

**ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»**

**ПЕРЕРОБКА ТА ЗБАГАЧЕННЯ
КОРИСНИХ КОПАЛИН:**

**методичні вказівки
до виконання практичних робіт
та індивідуальних завдань**

Запоріжжя 2026



УДК 622.7(072)
П26

Рекомендовано Науково-методичною радою
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
(протокол № 7 від 4.06.2026)

Укладачі:

Левченко К.А., канд. техн. наук, доцент
Кушнірук Н.В., канд. техн. наук, доцент
Михайлова Д.О., викладач

Рецензент:

Сахно С.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри гірничої справи ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА».

П26 Переробка та збагачення корисних копалин : методичні вказівки до виконання практичних робіт та індивідуальних завдань / уклад.: К. А. Левченко, Н. В. Кушнірук, Д. О. Михайлова. Запоріжжя : ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2026. 70 с.

Методичні вказівки містять пояснення щодо навчальної програми дисципліни, основних моментів, на які потрібно звернути увагу при вивченні кожної теми, контрольні запитання для самоперевірки, а також приклади практичних робіт та індивідуальних завдань і порядок їх виконання. Методичні вказівки призначені для здобувачів освіти, які опановують навчальну дисципліну «Переробка та збагачення корисних копалин». У вказівках наведені приклади розрахунків, вимоги до оформлення робіт та перелік рекомендованих джерел.

УДК 622.7(072)

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2026



ЗМІСТ

ВСТУП	4
НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА, МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ТА КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ЗА РОЗДІЛАМИ ДИСЦИПЛІНИ	5
ПРАКТИЧНА РОБОТА №1. Визначення основних технологічних показників збагачення.....	14
ПРАКТИЧНА РОБОТА №2. Визначення ефективності грохочення....	19
ПРАКТИЧНА РОБОТА №3. Визначення продуктивності валкової дробарки.....	23
ПРАКТИЧНА РОБОТА №4. Визначення швидкості вільного руху мінеральної частинки.....	27
ПРАКТИЧНА РОБОТА №5. Визначення істинної щільності матеріалу.....	31
ПРАКТИЧНА РОБОТА №6. Визначення значення питомої магнітної сили.....	36
ПРАКТИЧНА РОБОТА №7. Визначення співвідношення розчинів...	41
ПРАКТИЧНА РОБОТА №8. Визначення значення вологості матеріалу.....	44
ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ №1	47
ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ №2	58
ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ ТА ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ	63
АКАДЕМІЧНІ ПОЛІТИКИ	65
ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ	67
ДОДАТОК А. Приклад оформлення титульної сторінки звіту з практичної роботи	69
ДОДАТОК Б. Приклад оформлення титульної сторінки індивідуального завдання.....	70



ВСТУП

«Переробка та збагачення корисних копалин» є обов'язковою навчальною дисципліною спеціальності G16 Гірництво та нафтогазові технології, освітньо-професійної програми «Підземна розробка корисних копалин» для освітнього рівня «Фаховий молодший бакалавр».


Дисципліна "Переробка та збагачення корисних копалин" спрямована на формування у студентів теоретичних знань та практичних навичок в галузі збагачення корисних копалин, розуміння підготовчих, основних та допоміжних процесів переробки сировини. Основною метою є формування у студентів світогляду спеціальності гірництво від видобутку гірничої маси до отримання кінцевого продукту для споживачів.

Актуальність дисципліни полягає в тому, що сучасні методи видобутку корисних копалин опосередковано, або напряму впливають на кінцеві показники якості продукції мінеральної сировини. Збагачення корисних копалин вельми складна та об'ємна дисципліна, але вона допомагає здійснити прогносту оцінку щодо якості отриманого кінцевого продукту.

Методичні вказівки містять навчальну програму дисципліни, пояснення щодо основних моментів, на які потрібно звернути увагу при вивченні кожної теми, контрольні питання для самоперевірки, а також приклади практичних робіт та індивідуальних завдань і порядок їх виконання, що забезпечує можливість самостійного опрацювання та засвоєння матеріалу.

Метою виконання практичних робіт та індивідуальних завдань є закріплення та поглиблення теоретичних знань, отриманих у процесі вивчення дисципліни «Переробка та збагачення корисних копалин», щодо основ, методів і прикладів визначення основних показників процесів, операцій збагачення, характеристики сировини, а також набуття здобувачами освіти практичних навичок з розрахунку технологічних параметрів устаткування, що використовується при збагаченні корисних копалин.

Результатом виконання представлених практичних робіт та індивідуальних завдань є формування у здобувачів освіти загальних та фахових компетентностей, орієнтованих на розв'язання типових задач гірництва.



НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА, МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ТА КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ЗА РОЗДІЛАМИ ДИСЦИПЛІНИ

Тема 1. Корисні копалини і продукти збагачення

Походження, класифікація корисних копалин. Технологічні показники збагачення. Рівняння балансу. Класифікація операцій збагачення. Класифікація процесів, схем збагачення корисних копалин.

Методичні вказівки

При вивченні даної теми студенту потрібно згадати означення корисної копалини, умови походження магматичних, осадових та метаморфічних корисних копалин. Різницю в утворенні ендегенних та екзогенних корисних копалин. Ознайомитися із класифікацією за технологічними властивостями. Засвоїти ключові поняття збагачення, цінний (корисний) компонент, корисні та шкідливі домішки, порожня порода, концентрат, відходи, проміжні продукти збагачення. Зрозуміти процес збагачення, який складається із підготовчих, основних та допоміжних операцій. Засвоїти основні якісно-кількісні показники, якими характеризуються продукти збагачення: вихід, вміст корисного компоненту, вилучення. Знати їх визначення та засоби обчислення. Засвоїти рівняння балансу маси продукту при збагаченні та маси корисного компоненту. Уміти складати систему балансових рівнянь продуктів збагачення.

