

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, яка містить 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 пристрій для сортування рудної маси, що являє собою рентгенолюмінесцентний сепаратор, який містить засіб транспортування сепарованого матеріалу, джерело імпульсного збуджувального рентгенівського випромінювання, розташоване над поверхнею матеріалу, що транспортується, з можливістю його опромінення на ділянці траєкторії вільного падіння матеріалу поблизу місця його сходження із засобу транспортування, фотоприймальний пристрій для реєстрації люмінесценції, розташований по один бік із джерелом імпульсного збуджувального рентгенівського випромінювання відносно опромінюваної поверхні матеріалу, що транспортується, з можливістю поєднання ділянки реєстрації люмінесценції матеріалу, що транспортується, на ділянці траєкторії його вільного падіння, яка співпадає з областю опромінення, задавач порогових значень інтенсивності сигналу люмінесценції та порогових значень параметрів розділення, блок синхронізації, пристрій цифрового опрацювання сигналу люмінесценції, забезпечений функціями визначення параметрів поділу, порівняння отриманих значень параметрів із відповідними заданими пороговими значеннями та вироблення команди виконавчому механізму, виконавчий механізм та приймачі збагаченого і хвостового продуктів.

Фотоприймальний пристрій виконано з можливістю одночасного посилення реєстрованого сигналу з різним коефіцієнтом посилення. Як параметри поділу в пристрої цифрового оброблення сигналу люмінесценції можуть бути визначені значення таких характеристик сигналу люмінесценції, як нормована автокореляційна функція, відношення сумарної інтенсивності швидкої та повільної компоненти сигналу до інтенсивності його повільної компоненти та постійна часу загасання люмінесценції після завершення збуджувального імпульсу, а також значення інтенсивності швидкої компоненти сигналу люмінесценції [1].

Недоліком відомого пристрою є те, що під час вилучення слабо-люмінесцентних мінералів, інтенсивність люмінесценції повільної компоненти яких нижча за порогове значення, селективність недостатньо висока. Це зумовлено тим, що фотоприймальний пристрій реєструє сумарну інтенсивність люмінесценції, що виникає під час дії імпульсу рентгенівського випромінювання, до якої входить як інтенсивність швидкої компоненти люмінесценції мінералу, так і інтенсивність світлового сигналу повітря, різноманітних парів, часток породи й супутніх мінералів, а також інтенсивність світлового сигналу повітря, різних парів, часток породи і супутніх мінералів. Інтенсивність цього світлового сигналу має високу флуктуацію, що визначає відносно високе порогове значення інтенсивності швидкої компоненти сигналу люмінесценції.

Відомий пристрій для сортування мінеральної кускової сировини для сухого попереднього добору та процесу сортування руд чорних, кольорових металів, а також інших видів руд і сировини.

Конструкція передбачає приймальний бункер-накопичувач, до якого завантажуються кускова руда, яка за допомогою живильника надходить на транспортний орган у вигляді конвеєра. Пристрій живильника ґрунтується на тому, що він має забезпечувати рівномірний без навалів розподіл кускової сировини на конвеєрній стрічці. У зоні горизонтального руху кусків, перпендикулярно до площини конвеєрної стрічки, розташований випромінювач рентгенівського випромінювання, а під конвеєрною стрічкою - приймач рентгенівського випромінювання.

Під час впливу рентгенівського випромінювання на куски руди на конвеєрній стрічці відбувається часткове поглинання випромінювання кожним куском. Залежно від масової частки корисного компонента в куску різний ступінь поглинання рентгенівського випромінювання. За ступенем

випромінювання судять про величину масової частки корисного компонента в куску руди. Якщо масова частка корисного компонента в куску менша за задане порогового значення, то на підставі керуючої команди на кусок впливають спрямованим повітряним потоком, відокремлюючи кусок порожньої породи у відповідний бункер. Якщо масова частка корисного компонента не менша за порогове значення, то на кусок руди не впливають повітряним потоком, і він не змінює траєкторію руху після сходу з конвеєра, надходячи в бункер зі збагаченим продуктом [2].

Недоліком відомого пристрою є те, що наявність рентгенівського випромінювання зумовлює необхідність комплексу заходів, що забезпечують безпеку роботи обслуговуючого персоналу.

Для отримання коректної картини масової частки корисного компонента необхідний його рівномірний розподіл у куску руди, а також необхідно дотримуватися чітко заданого діапазону гранулометричного складу сепарованого матеріалу.

Фіксація ступеня поглинання через полотно конвеєрної стрічки вносить похибки у вимірювання масової частки корисного компонента в куску руди.

Найближчим рішенням, вибраним як найближчий аналог, є пристрій для сепарації кускової сировини, що включає пристрій дозованої подачі кусків сировини на конвеєр, пристрій попереднього електромагнітного впливу на куски сировини, систему ідентифікації кусків сировини та систему поділу кусків сировини на потоки, один з яких містить корисний компонент, а інший являє собою порожню породу [3].

Пристрій містить пристрій дозованої подачі кусків первинної сировини, що містить: приймальний бункер, живильник з електроприводом і системою керування електроприводом живильника і валкового розкладальника; конвеєра з електроприводом і системою керування електроприводом конвеєра; установку надвисокої частоти (НВЧ) випромінювання із системою керування та камерою НВЧ нагрівання; термографічну систему з термодатчиками; вхідний інтерфейс; обчислювальний пристрій; вихідний інтерфейс; формувач імпульсів керування електропневмоклапаном, блок тимчасової затримки, пристрій порівняння; світловий вузькоспрямований випромінювач, фотоприймач; датчик положення; розділювальний пристрій із приймачами порожньої породи і концентрату. При цьому вихід термографічної системи з'єднано з першим входом вхідного інтерфейсу, вихід якого з'єднано через обчислювальний пристрій із входом вихідного інтерфейсу; перший вихід вихідного інтерфейсу з'єднаний із першим входом пристрою порівняння, другий вхід якого з'єднаний із виходом фотоприймача світлового випромінювача, а вихід через блок тимчасової затримки і формувач імпульсів з'єднаний із входом електропневмоклапана; другий вихід вихідного інтерфейсу з'єднаний із системою керування електроприводом живильника пристрою дозованого подавання кусків первинної сировини, третій вихід вихідного інтерфейсу з'єднаний через систему керування із входом установки НВЧ випромінювання приєднаної до камери НВЧ нагрівання; четвертий вихід вихідного інтерфейсу з'єднаний із системою керування електроприводом конвеєра, на валу якого встановлений датчик положення, з'єднаний із другим входом вхідного інтерфейсу. Куски первинної сировини, що складаються з корисного компонента і порожньої породи, в камері НВЧ нагрівання опромінюються електромагнітним полем. За час нагрівання корисний компонент і порожня порода нагріються до різної температури. Після припинення впливу електромагнітного поля НВЧ 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 визначатимуться властивостями корисного компонента і порожньої породи та співвідношенням їхніх масових часток. Вимірюючи за допомогою термодатчиків і термографічної системи характеристики 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.

