

Соляник Ігор Миколайович

Магістерська робота

**Дослідження шляхів інтенсифікації процесів рудопідготовки
та обґрунтування раціональних параметрів
обладнання для радіометричної сепарації руди**

Керівник роботи

проф., д.т.н. Громадський А.С.

ВСТУП

Сучасний стан розвитку гірничодобувної та гірничо-переробної галузей промисловості характеризується, з одного боку, постійним зростанням потреб економіки у мінеральній сировині, а з іншого – невпинною тенденцією вичерпування її запасів та погіршення якості. Багаті та більш зручні для видобутку і переробки родовища закінчуються і в експлуатацію вимушено залучаються поклади, що відрізняються складними гірничо-геологічними та гірничотехнічними умовами розробки, низьким вмістом корисних компонентів та поганою придатністю сировини до збагачення [1-6].

У подібній ситуації надзвичайної важливості набуває проблема пошуку найбільш ефективних шляхів вирішення підготовки мінеральної сировини до збагачувальних процесів з метою підвищення ступеня вилучення цінних мінералів, комплексного використання сировини і створення мінерально- та енергозберігаючої технології. Лише за таких умов за рахунок надійності планування, точної оцінки та керування якістю руди можливо досягнення високих техніко-економічних показників роботи гірничих підприємств.

Первинною задачею рудопідготовки є створення умов для забезпечення якості руди на стадії, що передує її збагаченню на рудозбагачувальній фабриці. Якість руди можна визначити як сукупність її речовинних показників, що обумовлюють вилучення з неї корисних компонентів у конкретному технологічному процесі. Головним показником якості вважається вміст металу в руді, що поступає на переробку. Але досі керування якістю рудної сировини зводиться в основному до встановлення оптимального вмісту у ній цінного компоненту, а керування якістю – до усереднення руди за цим показником. Насправді ж проблема набагато більш широка і складна. В умовах погіршення якості та ускладнення технологій переробки руд зростає значення і роль керування якістю, адже постійно зростає кількість речовинних факторів, які впливають на неї і які обов'язково потрібно враховувати під час цього керування [1,2].

Процес керування якістю видобутої руди на стадії рудопідготовки має від-

буватися до того моменту, як вона потрапить на переробку, тобто на шляху від очисного забою до збагачувальних машин. Головними умовами його здійснення є створення способів і апаратури для оперативного вимірювання речовинних показників якості, встановлення функціональної залежності між якістю руди та технологічними показниками її подальшої переробки. Причому проблема повинна розглядатися як синтез та узгодження усіх складових загальної системи зв'язків гірничо-збагачувального комплексу.

Для попереднього збагачення руд останнім часом усе більш широке використання знаходять радіометричні методи сепарації, ефективність яких залежить від таких властивостей руди, як гранулометричний склад, контрастність та відповідність поділяючої ознаки вмісту корисного компонента у шматках руди. Криворізькі залізні руди мають сприятливі природні властивості для технологічної доцільності їх попереднього радіометричного збагачення [7-10].

Таким чином, проблема удосконалення процесів рудопідготовки мінеральної сировини, у тому числі руд Криворізького залізорудного басейну, є надзвичайно важливою і своєчасною, а тема представленої магістерської роботи – безумовно актуальною.

Мета роботи – обґрунтування раціональних параметрів обладнання для радіометричної сепарації залізних руд.

Об'єкт дослідження – технологічний процес радіометричного гамма-абсорбційного методу попереднього збагачення залізних руд Криворізького басейну.

Предмет дослідження – обладнання для гамма-абсорбційного сортування руди у рухомому рудопотоці.

Наукове положення – використання пропонованого обладнання для попереднього збагачення залізної руди в рухомому рудопотоці дає можливість в умовах Кривбасу в залежності від встановленого граничного значення вмісту заліза підняти якість руди в рудопотоці приблизно на 1-2% при втраті 7-8% рудопотоку.

1 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ОБЛАДНАННЯ

1.1 Технологічні аспекти попередньої обробки мінеральної сировини

1.1.1 Рудопідготовка як сукупність технологічних процесів формування якості руд

До останнього часу рудопідготовка розглядалася лише як сукупність операцій дроблення, подрібнення та класифікації видобутої сировини за схемою «рудник – крупне дроблення – середнє дроблення – дрібне дроблення – подрібнення». Головною задачею при цьому було досягнення оптимального ступеня розкриття мінералів та найбільш оптимальних технологічних показників. У цьому традиційному розумінні, обумовленому прийнятими технологічними схемами переробки руд, зовсім не враховувалися проблеми, пов'язані із закономірностями та тенденціями погіршення якості сировини та геологічних і гірничотехнічних умов її видобутку та переробки.

Задача теперішнього етапу розвитку гірничої промисловості полягає в обов'язковому урахуванні цих особливостей, в інтеграції гірничої справи в єдину технологію вилучення з надр корисних копалин та їх попередньої обробки. У такій схемі рудопідготовка стає логічною зв'язуючою ланкою цього процесу. Основні операції і технологічні процеси рудопідготовки у новому розумінні приведені у табл. 1.1 [11].

Сучасна технологія формування руди у рудопідготовці є багатоступінчастою системою, яка представлена функціональною залежністю змінення показників якості від вихідної руди у надрах до входу у збагачувальний переділ, при поступовому зростанні функція якості. Мета рудопідготовки в описаному розумінні – вивчення технологічних властивостей руди ще у надрах; формування технологічних потоків руди, однорідних за складом; виділення у потоковому і пошматковому режимах на сепараційному комплексі породи, відвальних хвостів та багатої руди; автономне усереднення технологічних потоків; забезпечення оптимальної схеми дезінтеграції з мінімізацією енерговитрат у лінії «вибухове відбивання – дроб-

лення – подрібнення»» отримання заданого гранулометричного складу; розміщення руди перед механічним дробленням та подрібненням.

Теоретичною основою рудопідготовки є технологічна мінералогія, науково-інформаційною базою – геолого-технологічне картування, а засобом її реалізації – комплексна система керування якістю руди. Практичне впровадження системи рудопідготовки дозволить:

- компенсувати прогресуюче зниження вмісту металів у рудах за рахунок виділення з видобутої гірничої маси, що поступає на збагачення, порожньої породи;
- переробляти біднішу сировину і залучати в експлуатацію низькосортні та забалансові руди;
- підвищити продуктивність діючих збагачувальних фабрик, а також показники вилучення, якість концентрату та продуктивність і техніко-економічні показники роботи підприємств;
- скоротити обсяги матеріалу, що закладається у хвостосховища.

1.1.2 Процеси перетворення порід під час рудопідготовки

Розвиток технологічних процесів рудопідготовки потребує встановлення кількісних співвідношень між основними їх параметрами для виявлення загальних закономірностей руйнування та розділення його продуктів.

Більшість гірничих порід відносяться до класу матеріалів, що руйнуються згідно із закономірностями теорії крихкого руйнування, головна роль в якій відводиться тріщинам, порам та іншим структурним порушенням. Руйнуванням шматка слід вважати момент, коли зростаючі тріщини зливаються і між сусідніми частинами шматка порушуються зв'язки на певній площі. Шматок перестає опиратися прикладеному навантаженню, напружений стан у ньому миттєво знімається, а накопичена пружна енергія дисипується.

Явище руйнування гірничих порід можна представити як процес, що складається з двох стадій: підготовки та вибухового порушення структури гірничої породи. У цьому сенсі можна побачити очевидну аналогію між землетрусом, який

є наслідком вибухового крихкого порушення структури земної кори під дією накопичених тектонічних напружень, та технологічним руйнуванням гірничих порід під дією прикладеного технологічного навантаження. Для аналізу основних етапів підготовки гірничої породи до руйнування і власне руйнування її у технологічних процесах рудопідготовки можна скористатися моделлю лінійно-нестійкого тріщиноутворення при підготовці землетрусу (ЛНТ-модель), яка була розроблена в інституті фізики Землі ім. О.Ю. Шмідта АН СРСР [12].

Перший етап, коли навантаження на гірничу породу не перевищує певної первинної величини (порода опирається без видимих порушень), можна вважати етапом пружної деформації, величина якої залежить від крупності шматка, що руйнується.

На другому етапі під дією зростаючого навантаження відбувається зародження та розростання численних ізольованих тріщин, але сам шматок ще зберігає цілісний стан. Перші два етапи можна назвати етапами підготовки породи до руйнування.

На третьому етапі, коли енергоємність напруженого стану досягає певної вторинної величини, відбувається лавиноподібне руйнування перемичок між тріщинами та їх зливання у загальний розрив, що й є власне руйнуванням шматка гірничої породи.

Розроблена в ДГІ ім. Артема методика стохастичного моделювання основних параметрів технологічного процесу рудопідготовки базується на стохастичних моделях процесу руйнування гірничих порід, гранулометричного складу продуктів руйнування та ефективності процесів розділення фракцій під час грохочення та класифікації [12]. Усі вони представляють собою складні й в багатьох аспектах невизначені процеси. Точне значення мінімального ступеня руйнування залежить, окрім структурних порушень, від умов походження гірничої породи, її мінералогічного складу, а також від величини та характеру попереднього енергетичного впливу на неї. Тому представляється можливим визначити мінімальний ступінь руйнування конкретної гірничої породи, використовуючи модель енергоємності цієї операції.

Вивчення процесу перетворення структури гірничої породи під час рудопідготовки може бути ефективним у разі використання одного із загальнонаукових методів досліджень – енергоентропійного [12]. Спочатку від зародився у рамках класичної термодинаміки, але пізніше отримав значне розповсюдження для дослідження різних процесів матеріального виробництва, де відбуваються змінення структур систем та витрачається енергія. Основною характеристикою системи у ньому є змінення величини ентропії. Стосовно процесу перетворення структури гірничої породи під час рудопідготовки шматки породи у вихідному живленні з точки зору енергоентропійного аналізу представляють собою відкриту систему, яка протягом процесу отримує ззовні певну кількість енергії, що знижує рівень її структурності, яку можна порівняти зі ступенем руйнування. Внаслідок цього структурна ентропія системи у цілому зростає.

Однією з головних домінуючих тенденцій удосконалення технічних об'єктів є підвищення енергетичної ефективності технологічних процесів. Тому під час аналізу технологічного процесу рудопідготовки потрібно відшукувати такий режим, при якому б максимальний енергоентропійний ступінь перетворення структурності гірничої породи супроводжувався меншими витратами енергії.

Відділення порід від масиву та їх подальший технологічний переділ – вельми енергоємні процеси, при якому енергія, спрямована на руйнування, витрачається украй неефективно. Наприклад, коефіцієнт корисної дії вибуху при масовому відбиванню руди складає лише декілька відсотків, а к.к.д. процесів руйнування відбитих вибухом шматків породи (дроблення та подрібнення), ще менше – частки відсотку. Тому одним з найважливіших напрямків створення ресурсозберігаючої технології розробки надр є відшукування способів суттєвого зниження енергетичних витрат у гірничо-технічних процесах.

Цього можна добитися способом циклічного механічного або теплового навантаження гірничої породи, під час якого в ній відбуваються структурні зміни, що призводять до розушільнення. Наприклад, порівняно невеликі циклічні навантаження зразків гнейсо-гранітів (100 МПа з частотою 300 циклів за хвилину) викликають помітні порушення їх структури вже після декількох тисяч циклів, а пі-

сля 20-50 тисяч циклів вони руйнуються. Причиною цього стає втома гірничих порід, внаслідок якої межа міцності в умовах пульсуючих навантажень знижується майже наполовину у порівнянні зі звичайними статичними навантаженнями. Подібна картина спостерігається і при пульсуючих температурних навантаженнях.

В умовах навантажень великої інтенсивності (зокрема, вибухових) спостерігаються дещо інші закономірності змінення міцності [13]:

- багаторазово повторюване попереднє навантаження навіть при невеликих витратах енергії (у порівнянні з енергією дроблення) створює у масиві втомні мікротріщини;

- вплив вибухової втоми на якість дроблення носить екстремальний характер на відміну від межі міцності, яка із збільшенням кількості циклів асимптотично знижується;

- вибухова втома помітно проявляється при одиницях циклів навантаження , що дає можливість використовувати цей ефект при вибуховому навантаженні.

Усі процеси розміщення гірничих порід зводяться до порушення міжзернових контактів та розвитку мікротріщин. Прискорити цей процес може використання поверхнево-активних речовин (ПАР), які проникають у ці мікротріщини і пори породи, викликають їх розклинення і сприяють суттєвому зниженню міцності породи (на 30-60%) та утворенню більшої кількості дрібних фракцій під час вибухового руйнування [14].

На основі викладених даних свого часу запропонована наступна принципова схема рудопідготовки [14,15]:

- I стадія – прикладання помірного і суворо дозованого теплового впливу в умовах всебічного стискання з метою зменшення пластичності гірничої породи;

- II стадія – створення на міжзернових межах породи розтягувальних і зсувних напружень, що викликають зародження мікротріщин;

- III стадія – вплив на породу поверхнево-активною речовиною з метою її розміщення шляхом зниження поверхневого натягу (поверхневої енергії) завдяки розклинювальній дії ПАР у мікротріщинах породи;

- IV стадія – удар або роздавлювання гірничої породи.

Таким чином, ані фізико-механічні, ані фізико-хімічні властивості гірничих порід не відіграють головної ролі у процесі їх руйнування. Характер та енергоємність процесу визначаються структурними порушеннями, що виникають при цьому.

Технологічні схеми здійснення гірничих робіт на кар'єрах можуть включати декілька стадій попереднього руйнування гірничих порід перед їх складуванням або передачею на подальші переділи. Наприклад, в схемах циклічно-потоків технології для конвеєризації процесу транспортування гірничої маси використовується додаткова ланка механічного дроблення порід до розмірів, які дають можливість їх транспортування конвеєрами звичайних конструкцій. Ще один приклад – розкриття родовищ вертикальними рудоспусками або похилими рудоскатами, в яких відбувається додаткове дроблення порід.

1.1.3 Процеси усереднення мінеральної сировини

Усереднення видобутої мінеральної сировини перед її збагаченням здійснюється з метою підвищення її однорідності в умовах коливань вмісту корисного компоненту (компонентів) у залежності від місця і часу видобутку руди. Ці коливання можуть бути настільки значними навіть у межах одного родовища, що будуть порушувати будь-які налаштовані процеси збагачення сировини і негативно впливати на показники їх якості, яких вимагає технологічний процес [1].

Усереднення руди є одним з найбільш простих та надійних способів отримання попереджувальної інформації про її якість у достатньо довгому інтервалі часу і з достатньою точністю для підвищення ефективності керування збагачувальним процесом.

Усереднювальні системи на гірничо-збагачувальних підприємствах формуються згідно з вимогами збагачувального виробництва до однорідності якості руди і формулюються на основі аналізу механізму, що обумовлює вплив на технологічні показники збагачення коливань якості руди. Ці вимоги визначають три основні параметри усереднення [16]:

- глибину усереднення, якій відповідають мінімальні партії руди, між якими має бути досягнуто усереднення. Зазвичай для обладнання різного типу це партії обсягом від 10 до 30 тонн;

- ступінь усереднення, який визначає величину допустимих коливань якості руди відносно середньопоточного рівня протягом потрібного інтервалу часу. Для залізних руд цей показник знаходиться у межах від 5 до 10%;

- період стабілізації, що визначає інтервал часу, протягом якого має бути досягнуто очікуване усереднення із заданими ступенем та глибиною. Для більшості збагачувальних фабрик доцільний період стабілізації становить від 3 до 7 діб.

Окрім цих основних параметрів, для забезпечення однорідності руду потрібно усереднювати за усіма показниками якості, коливання яких негативно впливають на ефективність збагачувального процесу та якість концентрату. Перелік цих показників залежить від природи руди та технологічної схеми її переробки. До них відносяться вміст корисних і шкідливих елементів. Вміст їх у певній мінеральній формі, здатність до подрібнення, крупність вкраплених частинок корисно-го компоненту (компонентів), вміст глини, вологість, вміст певних класів крупності руди тощо.

Універсальним та найбільш ефективним способом усереднення є фабричні багат шарові усереднювальні склади, обладнані відповідною технікою для пошарового укладання і забирання руди. Такі склади забезпечують усереднення руди як у змінних партіях, так і в партіях від 10 до 30 тонн. Місткість робочого штабелю може досягати обсягу, необхідного для роботи збагачувального підприємства протягом 2-7 діб.

Аналіз роботи збагачувальних фабрик, промислові експерименти та практика роботи підприємств з усередненням руди показують, що операції усереднення дозволяють стабілізувати технологічний процес, зменшити величину втрат, забезпечити зростання надійності виконання планових показників та у середньому підвищити наступні показники роботи збагачувальних фабрик: вилучення – на 3-4%, вміст металу у концентраті – на 2-3%, продуктивність обладнання – на 10-15%. Витрати збагачувальних реагентів знижуються при цьому на 10% [16].

1.1.4 Попереднє збагачення руд радіометричними методами

Попереднє збагачення руд може здійснюватися гравітаційними (розділення у важких суспензіях, крупношматкова відсадка) та радіометричними методами сепарації, які останнім часом отримують усе більший розвиток. Особливе значення набувають радіометричні методи збагачення як найбільш універсальні для різних типів мінеральної сировини.

Ці методи засновані на використанні для збагачення різноманітних випромінювань. Ефективність радіометричного збагачення залежить від таких властивостей руди, як гранулометричний склад, контрастність та відповідність роздільної ознаки вмісту корисного компоненту у шматках руди. Дослідженнями встановлено, що практично усі вивчені типи руд мають сприятливі природні властивості, які визначають доцільність їх радіометричного збагачення [17].

