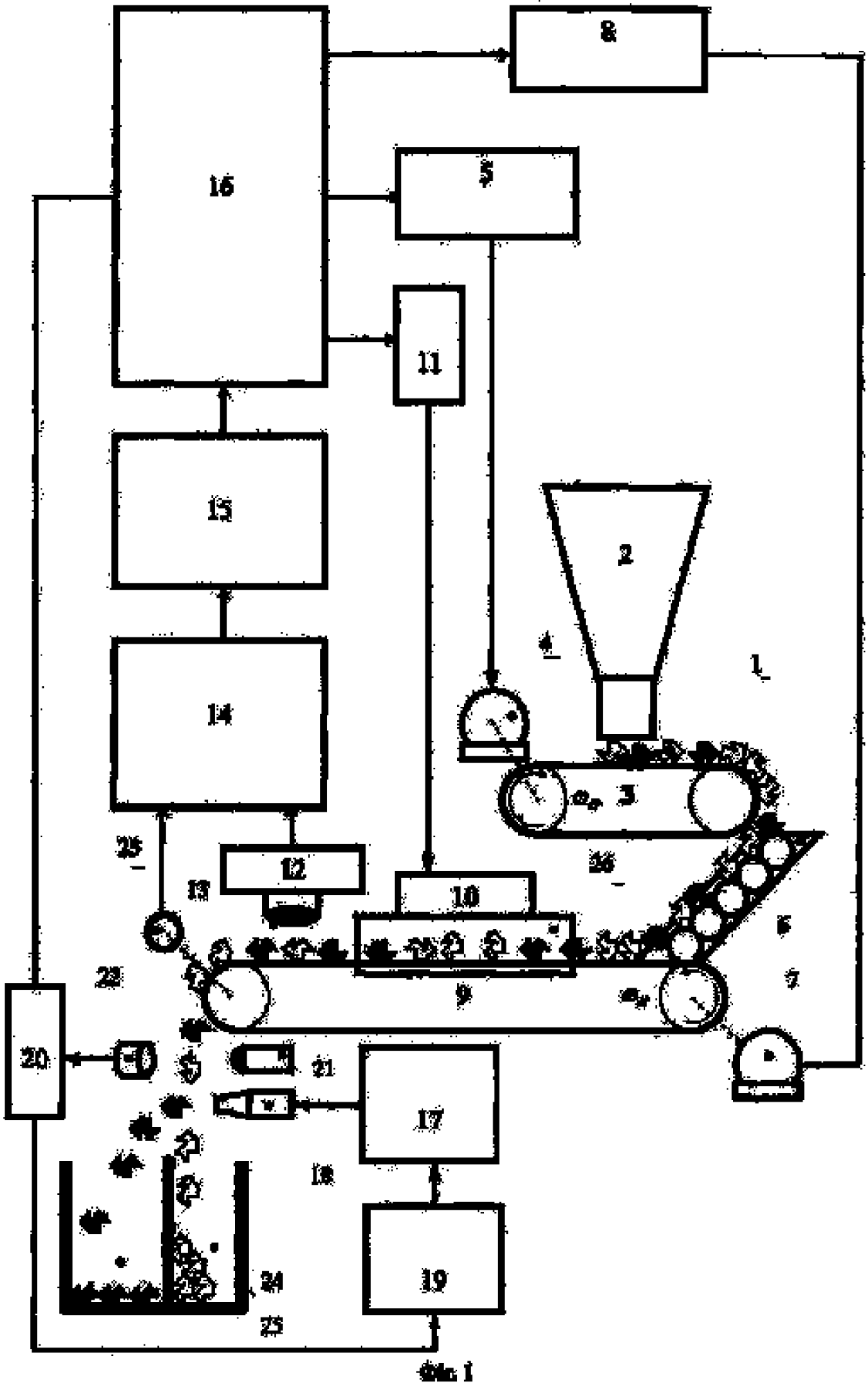
після чого по отриманому результату здійснюють сепарацію кусків сировини на два потоки: один з потоків складається з кусків з масовою часткою вмісту корисного компонента менше деякого заданого граничного значення, а інший потік складається з кусків з масовою часткою вмісту корисного компонента не менше того ж граничного значення.

