



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **163181** (13) **U**
(51) МПК (2026.01)
B07C 5/00
B07C 5/34 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	a 2024 01220	(72) Винахідник(и):	Волошин Володимир Михайлович (UA)
(22) Дата подання заявки:	06.03.2024	(73) Володілець (володільці):	Волошин Володимир Михайлович, вул. Павленка, буд. 21, м. Кривий Ріг, 50025 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності:	04.06.2026	(74) Представник:	Кривенко Юрій Юрійович, реєстр. №255
(41) Публікація відомостей про заявку:	10.09.2025, Бюл.№ 37		
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію:	03.06.2026, Бюл.№ 22		

(54) СПОСІБ СОРТУВАННЯ КУСКОВОЇ РУДИ, ЩО МІСТИТЬ МІНЕРАЛИ ЗІ СЛАБКОЮ МАГНІТНОЮ СПРИЙНЯТЛИВІСТЮ ТА НЕМАГНІТНІ МІНЕРАЛИ

(57) Реферат:

Спосіб сортування кускової руди, що включає мінерали зі слабкою магнітною сприйнятливістю та немагнітні мінерали, включає дозоване подавання кускової руди на конвеєр, електромагнітний вплив на куски вхідної сировини, ідентифікацію кусків сировини за критерієм наявності корисного компонента, порівняння показника наявності корисного компонента в куску з його граничним значенням, формування потоків, один з яких містить корисний компонент, а інший являє собою порожню породу. В пам'ять обчислювального пристрою у вигляді контролера сортування вносять інформацію про геометричні параметри матриці розташування індукційних котушок, які включають у сенсори сенсорного блока, швидкість пересування кусків руди по конвеєрній стрічці, такти синхронізації у вигляді послідовності імпульсів, що фіксують зв'язок між переміщенням стрічки конвеєра та даними про куски руди, нормовані коригувальні функції зниження вихідного сигналу сенсора залежно від крупності кусків, що сортуються, віддалення геометричного центра куска від центра індукційної котушки, геометричне розташування осі куска руди відносно вимірювальної осі індукційної котушки, особливості геометричних параметрів куска та фракційного складу руди за класами крупності, а також за критеріями сортування з урахуванням порогового або нижнього і верхнього значення магнітної сприйнятливості куска руди, причому сенсори в сенсорному блоці розміщують виходячи з необхідної чутливості одиначної індукційної котушки, водночас котушки встановлюють рядами перпендикулярно напрямку руху конвеєрної стрічки на відстані між краями котушок у рядах матриці.

UA 163181 U

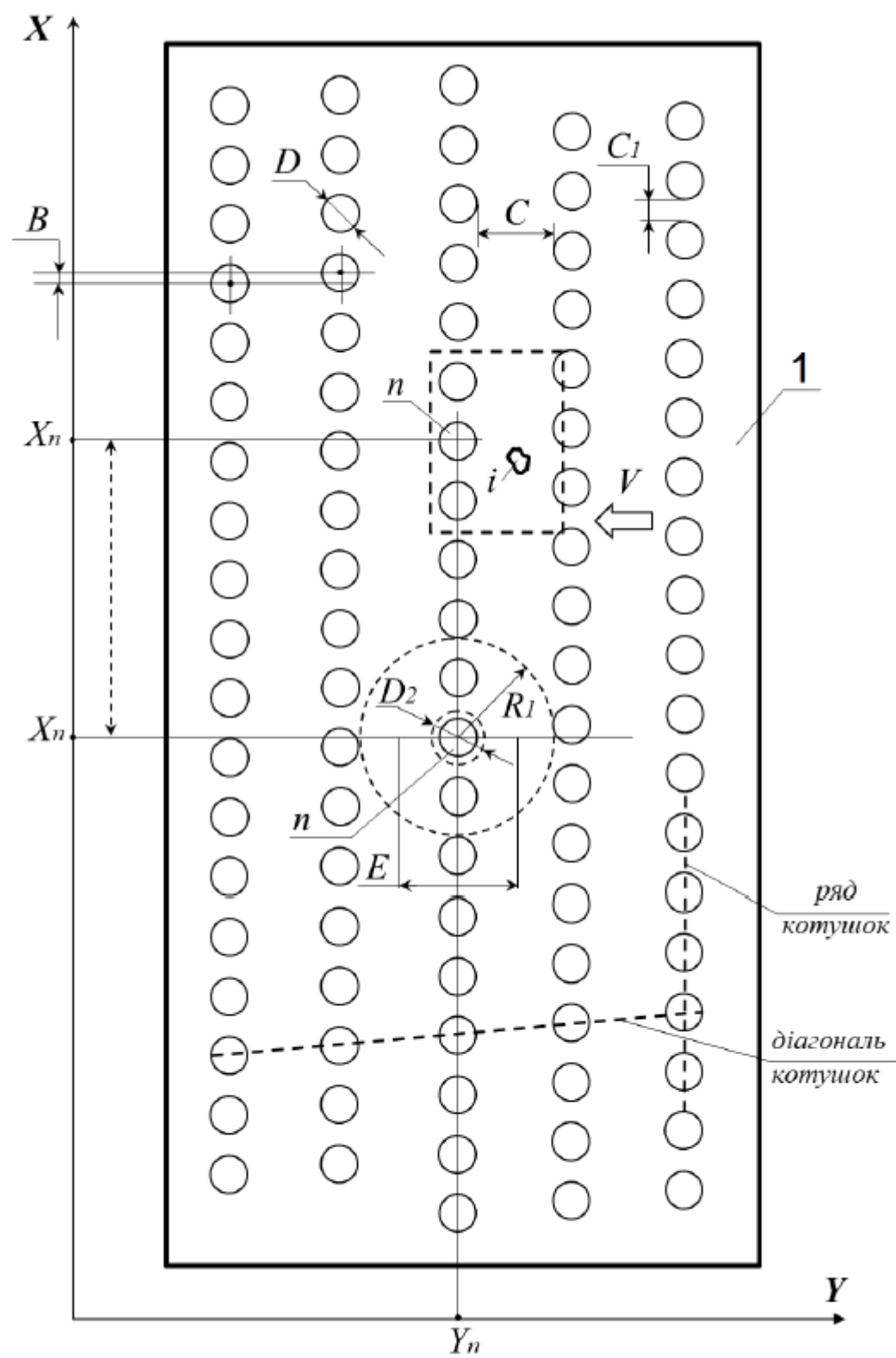


Fig. 1

Корисна модель належить до гірничо-переробної промисловості, зокрема до технології попереднього збагачення руд, що містять корисний компонент, який поряд із низькою концентрацією і невеликою масовою часткою в гірській масі має кореляційний зв'язок за його розподілом або з мінералами зі слабкою магнітною сприйнятливістю, або з немагнітними мінералами.

Корисна модель призначена для реалізації частини технологічного процесу збагачення корисних копалин, що здійснюється для сортування видобутої рудної маси з подальшим відокремленням кусків руди, які містять корисний компонент, і кусків порожньої породи.

Корисна модель може бути використана для переробки сировини, отриманої з техногенних родовищ, утворених під час масового складування руд кольорових, дорогоцінних і рідкісних металів у відвали, а також некондиційних руд, збагачення яких нерентабельне за традиційними технологічними схемами.

Корисна модель може бути реалізована в ланцюзі агрегатів збагачувального процесу, який може бути реалізовано стаціонарно в цехах гірничо-збагачувального комбінату, а також безпосередньо в зоні розташування родовища як ділянку попереднього збагачення сировини, що надходить на основний збагачувальний процес.

Особливо ефективно корисна модель може бути використана для процесу сортування руд із парамагнітними властивостями, що відрізняються особливо низькою магнітною сприйнятливістю. Рудна маса, що містить корисний компонент, корельований з парамагнетиками, або корельований з немагнітними рудними мінералами, розташованими в парамагнітній порожній породі, практично не сепарується і не сортується за допомогою традиційних засобів і пристроїв, що використовуються на гірничо-збагачувальних комбінатах.

Відомий спосіб фотометричного сортування рудної маси, який передбачає дозовану подачу рудної маси на безперервно рухомий конвеєр, на якому окремі куски розподіляються рівномірно без утворення навалів. Куски, що надходять, зрошуються з форсунок водою для видалення пилу на окремих кусках, які надходять у зону опромінення лазером. Опромінення здійснюється під заданим кутом, який дає змогу вловлювати відбитий від корисного компонента промінь, який вловлюється за допомогою високочутливого фотопомножувача. Координати куска, звідки надійшов відбитий промінь лазера, надходять у обчислювальний пристрій, за допомогою якого фіксуються просторові координати куска.

При надходженні куска в зону сортування виконавча команда надходить на одне з сопел, за допомогою якого за допомогою повітряного струменя кусок надходить до одного з приймальних бункерів, в одному з яких складається рудна маса, що містить корисний компонент, а в іншому бункері розміщують порожню породу, яку потім направляють у відвал [1].

Недоліком відомого способу є те, що його використання передбачає досить вузький спектр застосування в гірничо-переробній промисловості. Згідно з відомою інформацією, застосування лазера ґрунтується на тому, що досліджуваний зразок повинен містити корисний компонент, фізичний стан якого зумовлює можливість відбиття лазерного променя і подальшу його фіксацію. По суті, відомий спосіб фіксує наявність корисного компонента в куску породи, але не його кількість.

Суттєвим недоліком відомого способу є те, що кусок рудної маси спонтанно надходить до зони лазерного променя і може бути розташований так, що фотопомножувач не зафіксує наявність корисного компонента, бо корисний компонент перебуває на тому боці, де відсутній лазерний промінь, або корисний компонент не в зоні лазерного променя. Крім того, пристрій не в змозі зафіксувати наявність корисного компонента в куску породи, якщо корисний компонент перебуває всередині куска породи.

Реалізація способу призводить до значних втрат корисного компонента, який разом із порожніми породами потрапляє до відвалу, що призводить до збільшення собівартості збагачення рудної маси і, відповідно, збільшення вартості товарного продукту.

Крім того, недоліком відомого способу є те, що процес ідентифікації корисного компонента ускладнюється тим, що площа дзеркала корисного компонента та кут його нахилу відносно променя лазера може бути різним, що потребує відповідних налаштувань та коригувань у процесі сортування сировини, що позначається на продуктивності збагачувального процесу.

Відомий спосіб відокремлення забруднюючих домішок під час видобутку корисних копалин. Видобута гірська маса являє собою суміш кусків різних геометричних параметрів. Для реалізації процесу задають граничні параметри окремих кусків від їхніх мінімальних до максимальних розмірів. Метою способу є сортування кусків гірничої маси залежно від ступеня поглинання рентгенівського випромінювання. Поділ кусків здійснюється шляхом їх рентгенівського опромінення, і за ступенем поглинання судять, до якої категорії належить той чи інший кусок, який піддається ежекції, за допомогою якої кусок спрямовують у ту чи іншу приймальну ємність.