Недоліком відомого пристрою є невисока продуктивність процесу, зумовлена часом, необхідним для обробки куска руди випромінюванням надвисокої частоти, а також часом проходження теплообмінних процесів, необхідним для встановлення теплової картини.

Ефективна робота пристрою забезпечується за максимально вузького діапазону гранулометричного складу рудної маси, що підлягає сепаруванню, для забезпечення рівномірного нагріву кусків у зоні опромінення надвисокою частотою.

Висока продуктивність пристрою потребує підвищення енергетичних витрат на реалізацію процесу сепарації. Пристрій потребує виконання заходів, що забезпечують безпеку робіт і захист персоналу від впливу випромінювання надвисокої частоти.

Ефективність пристрою обмежується рудами, де корисний компонент має явно виражені фізичні властивості, відмінні від фізичних властивостей гірських порід.

Використання пристрою ускладнене під час сепарації руд, де корисний компонент є дрібнокрапленим і в низькій концентрації, оскільки ускладнено визначення його масової частки під час опромінення випромінюванням надвисокої частоти.

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

- використання 3D-лазера для створення масиву вхідних даних з метою ідентифікації кожного куска рудної маси за критерієм їхніх геометричних параметрів і просторових координат геометричних центрів кусків відносно системи котушок сенсорного блока;

- використання як вимірювального пристрою системи електромагнітних сенсорів із системою індукційних котушок, об'єднаних у матрицю, у якій котушки розміщені порядно, перпендикулярно напрямку руху стрічки, котушки наступного ряду зміщені за діагоналлю щодо котушок попереднього ряду відносно напрямку руху стрічки, при цьому, відстань між котушками в кожному ряду та по діагоналі визначається завдяки використанню спеціальної матриці;

- вимірювання магнітної сприйнятливості кусків, що ґрунтується на імпульсному методі, при цьому масив даних 3D-лазера є керівним, на основі якого здійснюється управління вимірюваннями окремими сенсорами матриці;

- отримання результату вимірювання, утвореного як різниця двох сигналів: від вимірювання куска руди і від вимірювання електромагнітного фону за відсутності куска, водночас для придушення фону застосовують спеціальні методи цифрової обробки сигналів;

- консолідованої роботи 3D-лазера і матриці індукційних електромагнітних (ЕМ) сенсорів реалізується прецизійна система 3D-ЕМ сортування, що володіє новими якостями: гранично високою чутливістю, високою точністю вимірів і високою продуктивністю, використання яких дає змогу залучити до процесу перероблення низку типів руд зі слабкою магнітною сприйнятливістю складових мінералів, які раніше або взагалі не збагачувались, або результати їхнього збагачення були неефективними, до них належать:

- а) руди, що містять мінерали з близькими атомарними масами, для сортування яких потрібен інструмент з дуже високою точністю (роздільною здатністю), наприклад, залізомарганцеві руди масивної текстури;

- б) руди з гранично низькою концентрацією корисного компонента, який корельований із немагнітними або слабomagнітними мінералами, що розділяються, наприклад, тонке золото, дислоковане в родовищах із вузькими кварцовими жилами;

- в) руди, що містять роздільні мінерали з низькою атомарною масою корисного компонента, наприклад, це мінеральний ресурс, на якому X-RAY методи показують недостатню ефективність;

- г) руди рідкоземельних металів (РЗМ), у яких корисний компонент корельований із вкрапленою або жильною текстурою мінералів, дислокованих у кислих або ультракислих порожніх породах, для сортування яких потрібен інструмент із гранично високою чутливістю, наприклад, РЗМ у пегматитових рудах.

Поставлена задача вирішується тим, що пристрій для сортування кускової руди, яка містить мінерали зі слабкою магнітною сприйнятливістю та немагнітні мінерали, включає пристрій дозованої подачі кусків руди на конвеєр, пристрій електромагнітного впливу на куски, систему ідентифікації кусків сировини за критерієм наявності корисного компоненту та систему розподілу кусків на потоки, один з яких містить корисний компонент, а інший порожню породу, згідно з корисною моделлю, містить 3D-сканер, розміщений над конвеєрною стрічкою і виконаний з можливістю попереднього ідентифікуючого впливу на куски руди за критерієм їхніх геометричних параметрів, просторової орієнтації, крім того пристрій містить контролер сортування, сенсорний блок, людино-машинний інтерфейс, енкодер і блок пневмоклапанів, при цьому сенсорний блок містить блок обробки сигналів, інтерфейс обміну даними та матрицю сенсорів, у якій сенсори розташовані за спеціальною координатною сіткою, призначеної для вимірювання магнітної сприйнятливості кусків із парамагнітними властивостями, при цьому кожен сенсор виконаний у вигляді індукційної котушки, увімкненої у вимірювальний автогенератор, який з'єднаний з тригером Шмідта і блоком обробки сигналів, який за допомогою ключа активації з'єднаний з автогенератором, а контролер сортування містить обчислювальний блок, блок керування клапанами та блок синхронізації, при цьому обчислювальний блок містить модуль зберігання початкових даних і констант, модуль вимірювання геометричних параметрів кусків і формування затримок активації котушок, модуль компенсації геометричних розмірів кусків та їхнього розміщення на конвеєрній стрічці, модуль усунення взаємного впливу окремих кусків і вимірювання електромагнітного фону, блок обробки даних і сигналів керування для сенсорного блока, а також інтерфейси зв'язку, при цьому блок синхронізації містить цифровий вхід сигналу синхронізації, блок обробки команд і сигналів синхронізації, а також інтерфейс обміну даними, при цьому блок керування клапанами містить блок обробки команд та інтерфейс обміну даними, а людино-машинний інтерфейс містить інтерфейс вводу-виводу та інтерфейс обміну даними, при цьому 3D-сканер своїм оптичним входом пов'язаний із кусковою рудою на конвеєрній стрічці, входом синхронізації пов'язаний із цифровими виходами синхронізації блока синхронізації, а виходом пов'язаний через інтерфейс обміну даними з блоком обробки даних і сигналів керування для сенсорного блока, при цьому в обчислювальному блоці модуль зберігання початкових даних і констант, модуль вимірювання геометричних параметрів кусків, модуль компенсації геометричних розмірів кусків та їхнього розміщення на конвеєрній стрічці, модуль усунення взаємного впливу окремих кусків і вимірювання електромагнітного фону пов'язані з блоком обробки даних і сигналів

