

*Міністерство освіти і науки України*  
*Донецький національний технічний університет*



**Папушин Ю.Л.**

## **ВВЕДЕННЯ У СПЕЦІАЛЬНІСТЬ**

**Конспект лекцій**  
**для студентів спеціальності**  
**"Збагачення корисних копалин"**

Затверджено  
навчально-видавничою радою ДонНТУ

**Протокол № 5 від 22.10.2008 г**

Схвалено на засіданні  
методичній комісії спеціальності  
"Збагачення корисних копалини"

Протокол № 9 від 06.09.2008 р.

## Введення

Всі, чим багатий і сильна Людина, будинки, спорудження, машини, всі, із чого він створює енергію й знаряддя виробництва, добувається з надр землі.

Сировина, що добуває з надр землі й використовуване людиною, називають корисними копалинами. Ділянки землі, де сконцентровані корисні копалини, іменують родовищами.

Але відкрити родовище корисної копалини - це ще навіть не полдела. Відійшли в давню давнину часи, коли знайти, добути й використати означало те саме. Золоті самородки, залізні гори й алмазні збирай давно відпрацьовані, вичерпані. Сучасні руди містять усього 20 - 25 % заліза, 0.5 % міді, 0.1 % молібдену або вольфраму, грами золота, срібла або урану на 1 т породи.

Використання корисних копалин у таких концентраціях неможливо. Тому все, що сьогодні добувають їхніх надр землі, піддається переробці й збагаченню.

Збагачення корисних копалин - це технологічні операції, спрямовані на збільшення змісти корисних копалин у випускають продуктах, що.

### 1. Коротка історія

Усе починалося з каменю. Первісна людина помітила, що найбільш міцні камені перебувають там, де висока скеля стирчить над поверхнею землі. Як тільки він почав відколювати, сортувати ці камені по міцності, формі, він став гірником-збагачувачем!

Першу школу збагачення люди пройшли при збагаченні руд золота. Самородки золота й міді легко добували з розсипів. Спочатку вручну, але незабаром з'ясувалося, що там, де виявляли самородки, є й більше дрібні,

майже невидимі крупинки важкого металу. Люди навчилися відмивати його.

Природа допомогла людині освоїти корисні копалини, сконцентрувавши в деяких місцях покладу певних руд і мінералів. Місця, де народилися ці скупчення з розплавленої магми, утворили родовища корисних копалин. Ці родовища, як правило, представлені рудними тілами (халькопірит, молібденіт, берилл).

Інші мінерали з різними хімічними сполученнями утворять земну кору. Це - кварц, польові шпати, алюмосилікати (глини), пірит й ін. Треті, такі, як германіт, ванадиніт,



Рис. 1.1 Дробление руды в толчее  
(Г. Агрикола, 1556 г.)

радій зустрічаються ще рідше, іноді супроводжуючи іншим мінералам.

За старих часів родовища виявлялися на поверхні по уламках порід і руд. Перші розвідники почали застосовувати різні виробітки - канави, колодязі-шурфи, штольні й, нарешті, шахти. З давніх часів застосовувалося буровлення.



Рис. 1.2 Промывка золотоносного песка на шкуре баран

Широко почав застосовуватися **шліхової** метод пошуку родовища. Він полягає в систематичному промиванні пісків, узятих у певних ділянках річок і струмків і вивченні відмитого важкого залишку цих пісків - **шліху**. Найявність у шліхах корисних мінералів - це ключ до виявлення рудних тел. Рухаючись нагору за течією, тобто у бік збільшення змісту в шліху коштовного мінералу, поступово підходять до місця, звідки розмивається даний мінерал, тобто до родовища.

Бурхливий розвиток техніки поглинуло запаси самородків і багатих руд. За останні 20 років із землі витягнуто більше корисних копалин, чим за всю попередню історію людства! Навіть видобуток золота, цінність якого різко впала й не витримує ніякого порівняння з вартістю таких металів, як германій, тантал, берилій, різко зросла.

При сучасному гігантському виробництві металів уже не залишилося руд, які можна відразу плавити, минаючи стадію збагачення. Наприклад, руди свинцю містять 1 - 2 % цього металу, а на плавку йде концентрат з 60 % концентрацією, зміст молібдену в руді становить 0.1 - 0.01 %, а металургам потрібний концентрат, що містить 47 - 50 % молібдену.

Що ж нас очікує в майбутньому? На відміну від лісів, водних ресурсів, багатство надр непоновлювані. Геологи підраховали, що запасів багатьох корисних копалин у розвіданих родовищах вистачить на 20 - 30 років. Відкриття нових багатих родовищ малоімовірно.

Вихід із цього положення знайдений.

По-перше, це - геотехнологія, підземне вищелачивання бідних родовищ (мідні, уранові й ін. руди).

Друге перспективне джерело - океан (залізо, марганець, кобальт)

Третє джерело - комплексне використання сировини.

Але найважливіше й перспективне джерело мінеральної сировини - сьгоднішні відходи виробництва. **Це вторинна мінеральна сировина, що складорована на териконах, у відвалах, мулонакопичувачах і тощо.**

Уже сьогодні ця сировина дає від 10 до 50% багатьох коштовних металів.

Безвідхідна технологія - це основа майбутнього виробництва мінеральної сировини.

## 2 Місце збагачувальної галузі в промисловому комплексі

У далекі часи, коли рудами вважалися майже чисті скупчення мінералів, з них можна було виплавляти метали без попередньої підготовки. Руду змішували з востановителем, наприклад деревним або кам'яним вугіллям, і нагрівали. Оксиди відновлювалися до металу. ( $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{C} \Rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2$ ).

Виплавка металів з руд одержала назву - "металургія". Галузь промисловості, що виробляє залізо, марганець і хром, - **чорна металургія**.

Одержання міді, алюмінію, цинку, свинцю, золота й ще близько 70 металів ставиться до **кольорової металургії**.

Виділенням фтору, хлору, бромю і йоду займається **галургія**.

Для металургії найважливіше - хімічний склад руд і мінералів і концентрація корисних компонентів. Для руд характерно невисокий зміст корисних компонентів, наявність шкідливих домішок (наприклад, сірка, фосфор, сурма й ін.). Отже, перед металургійним переділом потрібна підготовча операція.

З руд, що містять велику кількість різних мінералів, прагнуть виділити **коштовні** (корисні) мінерали. Інші просто викидають (складують). Їх називають мінералами **порожньої породи**.

Поділ мінералів, засноване на розходженні їх фізичних і хімічних властивостей, називають "**минералургією**".

Однак до останнього часу завдання стояло трохи інше - не розділити всі мінерали, а одержати придатний для металургії продукт із більше високої, чим у руді, концентрацією корисного мінералу. Цей продукт називається "**концентрат**".

Комплекс методів і процесів, що дозволяє одержувати такі концентрати, і називається "**збагаченням корисних копалин**".

Збагачення займає проміжне положення між геологією й гірничою справою, з одного боку, хімією й металургією - з іншої.

Використовуючи незначні **розходження властивостей корисних**

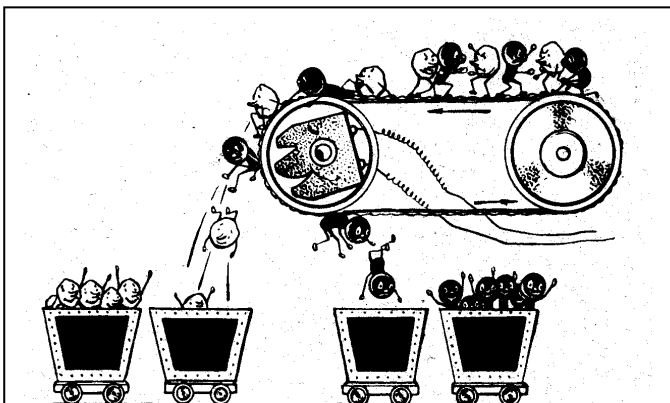


Рис.2.1 – Принцип розделення по магнитным свойствам

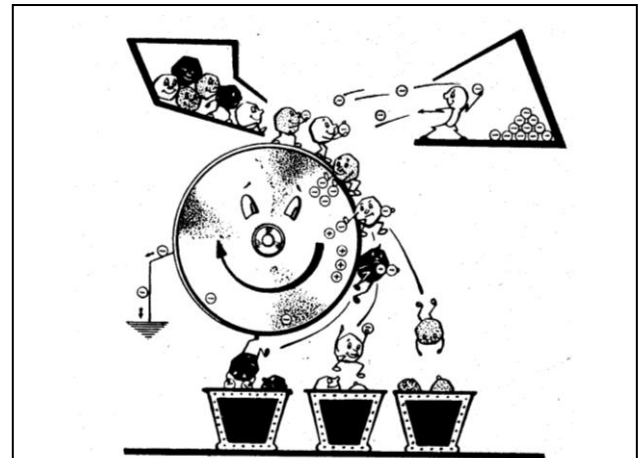


Рис. 2.2 - Принцип розделення минералов по электрическим свойствам

**мінералів** і порожньої породи, збагачувачі одержують їхніх руд і вугіль

богатые коштовними компонентами концентрати. Вони є основною сировиною для виробництва чорних, кольорових і рідких металів, коксу, добрив і ряду хімічних продуктів.

Мінерали можуть відрізнятися друг від друга й від порожньої породи цілим рядом властивостей - кольори, блиск, форма, щільність, магнітна сприйнятливість, електропровідність, смачиваемість водою й маслами, коефіцієнт тертя й ін.

На цих властивостях і засноване застосування різних технологій й апаратів для виділення потрібних концентратів. Використовуючи незначні розходження властивостей корисних мінералів і порожньої породи, збагачувачі одержують із руд і вугіль богати коштовними компонентами концентрати, що є основною сировиною для виробництва чорних, кольорових і рідких металів, коксу, добрив і ряду хімічних продуктів.