Визначення порогової величини ежекції здійснюється за допомогою першого опромінення найбільшого куска зразка або найтовстішої ділянки шару з діапазоном енергій рентгенівського випромінювання і використання максимальних сигналів для калібрування пікселів у детекторній матриці. У певних варіантах порогова величина детектора може бути задана у відсотках від напруги сигналу від найтовстіших ділянок зразка без будь-яких включень забруднювальних домішок. Тоді, порогова величина ежекції задається у вигляді відсоткового відношення показань пікселів під час циклу вимірювання, які мають сигнали, менші, ніж порогова величина детектора. Кількість сигналів пікселів з рівнями менше, ніж порогова величина, встановлює мінімальний розмір забруднювальної домішки, що ежекується. Ежекція за одним низьким показанням пікселя може зменшити вміст забруднювальних домішок до 100 частин на мільйон. Зразок, що входить у зону сприйняття, опромінюється, таким чином, має місце вимірювання пропускання рентгенівського випромінювання. Після вимірювання пропускання рентгенівського випромінювання, наступний етап полягає у визначенні, чи досягнуто порогової величини для ежекції. Якщо порогова величина для ежекції досягнута, то відбувається ежекція зразка. Якщо порогова величина для ежекції не досягнута, то ежекція зразка не відбувається [2].

Недоліком відомого способу є те, що він буде недостатньо ефективно працювати за умови використання для сортування мінералів із малою атомарною масою або ж концентрація корисного компонента перебуватиме на низькому рівні.

Суттєвим недоліком відомого способу є те, що збільшення продуктивності устаткування, особливо під час сортування великих кусків, потребує збільшення інтенсивності рентгенівського випромінювання, що потребує додаткових матеріальних і трудових витрат для забезпечення безпеки експлуатаційного персоналу.

Найбільш близьким аналогом до корисної моделі є спосіб сортування кускової руди, яка містить мінерали зі слабкою магнітною сприйнятливістю та немагнітні мінерали, що включає дозоване подавання мінеральної кускової маси на конвеєр, електромагнітний вплив на кусок вхідної сировини, ідентифікацію кусків сировини за критерієм наявності корисного компонента, порівняння показника наявності корисного компонента в куску з його граничним значенням, формування потоків, один з яких містить корисний компонент, а інший являє собою порожню породу [3].

Для реалізації цього способу кусок, що містить корисний компонент і порожню породу, які мають різні електричні, магнітні та теплофізичні властивості, опромінюють електромагнітним полем надвисокої частоти. Частота випромінювання вибирається таким чином, щоб глибина проникнення електромагнітної хвилі була більшою за максимальний лінійний розмір куска за максимального згасання електромагнітної хвилі, яка залежить від властивостей матеріалу куска. Енергія надвисокої частоти електромагнітного випромінювання, поглинена матеріалом куска, спричиняє нагрівання компонентів куска до температури, зумовленої їхніми електричними, магнітними та теплофізичними властивостями. При цьому компонент, що має вищу електропровідність, за той самий проміжок часу поглинатиме енергію надвисокої частоти більше, ніж компонент із нижчою електропровідністю. У результаті температура нагріву корисного компонента і порожньої породи, після закінчення дії надвисокої частоти опромінення, буде різною.

Після закінчення дії електромагнітного випромінювання протягом деякого часу відбувається передача теплової енергії від більш нагрітого компонента до менш нагрітого. При цьому характер зміни температури куска залежатиме від співвідношення в куску компонентів із різними електричними, магнітними та теплофізичними властивостями. Характер зміни температури куска в часі може реєструватися термографічною системою. Спосіб у реальному масштабі часу перетворює теплове вторинне випромінювання від окремих суміжних ділянок джерела теплового випромінювання на відповідний сигнал, що являє собою теплову картину джерела теплового випромінювання, величину якого можна було б вводити в обчислювальний пристрій для обробки.

Недоліком відомого способу є те, що під час його реалізації необхідне виконання заходів для зниження негативного впливу випромінювання надвисокої частоти на технологічний персонал, який займається експлуатацією установки, що реалізує спосіб.

Суттєвим недоліком відомого способу є його невисока продуктивність, зумовлена тим, що передача теплової енергії від більш нагрітої ділянки куска до менш нагрітої ділянки відбувається не миттєво, а потребує деякого часу.

Для забезпечення високої продуктивності сепарації необхідне збільшення потужності джерела випромінювання надвисокої частоти, що потребує значних енергетичних витрат, які збільшують собівартість готової продукції.

Спосіб не дає змоги ефективно здійснювати сепарацію стосовно кускової гірничої маси, що містить дрібнокраплений корисний компонент у дуже малій концентрації в куску руди. У цьому разі обробка куска випромінюванням надвисокої частоти не дає змоги одержати високоточну теплову картину, за допомогою якої, виходячи з прийнятих критеріїв, можна ідентифікувати куски та розділити їх на два потоки, один із яких містить корисний компонент, а інший - порожню породу.

В основу корисної моделі поставлено задачу удосконалення способу для сортування кускової руди, що містить мінерали зі слабкою магнітною сприйнятливістю і немагнітні мінерали за рахунок:

- використання спеціальної матриці індукційних котушок, параметри якої зберігаються в контролері сортування;

- використання 3D-лазера для створення масиву вхідних даних про геометричні розміри та положення кусків руди відносно центрів котушок сенсорного блоку;

- управління черговістю вимірювань окремими сенсорами сенсорного блоку на підставі геометричних параметрів матриці та даних від 3D-лазера, з урахуванням керуючих зміщень у часі під час активації індукційних котушок;

- забезпечення режиму вимірювання тільки однією котушкою з недопущенням одночасного вимірювання на суміжних індукційних котушках, що розташовані з нею в одному ряді, та які можуть чинити електромагнітний вплив однієї котушки на іншу;

- застосування імпульсного методу вимірювання, за якого після активації котушки (шляхом запуску автогенератора) формується вимірювальний інтервал із тривалістю, прямо пропорційною періоду коливань автогенератора, який потім заповнюється стабільними імпульсами високої частоти, число яких є кількісною оцінкою рівня сигналу;

- вимірювання рівня магнітної сприйнятливості куска руди, як різниці двох сигналів: сигналу від куска руди і від сигналу електромагнітного фону, що вимірюється тією ж котушкою за відсутності на ній кусків;

- застосування цифрової обробки сигналів для зниження рівня електромагнітного фону окремо для низькочастотної та високочастотної ділянок його спектру.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що спосіб сортування кускової руди, яка містить мінерали зі слабкою магнітною сприйнятливістю та немагнітні мінерали, включає дозовану подачу мінеральної кускової маси на конвеєр, електромагнітний вплив на куски вхідної сировини, ідентифікацію кусків сировини за критерієм наявності корисного компонента, порівняння показника наявності корисного компонента в куску з його граничним значенням, формування потоків, один з яких містить корисний компонент, а інший являє собою порожню породу.

Згідно з корисною моделлю, у пам'ять обчислювального пристрою у вигляді контролера сортування вносять інформацію про геометричні параметри матриці розташування індукційних котушок, що входять до складу сенсорів сенсорного блоку, швидкість пересування кусків руди конвеєрною стрічкою, такти синхронізації у вигляді послідовності імпульсів, що фіксують зв'язок між переміщенням стрічки конвеєра і даними про куски руди, нормовані коригувальні функції зниження вихідного сигналу сенсора залежно від крупності кусків, що сортуються, віддалення геометричного центра куска від центра індукційної котушки, геометричне розташування осі куска руди відносно вимірювальної осі індукційної котушки, особливості геометричних параметрів куска та фракційний склад руди за класами крупності, а також за критеріями сортування з урахуванням порогового або нижнього і верхнього значень магнітної сприйнятливості куска руди, причому сенсори в сенсорному блоці розміщують виходячи з необхідної чутливості одиничної індукційної котушки, при цьому котушки встановлюють рядами перпендикулярно напрямку руху конвеєрної стрічки на відстані між краями котушок у рядах матриці, яку визначають за залежністю:

$$C=R_1-D/2,$$

де C - відстань між краями котушок у суміжних рядах матриці;

R_1 - радіус, що визначає площу кола, в межах якого протягом активного стану n -котушки, суміжні з нею котушки, що перебувають у цьому самому ряді, мають бути неактивними;

D - зовнішній діаметр індукційної котушки,

а котушки в кожному ряду матриці розміщують на відстані між краями суміжних котушок, що визначається за залежністю:

$$C_1=(2R_1-3D)/4,$$

де C_1 - відстань між краями суміжних котушок в одному ряду,

водночас котушки в кожному наступному ряду розміщують відносно попереднього ряду зі зміщенням відносно напрямку руху конвеєрної стрічки з кроком, виходячи з умови

$$B \leq 0,3 \cdot D,$$

де B - крок зміщення суміжних котушок по діагоналі матриці,

при цьому геометричні параметри матриці пов'язують із крупністю сортованої руди умовами

$$B \leq 1,4 \cdot F_{\min},$$

$$C \geq 1,1 \cdot F_{\max},$$

де $F_{\min}$, $F_{\max}$ - мінімальна і максимальна крупності руди,

при цьому кускову руду подають за допомогою живильника на конвеєрну стрічку, після чого в зоні відповідності швидкості кусків руди, рівній швидкості переміщення конвеєрної стрічки, здійснюють фіксацію геометричних параметрів кожного куска за допомогою 3D-сканера і за допомогою контролера сортування обчислюють масив даних, до якого входять площа кожного куска, його об'єм, геометричні центри, інші геометричні параметри його прямокутної моделі та її просторового положення на конвеєрній стрічці, на підставі яких, а також на підставі масиву даних про геометричні параметри матриці сенсорного блока, за допомогою контролера сортування визначають черговість вимірів магнітної сприйнятливості окремих кусків із урахуванням затримок активації окремих котушок відповідно до формули:

$$\Delta Z_i = \sqrt{(\Delta X_i)^2 + (\pm \Delta Y_i)^2},$$

де ΔZ_i - абсолютне зміщення центра i-го куска руди відносно центра n- котушки;