керування для сенсорного блока, який пов'язаний із двома інтерфейсами обміну даними, один із яких пов'язаний з інтерфейсом обміну даними сенсорного блока, а інший інтерфейс обміну даними обчислювального блока пов'язаний з виходом 3D-сканера і через інтерфейс обміну даними пов'язаний з інтерфейсом вводу-виводу людино-машинного інтерфейсу, при цьому в блоці синхронізації інтерфейс обміну даними пов'язаний з інтерфейсом обміну даними обчислювального блока, а також блоком обробки команд і сигналів синхронізації, який пов'язаний із цифровими виходами сигналів синхронізації блока синхронізації, а також цифровим входом сигналу синхронізації, який пов'язаний з енкодером пристрою, що пов'язаний із конвеєром, при цьому інтерфейс обміну даними блока керування клапанами пов'язаний з інтерфейсом обміну даними обчислювального блока, а також із блоком опрацювання команд, який пов'язаний із цифровими виходами сигналів синхронізації блока синхронізації, а також блоком пневмоклапанів, при цьому блок цифрових виходів сигналів синхронізації через блок обробки сигналів сенсорного блока пов'язаний із матрицею сенсорів, яка взаємодіє з кусковою рудою на конвеєрній стрічці, водночас інтерфейс обміну даними сенсорного блока пов'язаний із блоком обробки сигналів.

Технічний результат від реалізації пристрою для сортування руди, що містить мінерали зі слабкою магнітною сприйнятливістю та немагнітні мінерали, полягає в тому, що:

- пристрій дає змогу ідентифікувати корисний компонент, корельований у руді зі слабomagнітними або немагнітними її мінералами, що дає змогу залучити до процесу попереднього збагачення мінеральний ресурс, який або взагалі не підлягав збагаченню, або ж цей процес був малоефективним;
- пристрій дає змогу ідентифікувати корисний компонент у куску незалежно від ваги куска, його форми та просторової орієнтації на конвеєрній стрічці;
- пристрій має низьку енергоємність, і його експлуатація незначною мірою позначається на собівартості збагачення корисних копалин;
- пристрій працює в широкому діапазоні класів крупності руди, що дає змогу ефективно його використовувати і на малих родовищах і рудопроявах, яким властиві невеликі потоки перероблення мінеральної сировини;
- пристрій дає змогу здійснювати збагачення сировини, видобутої з родовищ природного та техногенного походження;
- забезпечується висока продуктивність пристрою завдяки малому проміжку часу, необхідного для прийняття рішення про корисний або порожній кусок руди на підставі оцінювання вмісту слабomagнітних або немагнітних мінералів у куску;
- пристрій дає змогу використовувати його в ланцюзі технологічних агрегатів для збагачення руд зі слабomagнітними властивостями, характерними для парамагнітних мінералів або немагнітними властивостями, як діаманти, а також для феромагнітних руд;
- залежно від необхідної продуктивності та дислокації родовища мінерального ресурсу пристрій може бути виконаний у стаціонарному або мобільному вигляді.

Пристрій ілюструється схемами, де на фіг. 1 - показано компонувальну схему взаємодії вузлів пристрою; на фіг. 2 - показано структурну схему пристрою; на фіг. 3 і 4 - показано блокові схеми пристрою; на фіг. 5 - блокову схему електронних елементів сенсора.

Пристрій для сепарації кускових руд зі слабкою магнітною сприйнятливістю містить живильник дозованої подачі кусків руди на конвеєр 27, систему сортування, що містить 3D-сканер 1, контролер сортування 2 і сенсорний блок 3, людино-машинний інтерфейс 4, а також систему розділу у вигляді блока пневмоклапанів 28, що призначені для поділу руди на концентрат і порожню породу. 3D-сканер 1 пристрою розміщений над конвеєром 27, на початку ділянки після заспокоєння кусків на стрічці, сенсорний блок розміщений під конвеєром 27, на початку ділянки стрічки, на якій 3D-сканер уже просканував заспокоєні куски. При цьому людино-машинний інтерфейс 4 містить інтерфейс 8 введення-виведення інформації та інтерфейс 9 обміну даними.

Контролер сортування 2 містить обчислювальний блок 10, блок керування клапанами 18 і блок синхронізації 21.

Обчислювальний блок 10 містить модуль 11 зберігання початкових даних і констант, модуль 12 вимірювання геометричних параметрів кусків і формування затримок активації котушок, модуль 13 компенсації геометричних параметрів кусків і їх розміщення на конвеєрній стрічці, модуль 14 усунення взаємного впливу окремих кусків і вимірювання електромагнітного фону, які пов'язані з блоком 15 обробки даних і сигналів управління для сенсорного блока, який пов'язаний із двома інтерфейсами 16, 17 обміну даними. Інтерфейс 16 пов'язаний з інтерфейсом 7 обміну даними сенсорного блока 3. Інтерфейс 17 пов'язаний із 3D-сканером 1 та інтерфейсом 9 обміну даними, який пов'язаний з інтерфейсом 8 вводу-виводу людино-машинного інтерфейсу 4.