Мінерали, що володіють близькими властивостями, наприклад, щільністю, збирають у **колективний концентрат**. Залишок (порожня порода) називають "**хвостами**" або "**відходами**".

Якщо в колективний концентрат входять мінерали, наприклад, з різними електричними властивостями, то можна провести подальше збагачення - по електропровідності. Так, використовуючи різні властивості мінералів, можна виділити їх в окремі багаті концентрати.

На мал. 2.1 - 2.2 показані принципи поділу мінералів по магнітних й електричних властивостях.

### 3 Сортування мінералів

Збагачення розвивалося від ручній вибірці рудних мінералів з маси гірської породи. Ще дві з половиною тисячі років тому в древній Греції на свинцево-срібних рудниках сортували руду вручну, після чого неї стирали й промивали водою. Ручне сортування на першому етапі мали на меті - вибрати великі кристали дорогоцінних каменів (алмази, смарагди, гранати, топази й ін.), надалі - ісландський шпат, гірський кришталь, слюда, що представляють технічну цінність.

Згодом ручна вибірка змінилася механізованим сортуванням. При вивітрюванні руди одні (більше міцні) залишаються в ній без зміни, інші розтріскуються й кришаться. При просіванні вивітреної, наприклад, алмазної руди майже всі алмази залишаються на поверхні сита. Це і є первинний алмазний концентрат. Апарат для просівання матеріалів називають гуркотом, а сам процес поділу – *просіванням*.

Використаю розходження в міцності мінералів, можна шляхом стирання одержати тонкі (досить дрібні) порошки таких м'яких мінералів, як графіт і молібденіт. Набагато прочніше їхні супутні мінерали після стирання й просівання залишаються на поверхні сита гуркоту (*надситний* продукт), графіт же й молібденіт проходять крізь сито, що образує *подситний* (подрешетний) продукт. Установивши на гуркоті кілька сит (мал. 3.1), одержують відповідну кількість подситних і надситних продуктів.

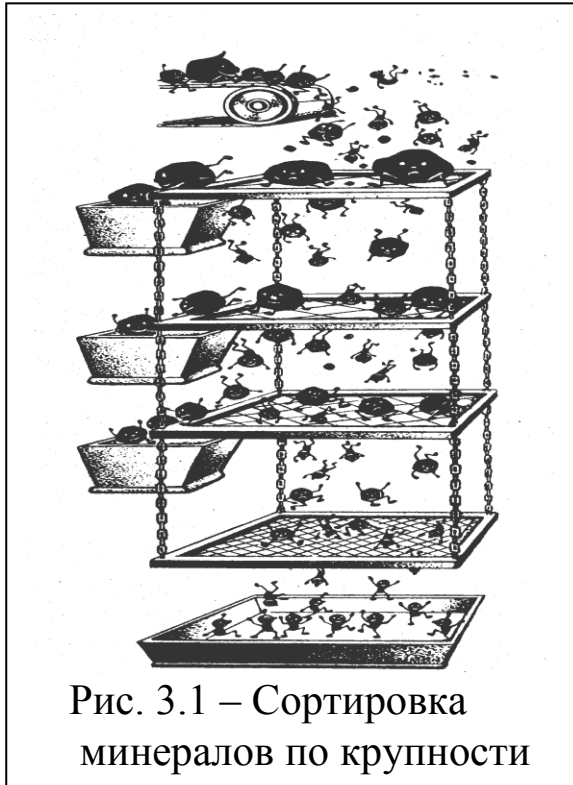


Рис. 3.1 – Сортировка минералов по крупности

легко відсортуються від плоских часток супутньому азбесту мінералу - зміїовика.

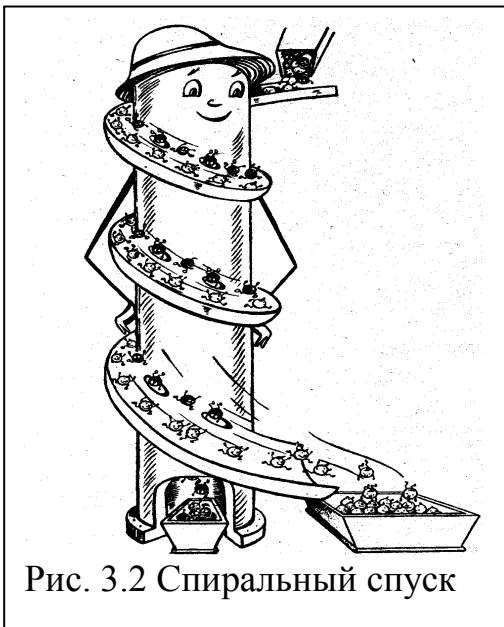


Рис. 3.2 Спиральный спуск

Для деяких руд розходження в крупності може виникнути й при впливі на них ударних навантажень. Наприклад, вугілля легше кришиться, чим супутня йому порода.

Нарешті, руйнувати руду можна методом розтріскування мінералів при різких змінах температури.

Для сортування мінералів може бути використане й розходження у формі кристалів. Збагачення за формою виробляється на грохотах зі спеціально підбраною формою отвору в ситах. Плоскі частки, наприклад, слюди переважно будуть залишатися на ситі, у те час як округлі частки інших мінералів підуть під сито. Для голчастих кристалів (волокна азбесту) підбирають відповідну форму отворів сита, при якій волокна

Від форми кристалів залежить і коефіцієнт тертя мінералів при русі по похилій площині. Одні мінерали, що мають більше округлу форму й гладку поверхню, легко скачуються під ухил і відскакують на значну відстань від площини. Інші - плоскі мінерали із шорсткуватою поверхнею - повільно сковзають і розвантажуються поблизу закінчення ухилу.

На траєкторію руху часток істотно впливає й пружність відскоку мінералів від поверхні. Поділ часток по пружності знайшло застосування при збагаченні будівельних матеріалів - щебенів і гравію.

Збагачення по тертю в комбінації із застосуванням відцентрової сили може

проводиться на простому апараті - спіральному (гвинтовому) сепараторі (спіральный спуск, мал. 3.2).

Апарат виконаний у вигляді похилої ринви (спиралі) оповитого навколо вертикальної осі.

При русі в потоці крім звичайних гравітаційних і гідродинамічних сил, що діють на зерна, розвиваються відцентрові сили. Важкі мінерали концентруються у внутрішнього борта ринви, а легені - у зовнішнього.

Гвинтові сепаратори знайшли широке застосування для збагачення дрібнозернистих пісків, що містять ільменіт, циркон, рутил й інші корисні мінерали.

Сортування мінералів може здійснюватися по їхніх кольорах і блиску. Наприклад, шматки слюди (мусковіт), свинцевого блиску, золотоносного кварцу добре видні серед маси порожньої породи. Отже, їхню вибірку можна здійснити, застосовуючи *фотометричний* метод, шуточно зображений на мал. 3.3.

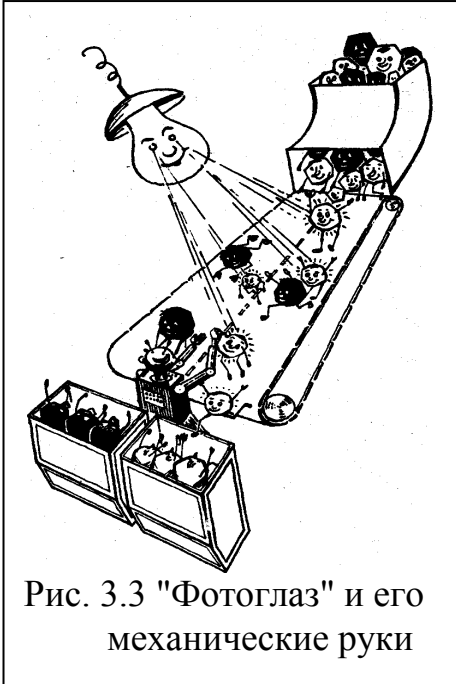


Рис. 3.3 "Фотоглаз" и его механические руки

Деякі мінерали здобувають різні кольорні відтінки під впливом ультрафіолетового, рентгенівського опромінення. Розроблено й відповідні методи збагачення даних мінералів.

І, нарешті, для виділення мінералів, що володіють радіоактивністю, застосовується *радіометричне* сортування.

Більшість розглянутих методів сортування застосовні для грубозернистих або кускових мінералів, вони реалізують попереднє збагачення. Добування тонкозернистих часток мінералів більше складне завдання, рішення якого пов'язане з *підготовчими процесами збагачення*.

## 4 Підготовчі процеси

### 4.1 Розкриття мінералів

Гірські породи складаються з міцно зрослих один з одним зерен мінералів різних розмірів (*зростки*). Вони вкраплені в порожню породу, і перш, ніж почати їхнє сортування, необхідно роздрібнити руду, щоб роз'єднати мінерали – одержати вільні зерна. Ця операція називається *розкриттям мінералів* (мал. 4.1).



Рис. 4.1 Раскрытие минералов

Ручне дроблення з метою розкриття мінералів застосовувалося в Древньому Єгипті ще в II в. до н.е. Механізоване дроблення показано на мал.1.1 (XVI в).

На сучасних збагачувальних фабриках *щодня* подрібнюються десятки тисяч тонн гірських порід. Ця операція виконується спеціальними машинами - дробарками й млинами.

## 4.2. Дроблення

Крупність шматків руди, що надходить на збагачувальну фабрику, залежить від способу видобутку. У шахтах при підривних способах розробки утворюються шматки крупністю не більше 25 див. При відкритій



Рис. 4.2 Методи дроблення руди



Рис. 4.3 Дробление в щековой дробилке

розробці з'являються шматки розміром до 1.5 м. Відомі різні способи дроблення (мал. 4.2, 4.3). Всі вони реалізуються в різних дробильних машинах при роздавлюванні й ударі. Один прийом (стадія) дроблення звичайно не забезпечує необхідну крупність вихідного продукту, потрібну для повного розкриття мінералів. Тому дроблення здійснюється в кілька стадій.