$\pm \Delta Y_i$ - координати керуючого зміщення відносно осі Y_n , який має знак мінус у разі затримки команди активації котушки і знак плюс у разі випередження команди активації, номер активованої індукційної котушки для вимірювання, а також формують керуючі команди для вимірювання магнітної сприйнятливості кусків руди та електромагнітного фону, які передають у сенсорний блок, причому під час формування команди на вимірювання магнітної сприйнятливості куска руди враховують координати його геометричного центра відносно центрів котушок, координати затримок активації котушок і кількість тактів синхронізації переміщення куска руди на стрічці над індукційними котушками, а також номер сенсора, який необхідно активувати, і номер тактового сигналу, при якому необхідно виконати активацію сенсора, а після підрахунку тактів синхронізації, активують необхідний сенсор для процесу вимірювання, при цьому вимірювання сигналу від куска n-котушкою сенсора виконують при деактивованих суміжних котушках, що перебувають з нею в одному ряді матриці і здійснюють імпульсно протягом заданої тривалості часу, яку визначають виходячи з тривалості активації n-котушки з урахуванням крупності кусків та їхньої кількості, що знаходяться на одиниці площі стрічки, причому для вимірювання куска руди в зоні взаємодії його з індукційною котушкою її активацію здійснюють за допомогою автогенератора, яким генерують синусоїдальні сигнали частотою 5-10 ГГц, причому для запобігання похибці через амплітудну і частотну нестабільність, не враховують 7-10 стартових коливань і 5-7 затухаючих коливань після команди на зупинку автогенератора, а використовують тільки пачку з 5-30 вимірювальних синусоїдальних коливань, які за допомогою тригера Шмідта перетворюють на прямокутні імпульси, з яких формують заданий вимірювальний інтервал безпосереднього вимірювання, який заповнюють імпульсами високої частоти 0,3-1,5 ГГц, а за кількістю імпульсів високої частоти, пропорційною магнітній сприйнятливості куска, визначають сигнал від вимірювання куска руди, який для забезпечення високої точності вимірювання коригують відповідно до виразу:

$$\dot{U}_s = f(K_1, K_2, K_3, K_4, K_5) \cdot U_s,$$

де $\dot{U}_s$ - скоригований сигнал від вимірюного куска руди,

U_s - сигнал від вимірюного куска руди, до операцій його корекції,

K_1 - функція залежності від крупності куска,

K_2 - функція залежності від віддалення геометричного центру куска від центру котушки,

K_3 - функція залежності від геометричного розташування осі куска відносно вимірювальної осі котушки,

K_4 - функція залежності від особливостей геометричної форми куска,

K_5 - функція залежності від впливу сусідніх кусків, що знаходяться поблизу вимірюваного куска під час його вимірювання n-котушкою, при цьому мінімальне значення вимірювання сигналу електромагнітного фону n-котушкою забезпечують деактивуванням суміжних котушок, що перебувають із нею в одному ряду матриці в межах радіуса R_1 , визначенням площі області на рухомій стрічці з мінімальним впливом інших кусків завдяки діаметру кола згідно з виразом:

$$D_2 \geq 1,15 \cdot D,$$

де D_2 - діаметр кола, що визначає площу області, в межах якої на рухомій стрічці не повинні перебувати цілі куски руди або їх частини, а також зниженням низькочастотної складової спектра фону завдяки виконанню умови, згідно з якою час між вимірами сигналу від куска руди

та сигналу від електромагнітного фону має бути мінімальним, обмеженим відрізком стрічки згідно з формулою:

$$E=D+C,$$

де E - довжина відрізка на стрічці конвеєра, що обмежує область, у межах якої проводиться вимірювання електромагнітного фону;

і зниженням високочастотної складової спектра фону завдяки використанню цифрового експоненціального фільтра, причому виконують кілька вимірювань до і після вимірювання куска, при цьому вибирають з них вимір з мінімальним значенням, яке приймають за поточне значення фону, яке разом із попередніми вимірами використовують для обчислення поточного середнього значення фону, яке приймають як результуючий сигнал значення електромагнітного фону згідно з формулою:

$$\hat{U}_b(i) = \alpha \cdot \min(U_b(i)) + (1 - \alpha) \cdot \hat{U}_b(i-1),$$

де $\hat{U}_b(i)$ - поточне середнє значення електромагнітного фону, що належить до часу вимірювання n -ю котушкою i -го куска руди;

$\min(U_b(i))$ - мінімальне значення фону з кількох останніх його вимірювань n -ю котушкою, виконаних до і після вимірювання нею i -го куска руди;

$\hat{U}_b(i-1)$ - середнє значення електромагнітного фону, що належить до часу вимірювання n -ю котушкою попереднього $(i-1)$ -го куска руди;

α - коефіцієнт згладжування експоненціального фільтра ($0 < \alpha < 1$),

що відповідає деякій кількості імпульсів високої частоти, пропорційному магнітній сприйнятливості навколишнього середовища, зокрема й стрічки конвеєра, після чого фактичне значення магнітної сприйнятливості куска руди, що відповідає максимальній чутливості й точності системи вимірювання, визначають як різницю двох сигналів за виразом:

$$\Delta U = \hat{U}_s - \hat{U}_b$$

де ΔU - сигнал фактичного значення магнітної сприйнятливості куска,

$\hat{U}_s$ - скоригований сигнал від вимірювання куска руди n -ю котушкою,

$\hat{U}_b$ - сигнал електромагнітного фону, виміряний тією самою котушкою за відсутності над нею вимірюваного куска і за мінімального рівня впливу електромагнітних чинників,

α після обчислення різниці від скоригованого сигналу від куска руди та сигналу мінімального значення електромагнітного фону, отримують сигнал фактичного значення магнітної сприйнятливості куска та, відповідно, корельовану або некорельовану з нею масову частку корисного компонента, який порівнюють із критеріями сортування і залежно від результату формують керуючі команди сортування для системи пневмоклапанів, причому в разі, якщо кусок не відповідає критеріям сортування, то кусок направляють у відвал, якщо кусок відповідає критеріям сортування, то формують керуючі команди, за допомогою яких шляхом подачі стисненого повітря здійснюють ежекцію кусків у приймальний бункер, причому керуючу команду пневмоклапана подають виходячи з його положення відносно конвеєрної стрічки, швидкості її руху, часу руху куска за траєкторією вільного падіння, розміру куска, номера пневмоклапана, номера такту синхронізації, що відповідає моменту відкривання клапана, тривалості його перебування у відкритому стані, яким забезпечують за допомогою стисненого повітря ежекцію куска і направляють його у відповідний бункер продуктів сортування.

Технічний результат від реалізації способу сортування кускової руди, що містить мінерали зі слабкою магнітною сприйнятливістю та немагнітні мінерали, полягає в тому, що система сортування є прецизійною завдяки високій чутливості та високій точності вимірювання магнітної сприйнятливості кусків руди, а також при збереженні високої продуктивності сортування.

Висока чутливість вимірювання магнітної сприйнятливості куска руди забезпечується за рахунок:

- використання спеціальної матриці індукційних котушок;

- використання 3D-лазера для створення масиву даних про геометричні розміри та положення кусків руди відносно центрів котушок сенсорного блока;

- управління черговістю вимірювань окремими сенсорами з урахуванням керуючих зміщень у часі, пов'язаних з початком активації котушок;

- забезпечення режиму вимірювання тільки однією котушкою за недопущення одночасного вимірювання на суміжних котушках, що перебувають із нею в одному ряду;

- застосування імпульсного методу вимірювання, за якого формують вимірювальний інтервал, який потім заповнюють стабільними імпульсами високої частоти, кількість яких є оцінкою рівня сигналу;

- вимірювання рівня магнітної сприйнятливості куска руди, як різниці двох сигналів: сигналу від куска руди і від сигналу електромагнітного фону, що вимірюється тією ж котушкою за відсутності на ній кусків;

- застосування методів цифрової обробки сигналів для зниження рівня електромагнітного фону окремо для низькочастотної та високочастотної ділянок його спектра.

Висока точність вимірювання магнітної сприйнятливості забезпечується за рахунок введення коригувальних функцій на виміряне значення сигналу:

5 - функції коригування вимірювання залежно від фактичного об'єму куска - реалізується за монотонно спадаючою залежністю від виміряного об'єму куска, з нормуванням до об'єму куска, що відповідає максимальній крупності;

10 - функції коригування вимірювання залежно від відхилення, спричиненого тим, що фактичні координати геометричного центра куска не збігаються з координатами центра індукційної котушки - реалізується за монотонно спадною залежністю від виміряного відхилення, з нормуванням до геометричного розташування ідеального збігу обох центрів;

- функції коригування вимірювання залежно від геометричного розташування поздовжньої осі куска та вимірювальної осі котушки;

15 - функції коригування вимірювання залежно від особливостей геометричної форми куска руди;

- функції мінімізації впливу магнітних властивостей інших кусків руди, що знаходяться поблизу вимірюваного куска.

20 Висока продуктивність зумовлена введенням функції коригування від об'єму куска, чим досягається робота системи сортування в широкому діапазоні крупності кусків руди. Також висока продуктивність досягається завдяки управлінню моментом активації котушок для вимірювання кусків руди, які перебувають у безпосередній близькості, що дає змогу підвищити щільність (кількість кусків на одиницю площі стрічки) їхнього розміщення на конвеєрній стрічці.

25 Суть способу ілюструється схемами, де на фіг. 1 зображено розташування індукційних котушок у матриці сенсорного блока на прикладі і-го куска та вимірювальної п-котушки (з метою поліпшення сприйняття графічної ілюстрації, координата X_n розглядається у двох рівнозначних локаціях); на фіг. 2 - (фрагмент фіг. 1) позначені геометричні координати активації та деактивації п-ї котушки і геометричне положення моделі і-го куска відносно системи індукційних котушок; на фіг. 3 - (фрагмент фіг. 2) ілюстрована операція додаткового зміщення координати по осі Y моменту активації п-котушки при введенні керуючого зміщення у часі; на фіг. 4 - 30 область рухомої конвеєрної стрічки, у межах якої виконується вимірювання електромагнітного фону п-котушкою; на фіг. 5, 6 - часові діаграми формування вимірювального інтервалу під час функціонування електронних елементів сенсора.

Умовні позначення, які приведені на фіг. 1-6:

35 X - поточні координати по осі абсцис, перпендикулярно до напрямку руху куска;

Y - поточні координати по осі ординат, паралельно напрямку руху куска;

Y_n - координата п-ї котушки по осі ординат, яка іменується вимірювальною віссю і служить початком відліку для координат $Y_{1(n)}$, $Y_{2(n)}$, Y_A' , Y_A'' , ΔY_i , $Y_{2(n-5)}$, Y_{1n} , Y_{2n} , кута α_i , а також забезпечує вимірювання максимального сигналу від куска U_s , при цьому кількість вимірювальних осей дорівнює кількості рядів котушок (фіг. 4);

40 X_n - координата п-ї котушки по осі X;

n - номер котушки, яка активується для вимірювання магнітної сприйнятливості куска;

i - номер куска, який підлягає вимірюванню;

X_i - координата геометричного центра A моделі i- куска по осі X;

Y_i - координата геометричного центра A моделі i- куска по осі Y;

45 D - зовнішній діаметр індукційної котушки;

B - крок зміщення суміжних котушок по діагоналі;

C - відстань між краями котушок, розташованих у суміжних рядах;

C_1 - відстань між краями суміжних котушок, розташованих в одному ряду;

50 R_1 - радіус, що визначає площу кола, у межах якого протягом активного стану п-ї котушки, мають бути не активними суміжні з нею котушки, що знаходяться в цьому ж ряду;

D_2 - діаметр кола, що визначає площу області стрічки конвеєра, у межах якої під час вимірювання електромагнітного фону не повинні знаходитися інші цілі куски руди або їхні частини;

55 E - довжина області на конвеєрній стрічці, у межах якої проводять замір рівня електромагнітного фону для п-ї котушки до і після вимірювання і-го куска п-ю котушкою;

V - швидкість руху і-го куска на конвеєрній стрічці;