Утім, визначення придатності руд до радіометричного збагачення є важливою проблемою збагачувальної галузі гірничої справи. Відповідне дослідження руд проводиться зазвичай у два етапи:

- перший етап – визначення принципової можливості використання для даної руди методів радіометричної сепарації. Він не потребує спеціального обладнання і може проводитися безпосередньо на розвіданому родовищі або на вже діючих рудниках. Під час першого етапу вивчаються найважливіші властивості руди, від яких залежить ефективність радіометричної сепарації за допомогою будь-якого з методів. У першу чергу це крупність руди, що поступає з рудника, та її контрастність.

Важливість вивчення крупності руди пояснюється тим, що радіометричну сепарацію доцільно застосовувати для шматкового матеріалу крупніше 25 мм. Якщо вихід таких класів не перевищує 30%, то руда у більшості випадків не підходить до радіометричної сепарації. Контрастність руди представляє собою ступінь різноманітності її шматків за вмістом в них цінного компоненту;

- другий етап – вибір методу, найбільш підходящого для даної руди; визначення оптимального граничного вмісту цінного компоненту, за яким має відбуватися сепарація; досліди зі збагачення руди на сепараторах у лабораторних та на-

півпромислових умовах. Цей етап проводиться лише для тих руд, для яких на першому етапі отримані позитивні результати. Починається він з вибору найбільш підходящого для даної руди радіометричного методу.

На даний час найбільш розробленими і такими, що можуть бути використаними для різноманітних корисних копалин, є декілька радіометричних методів. Серед них слід відзначити [17]:

- рентгенолюмінісцентний метод, при якому використовується властивість деяких мінералів люмінісцювати під впливом рентгенівського випромінювання. Ознаками розділення мінералів у цьому методі служать інтенсивність люмінісценсії у тій чи іншій області спектру та кінетика розгорання люмінісценсії. Метод добре зарекомендував себе під час збагачення флюоритових, шеєлітових, апатитових та сподуменових руд;

- рентгенорадіометричний метод, при якому основною ознакою розділення є енергія характеристичного рентгенівського випромінювання елементів мінералів, що збуджується первинним рентгенівським або гамма-випромінюванням. Метод використовується для збагачення руд, корисні компоненти яких мають атомний номер більше 19 (у першу чергу, стронційвмісних, олов'яних та вольфрамових руд);

- фотометричний метод, ознакою розділення якого є інтенсивність розсіяного світла, відбитого шматками мінералів. Метод використовується для збагачення руд кольорових і чорних металів, а також неметалевих корисних копалин, корисні компоненти яких відрізняються від порожніх порід за кольором;

- радіорезонансний метод, в якому розділення відбувається за зміненням енергії електромагнітного поля радіохвиль під впливом мінералів, що проходять через нього. Метод використовується для збагачення залізних, мідно-нікелевих, мідно-молібденових, нікель-кобальтових та інших руд;

- авторадіометричний метод, при якому в якості ознаки розділення використовується природна радіоактивність мінералів;

- гамма-абсорбційний метод, що заснований на використанні різниці в ослабленні інтенсивності проникаючого гамма-випромінювання рудними шматками і

шматками порожньої породи. Метод є одним з найбільш застосованих у практиці радіометричної сепарації і використовується для попереднього збагачення руд, корисні елементи яких мають атомний номер більше 26 (у першу чергу, залізних, сурм'яних та баритових).

Під час вибору того чи іншого методу насамперед враховується речовинний склад руди. Крім того, використовується існуючий досвід застосування окремих радіометричних методів для різних корисних копалин. Майже для кожної руди можна підібрати найбільш підходящий метод (або навіть декілька методів) радіометричної сепарації. Для комплексних руд потрібно сумісне використання різних методів. Вибір методу здійснюється дослідним шляхом, а також шляхом дослідження найбільш ефективних ознак розділення на стадії лабораторних робіт.

З точки зору вибірконості процесів аналізу та попереднього збагачення мінеральної сировини розрізняють наступні режими радіометричної сепарації (рис. 1.1) [2]:

- потоковий (рис. 1.1а), коли вміст корисного компонента у руді оцінюється відразу в усьому рудопотоці під час його безупинного проходження повз контрольно-оцінювальний засіб. Звісно й рішення про придатність сировини з точки зору якості приймається у такому випадку стосовно усієї партії руди. Такий режим є найбільш продуктивним, але одночасно – найменш точним і вибіркоким;

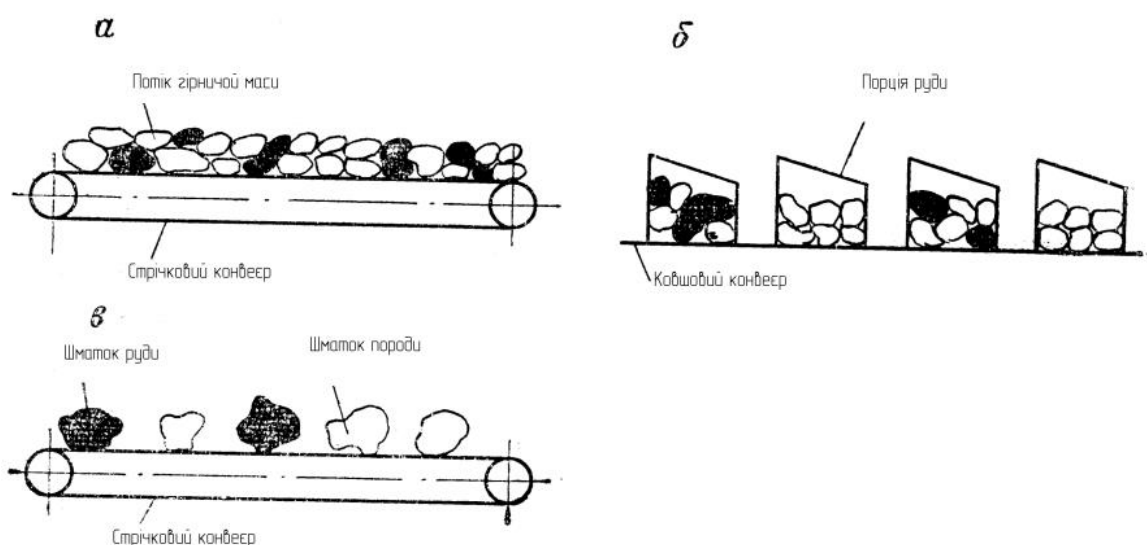


Рисунок 1.1 – Режимы радіометричної сепарації з точки зору вибірконості процесів аналізу та попереднього збагачення мінеральної сировини:

а – потоковий; б – порційний; в – шматковий

- шматковий (рис. 1.1а), під час якого контролю піддається кожен шматок рудопотоку індивідуально. Такий варіант сепарації є найбільш досконалим з точки зору забезпечення максимальної якості процесу, в ході якого не втрачається жодного шматка руди з високим вмістом корисного компоненту, а якісний матеріал не засмічується шматками порожньої породи. З іншого боку, величезна кількість шматків у рудопотоці робить його не лише недостатньо продуктивним, але й практично не здатним забезпечити контроль усіх цих шматків в умовах, коли рудопотік містить багато дріб'язку. Тим не менш, цей режим роботи є найбільш перспективним і вимагає подальших досліджень з метою його удосконалення;

- порційний (рис. 1.1б), який займає проміжне місце між першими двома. Матеріал перевіряється окремими порціями (вагонами, контейнерами, автомобілями) і результат аналізу щодо подальшого потрапляння матеріалу у концентрат або хвосту визначається для усієї порції. Тобто тут, як і при потоковому режимі сепарації, хоча й в меншому ступені, присутні втрати корисного компоненту у хвосту та засмічення концентрату порожньою породою.

1.2 Огляд існуючого обладнання для радіометричної сепарації руд

Радіометричне збагачення здійснюється за допомогою пристроїв, які мають також назву «сортекси» (англійська фірма «Гансонс Сортекс Лімітед» вперше запропонувала промислові зразки таких конструкцій). Радіометричні сепаратори мають наступні основні вузли:

- живильник для завантаження сформованого потоку матеріалу на транспортний пристрій сепаратора, який подає його у зону контролю, де матеріал (наприклад, кожний шматок рудопотоку по черзі при шматковому режимі радіометричної сепарації за рис. 1.1а) буде опромінюватися для визначення вмісту заліза у ньому. З конструктивної точки зору він може бути вібраційного, стрічкового або іншого типу. В разі використання шматкового режиму для обробки великої кількості шматків загальний потік матеріалу потрібно буде розділити на певну кількість паралельних каналів, на кожному з яких необхідно забезпечити рівномірну

почергову подачу шматків з розрахованими інтервалами між ними. У випадку використання живильника вібраційного типу його робочий орган виконується у вигляді паралельних каналів, як це показано на рис. 1.2, а комбінованого вібраційно-тарілчастого – у вигляді пристрою, приведенного на рис. 1.3 [2]. Таким чином, головною задачею живильника є забезпечення заданого технологічного режиму радіометричної сепарації;

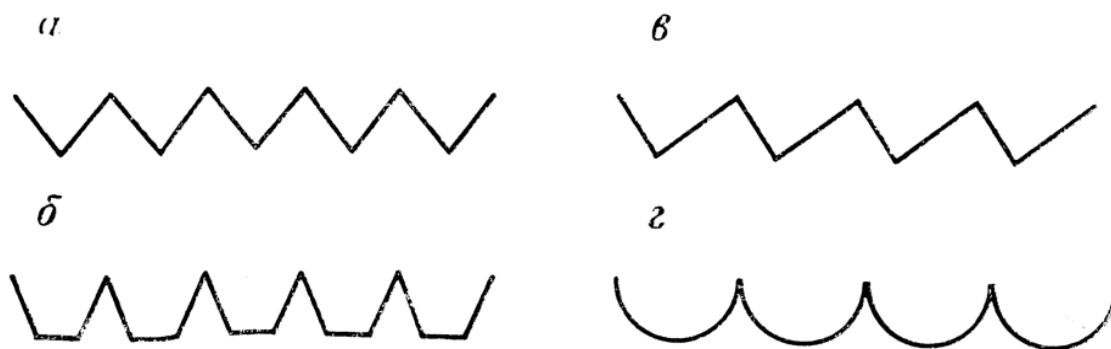


Рисунок 1.2 – Можливі варіанти поперечних перетинів напрямних жолобів багатоканальних вібраційних живильників

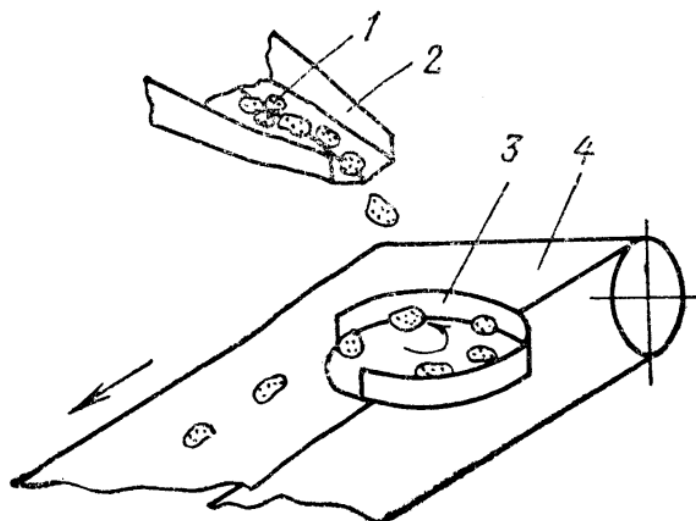


Рисунок 1.3 - Схема шматкового живильника тарілчасто-вібраційного типу:
1 – шматки руди; 2 – вібраційний живильник; 3 – тарілчастий живильник;
4 – транспортний пристрій

- транспортний пристрій сепаратора також може бути різної конструкції, наприклад стрічкової, вібраційної, ківшової та іншої. Саме він визначає тип радіо-

метричного сепаратора і саме він доставляє матеріал спочатку у зону контролю, де він перевіряється на вміст корисного компонента, а потім у зону сепарації для видалення з рудопотоку шматків порожньої породи. Для найбільш застосованих типів транспортних пристроїв (стрічкового та вібраційного) швидкість переміщення шматків може становити від 0,3-1,0 м/с для перших до 2-4 м/с і більше для других. Багатоканальність руху матеріалу можна забезпечити різними шляхами: як за допомогою загального робочого органу з певними розділовими пристосуваннями у поздовжньому напрямку (рис. 1.4а,б), так і за рахунок використання ізольованих робочих органів (рис. 1.4в) [2];

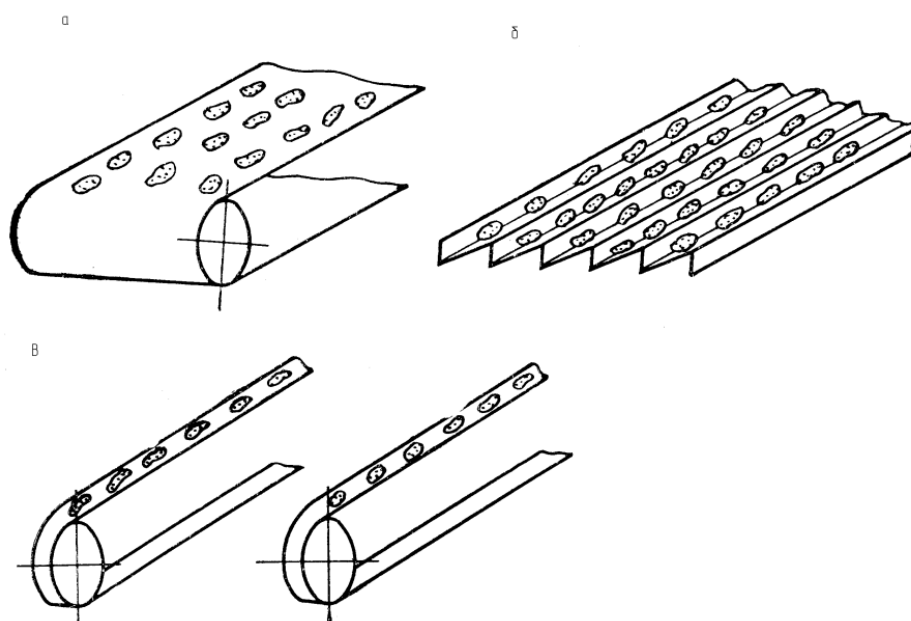


Рисунок 1.4 - Типи робочих органів багатоканальних транспортних пристроїв:
а, в – стрічковий; б – вібраційний

- вузол опромінювання, до складу якого входять джерело (наприклад, гамма- або бета-променів) та датчик прийому променів, що пройшли крізь шматок руди. Інформація з датчика щодо ступеня ослаблення випромінювання використовується для розпізнавання корисної копалини і порожньої породи. Прикладом джерела випромінювання можуть бути радіоізотопні елементи ампульного типу з бажано більшим періодом напіврозпаду. Такі елементи зазвичай мають колімаційний пристрій для забезпечення пучка променів потрібної конфігурації та недопущення його неконтрольованого розповсюдження в інших напрямках. Для цього

вони розміщуються у захисних свинцевих судинах із захисними кришками-екранами. На рис. 1.5 показані схеми подібних колімаційних пристроїв різного типу, а також відповідні характеристики інтенсивності випромінювання у поперечному відносно осі симетрії колімаційного отвору напрямку;

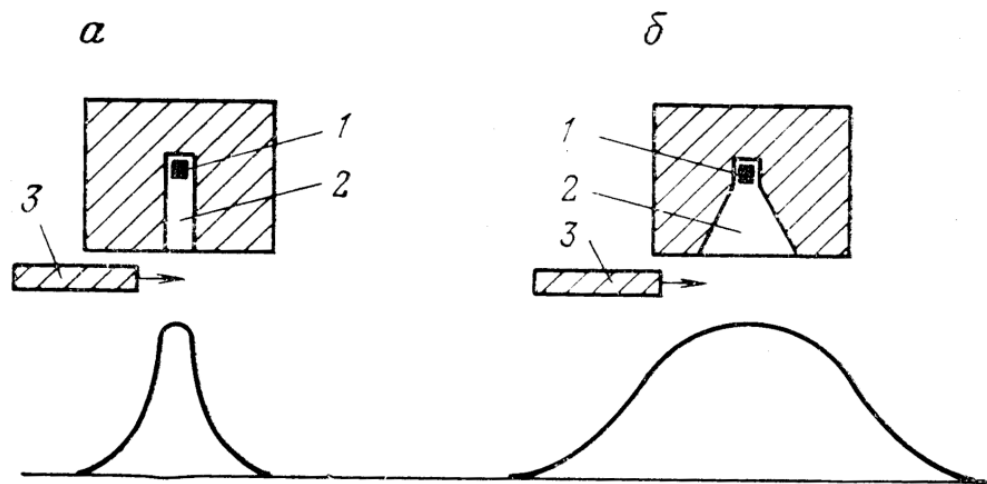


Рисунок 1.5 - Схеми колімаційних пристроїв для джерел гамма- та бета-випромінювань:

- a* – з вузькоспрямованим пучком випромінювання;
- б* – з широким плоским пучком випромінювання;
- 1 – джерело випромінювання; 2 – колімаційний отвір;
- 3 – захисний екран в робочому положенні сепаратора