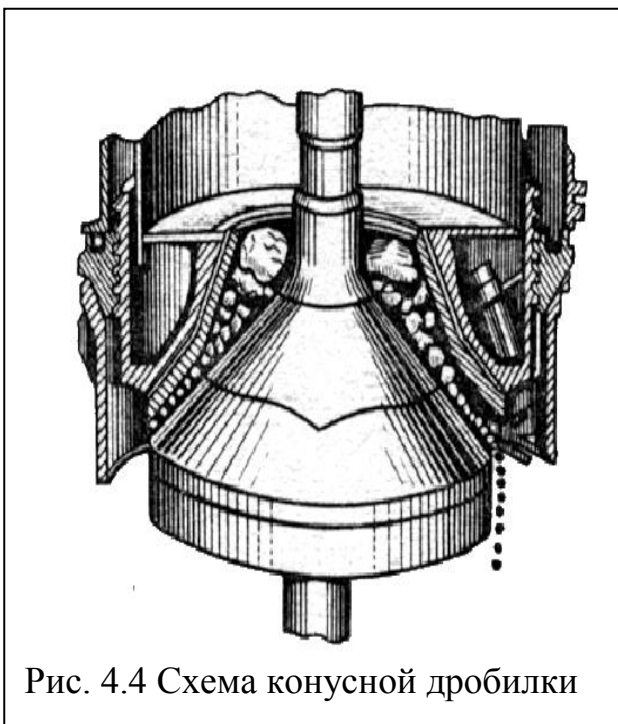


Рис. 4.4 Схема конусной дробилки

Наприклад, у щекової дробарці дробиться вихідний (самий великий) клас. Руда, що пройшла між щоками, доставляється в другу дробарку - конусну (мал.4.4). Тут матеріал дробиться роздавлюванням між двома конусами, один із яких перекочується по внутрішній стінці другого. Далі може встановлюватися, наприклад, валкова дробарка, у якій два вали обертаються назустріч один одному. Тут здійснюється більше дрібне дроблення.

У результаті декількох стадій дроблення одержують шматки розміром 20 – 40 мм. Серед них можуть виявитися й розкриті зерна



мінералів. Але основна маса коштовних мінералів ще "захована" усередині зерен, що не розкрилися, породи. Розкриттям їх займається наступна стадія – здрібнювання.

### 4.3 Здрібнювання

Здрібнювання руди в цій операції здійснюється в млинах, які являють собою порожні обертові барабани з поміщеними усередині тілами, що мелють, - кулями (мал. 4.5) або стрижнями (мал. 4.6). Матеріал подрібнюється в результаті тертя й падіння що мелють тел. Суміш води з рудою - пульпа зачерпується при обертанні млина "равликом", розташованої на торці барабана. Пройшовши через млин, пульпа зі здрібненою рудою випливає з

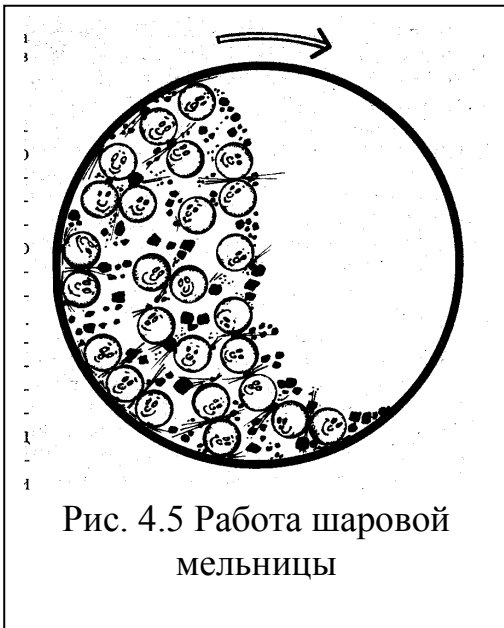


Рис. 4.5 Работа шаровой мельницы

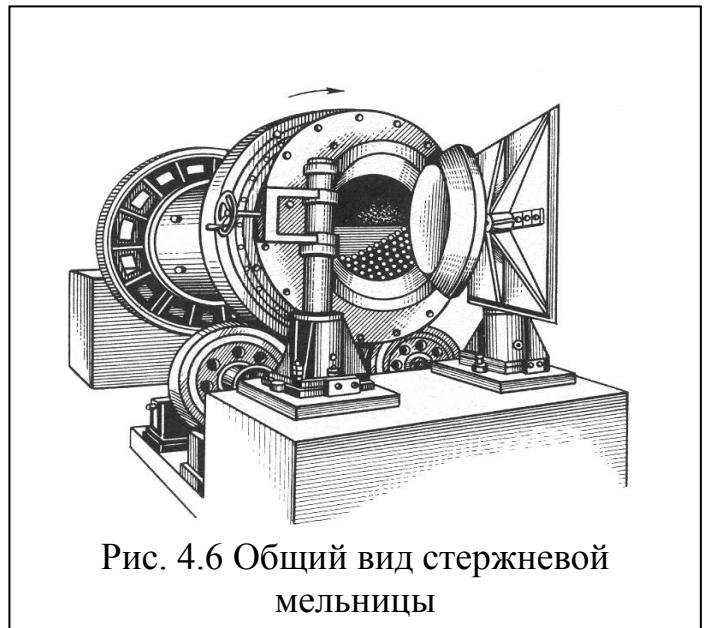


Рис. 4.6 Общий вид стержневой мельницы

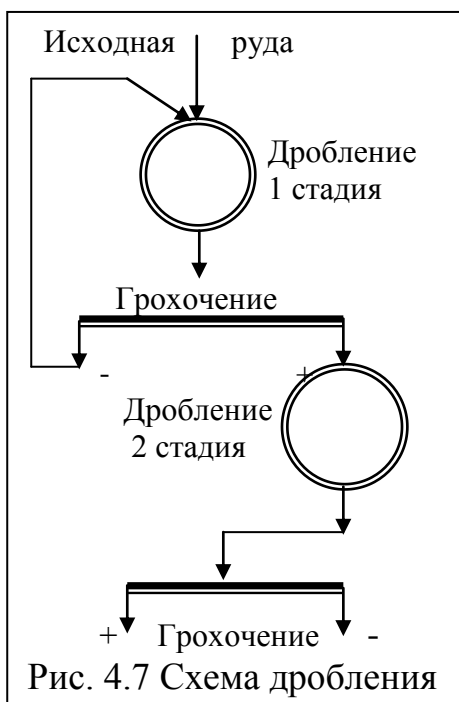


Рис. 4.7 Схема дробления

розвантажувального кінця через ґрати.

Існують й інші способи здрібнювання, наприклад, *самоздрібнювання*, де сталеві кулі й стрижні замінені великими шматками тієї ж руди. Але при цьому діаметр барабана довелося збільшити до 6 - 15 м, оскільки ефективно самоздрібнювання відбувається тільки при падінні великих шматків руди з великої висоти.

Щоб роздрібнити руду до потрібної крупності, необхідно на кожній стадії робити сортування її по крупності.

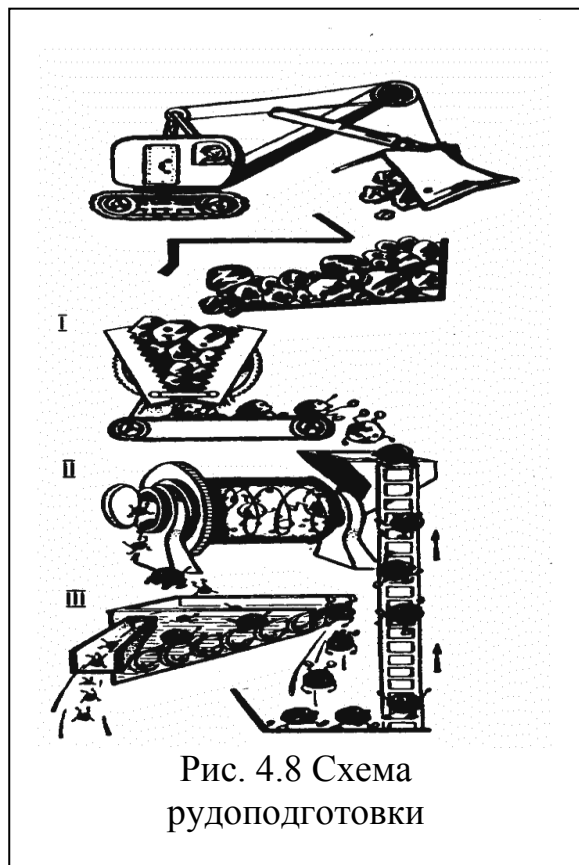
### 4.4 Просівання й класифікація

*Гуркіт* – це апарат, де отсортируються шматки певної крупності на, як правило, що вібує ситі. У схемах дроблення грохоти встановлюються після дробарок, відсівають

великий клас і повертають його знову в зев дробарки. Так утвориться замкнутий цикл дроблення (мал. 4.7). На малюнку в операції просівання подситний продукт (дрібна фракція) позначений "-", надситний - знаком "+".