S_i - площа прямокутної моделі і-го куска, яка дорівнює площі проєкції і-куска на площину XY (під час обробки масивів даних для геометричних параметрів куска приймаються геометричні параметри його прямокутної моделі);

60 L_i - довжина прямокутної моделі і-го куска;

- W_i - ширина прямокутної моделі i -го куска;
 A - геометричний центр прямокутної моделі i -го куска;
 α_i - кут нахилу поздовжньої осі по L_i до осі з координатою Y_i ;
 $n-5$ - порядковий номер суміжної котушки, яка передує n -й котушці в одному з нею ряду (на
 5 прикладі 5-рядної матриці);
 $n+5$ - порядковий номер суміжної котушки, яка слідує після n -ї котушки в одному з нею ряду
 (на прикладі 5-рядної матриці);
 ΔX_i - відхилення координати X_i i -го куска від координати X_n n -ї котушки, зафіксовані в стані
 $Y_i=Y_n$;
 10 $Y_{1(n)}$ - координата початку активації n -ї котушки (запуск автогенератора);
 $Y_{2(n)}$ - координата закінчення активації n -ї котушки (зупинка генерації автогенератора);
 Y_A^I - координата початку безпосереднього вимірювання магнітної сприйнятливості;
 Y_A^{II} - координата закінчення безпосереднього вимірювання магнітної сприйнятливості;
 ΔY_i - координати керуючого зміщення у часі відносно до Y_n у разі затримки моменту активації
 15 n -ї котушки;
 $Y_{2(n-5)}$ - координата закінчення активації $(n-5)$ -ї котушки;
 Y_{1n} - координата початку активації n -ї котушки з урахуванням керуючого зміщення на ΔY_i (за
 умови $Y_i \neq Y_n$);
 Y_{2n} - координата закінчення активації n -ї котушки з урахуванням керуючого зміщення на ΔY_i
 20 (за умови $Y_i \neq Y_n$);
 ΔZ_i - абсолютне зміщення між геометричними центрами n -ї котушки та i -го куска за умови ΔY_i
 > 0 (при $\Delta Y_i=0$ автоматично виконується умова $\Delta Z_i=\Delta X_i$).
 Q - площа області конвеєрної стрічки, обмежена розмірами $D_2 \cdot E$, у межах якої здійснюється
 вимірювання електромагнітного фону;
 25 u - вісь напруги сигналу;
 t - вісь поточного часу;
 Δt - вимірювальний інтервал (тривалість безпосереднього вимірювання);
 Δt_1 - тривалість сигналу запуску автогенератора;
 Δt_2 - тривалість сигналу зупинки генерації автогенератора;
 30 $\Delta t'_1, \Delta t'_2$ - тривалості пачки імпульсів, які не враховуються під час формування
 вимірювального інтервалу Δt .
 τ_n - тривалість пачки синусоїдальних коливань у n -котушці.
 поз. 1 - матриця сенсорів
 поз. 2 - осцилограма вихідної напруги автогенератора;
 35 поз. 3 - осцилограма вихідної напруги тригера Шмідта;
 Спосіб реалізують таким чином.
 Реалізація способу розглядається на прикладі сортування кускової золотовмісної руди з
 кварцовою мінералізацією. Корисним компонентом є тонке золото, його крупність і концентрація
 не дозволяють ефективно виявляти його в куску прямими безпосередніми методами, але
 40 золото має позитивну кореляцію з кварцовою жилою, при цьому обидві складові жили (золото і
 кварц) є немагнітними. Порожньою породою руди є парамагнетики, що містять діорити,
 гранітоїди та інші мінерали з магнітною сприйнятливістю $\chi=10^{-6}-10^{-3}$ од. СІ.
 Спосіб реалізується комплексом функціональних блоків, які забезпечують визначення
 геометричних параметрів кожного куска руди, визначення його просторового положення щодо
 45 найближчого до нього електромагнітного сенсора, прецизійне вимірювання магнітної
 сприйнятливості куска з подальшою його подачею в потік збагаченого продукту або потік
 порожньої породи, залежно від очікуваної концентрації корисного компонента в продуктах
 сортування.
 Спосіб реалізується таким чином.
 50 Спочатку в пам'ять контролера сортування вносять таку інформацію:
 - геометричні параметри матриці 1 котушок сенсорного блока (фіг. 1),
 - швидкість пересування кусків руди по конвеєрній стрічці, а також параметри синхронізації
 системи,
 - нормовані коригувальні функції зниження вихідного сигналу сенсора залежно від діапазону
 55 крупності кусків, що сортуються, віддалення геометричного центру куска від центру котушки,
 геометричного розташування осі куска руди відносно вимірювальної осі котушки та
 особливостей геометричної форми куска,
 - фракційний склад руди за класами крупності,

- критерії сортування, які враховують порогове значення або нижнє і верхнє значення магнітної сприйнятливості куска руди на основі відомих кореляційних функцій вмісту в ньому масових часток корисного компонента.

Геометричні параметри матриці 1 сенсорного блока (фіг. 1) зумовлені необхідною чутливістю одиничної індукційної котушки, яка при відомому її діаметрі D визначається радіусом R_1 , у межах якого може бути активована тільки вимірювальна котушка, і на час її активації інші котушки, суміжні з нею в тому самому ряду, мають бути неактивними. Радіус R_1 пов'язаний з XY -координатами співвідношеннями: по Y -осі $R_1 = D/2 + C$ і по X -осі $R_1 = (3D + 4C_1)/2$, з урахуванням яких сенсори в сенсорному блоці розміщують виходячи з розрахункових параметрів згідно з формулами:

- відстань C між краями котушок, розташованих у суміжних рядах

$$C = R_1 - D/2 \quad (1)$$

- відстань C_1 між краями суміжних котушок, розташованих в одному ряду

$$C_1 = (2R_1 - 3D)/4 \quad (2)$$

- умова за кроком B для діагоналей котушок:

$$B \leq 0,3 \cdot D \quad (3)$$

- умови щодо зв'язку параметрів B , C з крупністю сортованого матеріалу $F_{\min}$ - $F_{\max}$ мають вигляд:

$$B \leq 1,4 \cdot F_{\min}, C \geq 1,1 \cdot F_{\max}, \quad (4)$$

де B - крок зміщення по осі X між суміжними котушками в діагоналях, при цьому вибирається менше значення B з розрахованих за формулами (3) і (4).

Перед подачею руди на сортування обладнання увімкнене, і робота всіх систем і блоків синхронізована. Руду подають за допомогою живильника на конвеєрну стрічку. 3D-сканер встановлюють на початку зони заспокоєння кусків, у якій швидкість кусків стає рівною швидкості стрічки. Він забезпечує сканування кусків руди на конвеєрі та формування масиву 3D-даних за геометричними параметрами кусків, які контролер сортування використовує для управління вимірювань сенсорним блоком. 3D-дані надходять у контролер сортування, який виконує обчислення масиву даних для кожного куска, до якого входить його об'єм, площа, геометричні центри, інші геометричні параметри їхніх прямокутних моделей і просторового положення на конвеєрній стрічці, на підставі яких, а також на підставі масиву даних про геометричні параметри матриці 1 сенсорного блока, за допомогою контролера сортування визначають черговість вимірювань магнітної сприйнятливості окремих кусків з урахуванням затримок активації окремих котушок і номер котушки, що активується, для вимірювання. При цьому активацію котушок і формування затримок активації викладено більш детально.

Процес активації на прикладі координат активованої n -ї котушки і i -го куска, що вимірюється, ілюстровано на фіг.2, яка є фрагментом фіг.1.

Відповідно до способу, i -й кусок з геометричним центром у точці A рухається зі швидкістю V перпендикулярно рядам сенсорного блока. Оскільки $\Delta X = |X_n - X_i|$ є мінімальним саме для n -ї котушки, то вона і є тією котушкою, яка має бути активована для виконання вимірювання. Вимірювання сигналу від куска проводять відносно вимірювальної осі n -ї котушки з координатами Y_n . i -й кусок зі змінною координатою Y_i геометричного центра A моделі куска рухається вздовж постійної координати X_i . При досягненні ним положення $Y_i = Y_{1(n)}$ виконують початок активації n -ї котушки, яка закінчується через час t_n при досягненні моделлю положення $Y_i = Y_{2(n)}$.

Процес формування затримки активації для n -ї котушки ілюстровано на фіг. 3, яка є фрагментом фіг. 2.

Для підвищення продуктивності системи сортування формують операцію зміщення координати по осі Y моменту активації n -ї котушки, при цьому вона здійснюється із затримкою в часі або з випередженням. Суть її полягає в наступному. Зі збільшенням кількості кусків на одиницю площі транспортерної стрічки все частіше виникає ситуація, коли за потреби активації n -ї котушки, наприклад $(n-5)$ -та котушка ще перебуває в активному стані. Одночасна активація обох котушок у зоні радіусом R_1 призводить до порушення умови, яка полягає в тому, що в зоні R_1 повинна бути активною тільки одна вимірювальна n -на котушка. Тобто, для збереження вимог цієї умови активні режими n -ї і $(n-5)$ -ї котушок розсувають за часом, що проілюстровано на фіг.3.

Припустимо, $(n-5)$ -та котушка в координаті $Y_{2(n-5)}$ вже стає деактивованою. У цьому випадку n -на котушка повинна почати процес своєї активації тільки в координаті Y_{1n} . У зв'язку з цим, геометричний центр i -го куска виявляється додатково зміщеним на ΔY_i , унаслідок чого абсолютне зміщення центру i -го куска руди відносно центра n -ї котушки розраховують за формулою:

$$\Delta Z_i = \sqrt{(\Delta X_i)^2 + (\pm \Delta Y_i)^2} \quad (5),$$

де ΔZ_i - абсолютне зміщення центру i-го куска руди відносно центру n-ї котушки;

$\pm \Delta Y_i$ - координати керуючого зміщення відносно Y_n , який має знак мінус при затримці команди активації котушки і знак плюс у разі випередження команди активації.

Контролер сортування також формує завдання для вимірювання магнітної сприйнятливості кусків руди з урахуванням абсолютних зміщень, які передає в сенсорний блок, що формує керуючі команди для виконання вимірювань. Формування команди ґрунтується на відомих координатах геометричних центрів кусків відносно центрів котушок, їхніх абсолютних зміщеннях та підрахунку тактів синхронізації, які зумовлені переміщенням куска на стрічці над матрицею 1 котушок. У команді встановлюють номер сенсора, який необхідно активувати, і номер тактового сигналу, за якого необхідно виконати активацію. Такти синхронізації підраховують, активують необхідний сенсор, чим здійснюють старт процесу вимірювання.

Вимірювання здійснюється імпульсним методом, детальне функціонування якого ілюстровано на фіг.5, фіг.6.