Контрольні запитання

1. Надайте визначення корисної копалини.
2. Опишіть умови утворення магматичних (осадових, або метаморфічних) корисних копалин.
3. Які корисні копалини відносяться до ендегенного (екзогенного) типу.
4. Наведіть класифікацію корисних копалин за характером та призначенням цінного компоненту.
5. В чому причини необхідності збагачення корисних копалин.
6. Наведіть означення збагачення корисних копалин,
7. Які продукти утворюються в процесі збагачення корисних копалин.
8. Що таке домішки. Які з них відносять до корисних, чи шкідливих.
9. Надайте визначення основним якісно-кількісним показникам збагачення (вихід, вміст корисного компоненту, вилучення).
10. Основні рівняння при збагаченні корисних копалин (баланс маси продукту, що підлягає збагаченню, та баланс маси корисного мінералу).
11. Надайте класифікацію процесів збагачення корисних копалин.
12. Види технологічних схем збагачення, їх особливості та відмінності.



Тема 2. Підготовка корисних копалин до збагачення (усереднення і грохочення).

Необхідність операцій усереднення, способи усереднення, основні показники процесу. Поняття "гранулометричний склад" та "гранулометрична характеристика", клас крупності, шкала, модуль класифікації. Способи визначення гранулометричного складу. Обробка результатів ситового аналізу. Графічне відображення гранулометричної характеристики. Класифікація процесу грохочення. Основні конструкції грохотів. Схеми грохочення. Ефективність грохочення.

Методичні вказівки

При вивченні другої теми студенту потрібно засвоїти поняття усереднення, шихтування, усвідомити різницю між цими процесами. Знати, якими показниками оцінюється якість усереднення (шихтування). Зрозуміти, що називається гранулометричним складом. Якими способами їх можна визначати та представляти. Студенту потрібно усвідомити взаємозв'язок між частковою та сумарною гранулометричною характеристикою. Мати представлення про апарати, які використовують для розділення корисної копалини за крупністю та знати назву продуктів. Класифікувати поверхні, що використовують для просіювання. Мати представлення про коефіцієнт живого перетину поверхні для просіювання. Порядок виділення класів при грохоченні. Розбиратися у основних видах грохотів, що використовують для розділення за крупністю. Мати представлення та визначати ефективність роботи грохоту.

Контрольні запитання

1. Надайте визначення усереднення (шихтування) корисної копалини.
2. Наведіть основні способи усереднення.
3. Наведіть показники, що визначають якість усереднення.
4. Надайте визначення гранулометричного складу.
5. Якими способами може визначатися гранулометричний склад.
6. В якому виді може бути представлений гранулометричний склад.
7. Вузький клас крупності. Визначення виходу вузького класу крупності за допомогою гранулометричної характеристики.
8. Види просіювальної поверхні грохотів. Коефіцієнт живого перетину просіювальної поверхні.
9. Наведіть схеми грохочення, їх переваги та недоліки.
10. Класифікація грохотів.
11. Основні фактори, що впливають на ефективність грохочення.
12. Наведіть визначення ефективності грохочення.



Тема 3. Дроблення і подрібнення корисних копалин.

Характеристика процесів. Закони дроблення. Способи руйнування гірських порід. Машина для дроблення і подрібнення, устрій, принцип дії. Схеми дроблення і подрібнення.

Методичні вказівки

При вивченні цієї теми необхідно зрозуміти в чому різниця між процесами дроблення та подрібнення. Яким технологічним показником характеризується процес та як він визначається. Мати представлення про закони дроблення. Згадати про основні механічні властивості гірських порід, класифікацію гірських порід за М. Протодьяковим. Ознайомитися зі способами дроблення корисних копалин. Вивчити конструкцію щокових, конусних, валкових, молоткових та роторних дробарок, їх класифікацію. Визначати основні типи млинів для подрібнення. Розрізняти режими роботи млинів. Відрізняти стадії дроблення (подрібнення) від операцій. Орієнтуватися в побудові основних схем стадій дроблення. Мати уявлення про циркуляційне навантаження.

Контрольні запитання

1. Назвіть основну мету використання операцій дроблення та подрібнення.
2. Що називається ступенем дроблення (подрібнення) і як він визначається.
3. Наведіть основні закони дроблення.
4. Що розуміють під способом дроблення та скільки способів виділяють.
5. Перелічіть основні типи устаткування, що використовується для дроблення корисних копалин.
6. Опишіть устрій та принцип дії щокових (конусних, валкових, молоткових, роторних) дробарок.
7. Вкажіть різницю в побудові конусних дробарок крупного та дрібного дроблення.
8. Наведіть основні типи барабанних млинів, що використовують на збагачувальних фабриках, їх відмінності.
9. Опишіть режими роботи барабанних млинів залежно від частоти обертання барабана.
10. Наведіть основні схеми, що використовуються при дробленні (подрібненні). Їх відмінності та особливості використання.
11. Що називається циркуляційним навантаженням.
12. Відмінності в побудові схем дроблення (подрібнення) з використанням попереднього та контрольного грохочення (класифікації).



Тема 4. Гідравлічна класифікація.

Загальні відомості про процес. Закономірності руху тіл у середовищах в умовах вільного та стисненого руху. Закономірності процесу класифікації. Класифікатори, устрій та принцип дії.

Методичні вказівки

При вивченні теми рекомендується зосередити увагу на режимі руху твердих тіл у рідкому середовищі та числом Рейнольдса (Re), який є основним показником. Важливо зрозуміти, як змінюється характер опору середовища (тертя чи інерція) залежно від швидкості та розміру частинок. Чим відрізняються умови вільного та стисненого руху. В реальних апаратах відбувається масовий рух частинок (стиснене падіння), де швидкість руху значно менша, ніж при вільному падінні через взаємодію зерен між собою. Засвоїти поняття рівнопадання, які необхідно знати параметри частинок для визначення коефіцієнта рівнопадання. Вивчити конструкцію класифікаторів, що використовують для розділення частинок в рідкому середовищі. Зрозуміти, що означає граничний розмір частинки та чим він відрізняється від номінальної крупності.