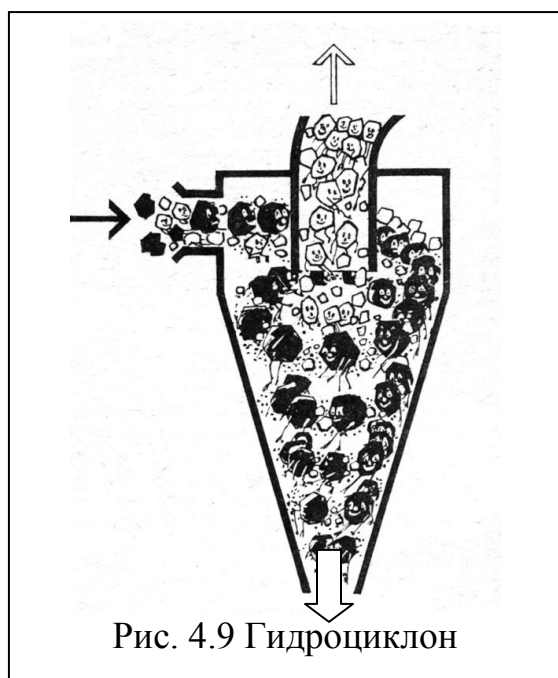
Після декількох стадій дроблення дрібна руда надходить на здрібнювання. У цій операції, як і при дробленні, потрібно повертати недоздрібнений матеріал знову на здрібнювання.

У результаті здрібнювання одержують зерна крупністю менш 0.1мм. Сито з отвором у частки міліметра - непрацездатний апарат для просева тисяч



тон руди. Тому для класифікації тонких часток по крупності застосовують інші методи, засновані на дії сил ваги й відцентрові сили у водному середовищі.

На збагачувальній фабриці пульпа із млина надходить у похиле корито – класифікатор, де вона взмучується гребками або спіраллю. При цьому великі частки, маючи більшу швидкість осадження, концентруються на дні класифікатора, звідки згрібаються до верхнього піднятого торця корита й там розвантажуються. Цей продукт називають "пісками". Піски направляються в тугіше млин на додріблення разом з новою порцією руди. Основна маса води разом з тонкими частками зливається через протилежний торець корита класифікатора. Даний продукт іменують "зливом".



Спрощена схема підготовки руди до збагачення показана на мал. 4.8. Тут вихідна руда подається на цикли дроблення (I, щекова дробарка), здрібнювання (II, кульовий млин) і класифікації (III, спіральний класифікатор).

Щоб збільшити ефективність класифікації здрібнених продуктів, потоку рідини можна додати обертовий рух в апарату циліндро-конічної форми – гідроциклони (мал. 4.9). Тут частки розділяються під дією гравітаційних і відцентрових сил. Важкі й великі частки будуть відкидатися до периферії, і рухаються по спіралі в нижню розвантажувальну частину (піски).

Тонкі частки залишаються в центрі потоку й виносяться їм через верхній патрубок (злив).

Обертний рух потоку утвориться за рахунок подачі вихідної пульпи насосом по дотичній у верхню циліндричну частину гідроциклону.

На цьому принципі працюють і сгустительні гідроциклони.

## 5 Основні збагачувальні процеси

Розмаїтість фізико-хімічних властивостей поділюваних мінералів спричиняється й велику кількість методів збагачення. Нижче розглянемо спрощені фізико-хімічні основи *основних* збагачувальних процесів:

- гравітаційні процеси;
- магнітні процеси;
- електричні процеси;
- флотаційні процеси;

### 5.1 Гравітаційні процеси

Гравітаційні процеси збагачення засновані на дії гравітаційних сил, що залежать від щільності поділюваних мінералів.

Гравітаційні процеси можна підрозділити на основні види: збагачення у важких рідинах (середовищах), збагачення відсадженням, поділ на концентраційних столах, гвинтових сепараторах.

#### 5.1.2 Збагачення у важких середовищах

В основі процесу лежить усім відомий закон Архімеда, внаслідок якого тіла, поміщені в рідке середовище, що мають меншу щільність, чим щільність середовища, спливають, а що характеризуються більшою щільністю - тонуть. Як розділити суміш сірників і цвяхів? Помістити її в ємність із водою й злити шар, що спливає, з легким продуктом. Однак у природі не існує мінералів легше води й вона в "чистому" виді не може бути середовищем для поділу.

Відомі розчини й рідини із щільністю більше  $1 \text{ г/см}^3$  (бромформ, тетрабромтан). Але застосування подібних рідин у промислових масштабах досить дорогий захід. Є інший спосіб створення важкого середовища для поділу мінералів - одержання суспензій.

Якщо тонкоізмельчений порошок якої-небудь важкої речовини, наприклад, магнетиту, галеніту, феросіліція) розмішати у воді, то він буде якийсь час перебувати у зваженому стані. Зваж буде тим стійкіше, чим більше тонких часток буде перебуває в суспензії. Причина цього явища порозумівається відомими закономірностями фізико-хімічної механіки, які будуть вивчатися на наступних курсах.

Існують способи підтримки стійкості суспензій. Щільність такої суспензії перебуває в проміжку між щільністю води й порошку. Можна одержати досить стійку суспензію щільністю  $3 \text{ г/см}^3$  і вище.

Таким чином, утвориться робоча (важка) середовище, де спливають мінерали щільністю меншою, чим щільність суспензії, і тонуть більш важкі мінерали. Принцип поділу мінералів у важкому середовищі зрозумілий з мал. 5.1.

Збагачення у важких суспензіях широко застосовують при переробці вугілля, будматеріалів, фосфоритів, руд чорних металів.

Перевага методу - здатність збагачувати сировина крупністю до 300 мм при високій продуктивності з одержанням кондиційних продуктів, а також у можливості поділу компонентів, що мають незначне розходження в щільності.



Рис. 5.1 Разделение минералов в сепараторе с тяжелой суспензией

Основний недолік методу – неможливість поділу тонкого матеріалу й необхідність відмивання від продуктів збагачення утяжелителя (магнетит, феросіліцій) і його вловлювання.

Процес уловлювання утяжелителя, наприклад, магнетиту, полегшується тим, що він має досить сильні магнітні властивості й легко вловлюється й повертається в процес. Для цього служать системи регенерації суспензії, які одночасно звільняють робітниче середовище від тонких глинистих часток, що негативно впливають на ефективність поділу.

Крім розглянутої схеми важелосередного збагачення знаходить застосування й поділ продуктів у важелосередном гідроциклоні.

На закінчення необхідно відзначити, що застосування важелосередной сепарації дозволяє виділити на перших стадіях збагачення більшу частину порожньої породи, що важливо при високопродуктивному, валовому видобутку мінеральної сировини.

### 5.1.3 Збагачення відсадженням

Відсадження – це процес поділу суміші мінеральних зерен по щільності, як правило, у водному середовищі, що коливається (пульсуючої) щодо поділюваної суміші у вертикальному напрямку. Вихідний матеріал разом з водою безупинно подається на відсаджувальне решето(2, мал. 5.3) через отвори якого поперемінно проходять висхідний і спадний вертикальний потоки води.

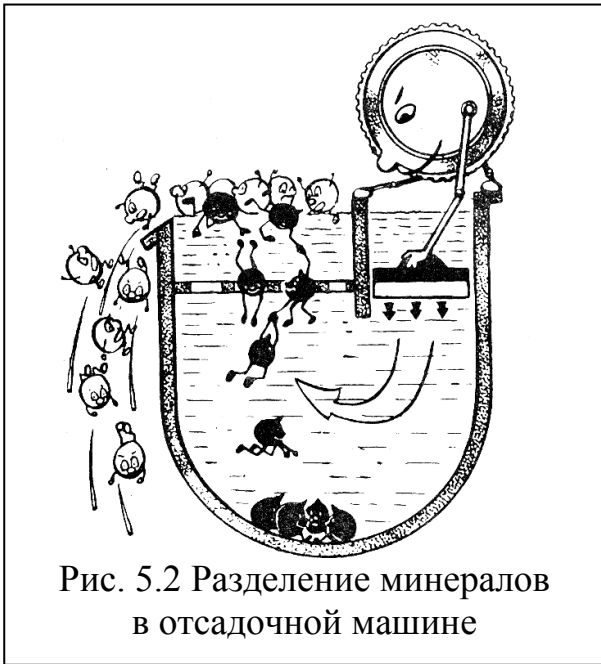


Рис. 5.2 Разделение минералов в отсадочной машине

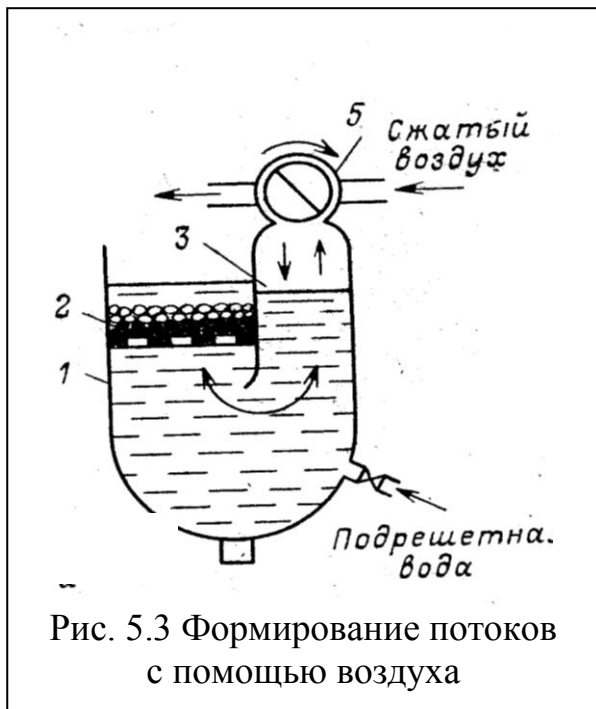


Рис. 5.3 Формирование потоков с помощью воздуха

Поділ заснований на розходженні у швидкостях падіння зерен у висхідному й спадному потоці води. Дані потоки створюються в робочому відділенні відсаджувальної машини поршнем (рідке застосування, мал. 5.2) або повітрям (мал. 5.3). На малюнках показаний поперечний переріз відсаджувальних машин.