- обчислювальний реєстраційно-вимірювальний блок, задачами якого є прийом сигналів з вузла опромінювання, оцінка їх величини для з'ясування ступеня поглинання проникаючого випромінювання шматком руди, порівняння з попередньо заданою межею вмісту корисного компонента, прийняття рішення щодо кондиційності кожного перевіреного шматка та формування командного сигналу для розділення рудопотоку на кондиційний і некондиційний продукти на розділовому пристрої сепаратора. Окрім перевірки параметрів потоку ослабленого шматком випромінювання, цей вузол повинен також враховувати розміри або масу шматка, адже від них буде залежати довжина шляху проникаючого випромінювання через шматок, а вона також буде впливати на ступінь його послаблення (чим довше шлях, тим більше послаблення). На рис. 1.6 показана схема роботи подібного реєстраційно-вимірювального блоку [2];

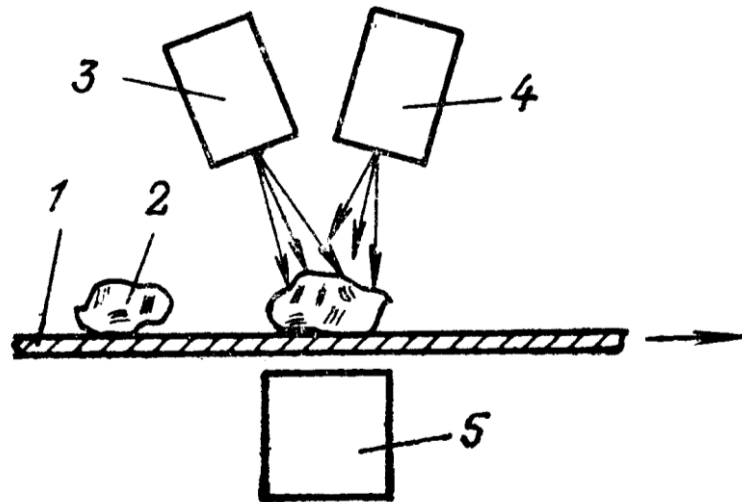


Рисунок 1.6 - Схема роботи реєстраційно-вимірювального блоку гамма-абсорбційного сепаратора:

1 – транспортний пристрій; 2 – шматок матеріалу; 3 – основний вузол випромінювання; 4 – додатковий вузол випромінювання для урахування розмірів (маси) шматків; 5 – блок детектування

- розділовий пристрій (виконавчий механізм), у задачі якого входить прийом керуючих сигналів від реєстраційно-вимірювального блоку та відокремлення некондиційного матеріалу від основного рудопотоку. Конструктивне виконання такого пристрою повинно давати йому можливість тим чи іншим чином видаляти такі шматки з кожної доріжки їхнього руху. Найбільш раціональним принципом його дії представляється забезпечення прямолінійного силового імпульсу (за допомогою важеля, штока пневмоциліндра або лінійного електродвигуна, струменя стисненого повітря) для впливу на шматки (наприклад, у поперечному напрямку відносно руху рудопотоку). У такому випадку некондиційні шматки можуть скидатися у спеціальний бункер, а кондиційні будуть продовжувати свій рух по доріжці транспортного пристрою сепаратора.

Висновки:

- переробка збагаченої сировини обходиться значно дешевше, ніж природної, за рахунок скорочення втрат корисних складових, зменшення кількості матеріалів, що потребують переробки, а, значить, і їх вартості, підвищення якості готової продукції, зниження витрат на перевезення сировини та промпродуктів, зро-

стання ефективності наступного металургійного, хімічного та інших переділів. Усе це свідчить про необхідність попереднього збагачення рудної сировини у процесі рудопідготовки на дробильно-сортувальній фабриці;

- процес рудопідготовки повинен розглядатися як комплекс операцій, що забезпечують отримання з видобутої гірничої маси товарної або кондиційної руди для подальшого збагачення. Рудопідготовка і комплексна система керування якістю руд забезпечує спрямоване і послідовне змінення показників якості та створення ресурсозберігаючої технології. Існуюча динаміка зниження та погіршення якісного складу руди, що поступає на збагачення, вимагає комплексного дослідження геотехнологічних та технічних властивостей мінеральних речовин як функцій їх складу та будови;

- для досягнення максимальної економічно вигідної повноти вилучення корисних мінеральних компонентів з видобутих руд потрібний подальший розвиток наукового напрямку рудопідготовки як стратегії збагачення у вигляді сукупності процесів попередньої концентрації та збагачення з використанням математичних моделей, що пов'язують якісні показники руд у надрах з характеристиками рудопотоків для формування технологічних сортів отримуваних продуктів збагачення;

- під час рудопідготовки використовуються операції попереднього руйнування та усереднення мінералів, а також радіометричного збагачення, які забезпечують підвищення ефективності основних процесів сепарації на збагачувальних підприємствах за рахунок вирівнювання та покращання якісних характеристик мінеральної сировини і зменшення необхідних обсягів переробки шляхом вилучення з рудопотоку значної частки порожньої породи;

- останнім часом особливого значення набувають радіометричні методи збагачення як найбільш універсальні для різних типів мінеральної сировини. Одним з найбільш застосованих у практиці радіометричної сепарації є гамма-абсорбційний метод, що заснований на використанні різниці в ослабленні інтенсивності проникаючого гамма-випромінювання рудними шматками і шматками порожньої породи. З основних відомих режимів процесу радіометричного збагачення мінеральної сировини (потокowego, порційного та шматкового) найперспективнішим є остан-

ній, хоча він має певні недоліки і вимагає подальших досліджень з метою його удосконалення;

- проведений аналіз існуючого обладнання для практичного використання гамма-абсорбційного методу радіометричного збагачення (у тому числі залізних руд) дав можливість сформулювати вимоги до нього та обґрунтувати принципи дії його складових елементів. Усе це дозволить запропонувати вихідні параметри для створення раціональних конструкцій сепараторів для підвищення якості залізної руди у рухомому рудопотоці.

1.3 Мета і задачі дослідження

Мета роботи – обґрунтування раціональних параметрів обладнання для радіометричної сепарації залізних руд.

Проведений аналіз технологічних аспектів процесів попередньої обробки видобутих руд дозволив дійти висновку про необхідність рудопідготовки для формування високого рівня якості мінеральної сировини, а порівняльний огляд існуючого обладнання для її радіометричної сепарації дав можливість виявити основні напрямки його удосконалення та сформулювати задачі, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети, а саме:

- вибрати методи теоретичних та експериментальних досліджень;
- проаналізувати можливі шляхи та вибрати раціональний спосіб підвищення якості залізної руди в рухомому рудопотоці;
- проаналізувати загальні особливості кількісних та якісних показників рудного потоку взагалі та в умовах криворізького залізорудного басейну зокрема;
- розробити рекомендації щодо раціонального способу керування якістю руди;
- дослідити та обґрунтувати параметри засобів радіометричного контролю та видалення некондиційних включень;
- обґрунтувати вихідні вимоги до обладнання для попереднього збагачення залізної руди в рухомому рудопотоці;

- розробити можливі варіанти конструктивного рішення машин комплексу обладнання для радіометричної сепарації залізної руди;
- запропонувати раціональні конструкційні та експлуатаційні параметри такого обладнання.

Об'єкт дослідження – технологічний процес радіометричного гамма-абсорбційного методу попереднього збагачення залізних руд Криворізького басейну.

Предмет дослідження – обладнання для гамма-абсорбційного сортування руди у рухомому рудопотоці.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Виконання наукових досліджень здійснюється за допомогою загальноприйнятих методів, у тому числі теоретичних, експериментальних та спеціальних.

Під час виконання представленої магістерської роботи використовувалися більшість з них. Зокрема, для аналізу основних етапів підготовки гірничої породи до руйнування і власне руйнування її у технологічних процесах рудопідготовки застосовувалася модель лінійно-нестійкого тріщиноутворення при підготовці землетрусу (ЛНТ-модель), яка свого часу була розроблена в інституті фізики Землі АН СРСР, а також створена в ДП ім. Артема методика стохастичного моделювання основних параметрів технологічного процесу рудо підготовки, яка базується на стохастичних моделях процесу руйнування гірничих порід, гранулометричного складу продуктів руйнування та ефективності процесів розділення фракцій під час грохочення та класифікації. Усі вони представляють собою складні й в багатьох аспектах невизначені процеси. Точне значення мінімального ступеня руйнування залежить від багатьох факторів, тому представляється можливим визначати мінімальний ступінь руйнування конкретної гірничої породи, використовуючи модель енергоемності цього процесу.

Для вивчення процесу перетворення структури гірничої породи під час рудопідготовки використовувався один із загальнонаукових методів досліджень – енергоентропійний, що отримав значне розповсюдження для дослідження різних процесів матеріального виробництва, де відбуваються змінення структур систем та витрачається енергія. Основною характеристикою системи у ньому є змінення величини ентропії. Для процесу перетворення структури гірничої породи під час рудопідготовки шматки породи у вихідному живленні представляють собою відкрити систему, яка протягом процесу отримує ззовні певну кількість енергії, що знижує рівень її структурності, внаслідок чого структурна ентропія системи у цілому зростає.

Аналіз рудного потоку під час дослідження гамма-абсорбційного методу радіометричної сепарації здійснювався за допомогою статистико-вірогідного ме-

тоту. Для визначення вмісту корисного компоненту у матеріалі, що досліджувався, на практиці застосовували вибіркового метод. Гранулометричний склад визначали за допомогою методу ситового аналізу. Відбір проби матеріалу, що рухається, здійснювався методом перетинів. Для матеріалу з великими шматками застосовувався метод фотопланіметрії.

У ході дослідження було розглянуто методику визначення якості мінеральної сировини в рухомому рудопотоці за ступенем поглинання гамма-випромінювання і розмірами контрольованих шматків. Для оцінки кореляційного зв'язку між поглинанням енергії проникаючого випромінювання, якістю та розмірами об'єкту сортування використовувався метод багатофакторного аналізу.

Для розробки алгоритму мікропроцесорного керування рудою вибіркою застосовувався кількісний опис (моделювання) процесу радіометричного сортування шматків.

Під час виконання магістерської роботи проводилися експериментальні дослідження, метою яких була перевірка отриманих теоретичних положень. В ході експериментальних досліджень застосовувалися методи моделювання (наприклад, конструктивні параметри грохоту для відсіву крупношматкової фракції визначалися за допомогою методу імітаційного моделювання), метод тензометричних вимірів параметрів робочих процесів. Обробка експериментальних даних проводилася з використанням методів регресійного аналізу.

Для обробки результатів експериментальних досліджень застосовувалися методи оцінки вимірювань, а для інтерпретування і аналізу результатів експериментальних досліджень – методи графічного відображення результатів експериментів.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РАДІОМЕТРИЧНОЇ СЕПАРАЦІЇ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ

3.1 Дослідження кількісних та якісних показників рудного потоку

Аналіз проблеми підвищення якості залізорудної сировини, виконаний у розділі 1, переконливо свідчить про її необхідність та важливість для усього гірничо-металургійного комплексу країни.

Задача підвищення ефективності процесу рудопідготовки поєднується з необхідністю кількісного опису усіх продуктів та операцій, що беруть у ньому безпосередню участь. Кількісні закономірності дадуть змогу оптимізувати та автоматизувати цей процес.

Потік руди можна розглядати як суміш дискретних часток різних розмірів. Ця сукупність характеризується законом розподілення розмірів кусків. До того ж частки руди відзначаються якісним складом. При цьому вміст корисного компонента (заліза) підкорюється певному закону розподілення за розміром часток. Закон розподілення корисного компонента за розмірами визначає розкриття мінералу.

Рудопотік, що рухається – це велика кількість дискретних часток. До таких масових вибірок можна використовувати статистико-вірогідний підхід [18].

Для рішення задачі вибору шляху підвищення якості рудної сировини на ДСФ необхідно здійснити відбір представницьких проб у різних точках технологічної схеми фабрики згідно з державними стандартами (наприклад, ГОСТ 15054). При цьому відбір проб пов'язаний з певними труднощами, а саме: вимога представництва може бути реалізована тільки з певним ступенем точності.

Для визначення вмісту корисного компонента у матеріалі, що досліджується, на практиці використовується вибірковий метод. У цьому випадку вміст компонента у статистичній сукупності визначається за даними дослідження деяких частин сукупності, які відібрані навмання або через певні проміжки часу. Кількість часткових проб може бути визначена за наступною формулою:

$$n = \frac{K^2 \cdot \delta^2}{m^2}, \quad (3.1)$$

де n – кількість часткових проб; K – коефіцієнт, що забезпечує гарантію випробування у певних межах; δ – середнє квадратичне відхилення; m – величина вірогідності погрішності загальної проби (точність хімічного аналізу).

Якщо прийняти припустиму погрішність 0,2% при гарантії 95% ($K = 2$), то необхідне число часткових проб буде: $n = 14$ проб.

Оскільки руда в дану зміну може бути не характерною, подібні випробування проводять кілька разів. Інтервал вибору проб визначається за формулою:

$$t = \frac{60T}{n}, \quad (3.2)$$

де t – інтервал вибору, хв.; T – період відбирання проби, г; n – кількість часткових проб.

При механічному відборі проби ширина пробовідбірника має бути у 2,5 рази більше максимальних шматків матеріалу, з якого береться проба. Маса хімічної проби визначається за формулою:

$$M_{\min} = k_1 \cdot d^a, \quad (3.3)$$

де $M_{\min}$ – мінімальна маса проби, кг; k_1 – коефіцієнт, що залежить від ступеня неоднорідності матеріалу, з якого береться проба; d – діаметр найбільших шматків; a – показник ступеня, який пов'язує розмір шматків з масою проби.

Для залізних руд $a = 2$, для неоднорідних руд $\delta > 2$, $k_1 = 0,05$.

Тоді маємо:

$$M_{\min} = 0,05 \cdot 1002 = 500 \text{ кг.}$$

Відбір проби матеріалу, що рухається, звичайно здійснюється методом перетинів. Він полягає у тому, що деяка частина потоку матеріалу при транспортуванні його на конвеєрі час від часу відбирається для проби. Цей метод найточніший з існуючих.

Для фракційного аналізу потрібно зберігання крупності матеріалу. Обробка проб полягає у ретельному перемішуванні та скороченні до необхідної для даного

аналізу маси. Обробка для хімічного аналізу полягає у подрібненні, перемішуванні, скороченні маси проби та контрольному просіюванні.

Гранулометричний склад визначається за допомогою ситового аналізу. Ситові аналізи виконуються на майданчику, який розташований неподалік від місця відбору проб. Для матеріалу з великими шматками застосовується метод фото-планіметрії. Маса вихідного матеріалу та продуктів рудопереробки на ДСФ визначається з використанням безперервного зважування на конвеєрній стрічці або за допомогою спеціального пристрою для виміру тиску сипкого середовища.

Обробка даних може бути проведена з використанням методів регресійного аналізу.

Дослідження криворізької руди показують, що здатність її шматків до подрібнення тісно пов'язана із вмістом заліза [19-21]. Наявність у руді включень, що знижують її якість й знаходяться здебільшого у крупношматкових фракціях, при подрібненні веде до зниження якості готового за розміром продукту. У зв'язку з цим існують два можливі шляхи підвищення його якості:

- відокремлення бідної шматкової руди з рудопотоку після подрібнення при зменшенні ступеня подрібнення;
- підвищення якості залізорудної сировини за рахунок зняття включень, що її знижують.

Криворізький залізорудний басейн – це група родовищ, які поєднані спільною геологічною будовою рудоносних структур та умовами їхнього утворення. До основних типів багатих руд басейну належать мартитові, гетитогематитові, гетито-гематито-мартитові, магнетитові кварцити та немагнітні різновиди кварцитів. Мінералогічним складом руди визначається величина мінімальних часток, що зустрічаються у рудопотоці. В рудах Кривбасу мінімальні розміри часток мають величину біля 0,005 мм. Поміж усіх залізовмісних мінералів найменші розміри має гематит – найбагатша рудна фракція. Максимальний розмір шматків руди, що видобуваються підземним способом, залежить від технологічних факторів, наприклад, системи розробки, що використовується, способу руйнування породи тощо. У більшості випадків він не перевищує 500 мм.

Підземний видобуток руди пов'язаний із зниженням її якості. Цей фактор дуже складно оцінити за інтервалами крупності руди. Проте, є інформація, яка дає можливість дослідити гранулометричний склад руди підземних рудників Кривбасу з одночасним визначенням вмісту заліза у кожній фракції. Такі дані отримані шляхом дослідження залізорудної сировини басейну на протязі року (загальна маса проб складала біля 5 тис. тонн). Ця робота виконана свого часу Державною інспекцією з якості руд «Діапівденруда» (м. Кривий Ріг). За допомогою методу фотопланіметрії з'ясувався гранулометричний склад потоку руди, що подавався на подрібнення у ДСФ залізорудних копалень. При цьому визначалася кількість шматків різних фракцій на 1 м² стрічки конвеєра. Шматки класифікувались за розміром: менше 25 мм, від 25 мм до 100 мм, від 100 мм до 200 мм, більше 200 мм. На рис. 3.1 приведені зразки фотознімків рудопотоку.