6. Пристрій термографічної кускової сепарації сировини, що містить пристрій дозованого подавання кусків сировини, який складається з приймального бункера, живильника з електроприводом, конвеєра з електроприводом, установки електромагнітного випромінювання надвисокої частоти із системою керування, датчиків вторинного випромінювання й обчислювального пристрою із вхідним інтерфейсом, який **відрізняється** тим, що пристрій додатково містить камеру нагрівання енергією електромагнітного поля надвисокої частоти, приєднану до установки випромінювання електромагнітного поля надвисокої частоти, термографічну систему обробки сигналів термодатчиків вторинного теплового випромінювання, систему керування електроприводом живильника, валковий розкладник, систему керування електроприводом конвеєра, світловий вузько направлений випромінювач і фотоприймач, пристрій порівняння з двома входами та датчик положення, причому вихід термографічної системи з'єднаний з першим входом вхідного інтерфейсу, вихід якого з'єднаний через обчислювальний пристрій з входом вихідного інтерфейсу, а другий вихід вихідного інтерфейсу з'єднаний з системою керування електроприводу живильника, третій вихід вихідного інтерфейсу з'єднаний через систему керування установкою надвисокої частоти з її входом, четвертий вихід вихідного інтерфейсу з'єднаний із системою керування електроприводу конвеєра, на валу якого встановлений датчик положення, з'єднаний із другим входом вхідного інтерфейсу, при цьому перший вихід вихідного інтерфейсу з'єднаний з першим входом пристрою порівняння, а вихід фотоприймача з'єднаний з другим входом пристрою порівняння, вихід пристрою порівняння через блок тимчасової затримки і формувач імпульсів керування зв'язаний з електропневмоклапаном, установленим так, щоб мати можливість взаємодіяти з пристроєм для розділу і забезпечити подавання в приймач кусків сировини з вмістом корисного компонента менше граничного значення та в приймач кусків сировини з вмістом корисного компонента не менше граничного значення.

7. Пристрій термографічної кускової сепарації сировини, що містить пристрій дозованого подавання кусків, який складається з приймального бункера, шнекового живильника з електроприводом, конвеєра з електроприводом, установки електромагнітного випромінювання надвисокої частоти із системою її керування, датчиків вторинного випромінювання, обчислювального пристрою із вхідним інтерфейсом, який **відрізняється** тим, що пристрій додатково містить камеру нагрівання енергією електромагнітного поля надвисокої частоти, приєднану через елемент введення енергії електромагнітного поля надвисокої частоти до установки випромінювання енергії електромагнітного поля надвисокої частоти, причому в камері нагрівання енергією електромагнітного поля надвисокої частоти розміщений валковий розкладник, який складається з валків з термостійкого діелектрика, між якими розташовані елементи уповільнюючої гребінки з кроком, рівним 1/4 довжини хвилі електромагнітного випромінювання надвисокої частоти, а вузол вивантаження камери нагрівання енергією електромагнітного поля надвисокої частоти обладнано уловлювачем енергії електромагнітного поля надвисокої частоти з чвертьхвильовими відбивними елементами, крім того, пристрій містить термографічну систему обробки сигналів, систему керування електроприводом шнекового живильника, систему керування електроприводом конвеєра, світловий вузько направлений випромінювач і фотоприймач, пристрій порівняння з двома входами та датчик положення, при цьому вихід термографічної системи з'єднаний з першим входом вхідного інтерфейсу, вихід якого з'єднаний через обчислювальний пристрій із входом вихідного інтерфейсу, другий вихід вихідного інтерфейсу з'єднаний із системою керування електроприводом шнекового живильника, третій вихід вихідного інтерфейсу з'єднаний через систему керування установкою випромінювання енергії електромагнітного поля надвисокої частоти з її входом, четвертий вихід вихідного інтерфейсу з'єднаний із системою керування електроприводу конвеєра, на валу якого встановлений датчик положення, з'єднаний із другим входом вхідного інтерфейсу, при цьому перший вихід вихідного інтерфейсу з'єднаний з першим входом пристрою порівняння, а вихід фотоприймача з'єднаний з другим входом пристрою порівняння, вихід пристрою порівняння через блок тимчасової затримки і формувач імпульсів керування зв'язаний з електропневмоклапаном, установленим так, щоб мати можливість взаємодіяти з пристроєм для розділу і забезпечити подавання в приймач кусків сировини з вмістом корисного компонента менше граничного значення та в приймач кусків сировини з вмістом корисного компонента не менше граничного значення.