Активацію n-ї котушки виконують запуском автогенератора, який генерує синусоїдальні сигнали 2 (осцилограма вихідної напруги автогенератора на фіг. 5). Специфіка роботи автогенератора полягає в тому, що під час його запуску на початку генерації мають місце амплітудна і частотна нестабільності, які не можуть бути використані у вимірювальному процесі. Тому тривалість t_n розподіляється залежно від функціонального призначення на окремі часові ділянки: безпосереднього вимірювання $\Delta t = (Y_A - Y_{A'})/V$, запуску автогенератора $\Delta t_1 = (Y_{1(n)} - Y_A)/V$ і зупинки генерації автогенератора $\Delta t_2 = (Y_{A''} - Y_{2(n)})/V$.

Дослідженнями встановлено, що коректний режим вимірювання отримують, коли перші 5-10 синусоїдальних коливань (Δt_1) після команди запуску автогенератора і згасаючі 5-7 коливань (Δt_2) після команди зупинки автогенератора у вимірювальному процесі не враховують, а вимірювальними є 5-30 періодів коливань, що становлять вимірювальний інтервал Δt . Вибір значення інтервалу (кількості коливань) залежить від крупності куска і кількості кусків, які перебувають на одиниці площі стрічки. Також визначення значення Δt є оптимізаційним завданням, оскільки максимальне її значення дає змогу отримати максимальну чутливість системи, а мінімальне дає змогу отримати максимальну продуктивність. Емпірично встановлено діапазон $\Delta t = 0,3-2,5$ мілісекунд.

Частота автогенератора f_{low} становить приблизно 7-15 кГц, яка в період Δt є стабільною і залежить від індуктивності коливального контуру автогенератора, до якого ввімкнено вимірювальну індукційну котушку. Своєю чергою, індуктивність n-ї котушки залежить від магнітної сприйнятливості i-го куска руди, що перебуває над нею в русі. Таким чином, тривалість Δt пачки синусоїдальних коливань є функцією від магнітної сприйнятливості куска.

Для коректної фіксації початку і закінчення вимірювального інтервалу Δt , пачку синусоїдальних коливань тривалістю t_n подають на тригер Шмідта, який формує з них прямокутні імпульси 3 (фіг. 6). Сенсорний блок із пачки імпульсів формує вимірювальний інтервал Δt , який заповнюють імпульсами стабільної високої частоти f_{high} приблизно 0,3-1,5 ГГц, які підраховують. Кількість імпульсів високої частоти є результатом вимірювання i-го куска, який визначають згідно з виразом

$$U_s = f(k) \quad (6),$$

де U_s - сигнал від вимірювання i-го куска руди n-ю котушкою,

k - кількість імпульсів високої частоти.

У такий спосіб досягається висока чутливість під час вимірювання тривалості вимірювального інтервалу, а відтак і магнітної сприйнятливості куска руди з парамагнітними та немагнітними властивостями мінералів, що її складають.

А для досягнення високої точності вимірюного сигналу U_s , його значення коригують за допомогою емпіричних коефіцієнтів згідно з виразом

$$\hat{U}_s = f(K_1, K_2, K_3, K_4, K_5) \cdot U_s \quad (7)$$

де $\hat{U}_s$ - скоригований сигнал від вимірюного куска руди, який також включає вплив стрічки конвеєра та навколишнього середовища;

U_s - сигнал від вимірюного куска руди, до операцій його корекції;

K_1 - функція залежності від крупності куска;

K_2 - функція залежності від віддалення геометричного центра куска від центра котушки (абсолютне зміщення);

K_3 - функція залежності від геометричного розташування осі куска відносно вимірювальної осі котушки;

K_4 - функція залежності від особливостей геометричної форми куска;

K_5 - функція залежності від впливу інших кусків, що знаходяться поблизу вимірюваного куска під час його вимірювання n -ю котушкою.

Детальний опис сутності коригувальних функцій полягає в тому, що:

5 K_1 - забезпечує компенсацію геометричного розміру куска за рахунок корекції U_s за монотонно спадаючою функцією залежно від його крупності в діапазоні $F_{\max}$ - $F_{\min}$.

Сенс корекції полягає в наступному. Припустимо, що два куски граничних крупностей $F_{\max}$ та $F_{\min}$ містять однаковий мінеральний склад і по черзі поміщаються в одну й ту саму точку (наприклад, $X_i=X_n$) на вимірювальній осі Y_n для n -ї котушки. У цьому разі вимірний сигнал U_s для $F_{\min}$ буде завжди меншим, ніж для $F_{\max}$, хоча вони складаються з однакових мінералів. Цей факт може призвести до помилки прийняття рішення щодо куска (корисний або порожня порода). Для компенсації можливої помилки вводиться коригувальний коефіцієнт K_1 :

$$U_{s(1)}=K_1 \cdot U_s,$$

де $K_1=f(F_i)$ - коефіцієнт, що змінюється за монотонно спадаючою залежністю від крупності i -го куска, його нормування проводиться до $F_{\max}$.

15 K_2 - забезпечує компенсацію вихідного сигналу U_s сенсора за монотонно спадною функцією залежно від відхилення величини геометричного центра куска від центра котушки.

Сенс корекції наступний. Припустимо, що один і той самий кусок по черзі поміщається у дві різні точки з координатами (наприклад, X_n і $X_n+\Delta X_i$) на вимірювальній осі Y_n . У цьому випадку вимірний сигнал U_s для координати $X_n+\Delta X_i$ буде завжди меншим, ніж для координати X_n , хоча у вимірах бере участь один і той самий кусок. Цей факт аналогічно може призвести до помилки прийняття рішення щодо куска. Для компенсації можливої помилки вводиться коригувальний коефіцієнт K_2 :

$$U_{s(2)} = K_2 \cdot U_s,$$

25 де $K_2=f(\Delta X_i)$ - коефіцієнт, що змінюється за монотонно спадаючою залежністю від відхилення геометричного центра i -куска від центра n -котушки, його нормування здійснюється за положенням куска в координатах $X_i=X_n$,

K_3 - забезпечує компенсацію вихідного сигналу U_s сенсора за монотонно спадаючою функцією залежно від кута α_i нахилу поздовжньої осі L_i моделі матка до осі Y_n . Для компенсації можливої помилки від геометричного розташування куска вводиться коригувальний коефіцієнт K_3 :

$$U_{s(3)}=K_3 \cdot U_s,$$

30 де $K_3=f(\alpha_i)$ - коефіцієнт, який є функцією кута $\alpha_i=[0^\circ \pm 90^\circ]$, його нормування проводиться до положення куска при $\alpha_i=90^\circ$.

K_4 - забезпечує компенсацію вихідного сигналу U_s сенсора залежно від особливостей площинної форми куска (співвідношення довжини L_i і ширини W_i куска) за площі S_i - const. Для компенсації можливої помилки вводиться коригувальний коефіцієнт K_4 :

$$U_{s(4)}=K_4 \cdot U_s,$$

де $K_4=f(L_i/W_i)$, його нормування здійснюється до форми куска, що відповідає квадрату $L_i=W_i$.

40 K_5 - забезпечує компенсацію впливу сусідніх кусків руди в межах кругової області діаметром D_2 , що знаходяться поблизу i -го куска. Для компенсації можливої помилки вводиться коригувальний коефіцієнт K_5 :

$$U_{s(5)}=K_5 \cdot U_s$$

де $K_5=f(U'_s, U''_s, \Delta r_i)$ забезпечує мінімізацію впливу іншого куска руди, що знаходиться поблизу i -го куска.

45 Детальний опис процесу взаємного впливу вимірюваного i -го куска та іншого (сусіднього) близько розташованого куска полягає в наступному.

У цьому разі коефіцієнт розраховується залежно від результату вимірювання i -го куска U'_s при впливі на нього сусіднього і результату вимірювання сусіднього куска U''_s при впливі на нього i -го куска, а також відстані між краями кусків Δr_i . Як U'_s , так і U''_s являють собою білінійну комбінацію сигналів від обох кусків за відсутності впливу їх один на одного, що дає змогу провести обчислення у зворотному порядку (розв'язанням системи двох рівнянь) і встановити ступінь їхнього взаємного впливу. При цьому взаємний вплив кусків руди слабшає зі збільшенням відстані Δr_i між ними, що емпірично можна виразити спадаючою експоненціальною функцією.

55 Особливістю способу сортування руд, що містять мінерали зі слабкою магнітною сприйнятливістю, є вимірювання та обробка дуже слабких корисних сигналів від парамагнетиків в умовах перешкод і шкідливого промислового електромагнітного фону. При цьому рівні сигналів настільки слабкі, що їх можна порівняти з величиною сигналу від порожньої транспортерної стрічки. Тому питання мінімізації впливу магнітних властивостей стрічки та навколишнього середовища, зокрема приглушення фону та перешкод стають актуальними.

Паралельно (до і після вимірювання і-го куска) з операціями вимірювання сигналу від куска руди, виконують вимір рівня сигналу від електромагнітного фону, що складається з суми впливу трьох чинників:

$$U_b = U_c + U_l + U_e \quad (8)$$

де U_b - сигнал електромагнітного фону;

U_c - сигнал, зумовлений електромагнітним впливом суміжних котушок, розташованих поблизу n-ї котушки в цьому ж ряду;

U_l - сигнал, зумовлений магнітними властивостями інших кусків, що знаходяться в ділянці стрічки, в межах якої вимірюється фон;

U_e - флуктуаційний сигнал електромагнітного фону, зумовлений наявністю зовнішніх промислових електромагнітних завод, спектральна характеристика якого складається з низькочастотної та високочастотної ділянок спектра.

Під час вимірювання рівня фону U_b (фіг.4) для мінімального впливу електромагнітних чинників U_c і U_l , які позиціонуються як перешкоди, що підвищують загальний рівень фону, забезпечують емпіричні умови:

$$\text{для } U_c: R_1 = D/2 + C \quad (9)$$

де R_1 - радіус кола, у межах якого під час активації вимірювальної n-ї котушки, суміжні з нею в одному ряду "n-5" і "n+5" котушки (на прикладі 5-рядної матриці) мають бути неактивними;

$$\text{для } U_l: D_2 \geq 1,15 \cdot D \quad (10)$$

де D_2 - діаметр кола, що визначає площу області на рухомій стрічці, у межах якої не повинні перебувати інші цілі куски руди або їхні частини.

Для мінімального впливу електромагнітного фактора U_e мають бути забезпечені умови мінімального впливу низькочастотної та високочастотної ділянок спектра фону.

Для мінімального впливу низькочастотної складової спектра U_e виконують умову, згідно з якою час між вимірюваннями сигналів U_s і U_b має бути мінімальним, обмеженим відрізком E стрічки:

$$E = D + C, \quad (11)$$

де E - довжина відрізка стрічки конвеєра, що обмежує область Q, у межах якої проводиться вимірювання електромагнітного фону, при цьому вимірювання виконуються вздовж координати X_n протягом відрізка E з координатами від $Y_n + (D+C)/2$ до $Y_n - (D+C)/2$.

У загальному випадку (наприклад, для підвищення продуктивності системи сортування) допускається збільшення параметра E, що спричиняє збільшення низькочастотної складової спектра фону, а отже, і зниження чутливості системи (за критерієм відношення U_s/U_b). Але, таке завдання вже стає оптимізаційним, залежним від необхідних продуктивності та чутливості, а також рівня фону в конкретних умовах використання способу.