Блок 21 синхронізації містить блок 23 цифрових виходів сигналів синхронізації, блок 24 обробки команд і сигналів синхронізації, блок 25 цифрового входу сигналу синхронізації, а також інтерфейс 22 обміну даними. Інтерфейс 22 обміну даними блока синхронізації 21 пов'язаний через блок 24 обробки команд і сигналів синхронізації з блоком 25, цифровий вхід якого пов'язаний з енкодером 26, механічно пов'язаним з віссю ролика конвеєра.

Блок 18 керування клапанами містить блок 20 обробки команд та інтерфейс 19 обміну даними. Інтерфейс 19 обміну даними блока 18 керування клапанами пов'язаний із блоком 20 обробки команд, який пов'язаний із блоком 23 цифрових виходів сигналів синхронізації блока 21 синхронізації, а також із блоком 28 пневмоклапанів. Блок 23 цифрових виходів сигналів синхронізації пов'язаний із матрицею сенсорів 6, які взаємодіють із кусковою рудою на стрічці конвеєра. Інтерфейс 7 обміну даними сенсорного блока 3 пов'язаний із блоком 5 обробки сигналів.

3D-сканер 1 через оптичний вхід пов'язаний зі кусками руди, через вхід синхронізації пов'язаний із блоком 23 цифрових виходів сигналів синхронізації, виходом пов'язаний з інтерфейсом 17 обміну даними та реєструє розташування кусків руди на конвеєрній стрічці. При цьому інтерфейс 16 обміну даними обчислювального блока 10 пов'язаний з інтерфейсом 22 обміну даними блока синхронізації 21 і з інтерфейсом 19 обміну даними блока 18 управління клапанами.

Сенсорний блок 3 містить блок 5 обробки сигналів, матрицю сенсорів 6 та інтерфейс 7 обміну даними. При цьому блок 5 обробки сигналів через інтерфейс 7 обміну даними пов'язаний з обчислювальним блоком 10 і з блоком синхронізації 21.

Людино-машинний інтерфейс 4 містить інтерфейс 8 введення-виведення та інтерфейс 9 обміну даними. При цьому інтерфейс 8 пов'язаний з інтерфейсом 9, який через інтерфейс 17 під'єднаний до блока 15 обробки даних і сигналів керування для сенсорного блока.

У пристрої для сепарації руд зі слабкою магнітною сприйнятливістю основні функціональні елементи мають таке призначення:

3D-сканер 1 виконує сканування кусків руди, що транспортуються конвеєром, і має такі зовнішні комунікації: оптичний вхід, вхід синхронізації та вихід цифрових даних.

Контролер сортування 2 складається з таких основних частин.

Обчислювальний блок 10 - виконує опрацювання даних від 3D-сканера, керує роботою сенсорного блока 3, блока керування клапанами 18 і блока синхронізації 21, а також виконує математичні обчислення.

Модуль 11 вихідних даних і констант призначений для збереження первинної інформації для виконання обчислень.

Модуль 12 вимірювання геометричних параметрів кусків і формування затримок активації котушок виконує обчислення геометричних параметрів кусків руди та їхніх прямокутних моделей, визначає номери сенсорів, що активуються, і затримки (або випередження) активації сенсорів.

Модуль 13 компенсації геометричних розмірів кусків та їхнього розміщення коригує виміряне значення магнітної сприйнятливості залежно від: об'єму кусків, відстані між центром куска та центром котушки сенсора, площинного розташування та особливостей форми кусків.

Модуль 14 усунення взаємовпливу окремих кусків і вимірювання електромагнітного фону компенсує вплив прилеглих сусідніх кусків руди на вимірюваний кусок, вимірює електромагнітний фон і виконує обчислення для забезпечення його мінімального значення.

Блок 15 обробки даних і сигналів керування для сенсорного блока є головним пристроєм обчислювального блока 10. Він виконує поточні обчислення, координує роботу допоміжних обчислювальних пристроїв (модулів 11-14), а також відповідає за аналіз даних і прийняття рішень щодо сортування відповідно до його критеріїв.

Інтерфейс обміну даними (RS-422) 22 виконує функцію обміну даними всередині контролера сортування 2, з обчислювальним блоком 10, а також між сенсорним блоком 3, блоком 18 керування клапанами і блоком 21 синхронізації.

Інтерфейс обміну даними (Ethernet) 17 призначений для обміну даними всередині контролера сортування 2, з 3D-сканером 1 і людино-машинним інтерфейсом 4.

Блок 18 керування клапанами входить до складу контролера сортування 2 і керує роботою блока 28 пневмоклапанів.

Блок 20 обробки команд - відповідає за керування роботою пневмоклапанів.

Блок 21 синхронізації є частиною контролера сортування 2 і формує сигнали синхронізації (тактування) для всієї системи сортування.

Цифрові виходи 23 сигналів синхронізації - виходи синхронізації (тактування) для сенсорного блока 3, блока керування клапанами 18 і 3D-сканера 1.

Блок 24 обробки команд і сигналів синхронізації - зчитує номери тактових сигналів від енодера 26, а також, за потреби, може формувати тестові сигнали синхронізації.

Цифровий вхід 25 сигналу синхронізації - вхід для підключення енодера.

Сенсорний блок 3 виконує вимірювання магнітної сприйнятливості кусків руди, що рухаються на конвеєрній стрічці і складається з основних частин:

1). Блок 5 обробки сигналів призначений для керування сенсорами сенсорного блока 3, цифрової обробки сигналів від сенсорів, зберігання даних вимірювань і комунікації з контролером сортування 2. Він забезпечує: формування, передавання та отримання команд на вимірювання від контролера сортування 2, формування завдання, що складається з номера такту від блока синхронізації 21 і номера сенсора; підрахунок імпульсів високої частоти протягом інтервалу безпосереднього

вимірювання, зберігання результатів вимірювання в оперативній пам'яті до надходження команди на їх читання.