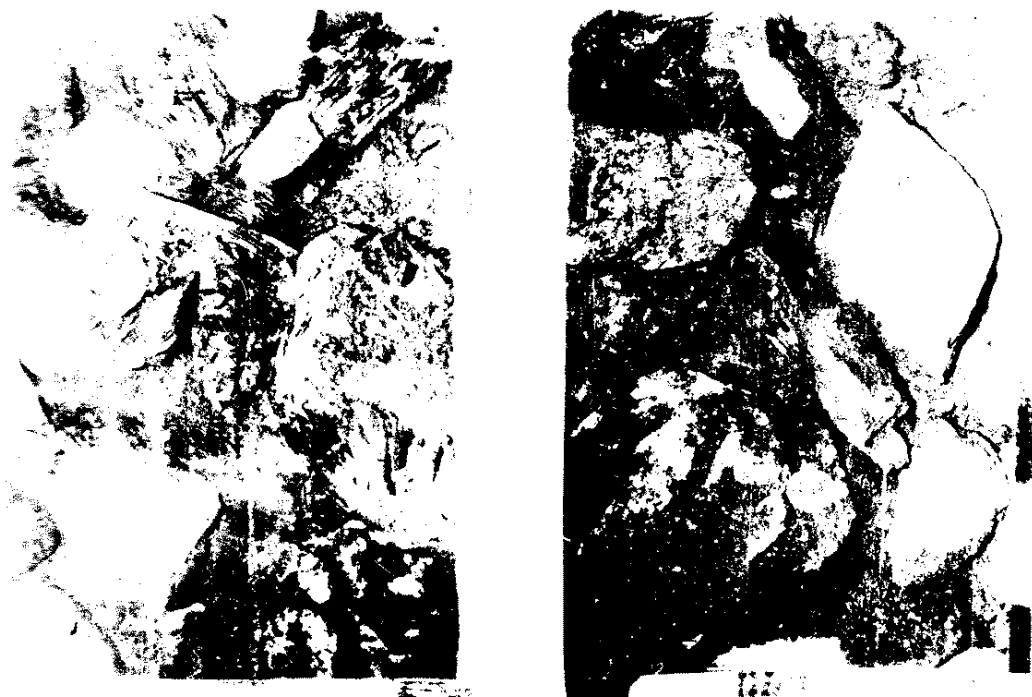


Рисунок 3.1 – Зразки фотознімків рудопотоку

В результаті аналізу вірогідності даних визначено математичне очікування кількості шматків на 1 м² конвеєрної стрічки:

- менше 25 мм – 162;
- від 25 до 100 мм – 102;

- від 100 до 200 мм – 40;
- більше 200 мм – 20.

За цими даними побудована гістограма кількісного розподілення за розміром шматків фракції +100 мм рудопотоку (рис. 3.2). Середній вміст заліза в залежності від розміру шматків ілюструє рис. 3.3. На рис. 3.4 показані пофракційні характеристики рудопотоку.

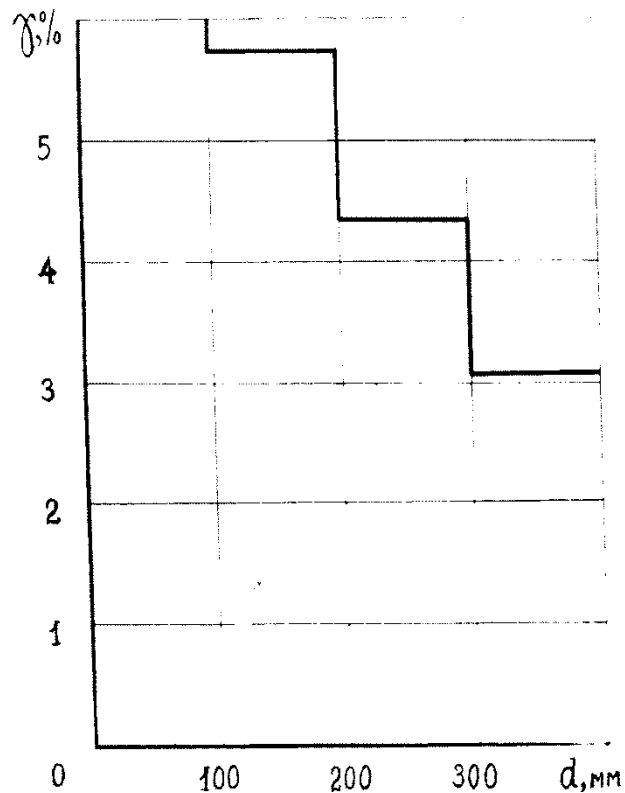


Рисунок 3.2 – Вихід фракції в залежності від середнього розміру шматка

Зміна вмісту заліза за розміром шматків у фракції +100 мм підтверджує загальну закономірність зменшення вмісту заліза із збільшенням розміру шматків.

Одержані результати кількісного розподілення фракцій у рудопотоці та вмісту в них заліза підтверджують тезу про те, що великі фракції рудопотоку є найбіднішими. Це відкриває можливість шляхом зняття цих фракцій з рудопотоку значно вплинути на якість руди, що відвантажується споживачам або йде на подальше збагачення. При цьому є можливість оцінити показники збагачення руди при відокремленні фракцій по різних класах крупності та спланувати різні варіанти зняття з рудопотоку бідних шматкових фракцій.

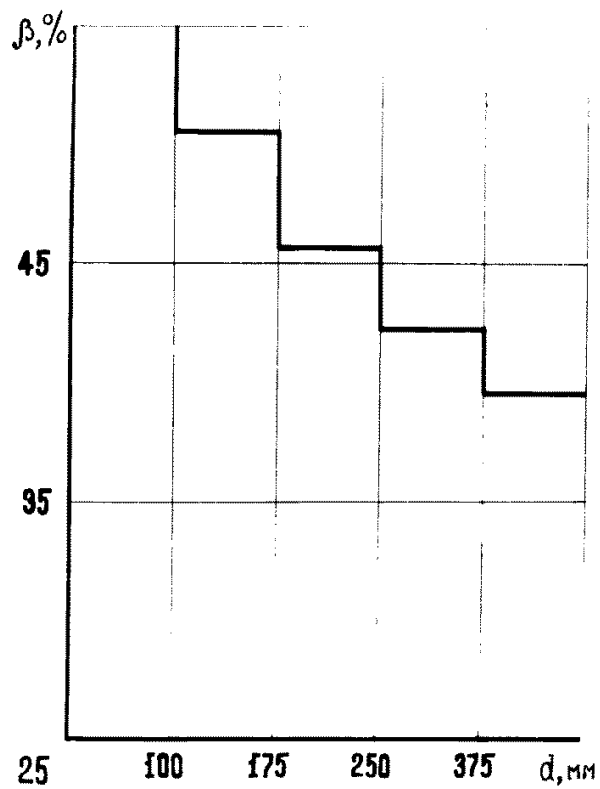


Рисунок 3.3 – Закономірність змінення вмісту заліза від крупності шматків у фракції +100 мм

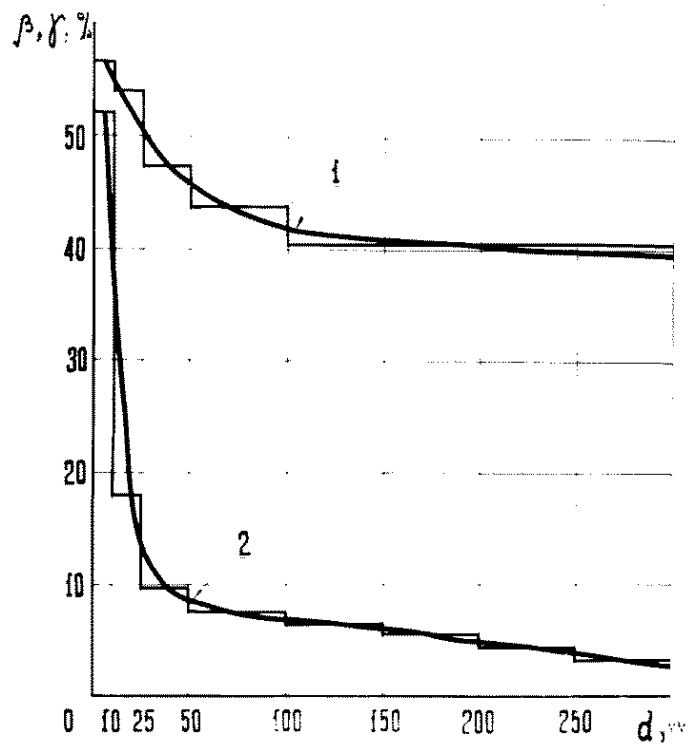


Рисунок 3.4 – Пофракційні характеристики рудопотоку:
 1 – розподілення вмісту заліза β в рудопотоці;
 2 – кількісне розподілення фракцій γ в рудопотоці

3.2 Обґрунтування та розробка рекомендацій щодо керування якістю руди

Наведений вище аналіз вітчизняного та закордонного досвіду щодо керування якістю показує, що наявна інформація дає лише часткові рішення і недостатня для широкого практичного використання. В публікаціях висвітлюються здебільшого методологічні підходи до рішення питання керування якістю. Проте їхня технічна реалізація потребує суттєвої доробки.

Все це обумовлює необхідність проведення подальших досліджень процесу рудопереробки з метою встановлення залежності масової частки металу в товарній руді від фракційного складу рудопотоку та основних параметрів технологічної схеми подрібнення і сортування для обґрунтування раціональних параметрів та конструкції рудосортувального обладнання, яке забезпечить підвищення якості руди на ДСФ залізорудних підприємств. Така технологічна схема рудопідготовки повинна базуватися на мікропроцесорній системі керування якістю сировини.

Далі необхідно встановити зв'язок між якісними характеристиками та гранулометричним складом потоку, а також залежність якості продукту подрібнення від його ступеня. Це робиться на основі досліджень процесу рудопідготовки з використанням побічних даних про вміст корисного компонента у рудопотоці. Результати досліджень дадуть змогу визначити економічну доцільність застосування радіометричного сортування у технологічній схемі рудопідготовки.

Використання багатофакторного аналізу дасть можливість з'ясувати кореляційний зв'язок між поглинанням енергії проникаючого випромінювання, якістю та розмірами об'єкту сортування. Для підвищення точності контролю якості, усунення помилкової реєстрації сигналу від «схожого» продукту сепарації необхідно дослідити вплив деяких фізичних величин, що характеризують ці властивості, та визначити вміст корисного компонента у продукті.

Для отримання продукту заданої величини згідно з вимогами технологічного процесу необхідно використовувати грохочення. Конструктивні параметри грохоту можливо визначити за допомогою імітаційної моделі. При цьому для підвищення питомої продуктивності грохоту й забезпечення часу, достатнього для кон-

тролю об'єкту сепарації, швидкість руху матеріалу просіювальною поверхнею грохоту повинна відповідати часу його знаходження у зоні контролю.

Кількісний опис (моделювання) процесу радіометричного сортування шматків дасть змогу розробити алгоритм мікропроцесорного керування рудовибірною.

Для реалізації цього шляху необхідно здійснити обґрунтування технологічних параметрів обладнання рудосортування.

На металургійну переробку вирішальний технічний та економічний вплив здійснює підготовка залізних руд. Так, наприклад, у вартості чавуну 54% складає вартість руди, 30% – вартість коксу та 16 % – вартість переробки. При підготовці шихти для металургійної переробки з метою поліпшення відновлення руди застосовується сортування руди за розміром. При цьому потрібно відокремлення дрібної фракції (менше 50 мм) та скорочення верхньої межі крупності до 100 мм з можливим подрібненням до 60 мм.

Попереднє відокремлення від рудопотоку бідної шматкової фракції розміром більше 200 мм повинно забезпечити підвищення якості на 1% і більше. При цьому втрати рудної сировини у вигляді бідної крупношматкової фракції не перевищують 7% загальної маси, що майже вдвічі менше масової частки шматкової руди (13%), яку необхідно відокремити після подрібнення при досягненні того ж підвищення якості готового продукту. Це дає можливість визначити місце рудосортувального комплексу в технологічній схемі ДСФ – до стадії середнього подрібнення.

Співставлення різних варіантів відокремлення крупношматкових фракцій до подрібнення дасть змогу визначити оптимальний варіант. Критерії вибору оптимального варіанту наступні:

- задовільнення вимог до якості готового продукту;
- мінімальні питомі енергетичні витрати на переробку рудної сировини;
- мінімальні відходи сировини у бідну шматкову фракцію;
- максимальне видобування корисного компонента при мінімумі відокремлення неметалічних компонентів.

Це дасть можливість визначити клас крупності бідної шматкової фракції, яка найбільш ефективно впливає на якість продукту при вилученні її з рудопотоку до подрібнення.

На основі результатів оцінки показників збагачення руди побудований графік змінення вмісту заліза в готовому продукті від масової частки крупношматкових фракцій, що відокремлюються від потоку (рис. 3.5) [22]. З графіка видно, що найбільше відносне збільшення вмісту заліза у рудопотоці досягається при відділенні фракції +200 мм. Природно припустити, що при переробці на ДСФ великої кількості шматків різного розміру і збереженні загальної закономірності розподілу заліза у рудопотоці, у кожній фракції розкид може бути значним. Відокремлюючи тільки «бідну» частину найбільш засміченої фракції, можна підвищити ефективність рудної сировини при аналогічному вмісті заліза у рудопотоці.

Для оцінки збагачення руди при видаленні з рудопотоку некондиційної частини збідненої крупношматкової фракції проведено дослідження закономірності розподілу корисного компоненту у крупношматкових фракціях. За даними хімічного аналізу, проведеного «Діпівденрудодою» для проб крупношматкової фракції більше 100 мм, побудована гістограма розподілу заліза (рис. 3.6) [22]. Аналіз гістограми розподілу з використанням рівнянь матеріального балансу дозволяє знайти значення вмісту заліза у збіднених включеннях, вибірка яких дозволяє скоротити відходи при необхідному підвищенні якості готового продукту.

Отримані результати використані для визначення показників збагачення руди при видаленні з рудопотоку некондиційних включень залежно від вмісту в них заліза. На підставі цих даних проведена оцінка результатів збагачення при відділенні «бідної» руди. Аналіз отриманої залежності показників збагачення руди від граничного вмісту заліза у некондиційному продукті показав, що найбільш оптимальним варіантом є відділення включень зі вмістом заліза менше 40-45%.

Отримані результати показують, що підвищення якості рудопотоку може бути досягнуто вибіркою некондиційних за вмістом заліза включень із найбільш засміченої фракції рудопотоку, що дозволяє сформулювати вимоги до комплексу технічних засобів, яким повинна бути доповнена технологічна схема ДСФ для пі-

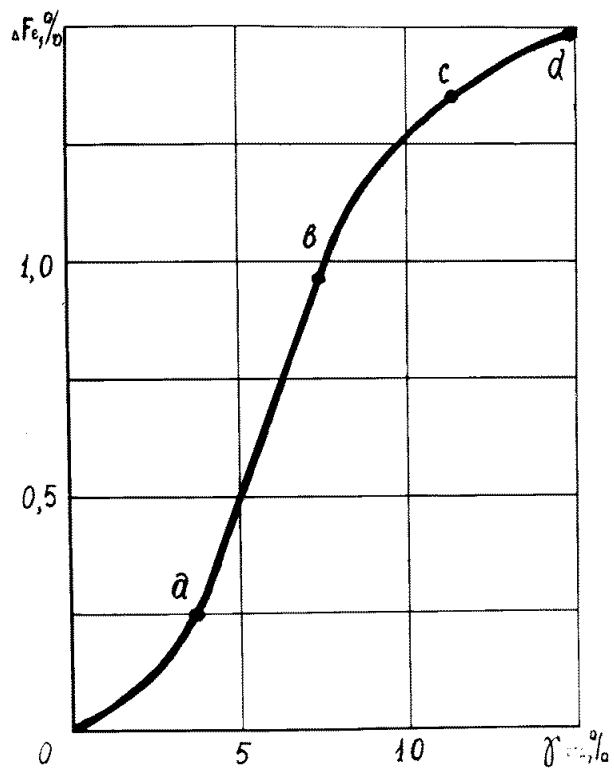


Рисунок 3.5 – Залежність вмісту заліза в готовому продукті від масової частки відокремлюваних з рудопотоку крупношматкових фракцій:
a - відділення фракції +300 мм; *b* - відділення фракції +200 мм;
c - відділення фракції +100 мм

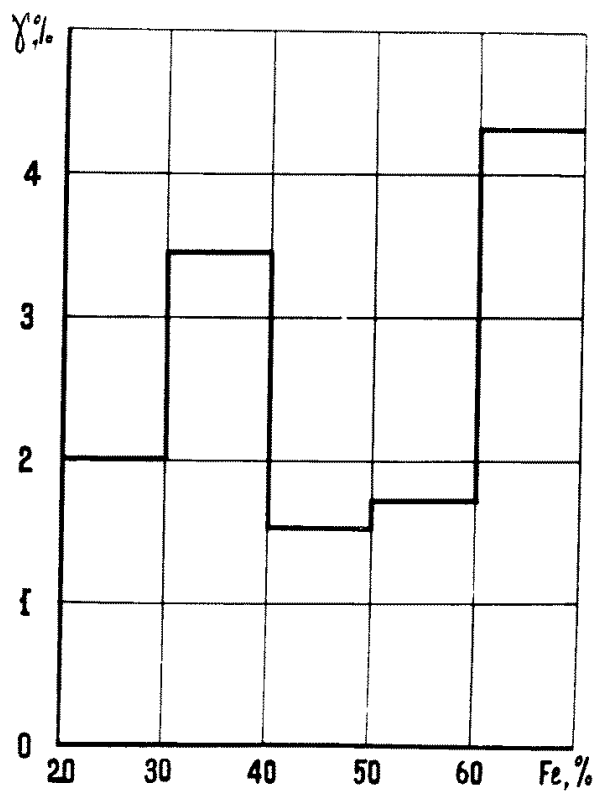


Рисунок 3.6 – Гістограма розподілу вмісту заліза в крупношматковій фракції

підвищення якості руди. Цей рудосортувальний комплекс може включати пристрій для відділення з рудопотоку найбільш засміченої фракції за класом крупності (рудорозбірний грохот) та пристрій для вибірки із цієї фракції некондиційних за вмістом заліза включень. З урахуванням крупності матеріалу таким пристроєм може бути радіометричний сепаратор.