Для мінімального впливу високочастотної складової фону U_e - використовують метод її придушення завдяки застосуванню експоненціального фільтра згідно з рекурентною формулою:

$$\hat{U}_b(i) = \alpha \cdot \min(U_b(i)) + (1-\alpha) \cdot \hat{U}_b(i-1), \quad (12)$$

де $\hat{U}_b(i)$ - поточне (що відноситься до часу вимірювання n-ю котушкою i-го куска руди) середнє значення електромагнітного фону;

$\min(U_b(i))$ - мінімальне значення фону з кількох останніх його вимірювань n-ю котушкою, виконаних до і після вимірювання нею i-го куска руди;

$\hat{U}_b(i-1)$ - середнє значення електромагнітного фону, що належить до часу вимірювання n-ю котушкою попереднього (i-1) куска руди;

α - коефіцієнт згладжування експоненціального фільтра ($0 < \alpha < 1$),

причому виконують кілька вимірювань до та після вимірювання куска, при цьому вибирають із них вимірювання з мінімальним значенням, яке приймають за поточне значення фону, яке разом із попередніми вимірами використовують для обчислення поточного середнього значення фону, відповідного до певної кількості імпульсів високої частоти, пропорційної магнітній сприйнятливості довкілля, зокрема й стрічки конвеєра.

Для докладного розкриття суті роботи експоненціального фільтра наводимо такі пояснення. Розкриття дужок і перегруповання членів дає змогу записати рекурентну формулу (12) для розрахунку поточного середнього значення фону у вигляді:

$$\hat{U}_b(i) = \hat{U}_b(i-1) + \alpha \cdot (\min(U_b(i)) - \hat{U}_b(i-1)),$$

звідки випливає, що коефіцієнт згладжування α є відношенням рівня пульсацій, що досягається за рахунок згладжування, до початкового (не згладженого) рівня пульсацій. Таким чином, що меншою вибирається величина α , то сильніше пригнічується вплив випадкових електромагнітних факторів. Багаторазове застосування рекурентної формули для розрахунку згладженого середнього дає в розгорнутому вигляді такий вираз для поточного середнього значення фону:

$$\hat{U}_b = \alpha \cdot [\min(U_b(i)) + (1-\alpha) \cdot \min(U_b(i-1)) + (1-\alpha)^2 \cdot \min(U_b(i-2)) + \dots + (1-\alpha)^{i-1} \cdot \min(U_b(1))] + (1-\alpha)^i \cdot \min(U_b(0))$$

тобто з плином часу згладжене значення стає зваженим середнім дедалі більшої кількості попередніх вимірів $\min(U_b(i-1))$, $\min(U_b(i-2))$, ..., $\min(U_b(1))$, $\min(U_b(0))$, до яких застосовують вагові коефіцієнти α , $(1-\alpha)$, $(1-\alpha)^2$, ..., $(1-\alpha)^i$, і, які утворюють геометричну прогресію, яка, зі свого боку, є дискретним поданням експоненціальної функції.

Зменшення коефіцієнта α поряд із поліпшенням ступеня згладжування також збільшує вплив попередніх вимірів (зокрема, початкового) на поточне значення згладженого середнього, яке розраховується, що може призводити до запізнювання реакції на зміну рівня фону. Тому раціональний вибір значення коефіцієнта α є також оптимізаційним завданням.

У результаті фактичне значення магнітної сприйнятливості куска руди, виміряного з урахуванням електромагнітного фону, визначають як різницю двох сигналів: скоригованого сигналу від вимірювання куска руди і сигналу від електромагнітного фону при мінімальному впливі трьох електромагнітних чинників згідно з формулою:

$$\Delta U = \hat{U}_s - \hat{U}_b, \quad (13)$$

де ΔU - фактичне значення магнітної сприйнятливості куска руди; $\hat{U}_s$ - скоригований сигнал від вимірювання i -го куска руди;

$\hat{U}_b$ - сигнал від електромагнітного фону, виміряний тією самою котушкою за відсутності над нею вимірюваного куска руди і за мінімального рівня впливу електромагнітних чинників.

Отримані дані обчислення $\Delta U = f(k)$ порівнюють із критеріями сортування і залежно від результату порівняння приймають рішення про необхідність ежекції куска руди. У разі, якщо кусок не відповідає критеріям сортування (наприклад, гранітоїди, що мають слабку магнітну сприйнятливості, властиву для парамагнетиків), подальших дій не проводять. Якщо кусок відповідає критеріям сортування (наприклад, немагнітний мінерал кварц, що корельований із тонким золотом), то формують керуючі команди для системи пневмоклапанів, за допомогою яких шляхом подачі стисненого повітря виконують ежекцію кусків, утворених із кварцової жили. Керуючі команди ґрунтуються на завданні, до якого входить номер пневмоклапана, тривалості його перебування у відкритому (активному) стані та номера такту синхронізації. При цьому всі процеси від операцій сканування, вимірювання магнітної сприйнятливості, опрацювання, передавання даних і до ежекції синхронізують. Під впливом стисненого повітря, що виходить з активованих клапанів, кусок спрямовують у необхідний бункер. Процес сортування закінчують, коли всі куски розділені за критерієм сортування і знаходяться у відповідних бункерах.

Таким чином, завдяки використанню спеціальної матриці котушок сенсорного блока, введенню цілеспрямованих керуючих завдань при їхньому функціонуванні в консолідованій системі 3D-ЕМ та імпульсному методу вимірювань сигналів від куска руди й від електромагнітного фону, досягають реалізації прецизійної системи сортування з максимально високими показниками за чутливістю і точністю вимірювань магнітної сприйнятливості за високої продуктивності сортування руди.

Джерела інформації:

1. by N. J. KEYS, B.E. Met, R. J. GORDON and N. F. PEVERETT "Photometric sorting of ore on a South African gold mine" in "JOURNAL OF THE SOUTH AFRICAN INSTITUTE OF MINING AND METALLURGY", (опубл. вересень, 1974).

2. Патент RU № 2677716 на изобретение, "Способ сортировки материалов", КОММЕР Эдвард Дж. Мл., РУС Чарльз И. (опубл 27.09.2016, Бюл. № 27).

3. US Patent 7,541,557 B2 "Method for thermographic lump separation of raw material (variants) and device for carrying out said method (variants) Volodymyr M. Voloshyn, Viktor Y. Zubkevych (опубліковано 15.12.2015 р.).

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб сортування кускової руди, що включає мінерали зі слабкою магнітною сприйнятливостю та немагнітні мінерали, що включає дозоване подавання кускової руди на конвеєр, електромагнітний вплив на куски вхідної сировини, ідентифікацію кусків сировини за критерієм наявності корисного компонента, порівняння показника наявності корисного компонента в куску з його граничним значенням, формування потоків, один з яких містить корисний компонент, а інший являє собою порожню породу, який **відрізняється** тим, що в пам'ять обчислювального пристрою у вигляді контролера сортування вносять інформацію про геометричні параметри матриці розташування індукційних котушок, які включають у сенсори сенсорного блока, швидкість пересування кусків руди по конвеєрній стрічці, такти синхронізації у вигляді послідовності імпульсів, що фіксують зв'язок між переміщенням стрічки конвеєра та даними про

куску руди, нормовані коригувальні функції зниження вихідного сигналу сенсора залежно від крупності кусків, що сортуються, віддалення геометричного центра куску від центра індукційної котушки, геометричне розташування осі куску руди відносно вимірювальної осі індукційної котушки, особливості геометричних параметрів куску та фракційного складу руди за класами

5

крупності, а також за критеріями сортування з урахуванням порогового або нижнього і верхнього значень магнітної сприйнятливості куску руди, причому сенсори в сенсорному блоці розміщують, виходячи з необхідної чутливості одиначної індукційної котушки, водночас котушки встановлюють рядами перпендикулярно напрямку руху конвеєрної стрічки на відстані між

краями котушок у рядах матриці, яку визначають за залежністю:

10

$C = R_1 - D/2$,
де C - відстань між краями котушок у суміжних рядах матриці;
 R_1 - радіус, що визначає площу кола, у межах якого протягом активного стану n -ї котушки, суміжні з нею котушки, що перебувають у цьому самому ряді, мають бути неактивними;

D - зовнішній діаметр індукційної котушки, а котушки в кожному ряду матриці розміщують на відстані між краями суміжних котушок, що визначається за залежністю:

15

$C = (2R_1 - 3D)/4$,

де C_1 - відстань між краями суміжних котушок в одному ряду, водночас котушки в кожному наступному ряду розміщують відносно попереднього ряду зі зміщенням відносно напрямку руху конвеєрної стрічки з кроком, виходячи з умови:

20

$B \leq 0,3 \cdot D$,

де B - крок зміщення сусідніх котушок по діагоналі матриці, при цьому геометричні параметри матриці пов'язують із крупністю сортованої руди умовами:

$B \leq 1,4 \cdot F_{\min}$,

$C \geq 1,1 \cdot F_{\max}$,

25

де $F_{\min}$, $F_{\max}$ - мінімальна і максимальна крупності сортованої руди,

при цьому кускову руду подають за допомогою живильника на конвеєрну стрічку, після чого в зоні відповідності швидкості кусків руди, рівній швидкості переміщення конвеєрної стрічки, здійснюють фіксацію геометричних параметрів кожного куску за допомогою 3D-сканера і за допомогою контролера сортування обчислюють масив даних, до якого входять площа кожного куску, його об'єм, геометричні центри, інші геометричні параметри його прямокутної моделі та її просторового положення на конвеєрній стрічці, на підставі яких, а також на підставі масиву даних про геометричні параметри матриці сенсорного блока, за допомогою контролера сортування визначають черговість вимірів магнітної сприйнятливості окремих кусків з урахуванням затримок або випередження активації окремих котушок відповідно до формули:

30

$$\Delta Z_i = \sqrt{(\Delta X_i)^2 + (\pm \Delta Y_i)^2},$$

35

де ΔZ_i - абсолютне зміщення центра i -го куску руди відносно центра n -ї котушки;

$\pm \Delta Y_i$ - координати керуючого зміщення відносно осі Y_n , який має знак мінус у разі затримки команди активації котушки і знак плюс у разі випередження команди активації, номер індукційної котушки для вимірювання, що активується, а також формують керуючі команди для

40

вимірювання магнітної сприйнятливості кусків руди та електромагнітного фону, які передають до сенсорного блока, причому під час формування команди на вимірювання магнітної сприйнятливості кусків руди враховують координати їхніх геометричних центрів відносно центрів котушок, координати затримок або випередження активації котушок і кількість тактів синхронізації переміщення куску руди на стрічці над індукційними котушками, а також номер сенсора, який необхідно активувати, і номери тактового сигналу, за якого необхідно виконати активацію сенсора, а після підрахунку тактів синхронізації активують необхідний сенсор для процесу вимірювання, при цьому вимірювання сигналу від куску n -ю котушкою сенсора виконують при деактивованих суміжних котушках, які перебувають із нею в одному ряді матриці та здійснюють імпульсно протягом заданої тривалості часу, яку визначають, виходячи з