У період висхідного потоку матеріал піднімається й розпушується, а в період спадного - опускається й ущільнюється. При цьому висхідні струмені води піднімають легкі мінерали, а спадні сприяють переміщенню важких часток у нижню частину шаруючи.

У результаті дії чередуючихся висхідних і спадних потоків води вихідний матеріал розділяється на шари таким чином, що на відсаджувальному решеті (ситі) унизу розташовуються зерна найбільшої щільності, а у верхніх шарах - найменшої.

Шар матеріалу, що перебуває на ситі, називається *постілью*. Під дією вступника вихідного матеріалу із *транспортною водою* постіль переміщається по довжині відсаджувальної машині в зону

розвантаження, де нижня частина постелі спеціальними пристроями вивантажується. Даний продукт - важка фракція шар, що залишився, матеріалу (легка фракція) разом із транспортною водою переливається через поріг машини. На мал. 5.4 показана сучасна відсаджувальна машина для збагачення вугілля.

Природно вищеописане являє собою спрощений механізм процесу поділу відсадженням.



Рис. 5.4 Внешний вид современной отсадочной машины

#### 5.1.4 Збагачення на концентраційних столах

Збагачення на рухливих концентраційних столах – це поділ



Рис. 5.5 Веер продуктів на концентраційному столі

(концентрація) мінералів по щільності в тонкому шарі води, що тече по слабонаклоній поверхні стола (деці). Останній робить зворотно-поступальні рухи в горизонтальній площині перпендикулярно до напрямку руху потоку води. На поверхні стола закріплені планки-нарифлення. Легкі частки при струсі стола перескакують через нарифлення й змиваються водою у бік нахилу стола, важкі частки поступово переміщуються уздовж нарифлень (мал. 5.5). Чим важче мінерал, тим

менше ймовірність, що він при струсі перевалиться через риф, і тем далі від місця завантаження розвантажується зі стола. У такий спосіб на столі утвориться "віяло" мінералів. Наприклад, при збагаченні поліметалевої руди ліва частина віяла – золото, далі розташовуються свинцевий блиск, цинкова обманка й мідні мінерали, потім їхні зростки із кварцом, із правого краю стола змивається кварц. На рудних збагачувальних фабриках коштують цілі поверхні концентраційних столів. На кожному столі переробляється руда певної крупності. Проміжні продукти віяла – зростки мінералів – доизмельчаються й знову надходять на концентраційний стіл. Так збагачуються вольфрамові, олов'яні, тантало-ніобієві, марганцеві, свинцево-цинкові руди крупністю до 3 мм.

При збагаченні вугіль і деяких інших копалин крупність зерен може досягати 13 мм.

### 5.1.5 Збагачення на гвинтових сепараторах

Гвинтові сепаратори являють собою апарати, поділ матеріалу в яких відбувається в похилому потоці води малої товщини. Потік переміщується по нерухомій гвинтоподібній ринві.

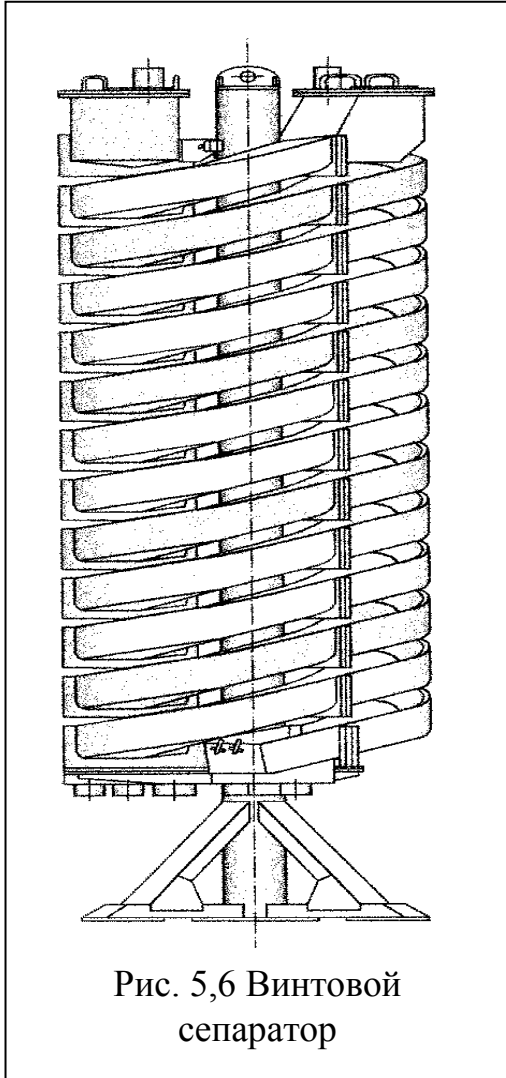


Рис. 5,6 Винтової сепаратор

Поділ мінералів по щільності відбувається під дією гравітаційних, гідродинамічних, відцентрових сил і сил тертя. У процесі руху мінеральні частки перерозподіляються так, що важкі зерна концентруються у внутрішнього борта ринви, а легені - у зовнішнього. Розвантаження продуктів здійснюється в нижній частині спирали, де формується віяло продуктів (згадаєте мал.3.2).

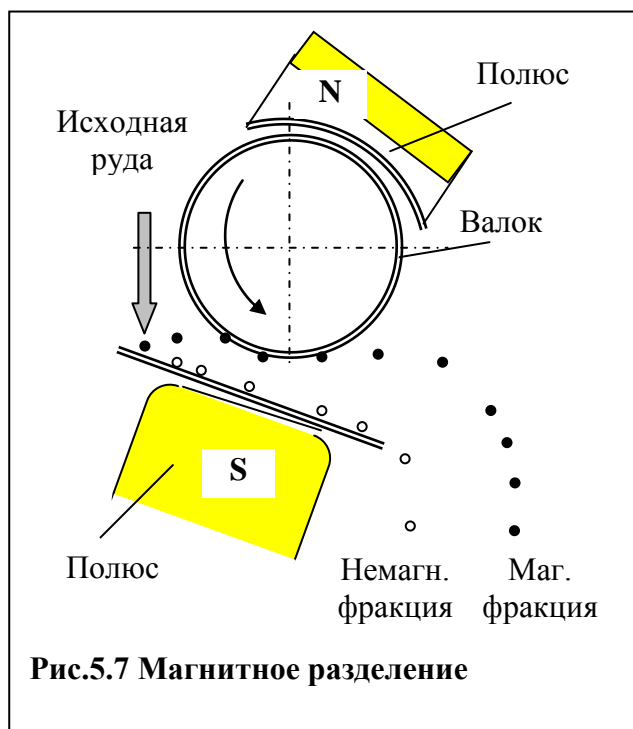
Промислові гвинтові сепаратори звичайно складаються з декількох витків ринви, що має еліпсовидну або прямокутну форму (мал. 5.6).

Сепаратори знайшли застосування для первинної обробки й виділення грубих (чорнових) концентратів при збагаченні дрібнозернистих пісків, що містять ільменіт, циркон, рутил, а також при збагаченні руд рідких і благородних металів. В останні роки гвинтові сепаратори використовують для збагачення вугільних шламів, дрібнозернистих відходів.

## 5.2 Магнітні процеси збагачення

Магнітне збагачення засноване на використанні розходження магнітних властивостей поділюваних мінералів, які оцінюються магнітною сприйнятливістю. Сутність методу полягає у впливі на частки руди магнітної й механічної сил, у результаті якого частки з магнітними властивостями, що відрізняються, здобувають різні траєкторії руху. Це дозволяє магнітні частки вихідної руди концентрувати в окремий магнітний продукт (найчастіше "концентрат"), а немагнітні - у немагнітну фракцію (відходи).

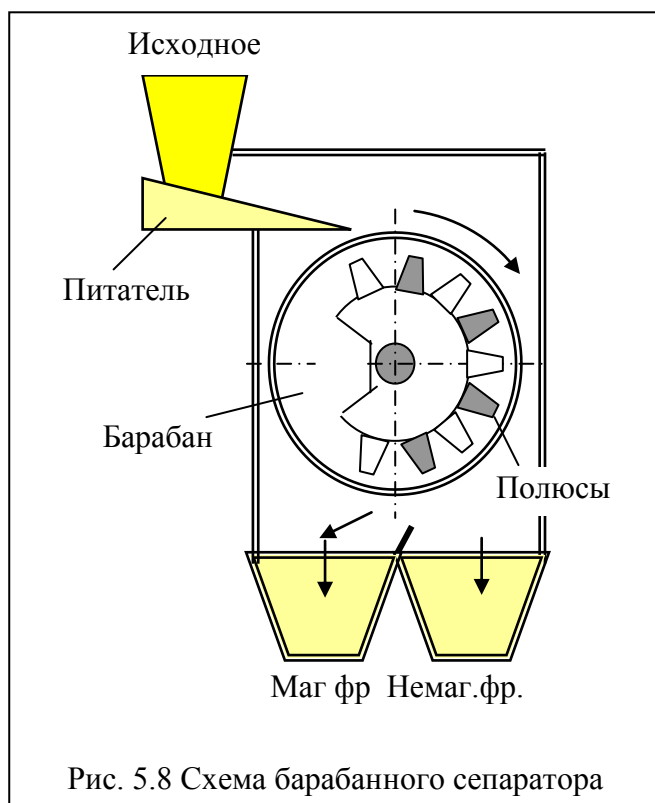
Магнітне збагачення здійснюється в магнітних сепараторах, у робочій зоні яких створюється неоднорідне магнітне поле (рис 5.7).



На схемі вихідна руда живильником подається на похилий лоток (наприклад, вібраційний). Матеріал переміщується в робочу зону сепаратора, де починає діяти магнітне поле, утворене полюсами N й S. Магнітні частки (чорні) під дією магнітної сили притягаються до робочого органа сепаратора (обертівому валку) і виносяться їм із зони дії магнітного поля. Під дією механічних сил (відцентрова, сила ваги) ці частки скидаються з поверхні валка й збираються в приймачі концентрату (маг. фракція).