Виконані дослідження дозволяють стверджувати, що при прийнятій у Кривбасі технології видобутку в загальному обсязі підземного виробництва близько 5% руди у вигляді збіднених включень може бути «знято» для підвищення якості на 1%.

3.3 Обґрунтування параметрів засобів радіометричного контролю та видалення некондиційних включень

Як випливає з попереднього матеріалу, контролю якості шматків руди підлягає матеріал розміром більше 200 мм. Однак існуючі радіометричні сепаратори призначені для крупності не більше 150 мм. Тому необхідна розробка такого пристрою, а також методики визначення якості мінеральної сировини в рухомому рудопотоці за ступенем поглинання гамма-випромінювання і розмірами контрольованих шматків.

Загальновідомо, що ступінь поглинання гамма-випромінювання залізною рудою пов'язана із вмістом у ній корисного компоненту, тобто заліза. Це дозволило застосувати гамма-абсорбційний метод для оперативної оцінки якості шматків руди крупністю більше 200 мм.

Для дослідження залежності якості шматка від показань ізотопного датчика передбачалася її відповідність закону загасання Бугера-Ламберта-Бера:

$$X_i = X_n \cdot e^{-\mu\beta H}, \quad (3.4)$$

де X_i – інтенсивність гамма-випромінювання після проходження крізь шматок, імп./с; X_n – інтенсивність гамма-випромінювання без шматка, імп./с; μ – постійна загасання; β – вміст заліза в шматку, %; H – товщина шматка в місці виміру, мм.

Після перетворення формули (3.4) отримаємо:

$$\beta = \frac{\ln\left(\frac{X_n}{X_i}\right)}{\mu \cdot H}. \quad (3.5)$$

Для вирішення завдання по розробці ефективного методу рудосортування необхідно забезпечити високу точність контролю вмісту заліза в шматках рухомого крупношматкового рудопотоку і вибірку некондиційних за вмістом заліза шматків.

Для виявлення закономірності зв'язку вмісту заліза в шматках найбільш за-
сміченої фракції зі ступенем гамма-поглинання і товщиною шматка розроблена лабораторна установка (рис. 3.7) [22].

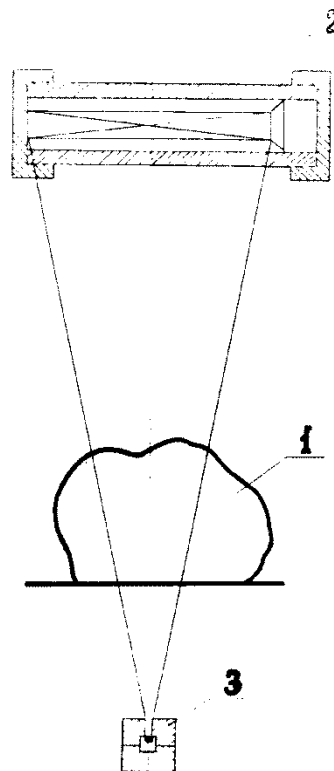


Рисунок 3.7 – Схема лабораторної установки для виявлення залежності вмісту заліза від густини шматка:

1 – шматок; 2 – датчик; 3 – джерело випромінювання

Добір проб здійснювався шляхом збирання шматків класу +200 мм з рудопотоку випадковим шляхом протягом 10 змін. Необхідне число проб визначено з умови «пасивного» експерименту:

$$N = K \cdot 20,$$

де K – характеризує кількість факторів, що впливають на досліджуваний процес.

В якості таких факторів прийняті лінійний розмір (товщина) шматка та вміст корисного компонента.

Радіометричному обстеженню підлягали 100 зразків. В результаті лабораторних досліджень зразки 1 піддавалися опроміненню на лабораторній установці (рис. 3.7), що складалася з датчика 2 та джерела 3. В якості джерела гамма-випромінювання застосовувався цезій-137. Кожен зразок поміщали над коліматором джерела гамма-випромінювання, реєстрували ослаблене шматком гамма-випромінювання і вимірювали товщину зразка. З метою оцінки можливості застосування радіометричного методу для підвищення якості мінеральної сировини за результатами реєстрації була визначена наступна регресійна залежність:

$$Fe = 735,9 \cdot \ln\left(\frac{X_i}{X_n}\right) H + 8,24. \quad (3.6)$$

Ця залежність представлена на рис. 3.8. Точність оцінки вмісту заліза невисока (коефіцієнт кореляції 0,57). Низька точність обумовлена погрішністю виміру гамма-поглинання через флуктуацію випромінювання високоенергетичного радіоізотопного джерела.

Для підвищення точності виміру гамма-поглинання в шматках крупношматкового рухомого рудопотоку період опитування гамма-детекторів t вибирався з умови, щоб він перевищував інтервал часу Δt між вихідними імпульсами детекторів при максимальній товщині шматка з найбільшим вмістом в ньому заліза і був на порядок менше часу повного проходження середнього контрольованого шматка через вісь тілесного кута гамма-випромінювання. Він може бути визначений з наступної нерівності:

$$\Delta t \leq t \leq \frac{0,1L_K}{V},$$

де L_K – середньостатистична довжина шматка, мм; V – швидкість конвеєра, що забезпечує подачу матеріалу в зону контролю по одному шматку.

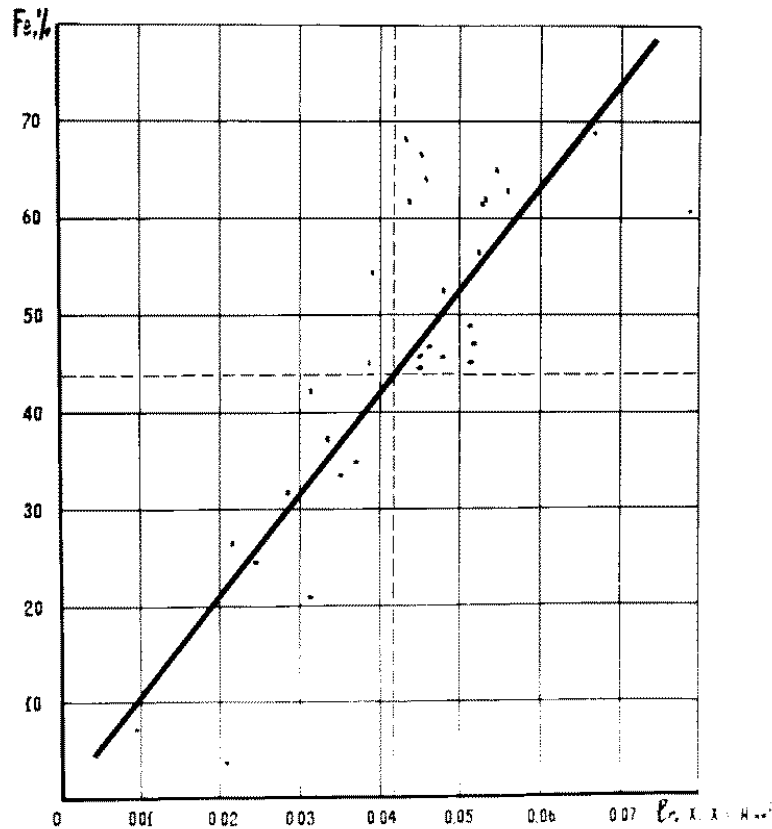


Рисунок 3.8 – Оцінка вмісту заліза за ступенем гамма-поглинання в шматках руди

При довжині шматка 200 мм та інтервалі часу $t = 150$ мс може бути визначена швидкість конвеєра:

$$V = \frac{0,1 \cdot 200}{150} = 0,13 \text{ м/с}.$$

Для згладжування тимчасової нестабільності випромінювання було запропоновано використати дискретний високочастотний фільтр. В кожному інтервалі виміру оцінка гамма-випромінювання визначалася за формулою:

$$X_{B(i)} = a \cdot X_{(i)} + (1-a) \cdot X_{(i-1)},$$

де $X_{(i)}$, $X_{(i-1)}$ – показання датчиків гамма-випромінювання відповідно в поточному та попередньому інтервалах виміру; $X_{B(i)}$ – розраховане значення гамма-випромінювання в поточному інтервалі виміру з компенсацією тимчасової нестабільності; a – параметр дискретного фільтру.

Параметр фільтру може бути визначений з наступної формули:

$$a = e^{-\frac{1}{\tau}},$$

де τ – час перехідного процесу:

$$\tau = \frac{t_y}{3,5},$$

де t_y – час загасання автокореляційної функції.

За цими даними показань гамма-детекторів побудована автокореляційна крива (рис. 3.9), на підставі аналізу якої визначено час загасання автокореляційної функції t_y та параметр фільтру a :

$$0,51 \leq a \leq 0,61.$$

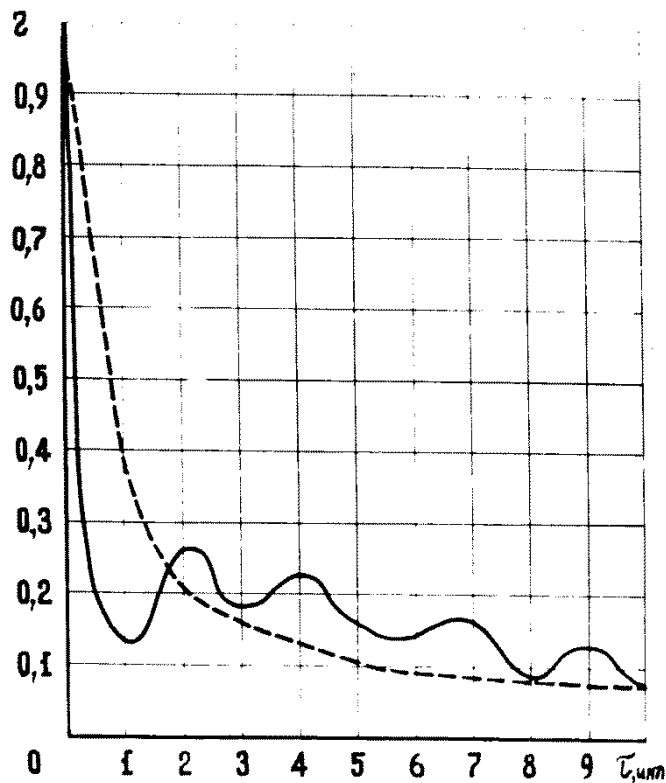


Рисунок 3.9 – Автокореляція флуктуації гамма-випромінювання

Фільтрація майже вдвічі зменшує помилку вимірів. Використання цього методу вимірів для розпізнавання шматків із вмістом заліза, меншим 45%, забезпечує достатню для практичного застосування точність. Коефіцієнт точності добору по граничному вмісту заліза 45%:

$$K = 0,85. \quad (3.7)$$

Для визначення товщини просвічуваного шматка встановлюється друге джерело гамма-випромінювання таким чином, щоби осі тілесних кутів, утворених гамма-променями обох джерел, були взаємно перпендикулярними, а тілесний кут гамма-випромінювання другого джерела повністю перекривався тільки шматком максимальної товщини (рис. 3.10).

У результаті кореляційного аналізу взаємозв'язку ослаблення гамма-випромінювання і відповідної товщини зразків отримане рівняння регресії:

$$H = 140 - 100 \frac{Y_i}{Y_n}. \quad (3.5)$$

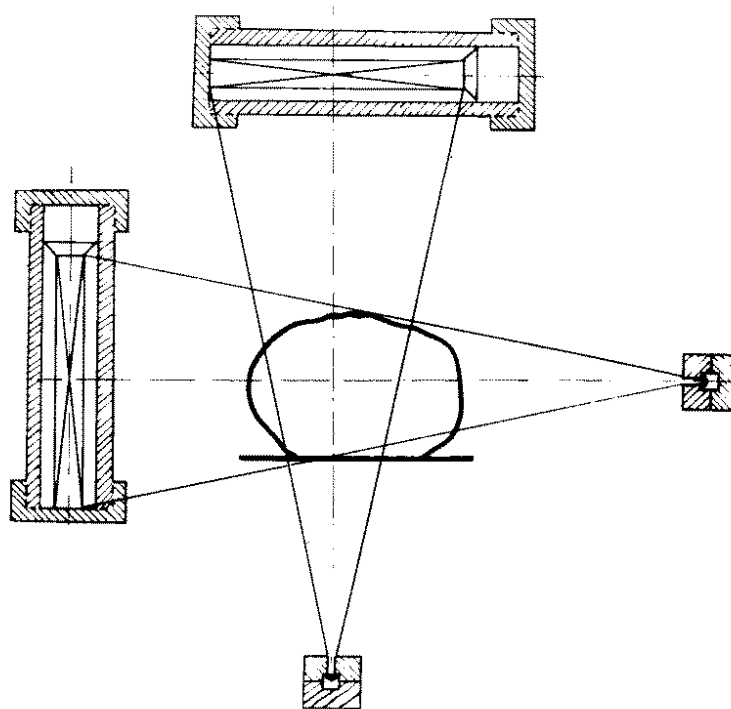


Рисунок 3.10 – Схема лабораторної установки для оцінки вмісту заліза за густиною та товщиною шматка

Коефіцієнт кореляції - 0,84, що підтверджує тісноту зв'язку. Цей взаємозв'язок показаний на рис. 3.11.

Все вищевикладене визначило можливість відділення з рудопотоку некондиційних включень за допомогою методу радіометричної сепарації.

Для підвищення точності оцінки вмісту заліза в шматках різної крупності

отримані залежності вмісту заліза від гамма-поглинання у двох взаємноперпендикулярних напрямках для різних діапазонів крупності матеріалу.

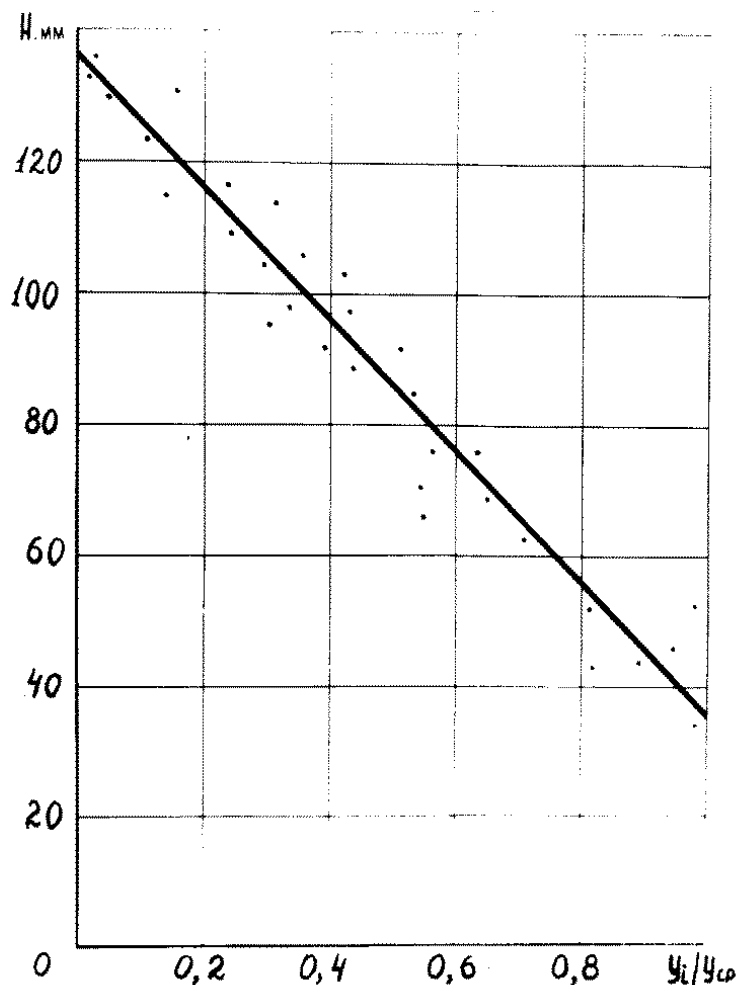


Рисунок 3.11 – Оцінка товщини шматка за ступенем «затінення» гамма-випромінювання

Висновки:

- для підвищення ефективності процесу рудопідготовки необхідно мати кількісний опис всіх продуктів та операцій, що беруть участь у процесі рудопідготовки. Кількісні закономірності дадуть змогу оптимізувати та автоматизувати цей процес;
- дослідження кількісних і якісних властивостей криворізької залізної руди дали можливість визначити два шляхи підвищення її якості: відокремленням бідної шматкової руди з рудопотоку після подрібнення при зменшенні ступеня по-

дрібнення; підвищенням якості залізорудної сировини за рахунок зняття включень, що її знижують;

- результати кількісного розподілення фракцій у рудопотоці та вмісту в них заліза підтверджують тезу про те, що великі фракції рудопотоку є найбільш цінними. Це відкриває можливість шляхом зняття цих фракцій з рудопотоку значно вплинути на якість руди, що відвантажується споживачам або йде на подальше збагачення;

- встановлена залежність вмісту заліза в готовому продукті від його виходу. В результаті аналізу залізорудної сировини (на прикладі шахт південної групи підземних рудників Кривбасу) встановлені закономірності зміни вмісту заліза і масової частки кожної фракції в рудопотоці, які дозволяють оцінити різні варіанти відділення крупношматкових фракцій по впливу їх крупності на якість готового продукту;

- розроблено метод вибору шляху підвищення якості залізорудної сировини на ДСФ, що здійснюється на основі аналізу зазначених залежностей. Застосування цього методу дозволяє прийняти науково-обґрунтоване рішення про параметри засобів радіометричного контролю та видалення некондиційних включень.