45

тривалості активації n -ї котушки з урахуванням крупності кусків та їхньої кількості, що знаходяться на одиниці площі стрічки, причому для вимірювання куску руди в зоні взаємодії його з індукційною котушкою її активацію здійснюють за допомогою автогенератора, яким генерують синусоїдальні сигнали частотою 5-10 кГц, причому для запобігання похибці через амплітудну і частотну нестабільність, не враховують 5-10 стартових коливань і 5-7 затухаючих

50

коливань після команди на зупинку автогенератора, а використовують тільки пачку з 5-30 вимірювальних синусоїдальних коливань, які за допомогою тригера Шмідта перетворюють на імпульси, з яких формують заданий вимірювальний інтервал безпосереднього вимірювання, який заповнюють імпульсами високої частоти 0,3-1,5 ГГц, а за кількістю імпульсів високої частоти, пропорційною магнітній сприйнятливості куску, визначають сигнал від вимірювання

55

куску руди, який для забезпечення високої точності вимірювання коригують відповідно до

60

виразу:

$$\dot{U}_s = f(K_1, K_2, K_3, K_4, K_5) \cdot U_s,$$

де $\dot{U}_s$ - скоригований сигнал від вимірюного куска руди, який також включає вплив магнітних властивостей стрічки конвеєра та зовнішнього середовища;

5 U_s - сигнал від вимірюного куска руди до операцій його коригування;

K_1 - функція залежності від крупності куска;

K_2 - функція залежності від віддалення геометричного центра куска від центра котушки;

K_3 - функція залежності від геометричного розташування осі куска відносно вимірювальної осі котушки;

10 K_4 - функція залежності від особливостей геометричної форми куска;

K_5 - функція залежності від впливу сусідніх кусків, що знаходяться поблизу вимірюваного куска, під час його вимірювання п-ю котушкою,

водночас мінімальне значення вимірювання сигналу електромагнітного фону п-ю котушкою забезпечують деактивуванням суміжних котушок, що перебувають із нею в одному ряду матриці

15 в межах радіуса R_1 , визначенням площі ділянки на стрічці з мінімальним впливом інших кусків завдяки діаметру кола згідно з виразом:

$$D_2 \geq 1,15 \cdot D,$$

де D_2 - діаметр кола, що визначає площу області, в межах якої на рухомій стрічці не повинні перебувати цілі куски руди або їх частини,

20 а також зниженням низькочастотної складової фону, згідно з яким час між вимірами сигналу від куска руди та сигналу від електромагнітного фону має бути мінімальним, обмеженим відрізком стрічки згідно з формулою:

$$E = D + C,$$

де E - довжина відрізка на стрічці конвеєра, що обмежує область, у межах якої проводиться вимірювання електромагнітного фону;

25 і зниженням високочастотної складової спектра фону завдяки використанню цифрового експоненціального фільтра, причому виконують кілька вимірювань до і після вимірювання куска, при цьому вибирають із них вимірювання з мінімальним значенням, яке приймають за поточне значення фону, яке разом із попередніми вимірами використовують для обчислення поточного

30 середнього значення фону, яке приймають як результуючий сигнал значення електромагнітного фону згідно з формулою:

$$\dot{U}_b(i) = \alpha \cdot \min(U_b(i)) + (1 - \alpha) \cdot \dot{U}_b(i-1),$$

де $\dot{U}_b(i)$ - поточне середнє значення електромагнітного фону, що належить до часу вимірювання п-ю котушкою і-го куска руди;

35 $\min(U_b(i))$ - мінімальне значення фону з кількох останніх його вимірювань п-ю котушкою, виконаних до і після вимірювання нею і-го куска руди;

$\dot{U}_b(i-1)$ - середнє значення електромагнітного фону, що належить до часу вимірювання п-ю котушкою попереднього (і-1)-го куска руди;

α - коефіцієнт згладжування експоненціального фільтра ($0 < \alpha < 1$),

40 відповідний деякій кількості імпульсів високої частоти, пропорційній магнітній сприйнятливості довкілля, зокрема й стрічки конвеєра, після чого фактичне значення магнітної сприйнятливості куска руди, відповідне до максимальної чутливості й точності системи вимірювання, визначають як різницю двох сигналів за виразом:

$$\Delta U = \dot{U}_s - \dot{U}_b,$$

45 де ΔU - сигнал фактичного значення магнітної сприйнятливості куска,

$\dot{U}_s$ - скоригований сигнал від вимірювання куска руди п-ю котушкою,

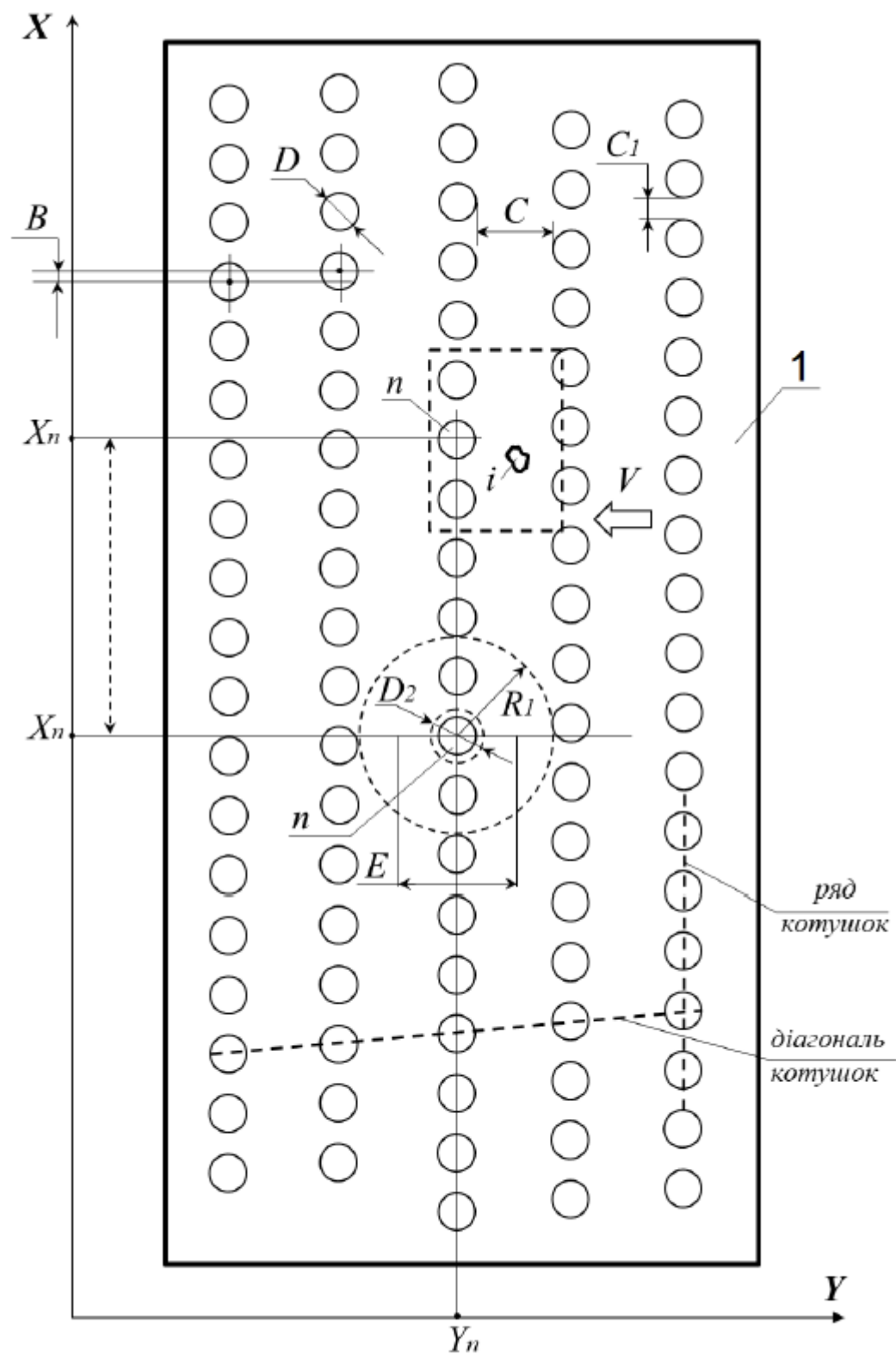
$\dot{U}_b$ - сигнал електромагнітного фону, виміряний тією самою котушкою за відсутності над нею вимірюваного куска і за мінімального рівня впливу електромагнітних чинників, а після обчислення різниці від скоригованого сигналу від куска руди і сигналу мінімального значення

50 електромагнітного фону отримують сигнал фактичного значення магнітної сприйнятливості куска і, відповідно, корельовану або не корельовану з нею масову частку корисного компонента, який порівнюють із критеріями сортування та залежно від результату формують керуючі команди сортування для системи пневмоклапанів, до того ж у разі, якщо кусок не відповідає критеріям сортування, то кусок спрямовують у відвал, якщо кусок відповідає критеріям

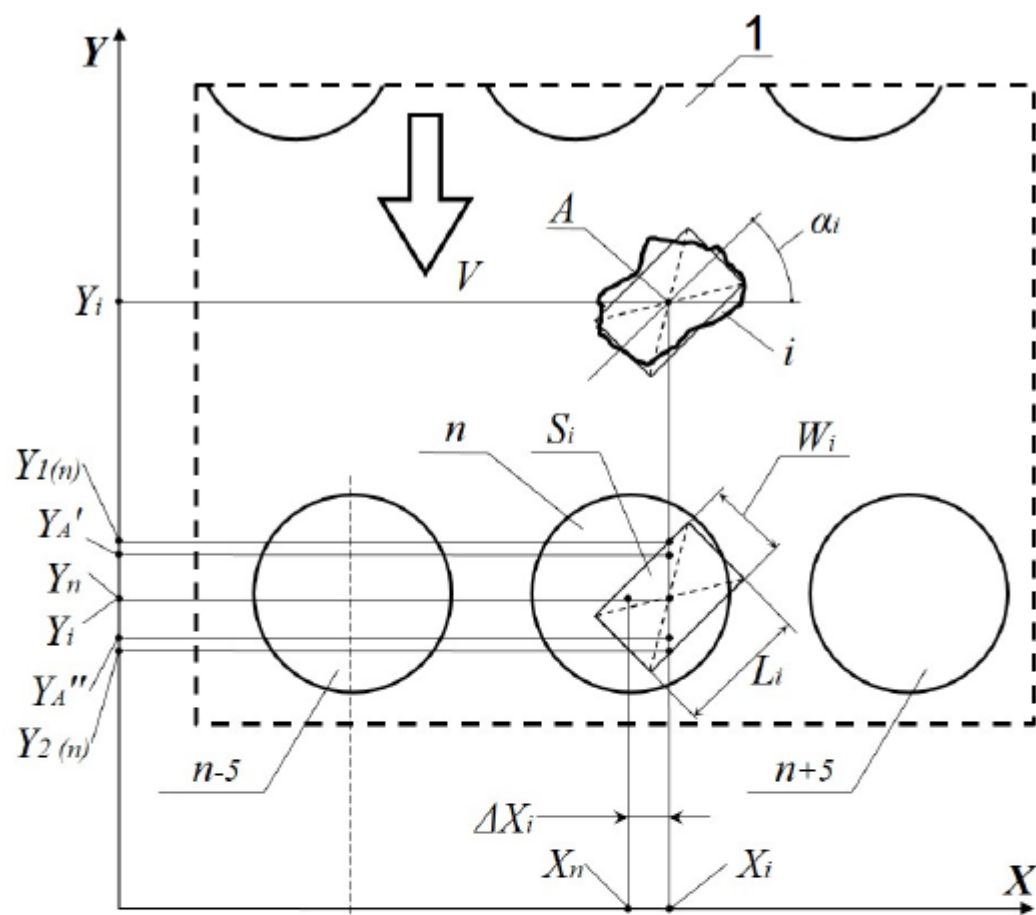
55 сортування, то формують керуючі команди, за допомогою яких шляхом подавання стисненого повітря здійснюють ежекцію кусків у приймальний бункер, причому керуючу команду пневмоклапана подають, виходячи з його положення відносно конвеєрної стрічки, швидкості її руху, часу руху куска за траєкторією вільного падіння, розміру куска, номера пневмоклапана, номера такту синхронізації, який відповідає моменту відкривання клапана, тривалості його перебування у відкритому стані, яким забезпечують за допомогою стисненого повітря ежекцію