2). Матриця сенсорів 6 - система індуктивних сенсорів, котушки якої розташовані за спеціальною координатною сіткою, що призначена для вимірювання магнітної сприйнятливості кусків руди з парамагнітними властивостями.

Сенсор 29 складається з таких функціональних елементів:

- Індукційна котушка 30 є складовою частиною резонансного коливального контуру, що визначає частоту автогенератора 31.

- Автогенератор 31 генерує сигнал, за формою близький до гармонійного. За наявності над котушкою куска руди з парамагнітними властивостями змінюється індуктивність котушки, що призводить до зміни частоти автогенератора.

- Ключ активації 32 відповідає за активацію автогенератора 31 і всього сенсора за командою від блока 5 обробки сигналів.

- Тригер Шмітта 33 здійснює формування імпульсних сигналів для подальшого передавання в блок 5 обробки сигналів.

Людино-машинний інтерфейс 4 виконує функції завдання критеріїв сортування, моніторингу та контролю роботи блоків і модулів пристрою.

Інтерфейс 8 вводу-виводу служить для відображення службової інформації, введення параметрів системи та критеріїв сортування.

Енкодер 26 генерує задаючі сигнали синхронізації системи.

Конвеєр 27 виконує функцію транспортування кусків руди.

Блок пневмоклапанів 28 за допомогою стисненого повітря здійснює зміну траєкторії руху кусків руди.

Пристрій сортування призначений для сортування кускових руд із парамагнітними властивостями залежно від критерію сортування - магнітної сприйнятливості окремих кусків руди.

Пристрій реалізується на прикладі використання такого обладнання:

- 3D-сканер 1 на основі лазерів Gocator 2491A;

- обчислювальний блок 10: блок 15 опрацювання даних і сигналів для управління сенсорного блока на основі комп'ютера Matrix MVP-5101/M16G; допоміжні обчислювальні модулі 11-14 на основі мікроконтролерів STM32F103;

- блок 5 обробки сигналів, що складається з двох субблоків: формування та передавання команд на основі STM32F103 і підрахунку імпульсів високої частоти на основі FPGA Cyclone IV;

- матриця сенсорів 6: на прикладі сортованої руди крупності 10-80 мм на стрічці завширшки 1500 мм являє собою плоску конструкцію, яка складається з 96 котушок, що утворюють 5 рядів і розміщені у 18 повних діагоналей по 5 од. котушок і 2 неповні діагоналі по 3 од. котушок (параметри матриці): $D=48,0$ мм, $B=14,0$ мм, $R_1=113,2$ мм, $C=89,2$ мм, $C_1=20,6$ мм, $D_2=55,2$ мм, $E=137,2$ мм); при цьому кожна котушка з'єднана з електронними елементами де індукційна котушка 30 з'єднана з електронними елементами 31-33, які всі разом утворюють сенсор 29;

- індукційна котушка 30 має круглу форму, котушка намотана тонким мідним дротом і встановлена на феритовий сердечник.

Розглянемо роботу пристрою на прикладі п-котушки, яка має виміряти і-кусок руди (вважаємо, що відстань між центром п-котушки та центром і-куски є мінімальною).

Робота всіх функціональних блоків синхронізована за допомогою синхросигналів від блока синхронізації 21. До осі ролика конвеєра 27 приєднаний енкодер 26, який генерує сигнали синхронізації, що надходять через цифровий вхід блока 25 синхронізації. Блок 23 вихідних сигналів синхронізації синхронізує роботу 3D-сканера, сенсорного блока 3 і блока керування клапанами. Кожен функціональний блок рахує імпульси (такти) синхронізації, що дає змогу відстежувати куски на конвеєрі. Обчислювальний блок 10 не має у своєму складі входу сигналів синхронізації, номер такту синхронізації передає на нього блок 24 опрацювання команд і сигналів синхронізації через інтерфейс обміну даними 22.

Процес сортування починається із завантаження кусків на конвеєр 27. 3D-сканер 1 виконує сканування кусків руди на конвеєрі та формує структуру 3D-даних, що потрапляють у блок 15 обчислювального блока 10 через інтерфейс 17 обміну даними. Блок 15 зчитує вихідні дані з модуля 11, потім передає їх спільно з даними, отриманими від 3D-сканера, у модуль 12 для розрахунку геометричних параметрів кусків і величин затримок активації котушок. Після виконання розрахунків модуль 12 передає їхні результати в блок 15, який формує завдання на вимірювання магнітної сприйнятливості кусків, що передається в сенсорний блок 3 через інтерфейс 16 обміну даними. Завдання на вимірювання надходить у блок 5 обробки сигналів і складається з номера сенсора, який необхідно активувати, і номера тактового сигналу, на якому необхідно виконати активацію.

Вимірювання сигналу $\dot{U}_s=f(k)$ відбувається таким чином.

При надходженні завдання в блок 5 оброблення сигналів, його субблок керування формує команду на активацію п-котушки сенсора 29 за допомогою ключа активації 32. Починається запуск

автогенератора 31 і генерація синусоїдальних сигналів частотою $f_{low}=9,2$ кГц, що подаються на вхід тригера Шмітта 33, який формує імпульси. При цьому активний стан сенсора 29 зберігається протягом 32 періодів коливань автогенератора 31. Початкові 7 періодів не враховуються під час вимірювань і вважаються стартовими, оскільки в процесі запуску автогенератора 31 його частота й амплітуда нестабільні. Наступні 17 періодів використовуються для вимірювання магнітної сприйнятливості, а останні 8 періодів відповідають режиму загасання коливань автогенератора 31 і також не враховуються.