4 ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РАДІОМЕТРИЧНОЇ СЕПАРАЦІЇ РУДИ

4.1 Аналіз та вибір вихідних вимог до обладнання для підвищення якості залізорудної сировини у рухомому рудопотоці

Пропонований спосіб підвищення якості руди у рухомому рудопотоці має бути реалізований за допомогою використання відповідного обладнання. На підставі викладеного у попередніх розділах матеріалу розроблено алгоритм мікропроцесорного керування підвищенням якості рудної сировини, приведений на рис. 4.1 [22].

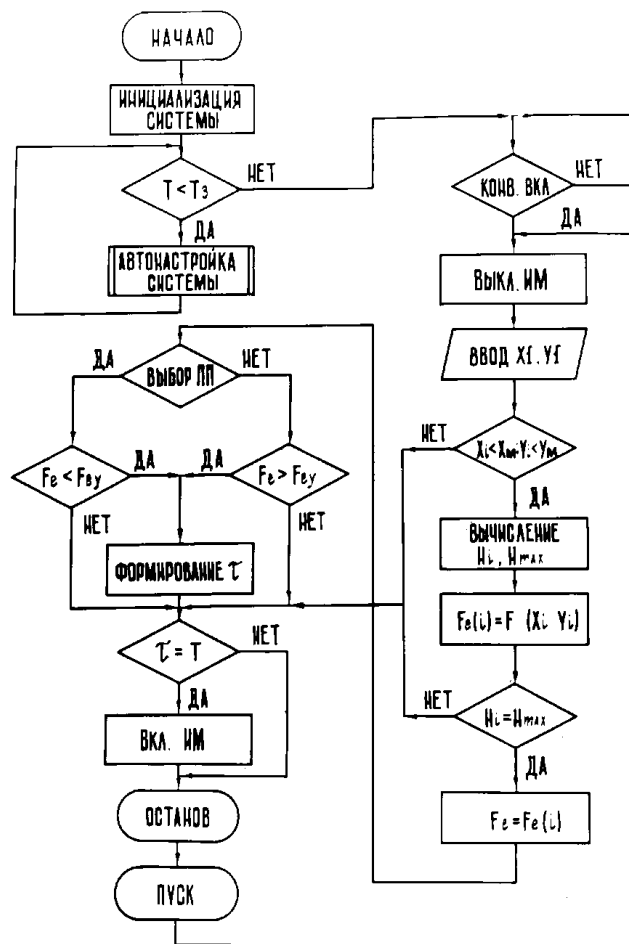


Рисунок 4.1 – Алгоритм керування процесом рудовибірки

Рудосортувальний комплекс з мікропроцесорним керуванням призначений для підвищення якості мінеральної сировини за рахунок відділення з рудопотоку

найбільш засміченої фракції з наступною вибіркою з неї некондиційних включень за допомогою гамма-абсорбційного методу радіометричної сепарації.

До складу комплексу можуть бути включені такі машини і пристрої:

- грохот (наприклад, вібраційного типу), що забезпечує ефективне відділення найбільш засміченої фракції (+200 мм);
- багатоканальний сепаратор, що здійснює подачу матеріалу по одному шматку в зону гамма-абсорбційного контролю якості;
- джерела і детектори гамма-випромінювання (по два на кожному каналі), які просвічують контрольовані шматки у взаємно-перпендикулярних напрямках гамма-квантами і реєструють ослаблене випромінювання (вимір інтенсивності гамма-квантів у взаємно-перпендикулярних напрямках дозволяє усунути дестабілізуючий вплив змінної товщини просвічуваного шматка);
- мікропроцесорний пристрій, який аналізує сигнали детекторів гамма-випромінювання і виробляє керуючі сигнали на виконавчі пристрої (маніпулятори);
- маніпулятори (по одному на кожному каналі), що відокремлюють з потоку на ділянці розвантаження сепаратора некондиційні шматки за керуючими сигналами мікропроцесорного пристрою.

Мікропроцесорний пристрій керування (МПК) повинен мати певну обчислювальну потужність, дозволяти вводити і виводити необхідні сигнали для керування. Застосування серійних ЕОМ дає позитивний ефект при наявності у своєму складі достатньої кількості технічних засобів для зв'язку з об'єктом. Потрібні засоби обчислювальної техніки, які при мінімальній апаратній надмірності не вимагали б істотної переробки для зв'язку з рудосортувальним комплексом, габарити і вартість яких дозволили б використовувати їх як систему регулювання в умовах гірничорудного підприємства.

З технічної точки зору пристрій повинен бути простим, надійним та економічним. Він має виконувати усі функції керування при оптимальному сполученні апаратних та програмних засобів. Тому етапу вибору технічних засобів повинен передувати аналіз можливих варіантів реалізації окремих функцій системи керування: синхронізації з максимальною частотою імпульсів гамма-детекторів,

імпульсного керування виконавчими механізмами, обробки та передачі інформації.

На жаль в наш час на гірничорудних підприємствах знання середньої ланки електротехнічного персоналу в галузі програмування та обчислювальної техніки нижче бажаного рівня. У більшості споживачів відсутнє спеціальне устаткування для оперативного обслуговування обчислювальної техніки. Існує також певний психологічний бар'єр. Тому пристрій повинен бути простим в експлуатації, дозволяти локалізувати та усувати несправності в системі регулювання протягом мінімального часу без використання складного устаткування.

Система керування якістю в рухомому рудопотоці може складатися з об'єкту регулювання, пристрою керування, засобів введення заданих та обмірюваних параметрів (уявна густина і товщина контрольованих шматків). В мікропроцесорному пристрої керування за заданими та фактичними значеннями контрольованих параметрів обчислюються керуючі впливи згідно з прийнятим законом регулювання. Тут же реалізуються всі операції керування виконавчим механізмом. Сигнали первинних датчиків уявної густини і товщини шматка перетворюються в цифрові коди у відповідних інтерфейсних осередках. Причому результат перетворення характеризує поточне значення обмірюваного параметру. В спеціальних підпрограмах нормалізується вихідна інформація, а також вирішуються рівняння, наведені вище. Результатом обчислювальних та логічних операцій на кожному інтервалі перетворення є керуючий вплив і код виконавчого механізму відповідної лінії контролю якості.

Керуючий вплив реалізується з урахуванням часу проходження контрольованого шматка із зони контролю якості в зону виконавчого механізму, що характеризує наявність в системі регулювання запізнювання на час проходження матеріалу. Виміри та обмін інформацією між мікропроцесорним пристроєм керування та інтерфейсними осередками здійснюються синхронно з кроком дискретизації, що дорівнює:

$$t = \frac{10^{-4} \cdot d}{V_K}, \text{с}, \quad (4.1)$$

де V_K - швидкість конвеєра, м/с; d - розмір зерна контрольованої фракції, мм.

Це дозволяє реалізувати алгоритм керування однієї або декількома лініями контролю якості.

Після включення живлення пристрою здійснюється пуск програми з нульової початкової адреси. Виконується підпрограма початкових формувань (ПФ): проводиться очищення (обнуління) робочих осередків оперативної пам'яті, встановлюються нульові значення «регуляторів» тощо. З інтервалом часу t , по ознаці закінчення циклу виміру, здійснюється опитування гамма-детекторів по кожному контрольованому параметру. Щоб виключити переповнення розрядної сітки, лічильник інтервалів регулювання по переповненню встановлюється в нульове положення.

Далі відбувається аналіз роботи сепаратора. Якщо він виключений, уточнюються значення $X_{(i)}$ без потоку руди на кожній лінії контролю. Якщо сепаратор включений, здійснюється обчислення показника якості мінералу та порівняння отриманого значення із заданим граничним. При рівності або перевищенні цього значення запускається підпрограма формування керуючого впливу, визначається час включення виконавчого механізму та його номер. У кожному інтервалі регулювання перевіряється необхідність реверсу виконавчого механізму (з урахуванням часу спрацьовування) і, якщо буде потреба, робиться відповідний керуючий вплив.

У випадку відключення системи регулювання її запуск здійснюється з підпрограми початкових формувань, чим забезпечується надійність її функціонування.

Для системи безпосереднього регулювання якості рудопотоку необхідно розробити та налагодити математичне забезпечення, що реалізує алгоритм керування рудовиборкою та укомплектувати ним мікропроцесорний пристрій регулювання. Налагодження розроблених програм можливо при наявності гнучкої системи спілкування людини із пристроєм, що дозволяє швидко і зручно редагувати вміст запам'ятовуючого пристрою. Для цього необхідний значно більший обсяг оперативної пам'яті, ніж буде потрібно надалі для зберігання налагодженої про-

грами. У процесі налагодження необхідно мати досить складні технічні засоби. Аналіз можливих рішень показує, що найбільш доцільним є використання для цих цілей серійних мікро-ЕОМ із необхідними засобами введення і виведення інформації. Запам'ятовуючий пристрій ЕОМ повинен використовуватися для зберігання програми і бути доступним для звертання до нього процесора пристрою керування.

Викладений матеріал дозволяє запропонувати такий склад та конструкцію рудосортувального комплексу (принципова структурна схема наведена на рис. 4.2):

- вібраційний грохот, що забезпечує ефективне відділення найбільш засміченої фракції (+200 мм);
- багатоканальний радіометричний сепаратор для контролю якості класу +200 мм та видалення з нього некондиційних шматків.

Необхідність наявності декількох паралельних ліній контролю шматків диктує досить значну ширину сепаратора. Одна доріжка займає не менше 210 мм (виходячи з мінімального розміру контролюваного шматка), таких паралельних доріжок внаслідок значної кількості шматків має бути декілька, між ними необхідні щілини для скидання некондиційних екземплярів, тому загальна ширина установки при шести доріжках може досягати трьох метрів.

Живлення такого сепаратора одним грохотом неможливе: конструкція з такою шириною робочого органу зажадала би наявності надмірно довгого валу приводу, нереального з погляду міцності. Тому більш доцільно використання двох паралельно встановлених однакових грохотів.

Робочі органи грохотів – колосникового типу, що природно, приймаючи до уваги значний розмір шматка, який повинен йти в підгрохотний продукт. Ширина щілини сита – 150 мм; це найбільш раціональний розмір для відділення класу – 200 мм, тому що 200 – це максимальний габарит (довжина) шматка, а ширина та висота його менше.

Шматки руди класу +200 мм, що сходять з колосників грохотів, повинні бути спрямовані на відповідні доріжки сепаратора, причому на кожну з них у суво-

рій послідовності, один за іншим. Для цього кожен грохот має бути оснащений спеціальною лійкою, що випускає шматки «в колону по одному» відповідно до розташування доріжок сепаратора.

До радіометричного сепаратора ставляться такі вимоги:

- робочий орган сепаратора не може бути суцільним. Необхідні подовжні проміжні щілини або вікна для видалення некондиційних шматків руди;

- установка повинна працювати з безупинно рухомим рудопотоком, не зупиняючи переміщення шматків ані на секунду. Це пояснюється необхідністю забезпечення значної продуктивності сепаратора, не меншої, ніж продуктивність транспортної лінії ДСФ, куди він має бути вбудований;

- з попередньої вимоги випливає, що час, який може бути відведений на радіометричний контроль кожного шматка, надзвичайно обмежений, хоча за допомогою просіювання ми значно зменшуємо кількість цих шматків. З іншого боку, цей час має бути достатнім для здійснення процесу контролю та операції поділу потоку за якістю;

- апаратура радіометричного контролю повинна враховувати вплив товщини шматка на ступінь поглинання гамма-випромінювання і, як наслідок, на оцінку вмісту корисного компонента в ньому;

- установка повинна мати пристрій керування, наприклад мікропроцесорний, що дозволяє обробляти інформацію, яка надходить від апаратури контролю, та формувати необхідні сигнали керування для поділу шматків за якістю;

- остання операція повинна здійснюватися спеціальними виконавчими механізмами, встановленими на кожному каналі сепараторної зони. Ці механізми мають забезпечувати зворотно-поступальний рух виконавчого елемента та виштовхувати з колони контрольованих шматків, що рухаються, або некондиційні, або якісні (в залежності від налаштування системи керування), скидаючи їх у спеціальну ємність або повертаючи у загальний потік.

Для оперативної оцінки якості шматків крупністю більше 200 мм можна застосувати гамма-абсорбційний метод, заснований на оцінці ступеню поглинання гамма-випромінювання після проходження через шматок. Чим вище якість шмат-

ка, тим більше поглинання.

Головною ланкою розроблюваного сортувального комплексу, без сумніву, є саме радіометричний сепаратор, від точності та надійності роботи якого буде залежати ефективність процесу рудосортування.

З конструктивної точки зору робочий орган сепаратора представлятиме собою транспортну установку, якою декількома паралельними доріжками мають рухатися колони шматків спочатку в зону контролю, а потім – в зону вибірки. В якості такої транспортної установки можна використати або стрічковий конвеєр, або вібраційний.

В першому випадку раціонально було б мати декілька окремих стрічок (за числом необхідних доріжок) на загальних приводному і холостому барабанах. Положення доріжок на барабанах має бути фіксованим, тобто необхідні якісь обмежники від сходження стрічок убік. Кожна стрічка повинна мати свій персональний механізм натягу. Між стрічками необхідні проміжні щілини для скидання некондиційних шматків руди.

Але можливо застосування й вібраційного робочого органу. У цьому випадку можна скоротити число машин комплексу за рахунок сполучення в одній установці двох функцій: грохоту і сепаратора. Така вібраційна машина (грохот-сепаратор) має виконувати як функцію просіювання, так і функцію сепарування на одному робочому органі. Потік руди, що потраплятиме на нього, спочатку буде розділятися за крупністю (за класом 200 мм), а потім за якістю. Робочий орган зони просіювання може бути колосникового типу, зони сепарування – суцільним. На виході із зони сепарування в робочому органі мають бути передбачені вікна чи прорізи для скидання некондиційних шматків руди.

4.2 Обґрунтування можливих конструктивних рішень комплексу для попереднього збагачення залізорудної сировини

4.2.1 Варіант використання робочого органу конвеєрного типу

У цьому випадку у складі механічної частини сортувального комплексу ми

повинні мати дві основні машини: вібраційний грохот (або два паралельно встановлені грохоти) для виділення класу +200 мм з основного рудопотоку, що поступає з рудовидобувного підприємства, та радіометричний сепаратор з конвеєрним транспортним органом.

Першу машину (машини) доцільно, на наш погляд, виконати у вигляді колосникової конструкції, адже вона буде мати справу з крупношматковим матеріалом. На рис. 4.3 показана пропонується схема металоконструкції вібраційного грохоту з робочим органом, що створюється паралельними поздовжніми колосниками, для виготовлення яких використовуються залізничні рейки Р43 з обрізаними підставами. У такому виконанні колосників щілини між ними будуть розширюватися у напрямку проходження шматків крізь них (зверху-вниз) для запобігання їх можливого заклинення. Що стосується ширини щілин, то для пропускання шматків –200 мм, як було сказано вище, достатньо величини у 150 мм.

Колосники уварені в поперечні балки коробчастого профілю з швелерів, а ті у свою чергу – у поздовжні несучі балки подібної конструкції. До останніх приварені бічні і задній борти та портална конструкція для установки над робочим органом вібраційного приводу.

Конструкція грохоту – опорно-підвісна: його передня частина спирається на нижні несучі конструкції місця монтажу через опорні пружини стискання, а задня – підвішується до верхніх несучих конструкцій за допомогою гумометалевих шарнірів. Кут установки грохоту – 20°. Такий нахил робочого органу забезпечуватиме впевнене і з високою продуктивністю переміщення оброблюваного матеріалу по ньому, а згенеровані віброприводом спрямовані вертикальні коливання – ефективне його перемішування для якісного грохочення.