Контрольні запитання

1. Наведіть означення гідравлічної класифікація та назвіть основні продукти, які отримують у результаті цього процесу.
2. Дайте визначення поняттю «гранична крупність» розділення.
3. Які основні сили взаємодіють при русі мінерального зерна в рідині.
4. Чим відрізняється ламінарний режим обтікання від турбулентного, і за допомогою якого безрозмірного параметра їх розрізняють.
5. Які закономірності (закони) описують силу опору середовища для ламінарного (турбулентного, перехідного) режиму руху.
6. Що називають вільним (стисненим) рухом частинок у рідині.
7. Дайте визначення стисненого падіння та поясніть, чому швидкість руху частинок у цьому випадку значно зменшується.
8. Що називають коефіцієнтом рівнопадання, і як він визначається.
9. Надайте пояснення чому на практиці неможливо досягти ідеально чіткого розділення за граничною крупністю (причини засмічення продуктів).
10. Як розраховується ефективність класифікації (E) і які показники вона має враховувати.
11. Опишіть будову та принцип роботи спірального (елеваторного) класифікатора.
12. У чому полягає принцип дії гідроциклону та за рахунок чого в ньому відбувається розділення частинок.



Тема 5. Гравітаційні процеси збагачення корисних копалин.

Збагачення у важких середовищах. Характеристика процесу. Апарати для збагачення у важких середовищах. Технологія збагачення у важких середовищах. Відсадження. Теоретичні основи процесу відсадження. Відсаджувальні машини. Збагачення у струмені води, що тече по похилій площині. Теоретичні основи процесу розділення. Апарати для збагачення. Промивання корисних копалин.

Методичні вказівки

При вивченні цієї теми необхідно усвідомити, що гравітаційне збагачення базується на різниці в характері та швидкості руху частинок, що відрізняються густиною, розміром або формою, у водному чи повітряному середовищі під дією сили тяжіння та сил опору. Засвоїти, які процеси відносять до гравітаційного збагачення. В чому полягає сутність процесу промивання, як класифікуються корисні копалини за промивністю, яке застосовується устаткування. Засвоїти основні характеристики процесу збагачення у важкому середовищі, поняття «обважнювач», «суспензія», основні властивості мінеральних суспензій. Слід розрізняти сепаратори, що використовуються для збагачення крупних класів (колісні, конусні, барабанні) та для дрібних – гідроциклони. Зрозуміти за рахунок чого відбувається збагачення в процесі відсадження. Знати основні технологічні характеристики процесу та класифікацію відсаджувальних машин. Засвоїти яким чином відбувається розділення частинок у потоці води, що тече по похилій площині, та які використовують для цього апарати.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення процесу промивання та поясніть його основну мету під час підготовки руди.
2. За якими показниками корисні копалини поділяють на легко-, середньо- та важкопромивні.
3. Опишіть принцип розділення мінералів у важких середовищах.
4. Поясніть чому органічні важкі рідини майже не застосовуються в промислових масштабах, поступаючись суспензіям.
5. Назвіть основні властивості мінеральних суспензій, які визначають точність розділення корисних копалин.
6. Наведіть конструкцію сепараторів, що використовуються при збагаченні руд у важкому середовищі.
7. Дайте визначення процесу відсадження (відсаджування) та поясніть роль «постелі» у цьому процесі.
8. У чому полягають переваги безпоршневих (повітряно-пульсаційних) відсаджувальних машин перед діафрагмовими (поршневими)?
9. Які основні сили діють на мінеральну частинку в струмені води, що тече по похилій площині?



Тема 6. Магнітне та електричне збагачення корисних копалин.

Теоретичні основи магнітного збагачення. Класифікація, устрій і принцип дії магнітних сепараторів. Схеми магнітної сепарації. Фактори, що впливають на процес магнітної сепарації. Класифікація мінералів за електричними властивостями. Теоретичні основи електричного збагачення. Електричні сепаратори, устрій і принцип дії. Схеми електричної сепарації.

Методичні вказівки

При вивченні цієї теми необхідно пригадати основні силові характеристики магнітного (електричного) поля, лінії напруженості, умови однорідності (неоднорідності) поля. Звернути увагу на магнітні властивості мінералів, їх класифікацію. Засвоїти класифікацію магнітних сепараторів, їх конструкції для вилучення сильно- та слабомагнітних сепараторів. Зрозуміти дію намагнічуючих та розмагнічуючих апаратів. Згадати поведінку однойменноряджених (різноміменноряджених) частинок. Засвоїти класифікацію мінералів за електричними властивостями. Засвоїти принципи дії основних типів електросепараторів.

Контрольні запитання

1. Назвіть основні характеристики магнітного поля.
2. Вкажіть на які три технологічні групи поділяють мінерали залежно від їхньої питомої магнітної сприйнятливості.
3. Охарактеризуйте три режими розділення частинок: відхилення, утримання та вилучення.
4. Поясніть у чому полягає різниця між призначенням сепараторів зі слабким та сильним магнітним полем.
5. Опишіть які існують типи ванн у сепараторах для мокрого збагачення залежно від напрямку руху пульпи.
6. Вкажіть для чого застосовуються операції намагнічування та розмагнічування у технологічних схемах.
7. Які основні електричні властивості мінералів використовуються при електричній сепарації?
8. На які групи поділяють мінерали за величиною їхньої питомої електропровідності?
9. Опишіть механізм заряджання мінеральних частинок у полі коронного розряду.
10. Назвіть сили, що намагаються втримати частинку на поверхні електрода і як вони виникають.
11. Опишіть принцип роботи барабанного електростатичного (коронно-електростатичного, трибоелектричного) сепаратора.
12. Вкажіть, які операції використовують для підвищення ефективності електросепарації матеріалу.



Тема 7. Флотація корисних копалин.

Сутність процесу флотації і галузі використання. Фізико-хімічні основи флотації. Класифікація мінералів за флотованістю. Флотаційні реагенти. Устрій і принцип дії флотаційних машин. Допоміжне устаткування при флотації. Схеми флотації.