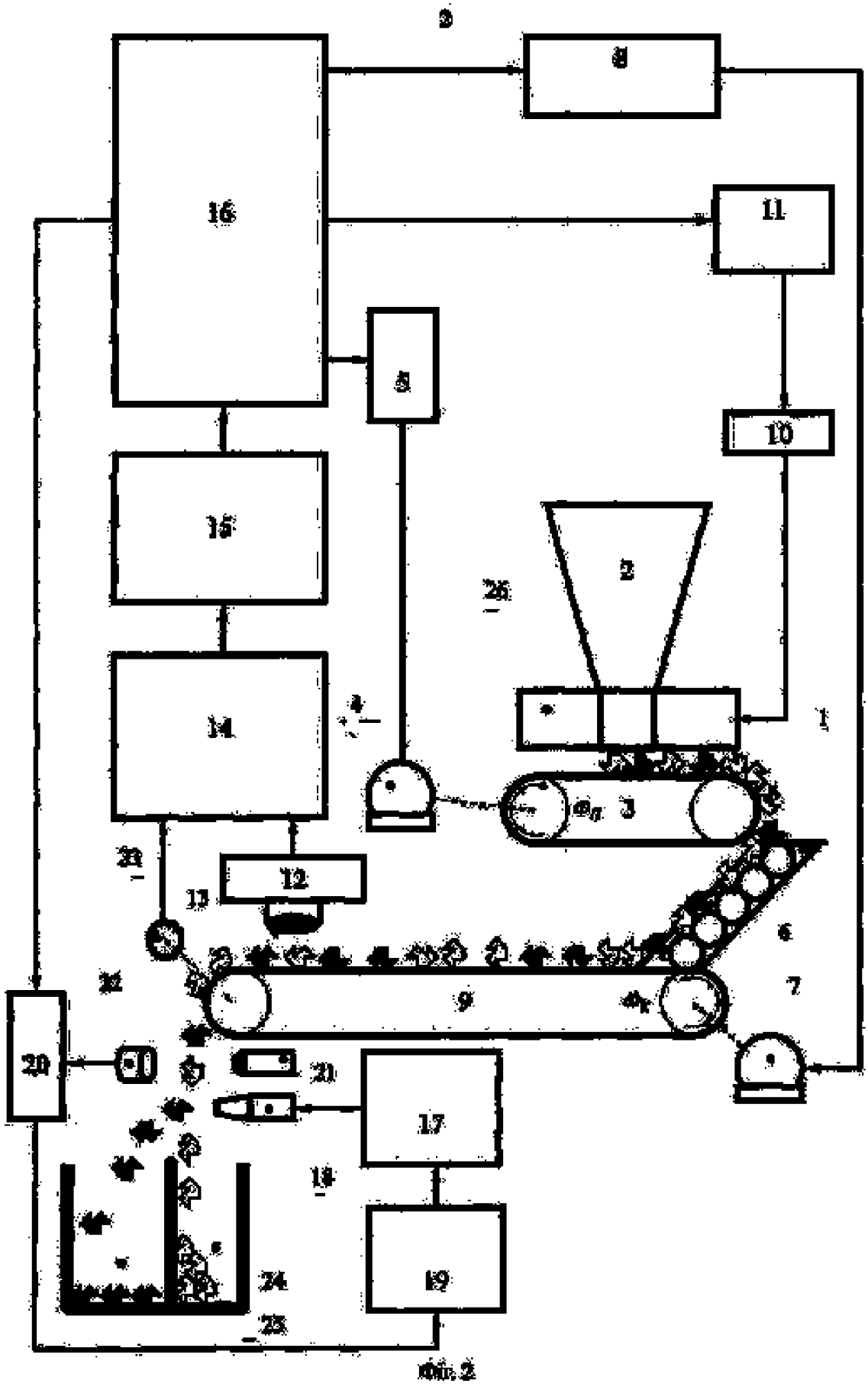
UA 79247 C2

UA 79247 C2



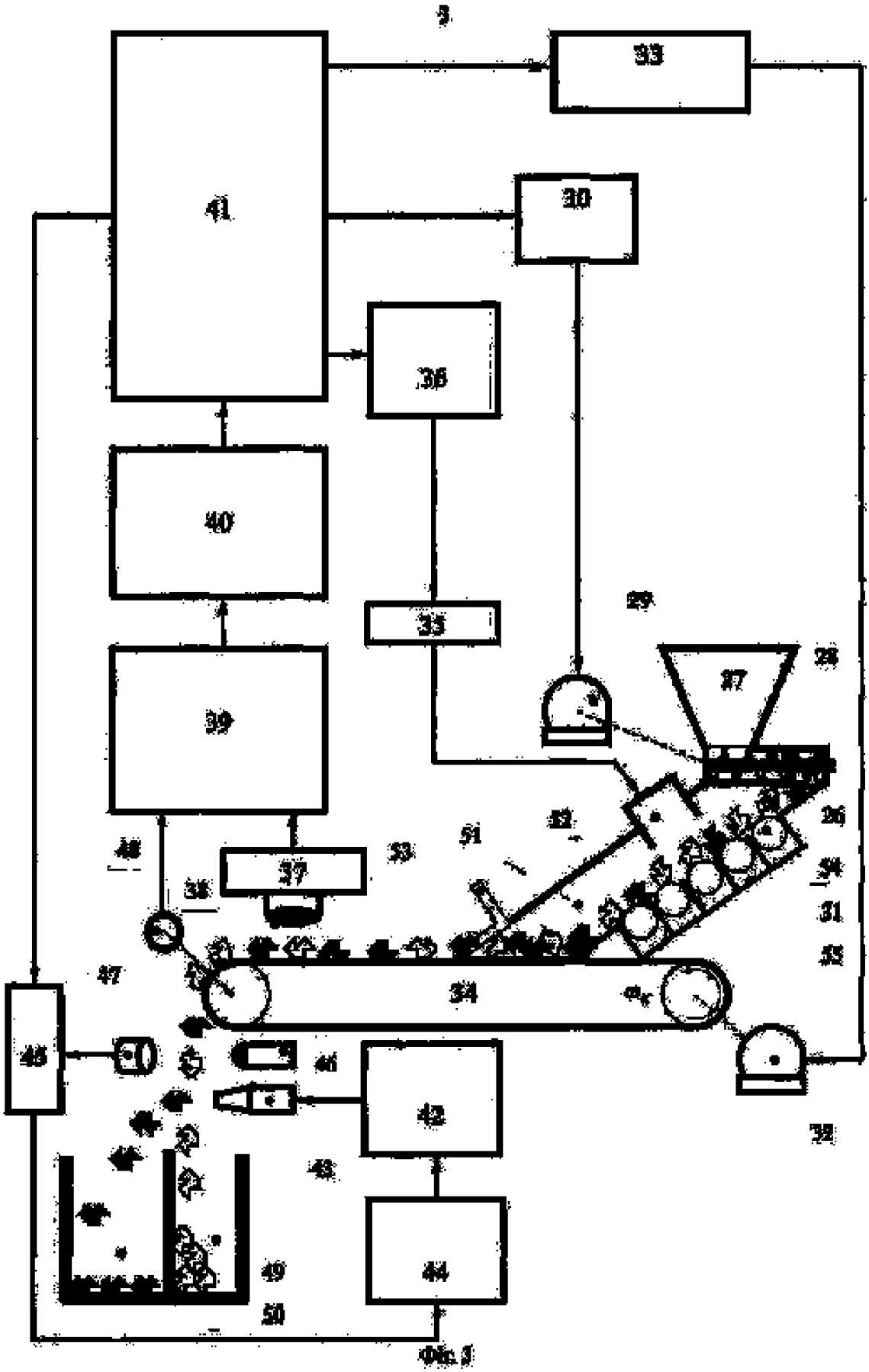
Фіг. 1

UA 79247 C2