Немагнітні частки не притягаються до валка й транспортуються лотком у приймач немагнітної фракції.

Сепаратори, що мають сильне магнітне поле, служать для збагачення слабомагнітних руд (марганцеві, хромові й ін.). Робоча зона даних сепараторів створюється закритою магнітною системою двома протипоставленими полюсами (мал. 5.7).



На мал. 5.8 показана схема барабанного сепаратора, робоча зона якого створюється багатополусною відкритою системою, виконаної з постійних магнітів. Даний сепаратор має слабе магнітне поле й служить для збагачення сильномагнітних залізних руд (магнетитових).

Існує велика розмаїтість конструкцій сепараторів, як для сухого збагачення, так і для сепарації у водному середовищі.



### 5.3 Електричні процеси збагачення

Електричне збагачення засноване на застосуванні розходження в електричних властивостях поділюваних

мінералів. До цих властивостей ставляться: *електропровідність, діелектрична проникність, прояв ефектів - трибоелектричного, контактного потенціалу й ін.*

Сутність електричної сепарації полягає у взаємодії електричного поля й мінеральної частки, що володіє певним зарядом. Заряд частки одержують штучно одним з існуючих способів.

На мал. 5.9 показана умовна схема барабанного електричного сепаратора, де всі зерна вихідного матеріалу (лівий верхній бункер)



Рис. 5.9 Принцип розділення мінералів по електропровідності

повітря за допомогою коронного розряду.

*Провідникові (П)* частки віддають отриманий заряд обертовому барабану, одержують від нього позитивний заряд (на те вони й провідники) і відштовхуючись від однойменно зарядженого барабана розвантажуються в правий бункер.

*Непровідники*, тобто діелектрики, (НП) отриманий заряд барабана не віддають (немає провідності), а, маючи протилежний заряд, притягаються кулонівськими силами до барабана й розвантажуються щіткою в лівий бункер.

*Напівпровідники (ПП)* частково віддають заряд і вивантажуються в

проміжку між П и НП частками.

Звичайно, цей спрощений опис роботи сепаратора. На всі частки діють крім електричних сил і механічні, головна з них - відцентрова.

На мал. 5.10 представлена схема зарядки часток за допомогою коронного розряду. Останній виникає в результаті часткового пробую повітря між коронуючим (верхня голка) і відсаджувальним

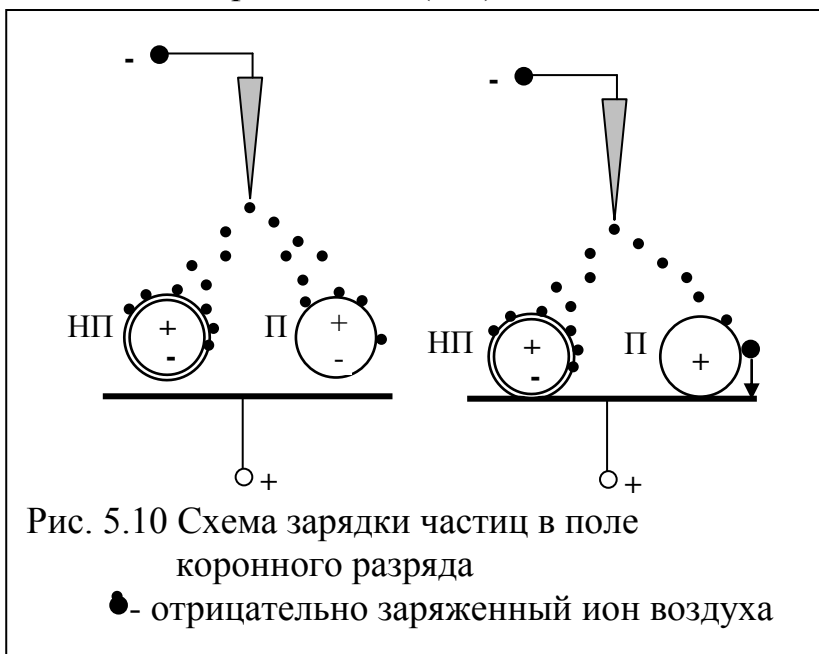


Рис. 5.10 Схема зарядки частиц в поле коронного розряду

●- отрицательно заряженный ион воздуха

електродом - нижня площина (умовно - барабан). Між цими електродами -

високий потенціал в 30 - 40 КВ. Корона - це велика кількість іонів повітря, які осаджуються на всі частки (на схемі П и НП). При торканні часток об нижній електрод частки поводяться по різному: провідники (праворуч) швидко віддають заряд електроду, одержують від нього заряд іншого знака, тобто "+". Виникає сила відштовхування цих часток, що і змінює траєкторію їхнього руху. Непровідники не можуть віддати свій заряд й, отже, притягаються до нижнього електроду.

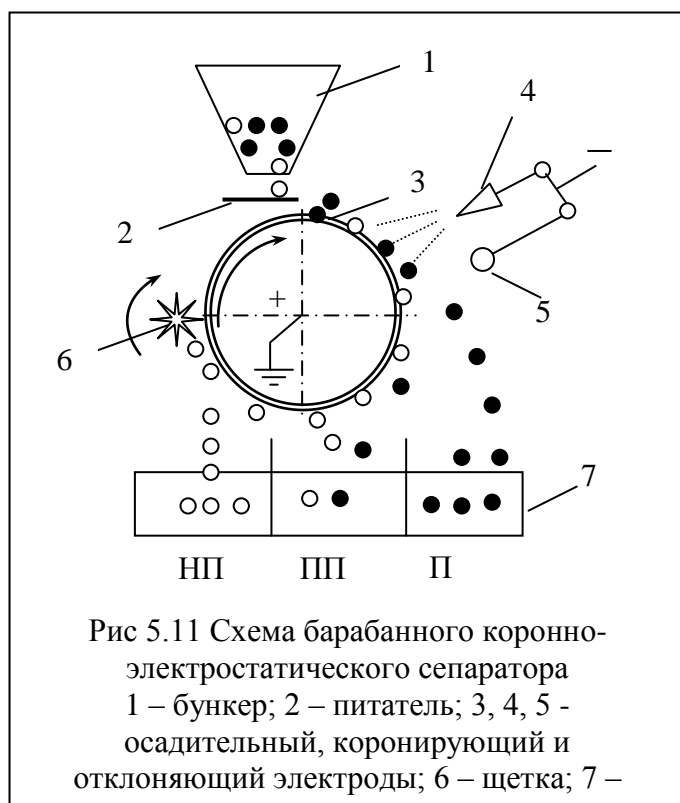
Розглянутий механізм зарядки часток найбільше часто застосовується в промисловості.

Рис. 5.11 ілюструє схему найпоширенішого коронно-електростатичного барабанного сепаратора. Тут доданий електрод, що відхиляє (5), призначений для додаткового відхилення провідникової фракції, скинутої з поверхні барабана.

Для посилення контрастності електричних властивостей поділюваних мінералів вихідний матеріал іноді підігривається в бункері й живильнику.

Знайшли застосування в промисловості й інші різновиди електричної сепарації, наприклад, *діелектрична*. Вона заснована на розходженні в діелектричній проникності поділюваних мінералів. Поділ мінералів здійснюється в середовищі з діелектричною проникністю, проміжною між проникностями поділюваних мінералів.

Електрична сепарація застосовується для збагачення зернистих матеріалів крупністю від 3 до 0.05 мм, збагачення яких іншими методами мало ефективно або економічно недоцільно.



**Область** застосування даних методів досить велика. Це - збагачення кварцу, граната, алмазів, вольфрамових, фосфоритових, каситеритових, тантало-ніобієвих, титано-содержащих руд і розсипних пісків.

Методи застосовуються й при доведенні колективних концентратів таких, як титано-цирконових, ильменито-рутило-цирконо-моноцитових, тантало-ниобиевых, танталит-колумбитових, оловяно-вольфрамових й ін.

Електричні методи знайшли застосування й при сухій класифікації матеріалів по крупності, наприклад, при знепиленні й класифікації

будівельних і кварцових пісків, вермикуліту, різних солей, металевих і неметалічних порошоків й ін.

## 5.4 Флотаційні процеси збагачення

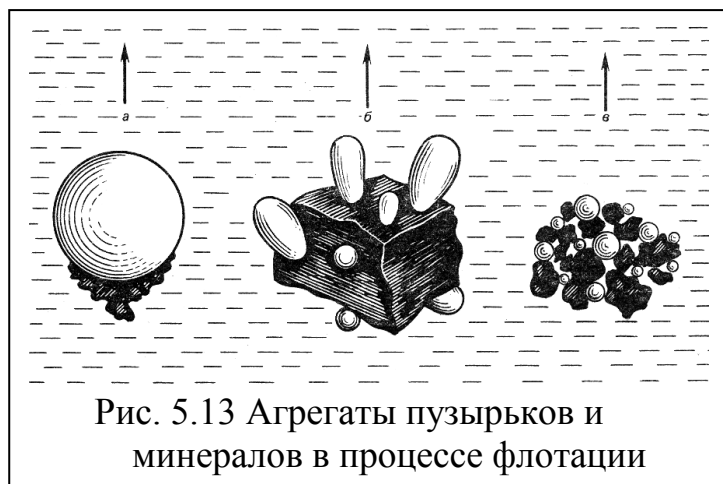
Флотаційний метод збагачення заснований на розходженні *фізико-хімічних* властивостей поверхні поділюваних мінералів. Відомі, наприклад, речовини, що добре змочуються водою, і є такі, які "виходять сухими з води". Перші називаються *гідрофільними*, що в перекладі із грецького означає "люблячу воду", другі – *гідрофобними* – "ненавидящие воду". Серед гідрофобних речовин багато й таких, які добре змочуються маслом, – *олеофільних*.