Також субблок керування блока 5 у разі настання фронту 6-го імпульсу (тривалість $\Delta t_1'$) від тригера Шмітта 33 формує та передає команду з номером сенсора, що вмикається для вимірювання, на субблок підрахунку імпульсів високої частоти f_{high} . Субблок підрахунку імпульсів блока 5 протягом 17 періодів (вимірювальний інтервал Δt) веде підрахунок числа k імпульсів високої частоти ($f_{high}=470$ МГц, стабілізованої кварцовим генератором). Результат підрахунку $U_s=f(k)$ зберігається в оперативній пам'яті до надходження від субблока управління блока 5 команди на читання даних, які через інтерфейси 7 і 16 надходять на блок 15 (один субблок підрахунку імпульсів може обслуговувати 16 сенсорів). При цьому фронти 24-го і 25-го імпульсів (тривалістю $\Delta t_2'$) також не беруть участі у вимірюванні інтервалу Δt , оскільки при отриманні 24-го імпульсу субблок керування блока 5 відключає автогенератор 31 і процес вимірювання U_s завершується.

Далі з метою забезпечення високої точності вимірювання сигнал U_s коригується. Для цього блок 15 передає результати вимірювань у модуль 13 і модуль 14. При цьому модуль 13 виконує корекцію за коефіцієнтами K_1, K_2, K_3, K_4 , які є функціями відповідно: об'єму куска, його відхилення від центру котушки, кута нахилу до вимірювальної осі та особливостей геометричної форми. Модуль 14 виконує корекцію за коефіцієнтом K_5 , який є функцією компенсації впливу кусків, розташованих поблизу i -куска. Після виконання всіх коригувальних обчислень, утворюється сигнал $\hat{U}_s=f(k)$.

Вимірювання сигналу $U_b=f(k)$ відбувається таким чином.

Модуль 12 за рахунок затримок активації унеможливорює активний стан сусідніх у ряді $n-5$ і $n+5$ котушок. Модуль 14 обчислює область Q , яка максимально вільна від присутності на ній інших кусків. Для мінімізації впливу низькочастотної складової спектра електромагнітного фону, вимірювання виконуються в мінімальний проміжок часу до і після вимірювання сигналу U_s . Виконують кілька вимірювань U_b , і з них вибирають мінімальне, яке приймають за поточне значення фону. Для зниження високочастотної складової фону виконуються обчислення цифровим експоненціальним фільтром. При цьому поточне значення фону підсумовується з результатами вимірювань фону під час попередніх замірів (з урахуванням їхніх вагових коефіцієнтів) для розрахунку та оновлення поточного середнього значення електромагнітного фону $\hat{U}_b$. Робота експоненціального фільтра під час першого виміру забезпечується тим, що під час увімкнення системи сортування проводять кілька вимірів фону на порожній конвеєрній стрічці, внаслідок чого експоненціальний фільтр заповнюється початковими даними.

Результат вимірювання магнітної сприйнятливості куска руди ΔU обчислюється блоком 15 як різниця двох сигналів: $\hat{U}_s$, отриманого на n -котушці за наявності i -куска, і $\hat{U}_b$, отриманого на тій самій котушці в області Q конвеєрної стрічки. Ці обчислення забезпечують високі параметри за чутливістю і точністю вимірювань, чим реалізується прецизійне вимірювання магнітної сприйнятливості парамагнітних руд. Далі блок 15 порівнює результат вимірювань із критеріями сортування, заданими в людино-машинному інтерфейсі 4. У разі, якщо кусок не відповідає критеріям сортування, подальші дії не здійснюються. Якщо кусок відповідає критеріям сортування, то формується завдання для блока керування клапанами 18, що передається через інтерфейси 16 і 19 обміну даними.

Блок керування клапанами 18 отримує завдання на сортування від обчислювального блока 10 через інтерфейс 19 обміну даними. Завдання складається з номера пневмоклапана, його тривалості перебування у відкритому (активному) стані та номера такту синхронізації, відповідного моменту відкривання клапана. Такти синхронізації підраховуються блоком опрацювання команд 20, і коли номер такту збігається з номером такту за завданням, виконується активація відповідних клапанів у блоці пневмоклапанів 28 із врахуванням часу руху куска руди за траєкторією вільного падіння і розміру куска. Під впливом стисненого повітря активованих клапанів кусок руди потрапляє у відповідний бункер.

Джерела інформації:

1. Патент RU № 2437725 на винахід (опубліковано 27.12.2011, Бюл. № 36).
2. <http://goldcilplant.com/Molybdenum-sorting-test-by-XRT-sorter.html> (опубліковано 05.03.2024р.)
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 15.12.2015р.).