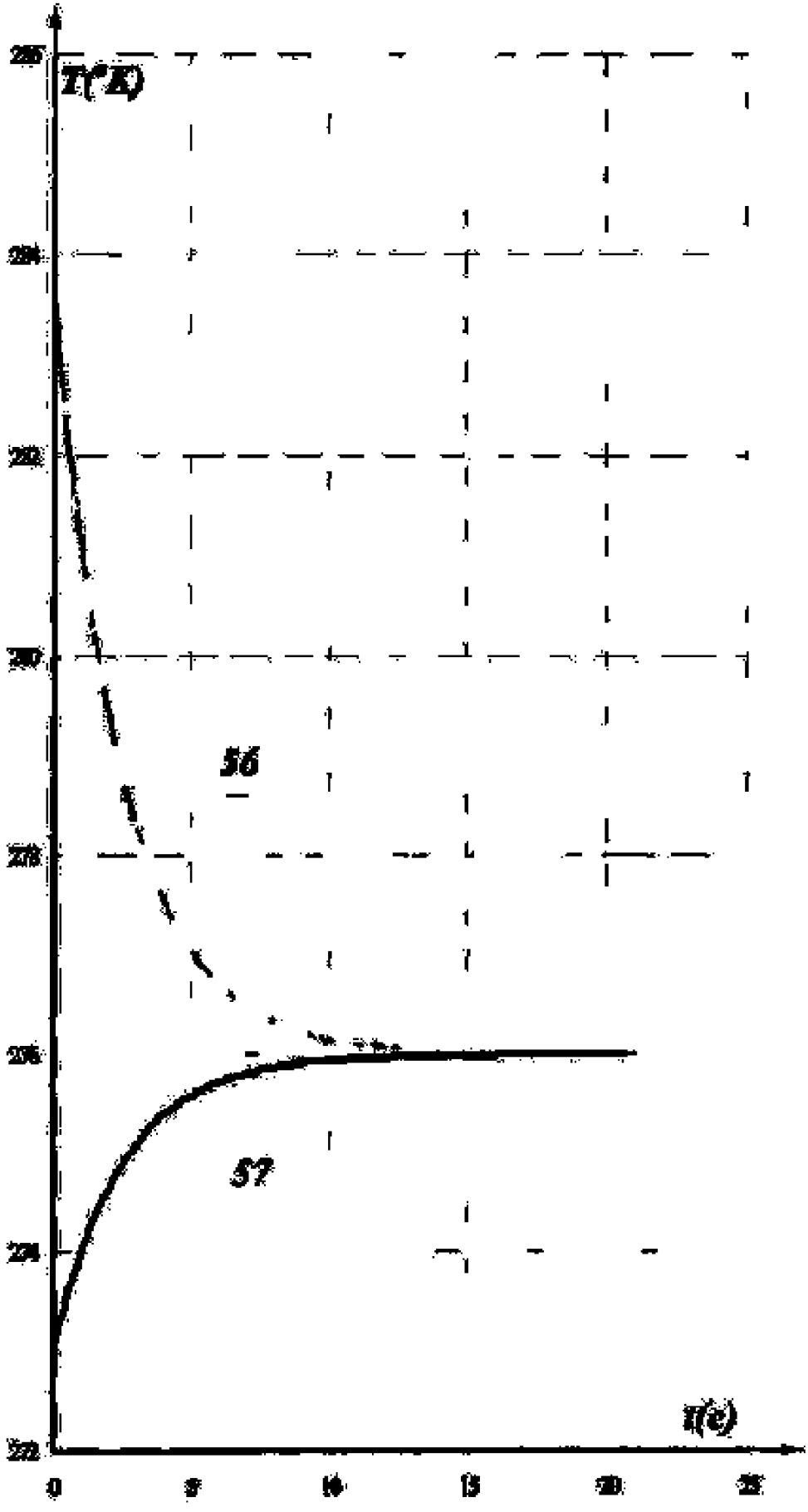
Фіг. 2

UA 79247 C2



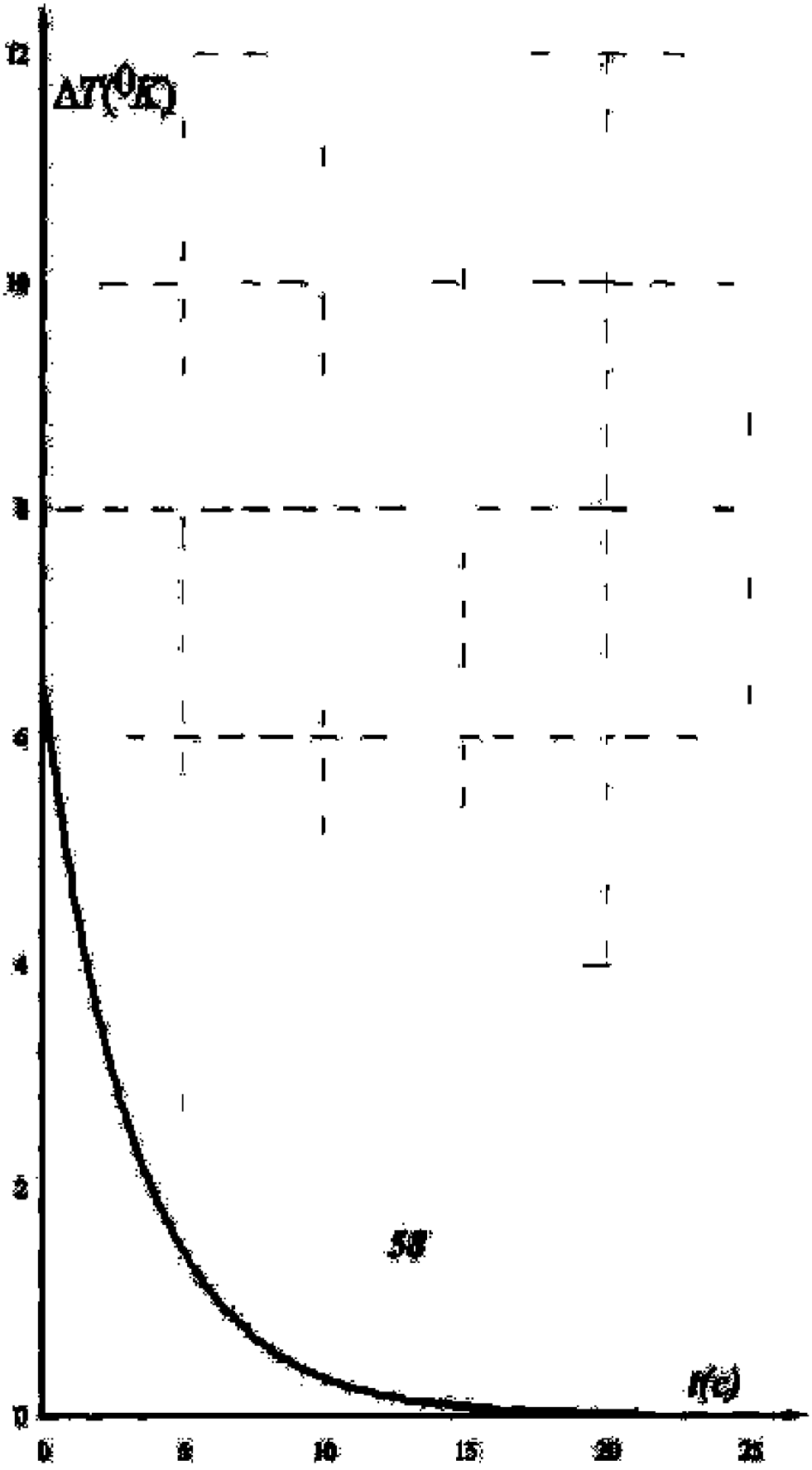
Фіг. 1