Методичні вказівки

При вивченні теми рекомендується зосередити увагу на фізико-хімічних закономірностях взаємодії фаз, ролі реагентів та конструктивних особливостях устаткування. Засвоїти класифікацію способів флотації. Зрозуміти явище змочуваності (гідрофільності, гідрофобності) частинок. Засвоїти основний показник, який визначає властивості поверхні частинок. Зрозуміти суть елементарного акту флотації. Усвідомити необхідність використання реагентів, їх класифікацію, поняття «реагентний режим». Студент повинен розбиратися в апаратах, що використовуються для флотації корисних копалин. Знати класифікацію флотомашин, технологічні схеми та операції флотації, що використовуються..

Контрольні запитання

1. Покажіть у чому полягає фізико-хімічна сутність процесу флотації.
2. Опишіть принцип дії масляної (плівкової, пінної) флотації (пінної сепарації).
3. Надайте визначення крайовому куту змочування та його значення для гідрофільних, гідрофобних частинок.
4. Надайте коротку характеристику трьом фазам флотаційної пульпи.
5. Що називають «елементарним актом флотації» та яку роль у ньому відіграє товщина гідратного шару?
6. Вкажіть на які п'ять основних груп поділяють флотаційні реагенти за їхнім призначенням.
7. Опишіть принцип дії механічних (пневмомеханічних, пневматичних, пінної сепарації) флотомашин.
8. Які конструктивні особливості механічних флотаційних машин забезпечують засмоктування повітря та перемішування пульпи?
9. Надайте призначення та опишіть принцип дії контактного чану.
10. Поясніть різницю між схемами прямої та зворотної флотації. В яких випадках доцільно використовувати зворотну флотацію?
11. Поясніть різницю між схемами селективної, колективної та колективно-селективної флотації.
12. Вкажіть на призначення операцій перемішувальної та контрольної флотації в технологічному циклі.



Тема 8. Процеси зневоднення корисних копалин

Загальні відомості про процес зневоднення. Класифікація видів вологи та продуктів за вмістом вологи. Процеси дренажування, центрифугування, згущення, фільтрування та сушіння корисних копалин. Основні показники, що характеризують процеси. Устаткування, принцип дії, що використовується за кожним процесом.

Методичні вказівки

При вивченні теми рекомендується згадати, що називається вологістю. Ознайомитися із класифікацією видів вологи, що міститься у продуктах збагачення і відповідно класифікацією продуктів від вмісту вологи. Розрізняти процеси зневоднення (механічні та термічні). Знати устаткування, що використовується у кожному процесі зневоднення, та продукти, що отримують при цьому. Зрозуміти особливості процесів центрифугування, осадження, фільтрування. Знати теорію термічної сушки, термінологію та устаткування, що використовується.

Контрольні запитання

1. Надайте визначення процесу зневоднення корисних копалин та які основні види зневоднення використовують.
2. Опишіть які операції відносять до механічного зневоднення.
3. Вкажіть п'ять видів вологи за енергією зв'язку з матеріалом.
4. Надайте класифікацію та коротку характеристику продуктів збагачення за вмістом вологи.
5. Надайте визначення вологості продукту та за яким виразом вона обчислюється.
6. Дайте визначення процесу дренажування та опишіть устаткування, що використовується при цьому.
7. Надайте визначення процесу центрифугування та на які два типи (за принципом дії) поділяють центрифуги.
8. Назвіть три етапи розділення пульпи, що безперервно протікають в осаджувальній шнековій центрифугі.
9. Надайте визначення процесу згущення та опишіть під дією яких сил він відбувається в радіальних згущувачах та гідроциклонах.
10. Опишіть зони осадження пульпи в радіальних згущувачах.
11. Надайте визначення процесу фільтрування та перелічіть устаткування, що використовується.
12. Опишіть послідовність операцій (зони), що застосовують на вакуум-фільтрах.
13. Надайте визначення процесу сушіння. Назвіть основні переваги та недоліки барабанних сушарок.
14. Поясніть принцип дії сушарок киплячого шару.



Тема 9. Огрудкування корисних копалин.

Агломерація корисних копалин. Фізико-хімічні основи процесу агломерації. Процес брикетування, класифікація, основні характеристики, технологія. Процес обкочування тонкоподрібнених концентратів. Фізичні основи процесу обкочування. Основне устаткування, технологія.

Методичні вказівки

При збагаченні корисних копалин, згідно технологій котрі використовуються, практично завжди отримують два продукти. Це – концентрат, та відходи. На жаль концентрат знаходиться у такому вигляді, що його безпосередньо використовувати у наступній переробці неможливо, або недоцільно. А тому широко поширені способи огрудкування при переробці різноманітних концентратів корисних копалин. Основні способи огрудкування наступні: брикетування, агломерація та обкочування. При вивченні теми рекомендується звернути увагу на крупність продукту, яка застосовується для кожного із процесів огрудкування, що означає шихта, та яку роль вона виконує.. Засвоїти як відбувається процес брикетування із зв'язуючими та без них. Усвідомити, що означає зональний характер процесу агломерації та його особливості. Фактори, що впливають на процес утворення агломерату. Зрозуміти особливості процесу обкочення, вплив вологи та необхідність зміцнення обкотишів.

Контрольні запитання

1. Надайте пояснення, чому безпосереднє використання концентратів у металургійній переробці часто є неможливим або недоцільним.
2. Надайте визначення способам огрудкування, що використовуються при переробці концентратів.
3. Назвіть матеріали, що використовують в якості зв'язуючих речовини в процесі брикетування.
4. Опишіть цикл пресування, з яких операцій він складається незалежно від типу преса.
5. Назвіть компоненти, з яких складається агломераційна шихта.
6. Надайте пояснення зональному характеру процесу агломерації.
7. Назвіть основні вузли із яких складається стрічкова агломашина.
8. Надайте пояснення процесу обкочування тонкоподрібнених матеріалів.
9. Опишіть механізм утворення «зародкових» центрів та утворення овальних обкотишів-котунів в грануляторах.
10. Опишіть, яку роль відіграє домішка бентоніту в процесі виробництва обкотишів.
11. Опишіть умови зміцнюючого випалу: які температурні режими використовуються та які фізико-хімічні зміни відбуваються в обкотиші.



ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

Визначення основних технологічних показників збагачення

ТЕМА: Корисні копалини і продукти збагачення

Мета: визначення основних технологічних показників збагачення операції розділення.

Практичні роботи з дисципліни «Переробка та збагачення корисних копалин» виконується у вигляді звіту.

Метою виконання практичної роботи є узагальнення та поглиблення теоретичних знань та набуття практичних навичок при виконанні обчислень.

Номер варіанту для виконання практичної роботи обирається здобувачем освіти у відповідності до його номеру за списком студентської групи, абозначається викладачем.

Титульний аркуш оформлення звіту із практичної роботи надано в додатку А.

Теоретичні відомості

Результати збагачення корисної копалини характеризуються якісно-кількісними показниками, основні з них такі: вихід продукту, вміст цінного компонента, вилучення.

Вихід продукту – показник, що характеризує, яку частину маси корисної копалини, що переробляється, складає той чи інший продукт збагачення. Вихід продукту збагачення виражають у відсотках, рідше в частках одиниці:


$$\gamma_{np} = \frac{m_{np}}{m_n} \cdot 100 = \frac{Q_{np}}{Q_n} \cdot 100, \% \quad (1.1)$$

де γ_{np} – вихід відповідного продукту, %; m_{np} , (Q_{np}) і m_n (Q_n) – маса (продуктивність), відповідно продукту і початкового матеріалу, який надійшов на збагачення, т (т/год).

Сумарний вихід усіх продуктів збагачення повинний відповідати виходу початкового продукту, що приймається за 100 %. Якщо при збагаченні одержують два кінцевих продукти – концентрат з виходом γ_k і відходи з виходом γ_v , то ця умова записується таким рівнянням, що виражає баланс виходів продуктів збагачення:

$$\gamma_k + \gamma_v = 100, \% \quad (1.2)$$

Вміст цінного (корисного) компоненту – показник, що характеризує частку компонента в корисній копалині або продукті



збагачення. Вміст корисних компонентів у початковій корисній копалині позначається α , у продуктах збагачення – β , у відходах – θ (v) та виражають у відсотках, іноді в частках одиниці.

$$\alpha(\beta, \theta) = \frac{m_{\text{КМ}}}{m_n} \cdot 100, \%$$

де $m_{\text{КМ}}$ – маса корисного мінералу (компоненту), гр; m_n – маса продукту, в якому визначається вміст корисної копалини, гр.

Вміст дорогоцінних металів у рудах і продуктах збагачення виражають звичайно в г/т.

Сумарна кількість будь-якого компонента, що міститься в кінцевих продуктах збагачення, повинна відповідати кількості цього компонента у початковій корисній копалині. Якщо при збагаченні отримані два кінцевих продукти – концентрат і відходи, то ця умова запишеться рівністю:

$$\gamma_{\text{К}} \cdot \beta + \gamma_{\text{В}} \cdot \theta = 100 \cdot \alpha, \% \quad (1.3)$$

Рівності (1.2) і (1.3) називаються рівняннями балансу продуктів збагачення та записуються системою рівнянь:

$$\begin{cases} \gamma_{\text{К}} + \gamma_{\text{В}} = 100 \\ \gamma_{\text{К}} \cdot \beta + \gamma_{\text{В}} \cdot \theta = 100 \cdot \alpha \end{cases}$$

При збагаченні корисних копалин в більшості випадків, практично завжди, визначається вміст корисної копалини в продуктах розділення. Потім за вмістом корисної копалини розраховують виходи продуктів розділення, а саме:

1. із першого рівняння балансу записують вихід наприклад відходів

$$\gamma_{\text{В}} = 100 - \gamma_{\text{К}};$$


2. цей вираз підставляють у друге рівняння балансу та розв'язують його відповідно виходу концентрату ($\gamma_{\text{К}}$):

$$\gamma_{\text{К}} \cdot \beta + \gamma_{\text{В}} \cdot \theta = 100 \cdot \alpha \rightarrow \gamma_{\text{К}} \cdot \beta + (100 - \gamma_{\text{К}}) \cdot \theta = 100 \cdot \alpha.$$

Розкриваємо дужки та отримуємо:

$$\gamma_{\text{К}} \cdot \beta + 100 \cdot \theta - \gamma_{\text{К}} \cdot \theta = 100 \cdot \alpha.$$

Множники із невідомим залишаємо в лівій частині, а в праву переносимо відомі:


$$\gamma_{\text{к}} \cdot \beta - \gamma_{\text{к}} \cdot \theta = 100 \cdot \alpha - 100 \cdot \theta.$$

Постійні множники виносимо за дужки:

$$\gamma_{\text{к}} \cdot (\beta - \theta) = 100 \cdot (\alpha - \theta).$$

Записуємо вираз для знаходження виходу концентрату:

$$\gamma_{\text{к}} = 100 \cdot \frac{\alpha - \theta}{\beta - \theta}. \quad (1.4)$$

Якщо перший вираз записати відносно знаходження виходу концентрату, то отримаємо, як кінцевий результат вираз для знаходження виходу відходів:

$$\gamma_{\text{в}} = 100 \cdot \frac{\beta - \alpha}{\beta - \theta}. \quad (1.5)$$

Вилучення корисного компонента ε – показник, що показує яка частина корисного компонента, що міститься в початковому продукті, перейшла в продукт збагачення. Вилучення виражається у відсотках, рідше в частках одиниці, і обчислюється як відношення маси компонента в i -тім продукті до його маси в початковому продукті:

$$\varepsilon_i = \frac{\gamma_i \cdot \beta_i}{\alpha},$$

де ε – вилучення i -того продукту, %; γ_i – вихід i -того продукту, %; β_i – вміст корисного компонента в i -тому продукті, %; α – вміст корисного компонента в початковому продукті, %.