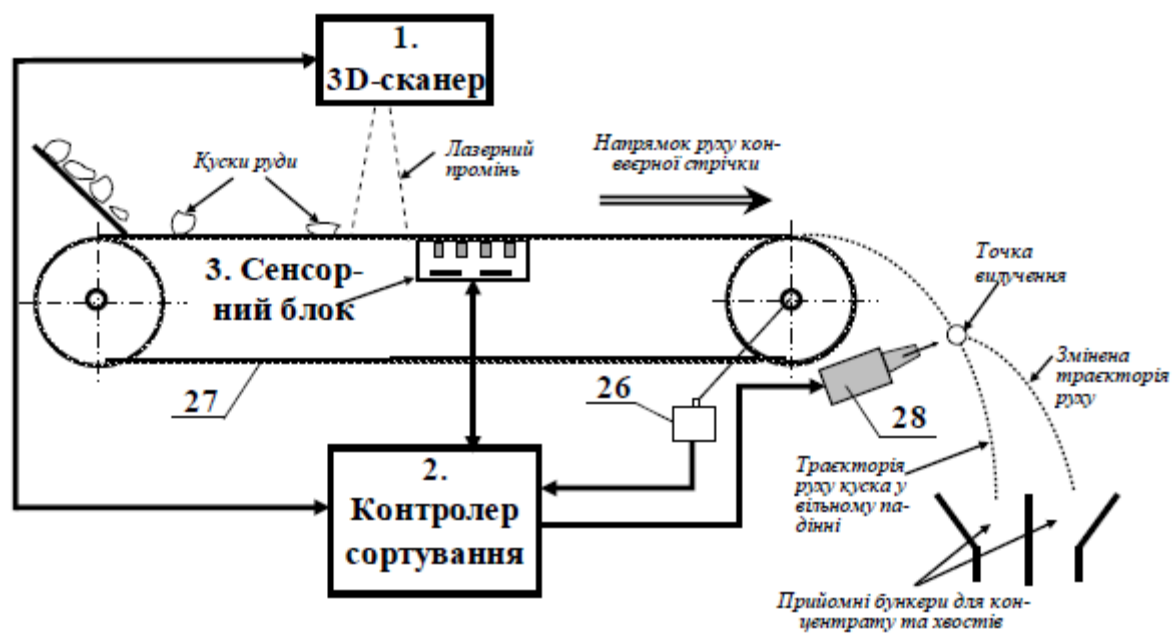


Fig. 1

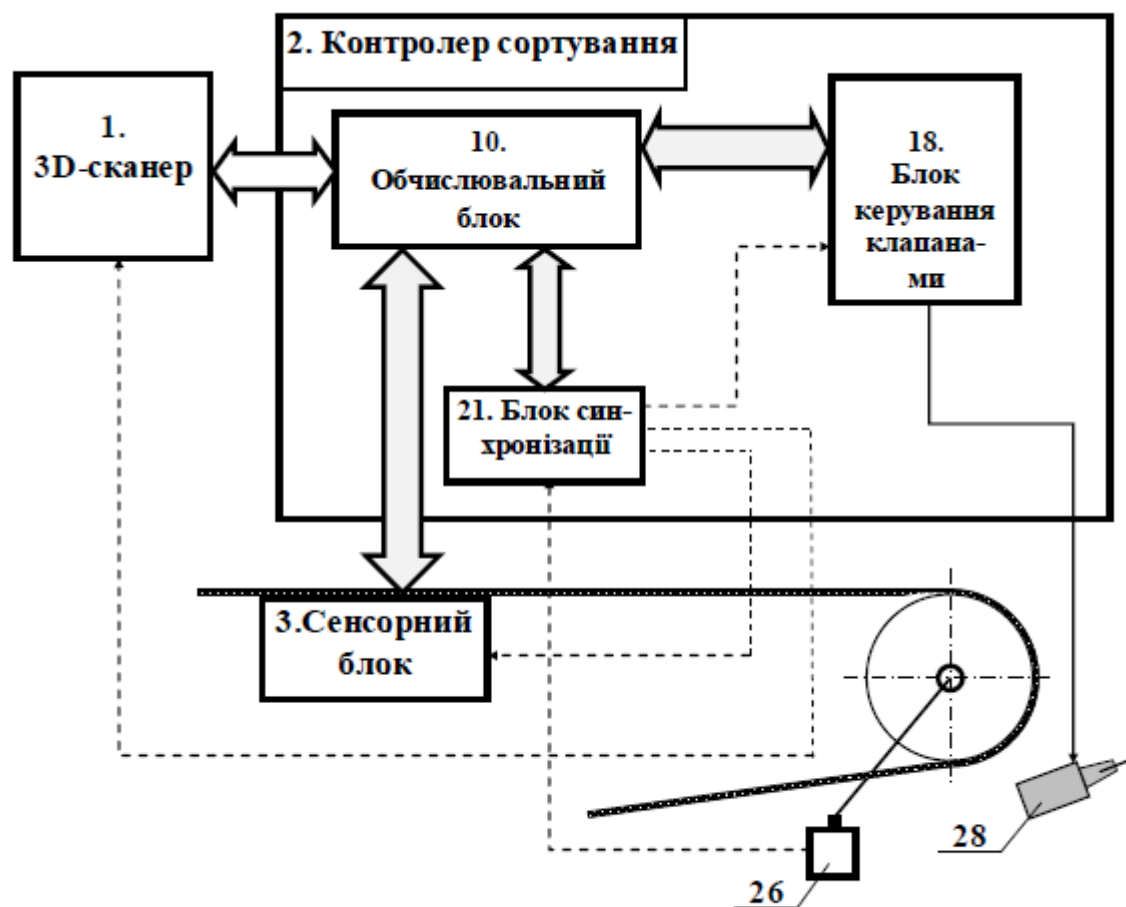


Fig. 2