UA 79247 C2



Фіг. 4

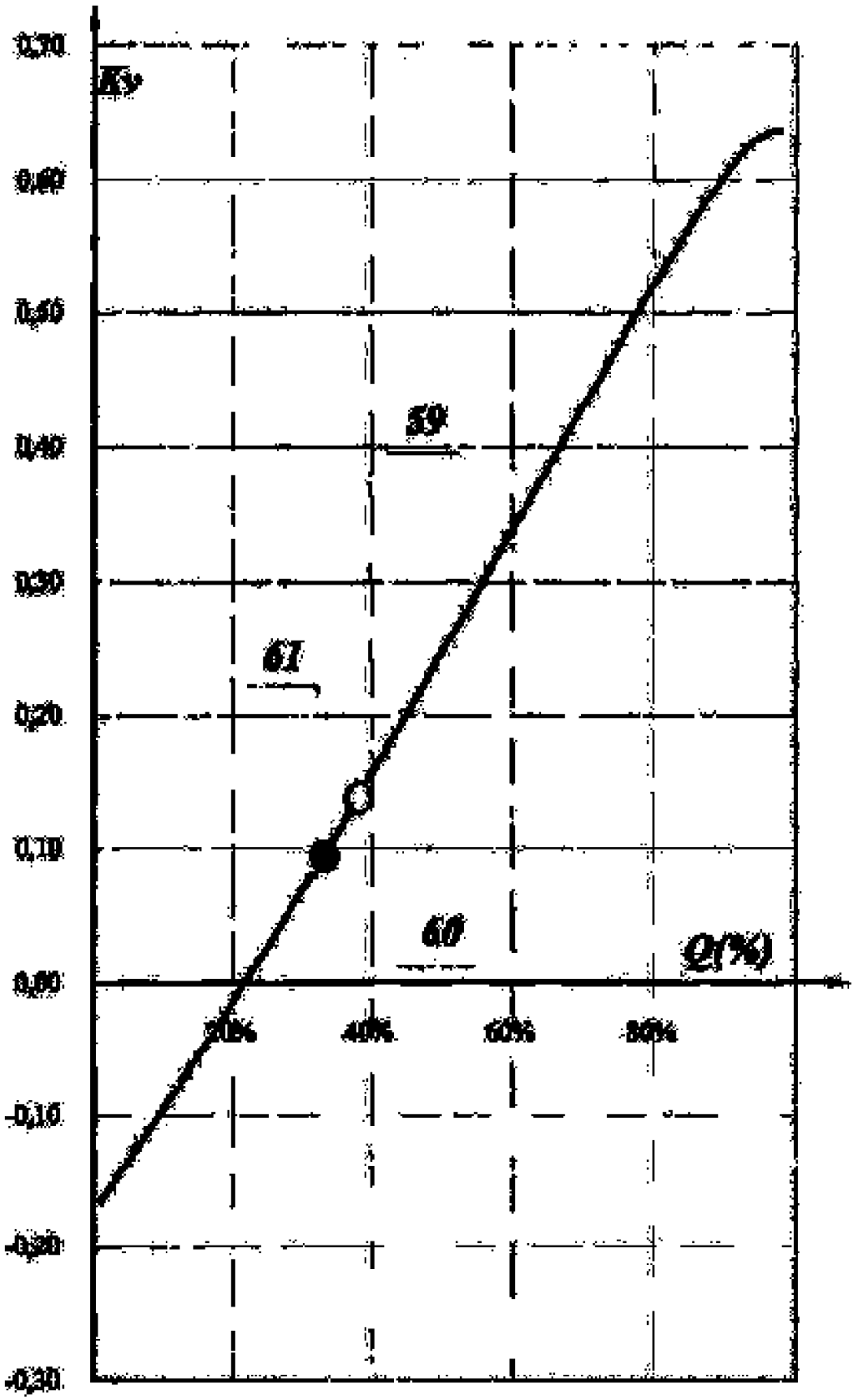
UA 79247 C2



Фіг. 5

UA 79247 C2

UA 79247 C2



Фіг. 6

UA 79247 C2

Офіційний бюлетень "Промислоава власність". Книга 1 "Винаходи, корисні моделі, топографії інтегральних мікросхем", 2007, N 8, 11.06.2007. Державний департамент інтелектуальної власності Міністерства освіти і науки України.

UA 79247 C2

UA 79247 C2