У Геродота є опис методу виловлювання золотих часток пір'ям, змоченими жиром. Цей процес знаходить застосування й у цей час, щоправда, не для добування золота, а виділення тонких часток алмазів (олеофільні частки). Якщо через поверхню, оброблену жиром, пропустити пульпу з алмазоносним піском, то кристалики алмазів, вибірково змочуючись жировою поверхнею, прилипають до неї. Для того щоб прилипання було більше надійним, поверхня алмазів попередньо покривають жировою плівкою. Це здійснюється просто - перемішують небагато жиру з пульпою, що містить здрібнену руду. Жир (масло) вибірково прилипає тільки до олеофільних часток алмазів (мал. 5.12).



Звичайно, збагачення на жирових поверхнях має багато недоліків – мала продуктивність при великій витраті масла, періодичність процесу й ін.

Другий етап розвитку методу - масляна флотація (спливання на маслі). Як і збагачення на липких поверхнях, метод заснований на явищі змочування, але з істотною особливістю - з вибірним спливанням мінералів, що не змочують середовищем. Процес простий - перемішування здрібненої руди, води й масла в ємності. Частки масла змочують олеофільні частки, збираються у великі краплі й спливають на поверхню води (не забуваємо, що масло легше води). Верхній шар пульпи знімається, що образує концентрат. Частки порожньої породи (гідрофільні), не змочені маслом, залишаються у воді (хвости).



У принципі байдуже, у

якому середовищі розділяти мінерали по смачиваємості, аби тільки вони змочувалися по різному. Розвиток техніки збагачення привело до найпростішого варіанта, при якому смачиваємость водою протиставляється "смачиваємості" повітряним пухирцем, що спливає в пульпі. Це і є суть *пінної флотації*.

Яка ж роль повітря? Образно говорячи, якщо гідрофобні речовини "ненавидять" воду, то вони "люблять" повітря. Інакше кажучи, повітря здатне витиснути з гідрофобної поверхні водну плівку й, отже, закріпитися на ній. Таким чином, якщо пульпу, що містить гідрофільні й гідрофобні частки, наситити пухирцями повітря, то одержимо картину, зображену на мал. 5.13.

Еволюція розвитку способу утворення пухирців в обсязі пульпи включала

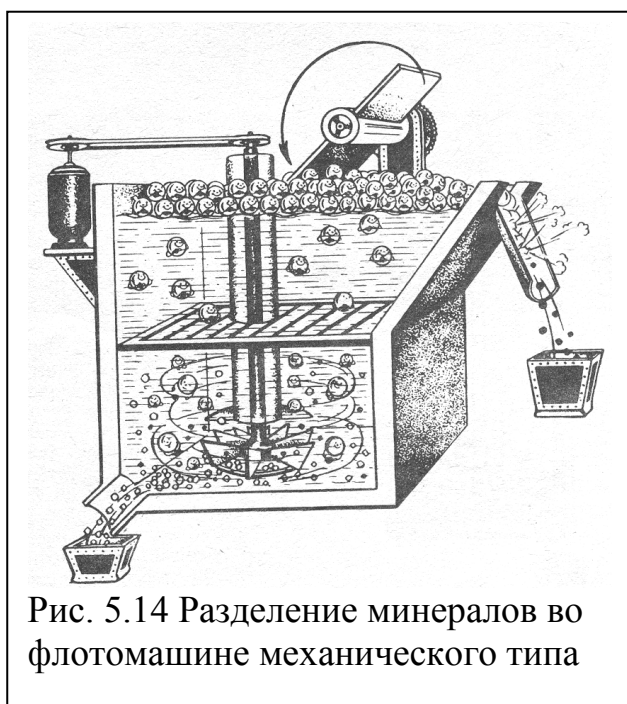


Рис. 5.14 Разделение минералов во флотомашине механического типа

етапи: кип'ятіння (нагрівання.) пульпи (1877 м.), хімічна реакція в обсязі пульпи (1886 р.), засмоктування повітря обертової в пульпі мішалкою (1906 р.), вдмухування повітря через пористе дно або опущені в пульпу трубки. Останні два способи й знаходять застосування в цей час.

Машини, у яких утворення пухирців пов'язане із засмоктуванням і дробленням повітря мішалкою (імпелером), ставляться до класу *механічних флотаційних машин* (мал. 5.14). На малюнку умовно показана одна камера машини, де пінний шар знімається спеціальним пристроєм (пеногон).

Машини, що реалізують останній спосіб утворення пухирців, називають *пневматичними флотаційними* машинами (мал.5.15).

Для стабілізації пухирців повітря й піни застосовують спеціальні хімічні сполуки (реагенти) – *пенообразователи*.

Слід зазначити, що успіх флотації визначається в основному не машинами. Головне - це можливість регулювати вибірну смачиваємость мінералів водою й повітрям.



Рис. 5.15 Пневматическая флотационная машина

Справа в тому, що деякі мінерали володіють природної гидрофобністю. Це графіть, сірка,

тальк, молібденіт, які можна легко витягти, не застосовуючи омаслювання.

Трохи сутужніше *флотуються* дрібні самородки золота й срібла, вугілля. А сульфіди кольорових металів - свинцевий блиск, цинкова обманка, пірит, халькопірит - без спеціальної обробки ще сутужніше прилипають до пухирців повітря.

Для посилення гідрофобності мінералів застосовують *флотаційні реагенти*, називані *збирачами*. Крім того, існують ще реагенти-подавителі (придушують гідрофобність мінералів), реагенти – регулятори середовища., активатори й ін. Підбираючи відповідний *реагентний режим* (тип, витрата реагенту), можна розділити мінерали, що мають близьку гідрофобність.

Слід зазначити, що витрати *флотаційних* реагентів при пінній флотації невеликі, перебувають у межах від 100 м до 2 кг на одному тону збагачуваної сировини.

Усім гарна пінна флотація, але є й недолік - це неможливість виділення часток мінералів крупніше 0.5 мм. Це пов'язане з діючими (у камері машини) на комплекси пухирець-частка гравітаційними й гідродинамічними силами. Але це вже питання наступних курсів.

Проте, ученими розроблений різновид пінної флотації – *пінна сепарація*, що дозволяє виділяти й більші частки – від 0.5 до 3 мм. Принцип методу полягає в тім, що у відмінності від звичайної флотації свіжа пульпа подається не в подпену зону, а безпосередньо на товстий шар стійкої піни, попередньо отриманий, наприклад, подачею повітря через пористе дно апарата.

Гідрофобні частки затримуються піною й вивантажуються з нею через поріг пінного сепаратора. Тому що піднімати із глибини машини частки немає необхідності, підвищується крупність гідрофобних часток, що витягають. Гідрофільної ж частки, проходячи через шар піни, осаджуються в нижню частину машини. Інакше кажучи, пінний шар виконує функцію "класифікаційного сита" по ступені гідрофобності.

На закінчення необхідно відзначити, що в цей час флотація широко застосовується для збагачення більшості руд кольорових і рідких металів, апатитових, фосфоритових, баритових, графітових й інших руд, полевошпатової сировини й вугільних шлаків.

## **6 Допоміжні процеси збагачення**

При збагаченні корисних копалин застосовуються крім підготовчих, безпосередньо розділових і ряд інших операцій, називаних *допоміжними*.

Збагачення більшості корисних копалин здійснюється у водному середовищі. Із цієї причини одержувані продукти збагачення сильно обводнені й у такому виді малопригодні для подальшого використання. Крім того, зайва волога (вода) здорожує їхнє перевезення й зберігання, зменшує сипкість, підвищує ймовірність їхнє змерзання в зимовий час. Тому для видалення із продуктів збагачення надлишкової вологи застосовують ряд операцій, називаних у загальному випадку *зневоднюванням*. Відокремлювана від

продуктів збагачення в процесі зневоднювання вода використовується для *оборотного водопостачання* при збагаченні.

Залежно від крупності продуктів, обумовленої методом збагачення, застосовуються різні способи зневоднювання:

- *дренування* - для вугіль крупністю більше 10 мм і руд більше 3 – 5 мм;
- *центрифугування* – для вугіль крупністю 0.5 – 10 мм;
- *згущення* – для вугіль крупністю менш 0.5 мм і руд менш 0.1 мм;
- *фільтрування* – для вугіль крупністю менш 0.5 – 1 мм і руд менш 0.1 мм;
- *термічне сушіння* - для вугіль крупністю менш 10 мм і руд менш 0.5 - 0.1 мм;

**Дренування** – це процес видалення води з велико-зернистих продуктів за рахунок природної фільтрації рідини через проміжки між частками під дією сили ваги (частіше при додатковому впливі коливань). Ефективність дренування падає в міру зменшення крупності матеріалу.

Тому що найбільш простим й економічним методом зневоднювання є дренування, великі продукти (більше 5 – 10 мм) спочатку збезводнюються дренуванням на грохотах, *елеваторах*, а потім у бункерах.

Збезводнювальні вібраційні грохоти мають сита з вузькими щілями для скидання води в подрешетний продукт.

*Збезводнювальні елеватори* - це похилий підйомник, ковші якого мають отвору для стоку води. Зневоднювання матеріалу здійснюється в період його підйому. Елеватори встановлюються на відсаджувальних машинах, де вони одночасно вивантажують важку фракцію з нижньої частини машини.

Збезводнювальні бункери являють собою залізобетонні прямокутні осередки з пірамідальною нижньою частиною, що має перфорований пристрій для скидання води.