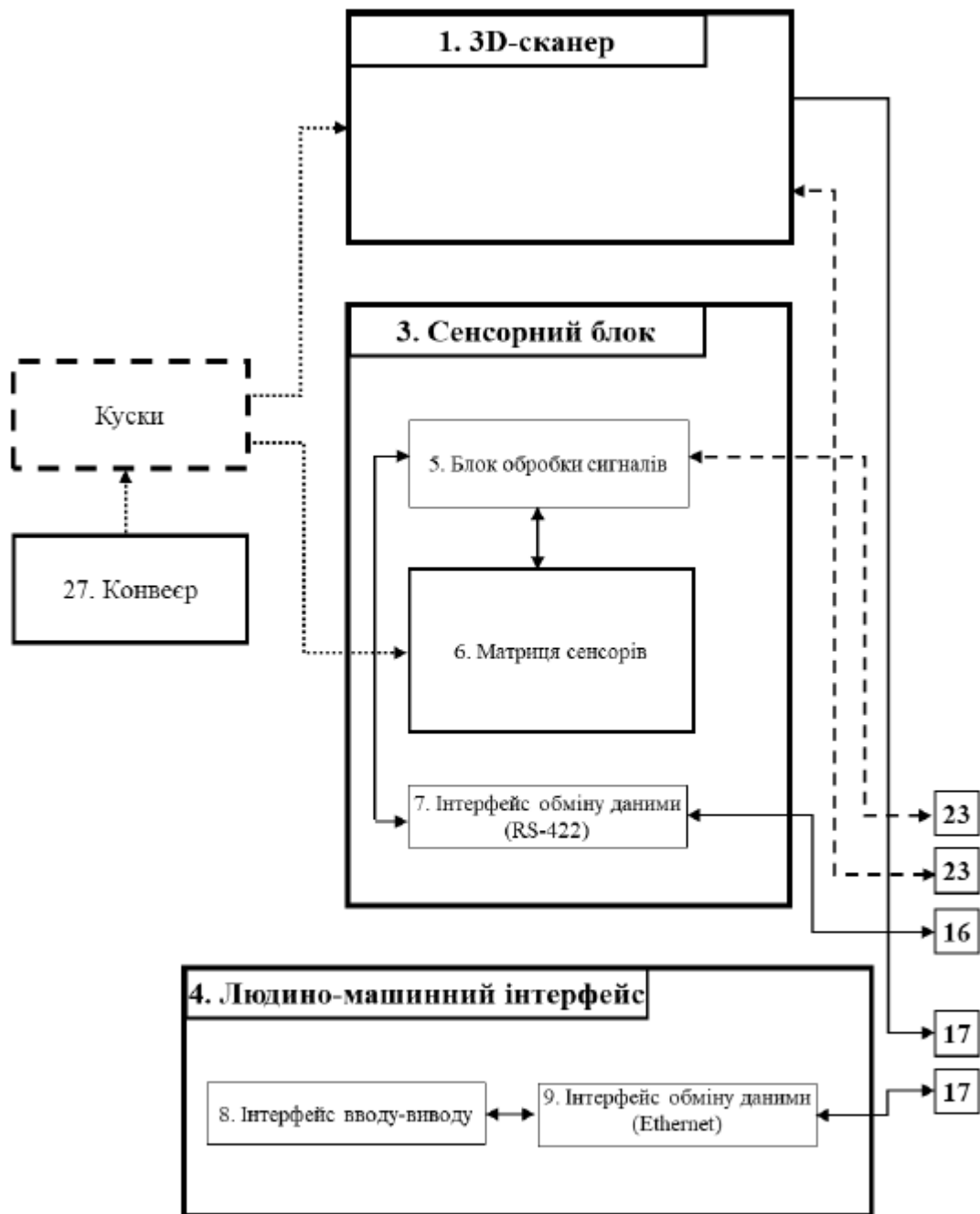


Fig. 3

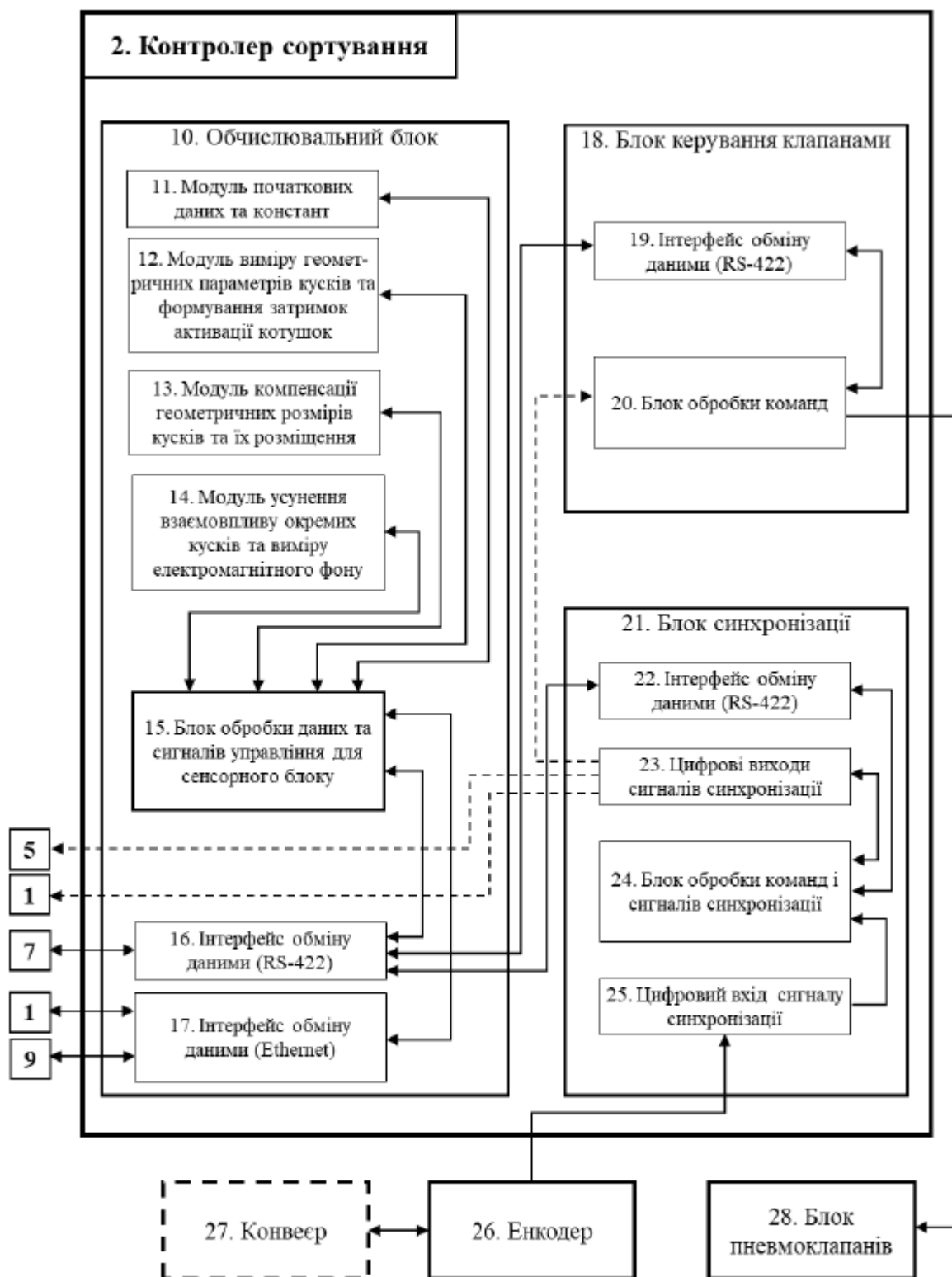


Fig. 4



Фіг. 5