Сумарне вилучення даного компонента в усі кінцеві продукти збагачення складає 100%:

$$\varepsilon_{\text{к}} + \varepsilon_{\text{в}} = 100, \%$$

Завдання

При збагаченні магнетитової руди, що містить $\alpha\%$ заліза отримали концентрат із вмістом заліза $\beta\%$ та відходи – $\theta\%$ заліза. Розрахувати основні технологічні показники збагачення, а саме вихід кожного компонента та вилучення. Дані для кожного варіанту надані в табл. 1.1.



Таблиця 1.1 – Початкові дані

№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вміст заліза в початковій руді, α , %	28,0	29,0	30,0	31,0	32,0	33,0	34,0	33,5	32,5	31,5
Вміст заліза в концентраті, β , %	66,0	68,0	67,0	66,5	67,5	68,2	66,8	66,8	64,5	68,1
Вміст заліза у відходах, θ , %	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	14,5	13,5	12,5	11,5
№ варіанту	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0
Вміст заліза в початковій руді, α , %	29,5	28,5	28,0	29,0	30,0	31,0	32,0	33,0	34,0	27,5
Вміст заліза в концентраті, β , %	66,0	68,0	67,5	66,5	65,5	68,2	66,8	64,8	67,5	66,2
Вміст заліза у відходах, θ , %	10,5	9,5	14,2	13,2	12,2	11,2	10,2	11,8	13,8	12,8

Приклад виконання

При збагаченні магнетитової руди, що містить 29,0% заліза отримали концентрат із вмістом заліза 66,5% та відходи – 11,0% заліза. Розрахувати основні технологічні показники збагачення, а саме вихід кожного компонента та вилучення.

Розв'язання

1. Схему розділення напишемо у вигляді, як показано на рис. 1.1, де біля кожного продукту надаємо відомі значення. Для першого продукту вихід завжди рівний 100,0% із рівняння виходу ($m_{np} = m_n$):

$$\gamma_{np} = \frac{m_{np}}{m_n} \cdot 100 = \frac{m_n}{m_n} \cdot 100 = 100\%.$$

Також це стосується і вилучення:

$$\varepsilon_{\Pi} = \frac{\gamma_i \cdot \beta_i}{\alpha} = \frac{\gamma_{\Pi} \cdot \alpha}{\alpha} = \gamma_{\Pi} = 100\%.$$

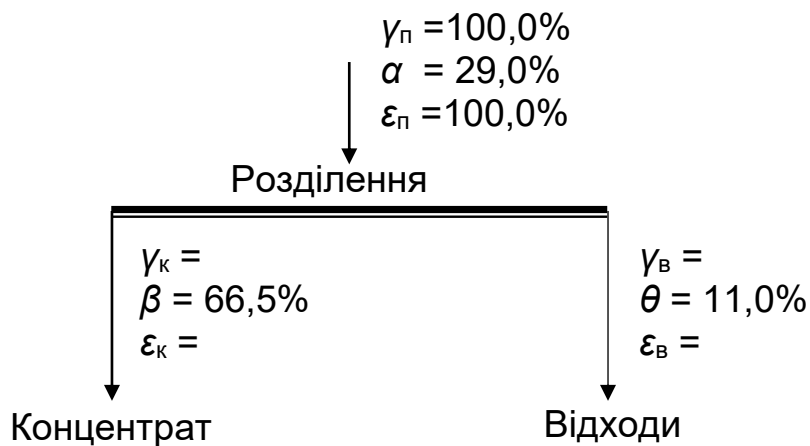


Рисунок 1.1 – Схема розділення

2. Вихід концентрату знайдемо шляхом розв'язування системи балансу продуктів збагачення:

$$\begin{cases} \gamma_K + \gamma_B = 100 \\ \gamma_K \cdot \beta + \gamma_B \cdot \theta = 100 \cdot \alpha \end{cases}$$

Звідки отримаємо рівняння для знаходження виходу концентрату:

$$\gamma_K = 100 \cdot \frac{\alpha - \theta}{\beta - \theta};$$

Підставимо значення, та отримаємо:

$$\gamma_K = 100 \cdot \frac{29,0 - 11,0}{66,5 - 11,0} = 32,43\%.$$

Вихід відходів знайдемо із першого рівняння системи балансу продуктів збагачення:

$$\gamma_B = 100 - 32,43 = 67,57\%.$$

3. Знайдемо вилучення:
в концентрат

$$\epsilon_K = \frac{\gamma_K \cdot \beta_K}{\alpha} = \frac{32,43 \cdot 66,5}{29,0} = 74,37\%.$$

та відходи:

$$\epsilon_B = \frac{\gamma_B \cdot \theta_B}{\alpha} = \frac{67,57 \cdot 11,0}{29,0} = 25,63\%.$$

4. Всі знайдені значення запишемо до рис. 1.1 та отримаємо рис. 1.2.

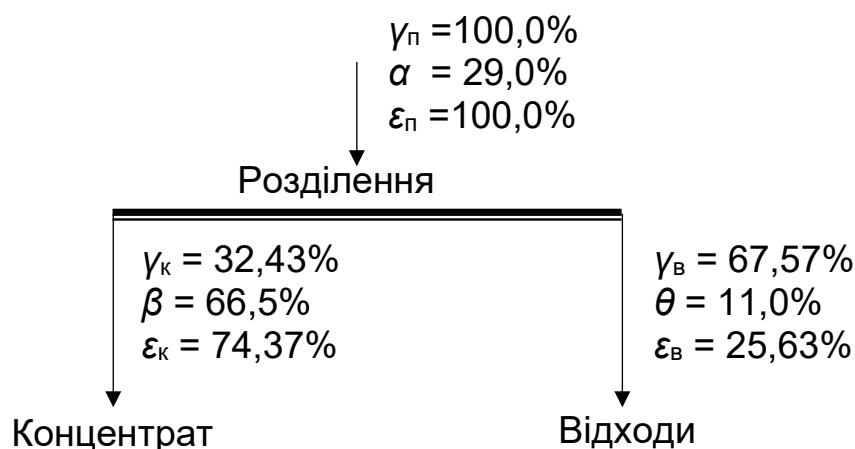


Рисунок 1.2 – Розв'язана схема розділення продукту

Відповідь надавати у вигляді рис. 1.2.