Для підвищення загальної продуктивності комплексу радіометричного збагачення можна використовувати два паралельно встановлені грохоти, які разом забезпечуватимуть просіювання матеріалу через 12 щілин (по 6 щілин кожний). Продукт –200 мм буде відділятися на робочих органах грохотів як такий, що не потребуватиме попереднього збагачення, а шматки розміром +200 мм – залишатися на них в якості надрешітного. Останні розвантажуються на проміжні лотки,

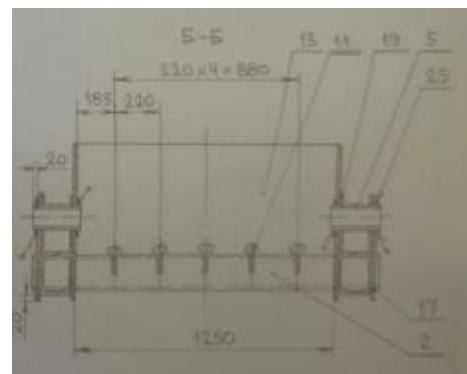
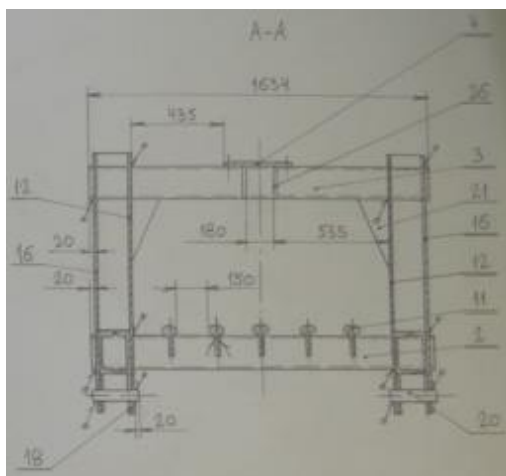
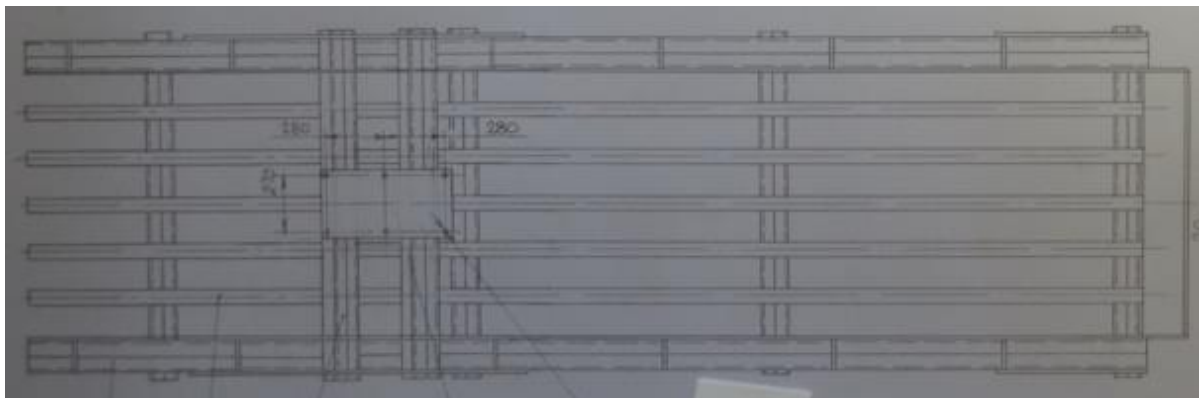
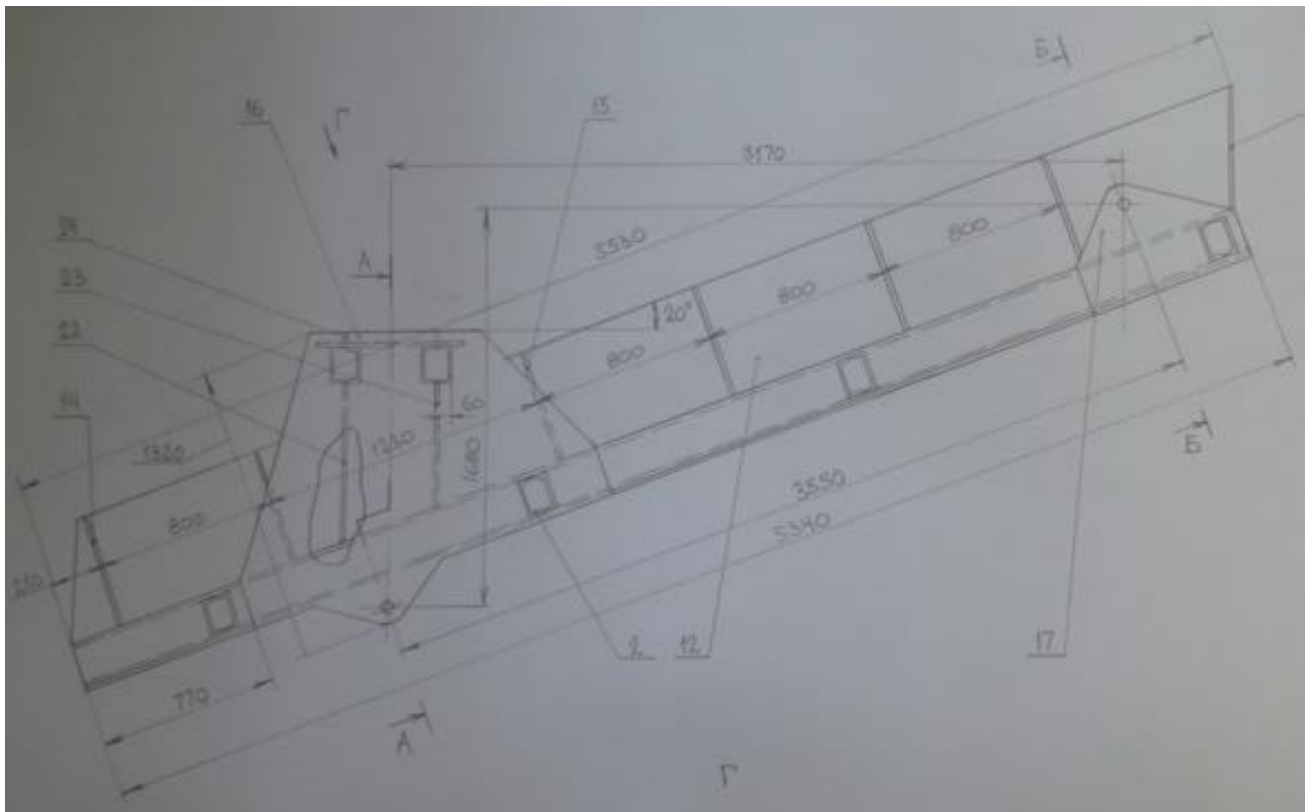


Рисунок 4.3 – Схема металлоконструкції вібраційного грохоту колосникового типу для вилучення з рудопотоку класу +200 мм

на яких групуються у шість паралельних ниток і подаються на встановлений за грохотами радіометричний сепаратор.

Приблизна конструктивна схема такої машини з конвеєрним робочим органом показана на рис. 4.4. Сепаратор представляє собою короткий стрічковий конвеєр з двома співвісними приводними і двома співвісними натяжними барабанами. Кожна пара барабанів (співвісний і натяжний) несе на собі три окремі конвеєрні доріжки (кожна завширшки у 240 мм) для руху шматків, розділені проміжками для можливості скидання у них некондиційного матеріалу.

Стрічки ковзають по металевому настилу зі швидкістю не більше 0,4 м/с. Такий безроликовий постав в умовах порівняно невеликого навантаження на стрічки забезпечує, з одного боку, спрощення конструкції установки, а з іншого – стабільний і спокійний хід шматків без провалювань у мікроликовий простір. Для запобігання бічних сходів стрічок на барабанах передбачені спеціальні обмежники у вигляді наварених на їх обичайки сталевих прутків.

Кожна з шести доріжок сепаратора по ходу шматків має спочатку зону контролю якості, а потім – зону вибірки некондиційних пристроїв. У першій зоні шматок на доріжці перевіряється за допомогою двох навхрест розташованих пар «джерело випромінювання – датчик». Одна з них вимірює ступінь загасання проникаючого крізь шматок гамма-випромінювання, а друга – враховує товщину шматка. Сигнали з датчиків передаються на мікропроцесорний пристрій керування, розташований поза межами сепаратора, де вони аналізуються і порівнюються із заздалегідь встановленим граничним значенням вмісту заліза. В результаті аналізу пристрій формує той чи інший командний сигнал на розділовий пристрій, а саме: видалити шматок з рудопотоку, якщо він виявився некондиційним, або залишити у ньому в разі достатнього рівня його якості. Розділові пристрої кожної доріжки знаходяться у зоні вибірки і можуть бути виконані у вигляді важелів, які приводяться до руху за допомогою лінійних електродвигунів. Важелі скидають некондиційні шматки у проміжки між конвеєрними доріжками, де вони потрапляють у відповідну ємність для некондиційного продукту. Якісні шматки залишаються на доріжках і розвантажуються з них у кінці сепаратора.

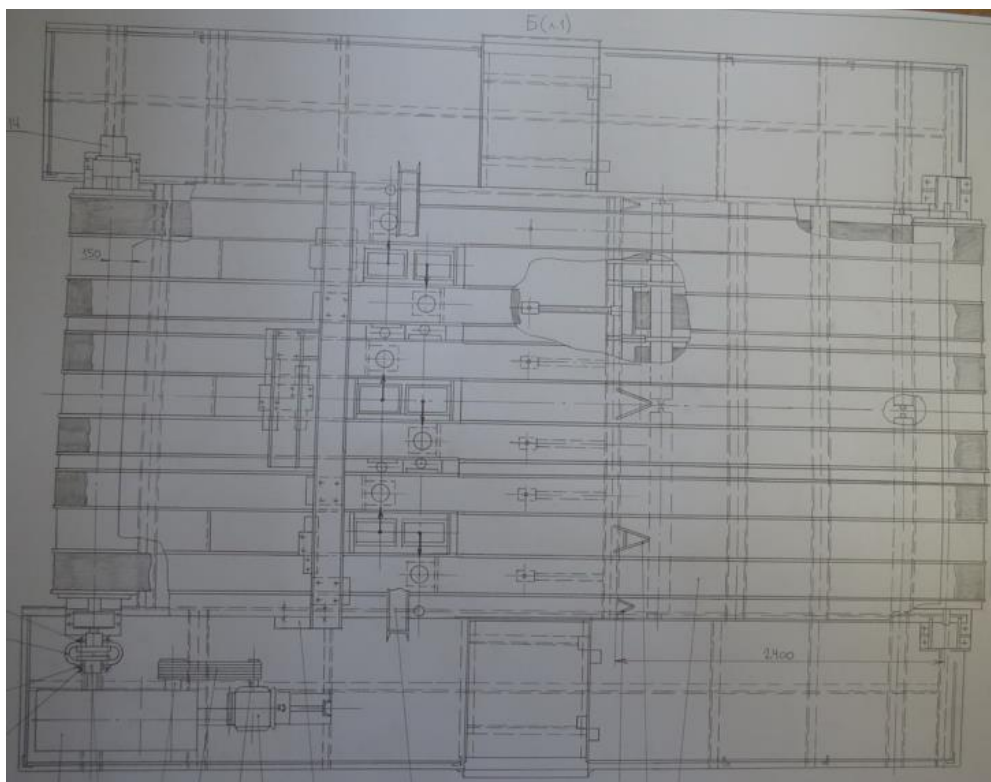
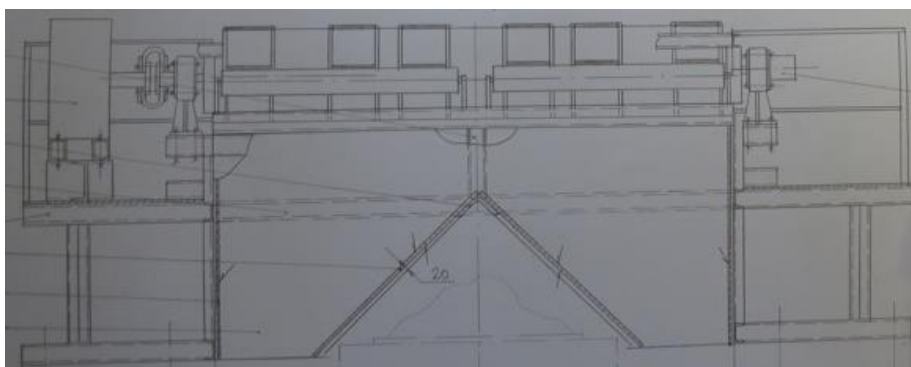
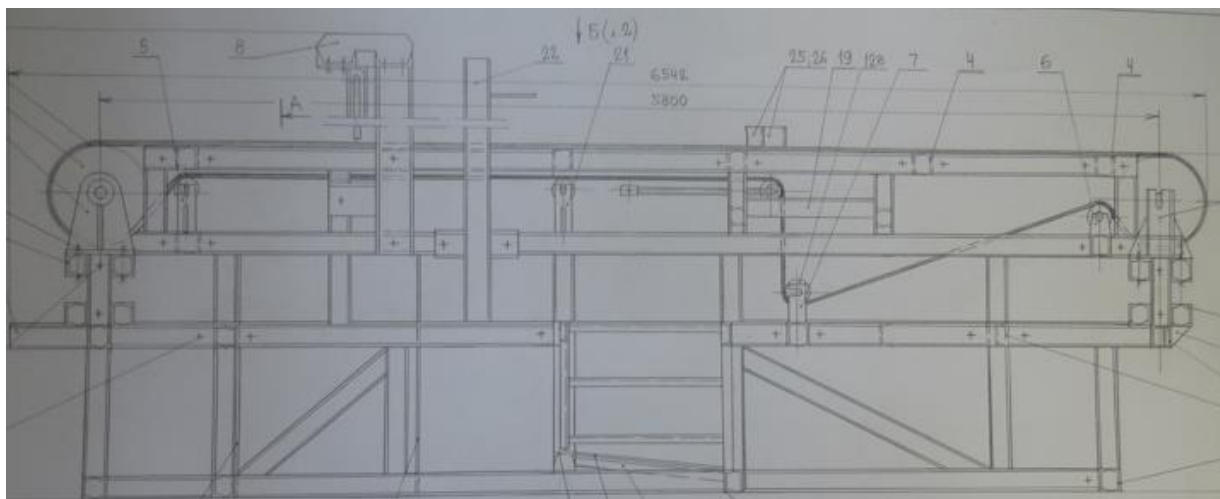


Рисунок 4.4 – Схема радіометричного сепаратора конвєсного типу

При такій кількості робочих доріжок та вказаній швидкості їх руху сепаратор має забезпечити технічну продуктивність не менше 90 т матеріалу за годину. З огляду на те, що клас +200 мм, який він перероблятиме, складає приблизно 7% усього рудопотоку (див. п. 3.2), один подібний комплекс здатний обслуговувати загальний рудопотік продуктивність майже 1200 т/г.

На рис. 4.5 показана схема описаного комплексу обладнання для радіометричного збагачення залізної руди із сепаратором конвеєрного типу в умовах дробильної фабрики. На ній показані два віброгрохота колосникового типу опорно-підвісної конструкції, які розділяють загальний рудопотік на два: –200 мм і +200 мм. Перший йде на віброгрохот типу ГІТ 71Н, який відбирає з нього крупні фракції для дроблення у дробарці. Клас +200 мм з колосникових грохотів прямує через напрямні лійки на конвеєрний сепаратор для радіометричного контролю.

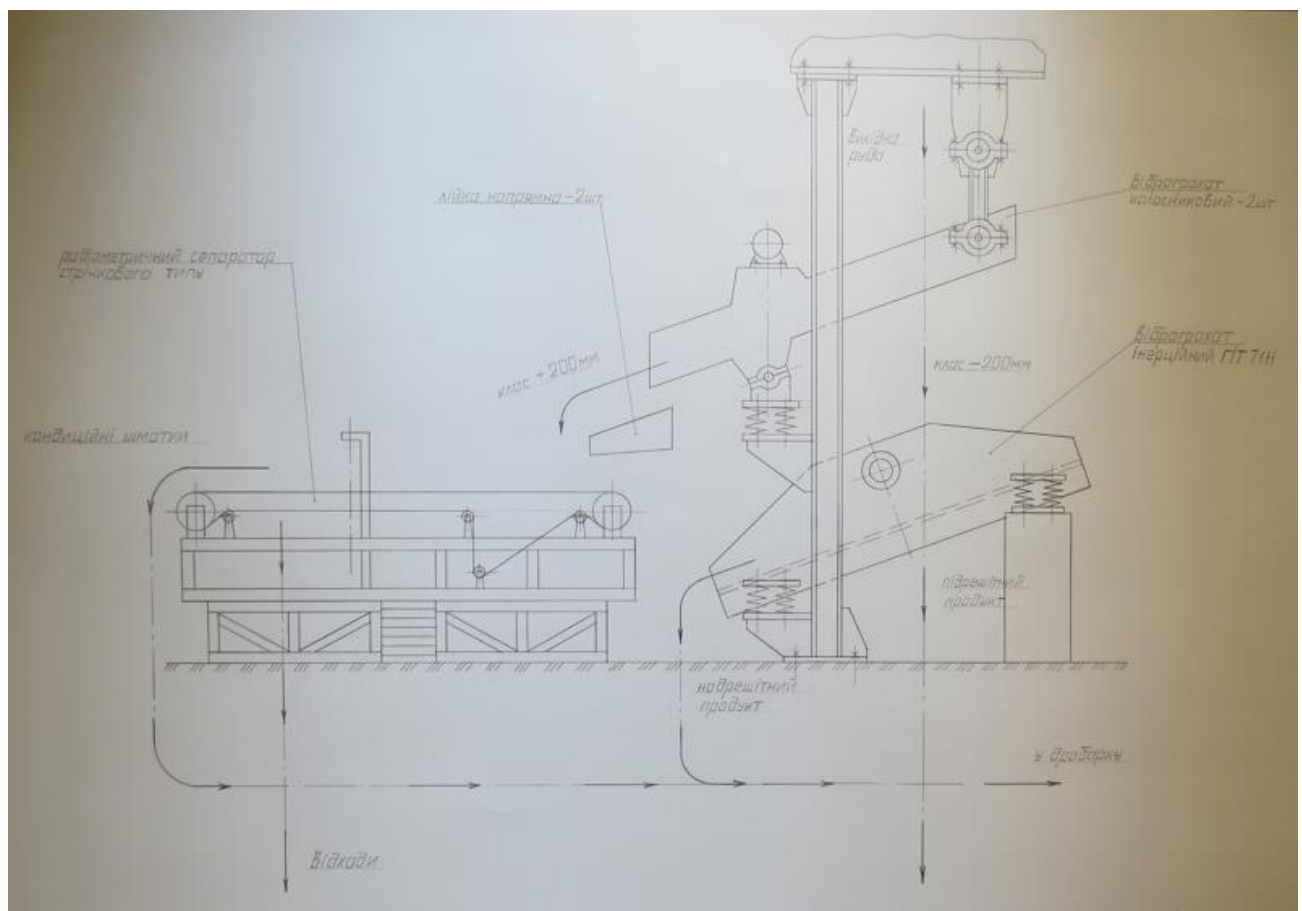


Рисунок 4.5 – Схема установки комплексу обладнання радіометричної сепарації залізної руди із сепаратором конвеєрного типу в умовах дробильної фабрики

4.2.2 Варіант використання робочого органу вібраційного типу

У цьому випадку можна обійтися однією робочою машиною, яка забезпечить спочатку відділення фракції $+200$ мм, а потім процес її радіометричної сепарації. На рис. 4.6 показана приблизна схема радіометричного грохоту-сепаратора вібраційного типу. Ліва частина машини на рисунку представляє собою грохот для розділення рудопотоку на підрешітний продукт -200 мм, який йде далі на збагачувальну фабрику, та надрешітний матеріал $+200$ мм, що залишається на робочому органі машини (переходячи на його праву частину) і за допомогою напрямних перегородок розходить на чотири паралельні доріжки.