60 перебування у відкритому стані, яким забезпечують за допомогою стисненого повітря ежекцію

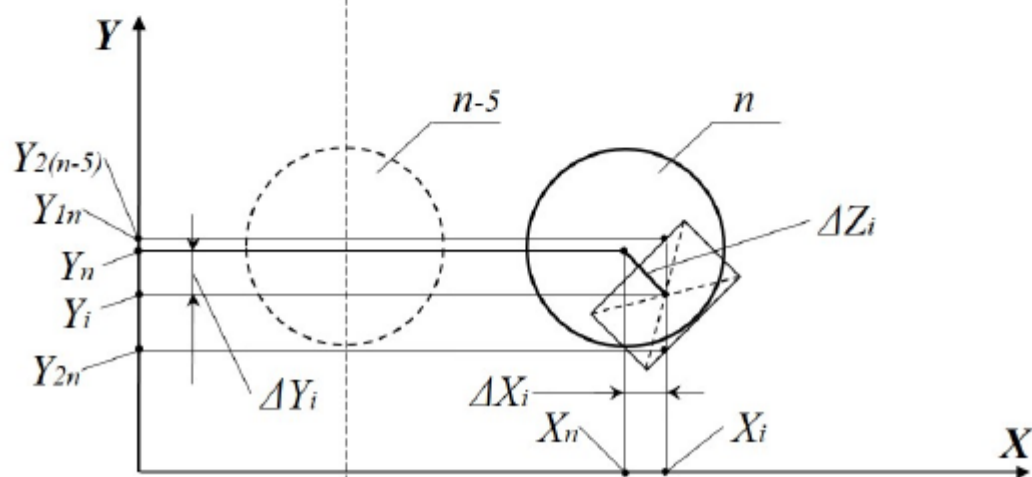
куска та направляють його у відповідний бункер продуктів сортування.



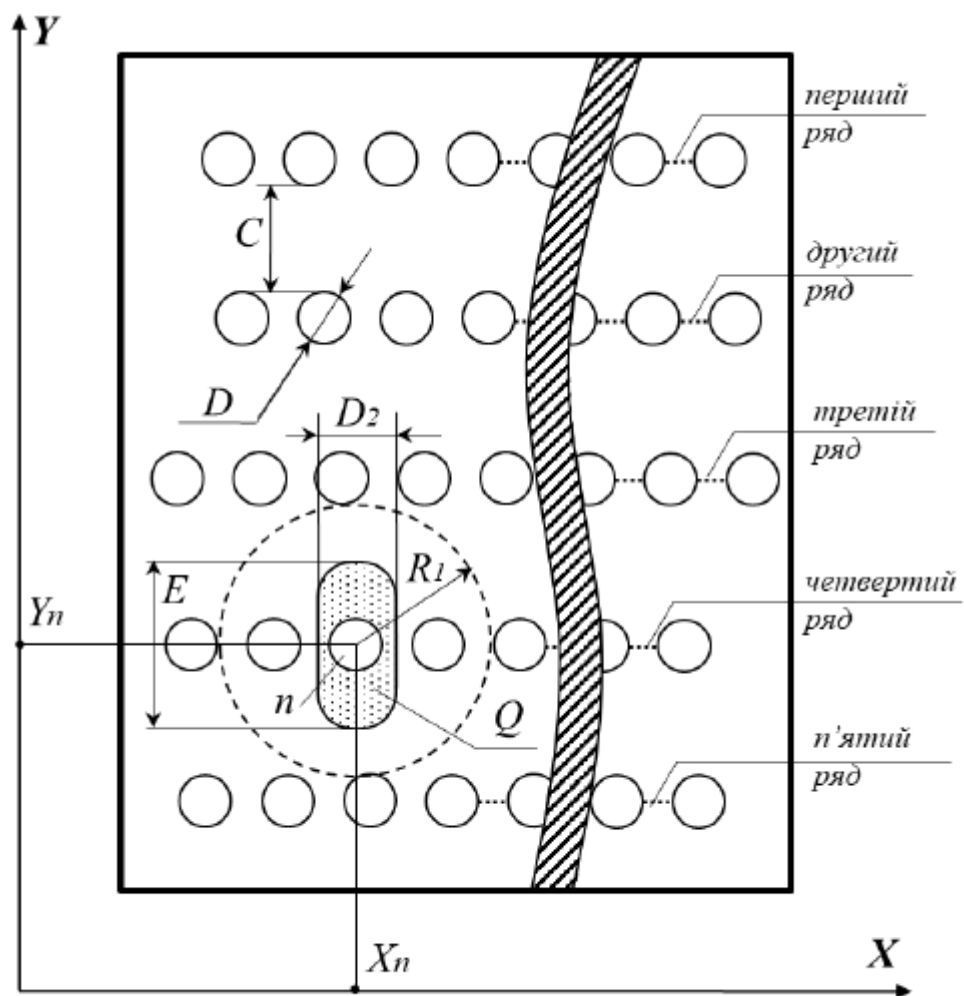
Фиг. 1



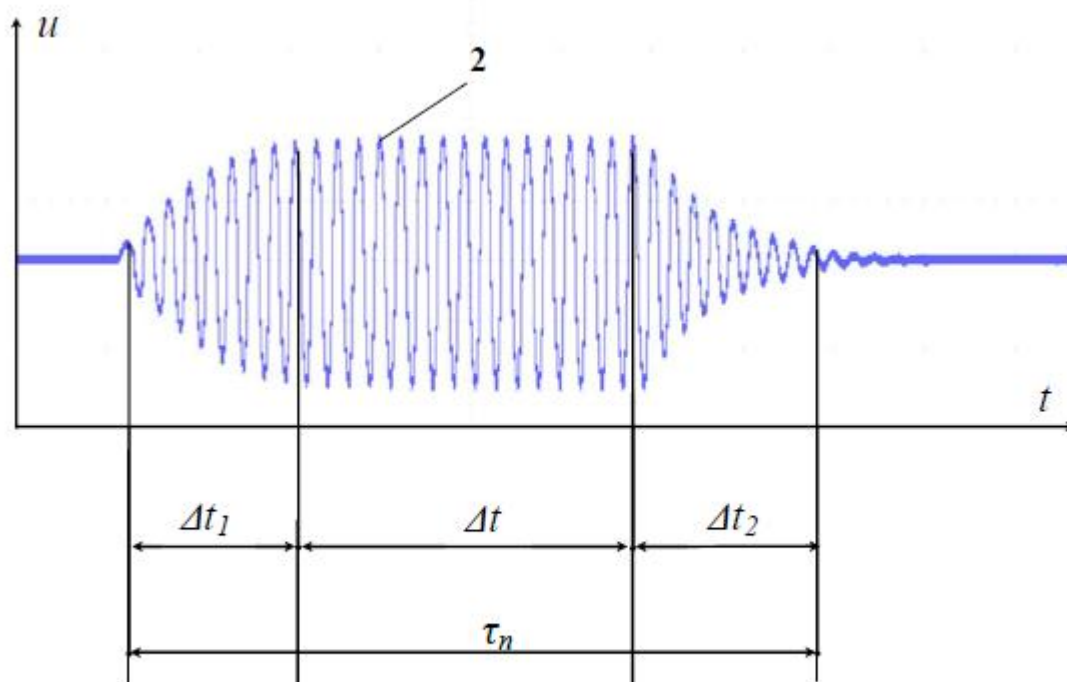
Фиг. 2



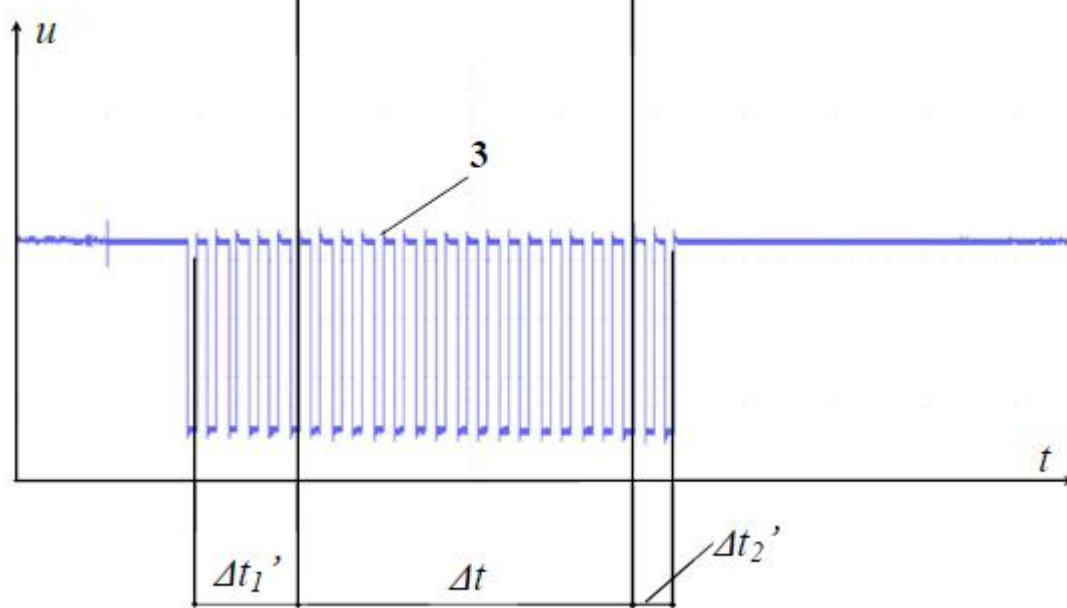
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6