ПРАКТИЧНА РОБОТА №2 Визначення ефективності грохочення

ТЕМА: Підготовка корисних копалин до збагачення (усереднення і грохочення).

Мета: навчитися визначати ефективність грохочення за результатами опробування.

Теоретичні відомості

Грохоченням називається процес розділення корисної копалини на класи крупності шляхом просівання через одне або кілька сит.

Матеріал, що надходить на грохочення, називається початковим продуктом (живленням), а продукти грохочення класами крупності (рис. 2.1). Матеріал, що залишився на ситі, називається надрешітним продуктом (крупний), матеріал, що пройшов через отвори сита, – підрешітним (дрібний).

*Початковий продукт
(живлення вихідний)*

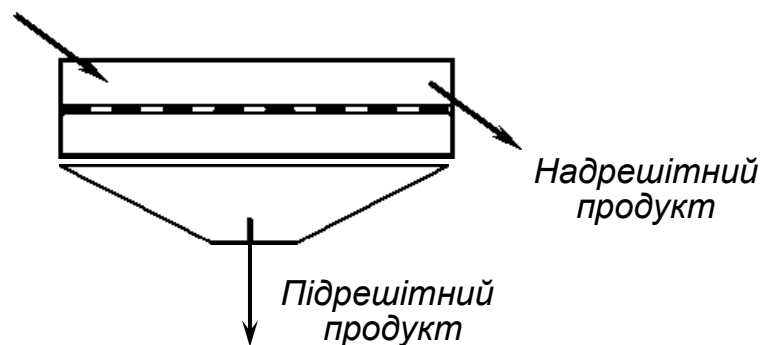


Рисунок 2.1 – Принципова схема грохочення корисної копалини

Під час грохочення підрешітний продукт завжди має розмір менше отворів просіювальної поверхні, що застосовується. Надрешітний продукт же практично завжди містить деяку кількість зерен, крупність яких менше розміру отворів просіювальної поверхні.

Це пояснюється наступним чином.

Просіювання зерен нижнього класу сипучого матеріалу крізь сито можна розглядати як операцію, що складається з двох стадій: зерна нижнього класу повинні пройти крізь шар зерен верхнього класу, щоб досягти поверхні сита; зерна нижнього класу мають пройти через отвори сита. Здійсненню обох стадій допомагає відповідний характер руху короба грохоту, що приводить шар зерен на ситі в розпушений стан і звільняє сито від зерен, що застрягли в його отворах.



При струшуванні короба в шарі зерен, що лежать на ситі, відбувається їх сегрегація (розшарування за крупністю), причому найбільші зерна виявляються у верхньому шарі, а найдрібніші – на поверхні сита. Останні легко досягають поверхні сита і проходять через його отвори. Але зерна, близькі за величиною до розміру отворів сита, важко проходять у проміжках між більшими зернами шару матеріалу, що лежить на ситі, а також через отвори сита.

Практика грохочення показала, що зерна, діаметр яких менше ніж три чверті отвору сита ($0 < d < 0,75l$), легко проходять у проміжках між великими зернами матеріалу на ситі, і при досягненні ними поверхні сита негайно провалюються через отвори. Такі зерна щодо їхньої прохідності називають «легкими».

Зерна більше трьох чвертей отвору сита ($0,75l < d < l$) важко проходять у проміжках між великими зернами і через отвори сита. Ця складність проходження прогресивно зростає з наближенням діаметра зерен до розміру отворів сита. Такі зерна називають «важкими».

Зерна, діаметр яких більше ніж півтора розміру отвору сита, істотно не впливають на переміщення «легких» та «важких» зерен до поверхні сита. На ситі нижній шар матеріалу, що складається з зерен діаметр яких менше ніж півтора розміру отвору сита, ускладнює проникнення до його поверхні близьких до них за крупністю «важких» зерен. Крім того, зерна, близькі по діаметру до розміру отвору сита, але більші за них, легко застряють в отворах і забивають сито. Зерна, розмір яких більше отворів сита, але менший за півтора розміру ($l < d < 1,5l$), називають «заважаючими» процесу грохочення.

Тому, для кількісної оцінки повноти відділення дрібного матеріалу від крупного при грохоченні введено поняття ефективності (точності) грохочення.

Ефективністю грохочення називають виражене у відсотках чи частках одиниці відношення маси підрешітного продукту до маси нижнього класу у початковому матеріалі.

Ефективність грохочення можна також визначити як вилучення нижнього класу в підрешітний продукт.

Розглянемо баланс матеріалу під час грохочення:

$$\begin{cases} \gamma_n = \gamma_{нид} + \gamma_{над}; \\ \gamma_n \cdot \alpha = \gamma_{нид} \cdot \beta + \gamma_{над} \cdot \nu \end{cases}$$

Тож маємо: $\gamma_n \cdot \alpha / 100$ – маса нижнього класу у початковому матеріалі; $\gamma_{над} \cdot \nu / 100$ – маса нижнього класу в надрешітному продукті, $\gamma_{нид} \cdot \beta / 100$ – маса нижнього класу в підрешітному продукті, α, β, ν – вміст нижнього класу відповідно: у початковому, в підрешітному та надрешітному продукті, %.

Ефективність грохочення (%), згідно із визначення:

$$E = \frac{\gamma_{нид} \cdot \beta}{\gamma_n \cdot \alpha} \cdot 100, \%;$$

Ми знаємо із рівняння балансу, що маса підрешітного продукту:

$$\gamma_{нид} = \gamma_n \frac{(\alpha - \nu)}{(\beta - \nu)}, \%;$$

Підставимо $\gamma_{нид}$ в рівняння ефективності та отримаємо:

$$E = \frac{\gamma_{нид} \cdot \beta}{\gamma_n \cdot \alpha} \cdot 100 = \frac{\gamma_n \cdot (\alpha - \nu) \cdot \beta}{\gamma_n \cdot \alpha \cdot (\beta - \nu)} \cdot 100 = \frac{(\alpha - \nu) \cdot \beta}{\alpha \cdot (\beta - \nu)} \cdot 100, \%;$$

Зазвичай вміст нижнього класу в підрешітному продукті становить 100%.