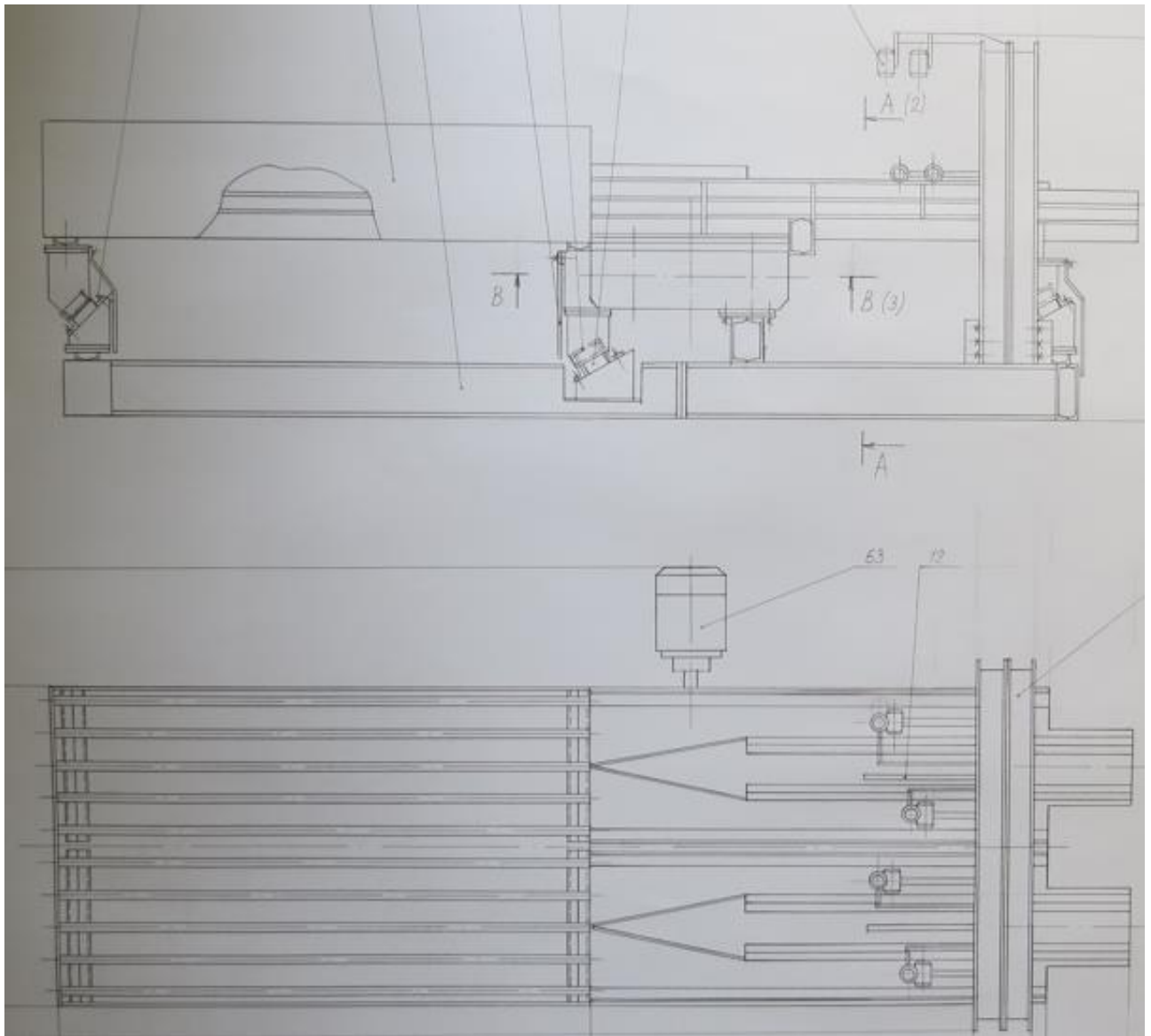


Рисунок 4.6 – Схема радіометричного грохоту-сепаратора конвеєрного типу

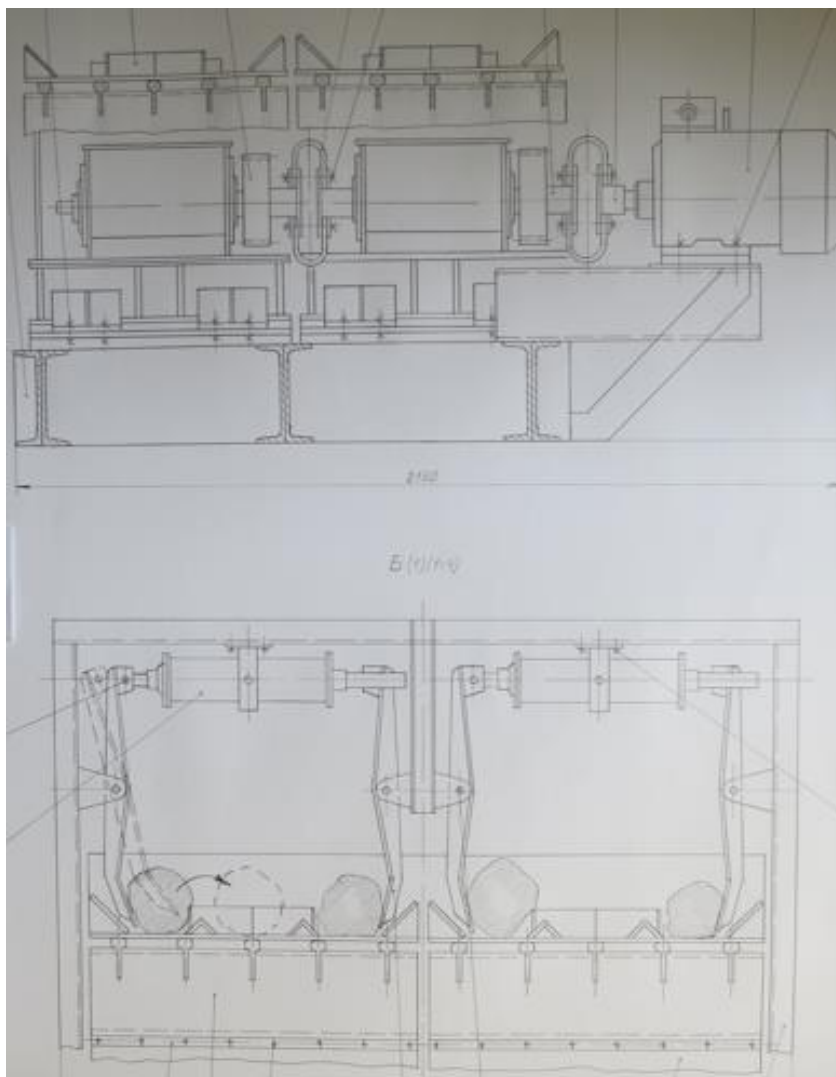


Рисунок 4.6 (Продовження)

Далі шматки руди, як і в попередньому варіанті конструкції комплексу, потрапляють у зону контролю, а потім – у зону вибірки, де некондиційний матеріал описаним вище чином вилучається через щілини між доріжками лівої і правої пари. Решта конструкції комплексу також повністю відповідає першому варіанту обладнання.

4.3 Оцінка техніко-економічної ефективності використання комплексу

Запропонована конструкція рудосортувального комплексу призначена для підвищення якості руди в рухомому рудопотоці.

Для криворізької руди південної групи рудників, до складу якої входить приблизно 30% крупношматкових фракцій, що не знаходять збуту через вміст заліза 46-47%, підвищення якості сировини на 1-2% може бути досягнуто виділенням з рудопотоку класу +200 мм, однак при цьому губиться 7-8% обсягу руди. Крім того, у цих відсотках можуть бути шматки цілком кондиційні. Тому бажано проконтролювати весь клас +200 мм й залишити в потоці якісні шматки.

В залежності від того, яке граничне значення корисного компоненту буде встановлено в системі керування рудосортувального комплексу, буде мінятися якість рудопотоку та величина втрат (наприклад, відкидаючи шматки з якістю менше 43% заліза, ми втратимо приблизно половину руди зі згаданих 7-8% потоку).

Таким чином, техніко-економічна оцінка подібного процесу рудопідготовки буде залежати від об'єму вилучення. Обсяг виробництва при цьому зменшиться на кількість вибраної з потоку руди з низьким вмістом заліза. Нижче приводять чотири можливі варіанти вибірки та їх результати:

- вибірка 0,83% обсягу – якість руди в потоці збільшується на 0,35% й досягає 52,95%;

- вибірка 1,25% обсягу – якість руди в потоці збільшується на 0,48% й досягає 53,08%;

- вибірка 2,29% обсягу – якість руди в потоці збільшується на 0,68% й досягає 53,28%;

- вибірка 3,34% обсягу – якість руди в потоці збільшується на 0,82% й досягає 53,4%.

Висновки:

- в результаті виконаних досліджень проаналізовано та вибрано вихідні вимоги до обладнання для підвищення якості залізорудної сировини у рухомому рудопотоці, обґрунтовано можливі конструктивні рішення комплексу для попереднього збагачення залізорудної сировини (з робочими органами конвеєрного та вібраційного типів), склад, взаємне розташування та показники призначення машин

рудосортувального комплексу для ДСФ залізорудних підприємств;

- оцінка техніко-економічної ефективності використання запропонованого обладнання показала, що вона залежить від об'єму вилучення крупної фракції, а обсяг виробництва при цьому зменшується на кількість вибраної з потоку руди з низьким вмістом заліза. Наприклад, при втраті 7-8% рудопотоку можна підвищити якість частини, що залишається, на 1-2%.

ВИСНОВКИ

Проведені під час виконання магістерської роботи дослідження дозволили сформулювати наступні висновки та практичні рекомендації:

- переробка збагаченої сировини обходиться значно дешевше, ніж природної, за рахунок скорочення втрат корисних складових, зменшення кількості матеріалів, що потребують переробки, а, значить, і їх вартості, підвищення якості готової продукції, зниження витрат на перевезення сировини та промпродуктів, зростання ефективності наступного металургійного, хімічного та інших переділів. Усе це свідчить про необхідність попереднього збагачення рудної сировини у процесі рудопідготовки на дробильно-сортувальній фабриці;

- процес рудопідготовки повинен розглядатися як комплекс операцій, що забезпечують отримання з видобутої гірничої маси товарної або кондиційної руди для подальшого збагачення. Рудопідготовка і комплексна система керування якістю руд забезпечує спрямоване і послідовне змінення показників якості та створення ресурсозберігаючої технології. Існуюча динаміка зниження та погіршення якісного складу руди, що поступає на збагачення, вимагає комплексного дослідження геотехнологічних та технічних властивостей мінеральних речовин як функцій їх складу та будови;

- для досягнення максимальної економічно вигідної повноти вилучення корисних мінеральних компонентів з видобутих руд потрібний подальший розвиток наукового напрямку рудопідготовки як стратегії збагачення у вигляді сукупності процесів попередньої концентрації та збагачення з використанням математичних моделей, що пов'язують якісні показники руд у надрах з характеристиками рудопотоків для формування технологічних сортів отримуваних продуктів збагачення;

- під час рудопідготовки використовуються операції попереднього руйнування та усереднення мінералів, а також радіометричного збагачення, які забезпечують підвищення ефективності основних процесів сепарації на збагачувальних підприємствах за рахунок вирівнювання та покращання якісного характеристик мінеральної сировини і зменшення необхідних обсягів переробки шляхом вилу-

чення з рудопотоку значної частки порожньої породи;

- останнім часом особливого значення набувають радіометричні методи збагачення як найбільш універсальні для різних типів мінеральної сировини. Одним з найбільш застосованих у практиці радіометричної сепарації є гамма-абсорбційний метод, що заснований на використанні різниці в ослабленні інтенсивності проникаючого гамма-випромінювання рудними шматками і шматками порожньої породи. З основних відомих режимів процесу радіометричного збагачення мінеральної сировини (потокowego, порційного та шматкового) найперспективнішим є останній, хоча він має певні недоліки і вимагає подальших досліджень з метою його удосконалення;

- проведений аналіз існуючого обладнання для практичного використання гамма-абсорбційного методу радіометричного збагачення (у тому числі залізних руд) дав можливість сформулювати вимоги до нього та обґрунтувати принципи дії його складових елементів;

- для підвищення ефективності процесу рудопідготовки необхідно мати кількісний опис всіх продуктів та операцій, що беруть участь у процесі рудопідготовки. Кількісні закономірності дадуть змогу оптимізувати та автоматизувати цей процес;

- дослідження кількісних і якісних властивостей криворізької залізної руди дали можливість визначити два шляхи підвищення її якості: відокремленням бідної шматкової руди з рудопотоку після подрібнення при зменшенні ступеня подрібнення; підвищенням якості залізорудної сировини за рахунок зняття включень, що її знижують;

- результати кількісного розподілення фракцій у рудопотоці та вмісту в них заліза підтверджують тезу про те, що великі фракції рудопотоку є найбіднішими. Це відкриває можливість шляхом зняття цих фракцій з рудопотоку значно вплинути на якість руди, що відвантажується споживачам або йде на подальше збагачення;

- встановлена залежність вмісту заліза в готовому продукті від його виходу. В результаті аналізу залізорудної сировини (на прикладі шахт південної групи

підземних рудників Кривбасу) встановлені закономірності зміни вмісту заліза і масової частки кожної фракції в рудопотоці, які дозволяють оцінити різні варіанти відділення крупношматкових фракцій по впливу їх крупності на якість готового продукту;

- розроблено метод вибору шляху підвищення якості залізорудної сировини на ДСФ, що здійснюється на основі аналізу зазначених залежностей. Застосування цього методу дозволяє прийняти науково-обґрунтоване рішення про параметри засобів радіометричного контролю та видалення некондиційних включень;

- в результаті виконаних досліджень проаналізовано та вибрано вихідні вимоги до обладнання для підвищення якості залізорудної сировини у рухомому рудопотоці, обґрунтовано можливі конструктивні рішення комплексу для попереднього збагачення залізорудної сировини (з робочими органами конвеєрного та вібраційного типів), склад, взаємне розташування та показники призначення машин рудосортувального комплексу для ДСФ залізорудних підприємств;

- оцінка техніко-економічної ефективності використання запропонованого обладнання показала, що вона залежить від об'єму вилучення крупної фракції, а обсяг виробництва при цьому зменшується на кількість вибраної з потоку руди з низьким вмістом заліза. Наприклад, при втраті 7-8% рудопотоку можна підвищити якість частини, що залишається, на 1-2%.

Таблиця 1.1 – Основні операції рудопідготовки та технологічні контури формування якості руд

Найменування операцій рудопідготовки	Технологічні процеси рудопідготовки	Контури формування якості руд у процесі рудопідготовки	Функціональні задачі формування якості руд
Підготовка гірничої маси оптимального гранулометричного складу	Вибухове відбивання, механізоване дроблення на руднику	Надра – родовище (1 контур)	Геолого-технологічне картування родовища за мінеральним складом і показникам збагачуваності, перспективне планування якості руди за технологічними сортами і періодами відпрацювання родовища
Попередня концентрація гірничої маси	Радіометричне сортування і сепарація		
Формування технологічних сортів руди	Селективний видобуток, радіометричне сортування у потоці	Рудник з циклічно-потоковою технологією (2 контур)	Геофізичне випробування , оперативне планування якості руди за технологічними сортами, вибухове відбивання в режимі керування міцністю, механічне дроблення у системі циклічно-потокової та потокової технології
Попереднє збагачення	Вибіркова дезінтеграція, збагачення у важких середовищах		
Усереднення і підготовка гірничої шихти	Усереднення у кар'єрах, спеціальних пристроях та на фабриці	Рудосортувальні станції з усереднювальними комплексами (3 контур)	Порційне сортування, формування технологічних потоків за збагачуваністю, внутрішньосортове усереднення у динамічному режимі
Фізичні впливи спрямованого змінення технологічних властивостей	Спеціальна обробка агрегованих мінеральних структур і наведення механо-хімічних та технологічних властивостей	Комплекс механічної дезінтеграції радіометричною сепарацією та спрямованим зміненням технологічних властивостей (4 контур)	Дроблення з пошматковою радіометричною сепарацією і спеціальною обробкою агрегованих мінералізованих сполук
Селективне розкриття мінералів	Розміцнення під час вибуху, раціональна організація дроблення та подрібнення		