**Центрифугування** – це операція зневоднювання дрібних і тонкозернистих продуктів збагачення (найчастіше вугільних) під дією відцентрових сил. Здійснюється у відцентрових апаратах, названих *центрифугами*. Фільтруюча центрифуга складається з корпусу, у якому на вертикальному валу закріплений обертовий конічний ротор (перекинутий кошик). Поверхня ротора являє собою фільтруюче сито із щелевидними отворами розміром 0.25 – 0.5 мм. Продукт, що збезводнює, спеціальним пристроєм розкидається на внутрішню поверхню ротора. Під дією відцентрової сили відбувається примусова фільтрація води через шар матеріалу й сітчасту поверхню ротора. Минула рідка фаза, називана *фугатом*, вивантажується в нижній частині центрифуги по периферії корпусу. Продукт, що збезводнює, (осад), пересувається по поверхні ротора й розвантажується також у центральній нижній частині центрифуги.

Слід зазначити, що описана схема центрифуги - одна із численних. Існують центрифуги з вертикальним вивантаженням матеріалу, з вібруючим

ротором, горизонтальні, осаджувальні, шнекові й інші. Але це пізніше, у спецкурсах.

**Згущення** – процес осадження твердих часток із дрібнозернистих пульп (менш 0.5 мм) з одержанням ущільненого згущеного продукту (*осад*) і проясненого *зливу*. Даний процес може виконувати функцію, як попереднього зневоднювання кінцевих продуктів збагачення, так і допоміжного при переробці проміжних продуктів у процесі збагачення.

Для згущення застосовують пристрої й апарати, у яких осадження часток відбувається під дією сили ваги (циліндричні й конусні згущувачі, відстійники й ін.), а також апарати, де осадження відбувається під дією відцентрових сил (гідроциклони, осаджувальні центрифуги).

Циліндричні (радіальні) згущувачі (мал. 6.1) – це циліндроконічний

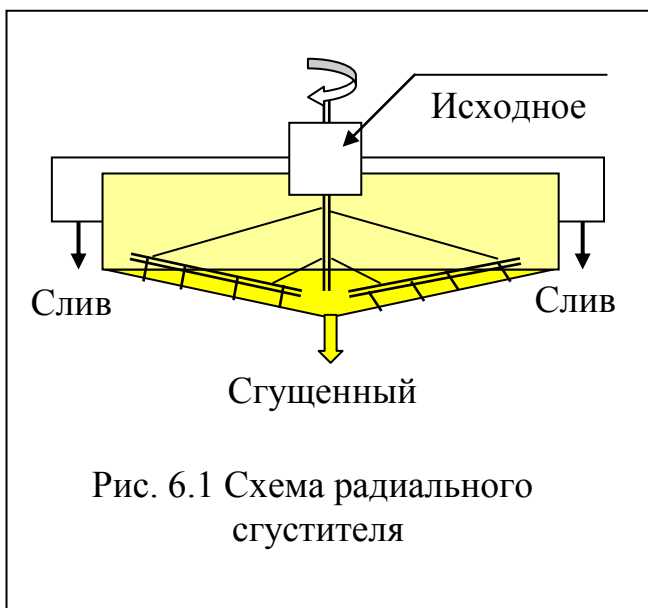


Рис. 6.1 Схема радіального згущувача

апарат, діаметр якого може досягати кілька десятків метрів. Пульпа в згущувачі обережно перемішується повільно обертовою рамою із гребками в нижній частині. Тверді частки поступово осідають на дно й згрібаються до центра згущувача, звідки вивантажуються – це *згущений* продукт. Прояснена рідина віддаляється через поріг по периметрі згущувача – це *слив*. Злив часто (при вугільному збагаченні - завжди) використовується як оборотна вода в технології збагачення.

Для прискорення осадження твердої фази в згущувач подають спеціальні реагенти (коагулянти, флокулянти), що сприяють злипанню тонких часток у великі агрегати, які швидше осаджуються в згущувачі.

Згущення в гідроциклонах здійснюється по тій же схемі, що була розглянута в розділі 4.4 (мал. 4.9).

**Фільтрування** – процес поділу рідкої й твердої фаз пульпи за допомогою пористої перегородки під дією різниці тисків, створюваної між перегородкою.

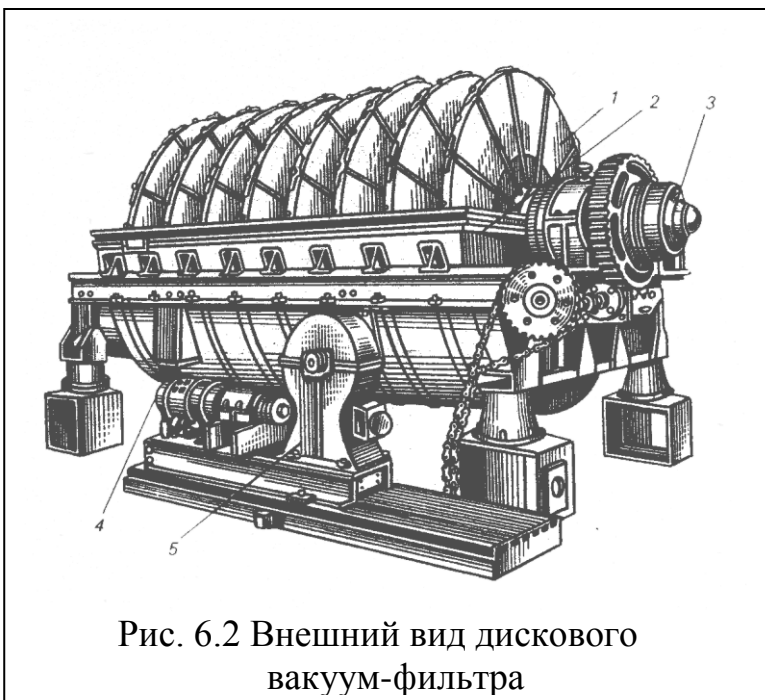


Рис. 6.2 Внешній вид дискового вакуум-фільтра

У такий спосіб відбувається відсмоктування вологи через

пористу перегородку, наприклад, за допомогою вакуум-насоса. Як перегородка може застосовуватися технічна тканина, полімерна, металева сітка із дрібними отворами.

Апарати для фільтрування називаються *вакуум-фільтрами*. На мал. 6.2 показаний 8-ми дисковий вакуум-фільтр, що містить диски (1), що посаджені на повільно обертовий вал. Диски складаються з пористих секторів. При зануренні секторів у ванну в них створюється розрядження, у результаті якого вода засмоктується у внутрішню порожнину сектора (*фільтрат*). Це супроводжується налипанням твердої фази на зовнішній поверхні секторів. Сектори перебувають під вакуумом до верхньої частини їхнього підйому і як тільки вона пройдена, у порожнину сектора подається тиск повітря, що сприяє скиданню зневодненого продукту в окремий приймач (*віддувка*).

Крім дискових знайшли застосування барабанні й інші типи вакуум-фільтрів.

Вакуум-фільтри широко застосовуються для зневоднювання флотацийних концентратів, а також магнітного концентрату в процесі мокрого збагачення магнетитових руд.

Для підготовки до складування обводнених тонкодисперсних продуктів, наприклад, відходів флотатії вугілля, застосовуються відносно складні машини - фільтр-преси.

У більшості випадків вологість дрібних концентратів збагачення, зневоднених розглянутими способами, перевищує вимоги, пропоновані до цих продуктів. Тому як заключне зневоднювання застосовують термічне сушіння.

**Термічне сушіння** – процес зневоднювання матеріалу, заснований на випарі води, що втримується в ній, при нагріванні.

Як теплоносії (*сушильний агент*) при сушінні використовують, як правило, продукти горіння будь-якого виду палива. Сушіння виробляється в апаратах, названих *сушарками*.

Основними типами сушарок, найбільше широко застосовуваних на збагачувальних фабриках, є *барабанні, труби-сушарки* й сушарки киплячого шару.

Барабанна сушарка – це похилий обертовий барабан, з однієї сторони якого виробляється завантаження вологого матеріалу, а з іншої відбувається вивантаження підсушеного продукту (сушонка). Усередину барабана надходять гарячі гази (*теплоносії*) з температурою до 1000<sup>pp0</sup> С. Випарувана волога віддаляється цими ж газами наприкінці барабана.

Для підготовки теплоносія на кожен барабан передбачається топковий пристрій (*топлення*).



Сушильна установка із *трубою-сушаркою* включає вертикальну трубу, у нижню частину якої живильником закидається вологий матеріал, туди ж надходять і гарячі гази. Швидкість повітряного-газо-повітряного потоку повинні бути такий, щоб найбільш великі частки матеріалу виносилися їм у верхню частину труби, де відбувається поділ газів і висушеного матеріалу.. Під час "польоту" у трубі відбувається випар вологи.

Труби-сушарки застосовуються для підсушування матеріалу крупністю до 10 - 15 мм.

## 7. Висновок

Ознайомившись (хочеться на це сподіватися) із запропонованим конспективним матеріалом починаючи студенти-збагачувачі повинні усвідомити, що збагачення корисних копалин - різноманітна, необхідна для промисловості країни спеціальність, що вимагає знань основних положень багатьох фундаментальних і прикладних наук.

Природно, розглянута вище інформація про технологічні операції, машини й поняття викладена на до вузівському рівні й далеко не вичерпна. Адже вона призначена для попереднього ознайомлення студентів першого курсу з особливостями спеціальності й повинна дати спрощена відповідь на питання "Що таке збагачення корисних копалин?".

У процесі подальшого навчання збагачувач-збагачувач-студент-збагачувач прослухає більше 25 спеціальних курсів, які дадуть вичерпна відповідь на поставлене питання.

### Література.

1. Шилаев В.П. Основи збагачення корисних копалин. Уч. посібник. - М.:Надра, 1986. 296с.
2. Барський Л.А. Так копалини стають корисними. - М.: Надра, 1988. 152 с.