Тоді рівняння набуває виду:


$$E = \frac{(\alpha - \nu) \cdot 100}{\alpha \cdot (100 - \nu)} \cdot 100 = \frac{(\alpha - \nu)}{\alpha \cdot (100 - \nu)} \cdot 10^4.$$

Завдання

Визначити ефективність грохочення за результатами випробування, якщо вміст нижнього класу в матеріалі, що надходить на грохочення становить $\alpha\%$, а в надрешітному продукті – $\theta\%$ (початкові дані наведено в табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Початкові дані

№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вміст нижнього класу в початковому матеріалі, $\alpha, \%$	25	30	32	37	40	45	50	24	28	31
Вміст нижнього класу в надрешітному продукті, $\theta, \%$	5	6	7	8	9	10	12	6	7	8
№ варіанту	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Вміст нижнього класу в початковому матеріалі, $\alpha, \%$	26	35	38	42	44	46	48	52	43	41
Вміст нижнього класу в надрешітному продукті, $\theta, \%$	5	8	7	9	10	11	12	14	12	10



Вміст нижнього класу в підрешітному (β) продукті прийняти за 100% для всіх варіантів.

Приклад рішення

Визначити ефективність грохочення за результатами випробування, якщо вміст нижнього класу в матеріалі, що надходить на грохочення становить 48%, а в надрешітному продукті – 12%. Вміст нижнього класу в підрешітному продукті прийняти за 100%.

Розв'язання

Ефективність грохочення визначається за виразом:

$$E = \frac{\alpha - \theta}{\alpha \cdot (\beta - \theta)} \cdot 10^4, \%$$

де α – вміст нижнього класу у вихідному живленні грохота, %; θ – вміст нижнього класу в надрешітному продукті, %; β – вміст нижнього класу в підрешітному продукті, %.

Підставимо значення та отримаємо:

$$E = \frac{\alpha - \theta}{\alpha \cdot (\beta - \theta)} \cdot 10^4 = \frac{48 - 12}{48 \cdot (100 - 12)} \cdot 10^4 = 85,2\%;$$

Відповідь: Ефективність грохочення становить 85,2%.



ПРАКТИЧНА РОБОТА №3 Визначення продуктивності валкової дробарки

Тема: Дроблення і подрібнення корисних копалин

Мета: ознайомитися із принципом дії та конструкцією валкових дробарок, навчитися визначати їх продуктивність

Теоретичні відомості

Валкові дробарки виготовляються з гладкими – ДГ, рифленими ДР і ДГР і зубчатими валками – ДДЗ (рис. 3.1).

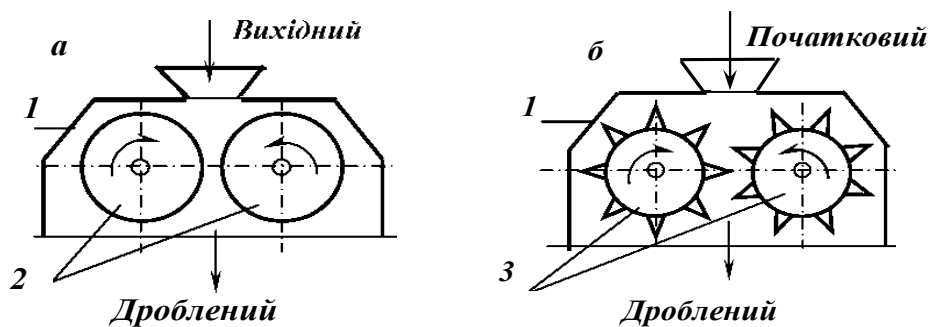


Рисунок 3.1 – Валкові дробарки:

а – з гладкими валками; б – з зубчатими валками;
1 – корпус; 2 – гладкі валки; 3 – зубчаті валки

Принцип дії дробарок однаковий: вихідний матеріал подається зверху, затягується валками 2 (3), що обертаються назустріч один одному, і при проходженні між ними дробиться. Дроблений продукт випадає з дробарки під дією сили ваги.

Валкові дробарки з гладкими валками (рис. 4а) працюють за принципом роздавлювання вихідного матеріалу при затягуванні його в щілину між валками. Матеріал на валки дробарки подають або потоком товщиною в одну грудку, або валки працюють під завалом. При першому способі завантаження продуктивність дробарки менше ніж при другому, але менше й переподрібнення матеріалу. Однократність стиснення грудок матеріалу при проходженні між валками обумовлює малий вихід дріб'язку у дробленому продукті. Валкові дробарки з гладкими валками застосовуються для середнього і дрібного дроблення твердих порід, коли недопустиме переподрібнення цінного крихкого мінералу (марганцеві, каситеритові, вольфрамітові руди, калійні солі), іноді їх застосовують для середнього дроблення вугілля й коксу.

При виборі дробарок з гладкими валками треба дотримуватися умови захоплення валками грудки матеріалу, що дробиться:

$$D_B = (15...20) D_{max},$$

де D_B – діаметр валків , мм; D_{max} – максимальний розмір грудок матеріалу, що дробиться, мм.

На збагачувальних фабриках дробарки з гладкими валками звичайно використовують при ступені дроблення 3...4.

Валкові дробарки з зубчатими валками (рис. 4б) працюють за принципом розколювання вихідного матеріалу при зтягуванні його між валками. При завантаженні матеріалу у дробарку необхідно забезпечити рівномірне його поступлення по всій довжині валків (для того, щоб працювала уся поверхня валків). Дробарки призначені для крупного і середнього дроблення м'яких і крихких порід (вугілля, антрацитів і сланців) при необхідності одержати грудковий дроблений продукт із невеликим вмістом дріб'язку.

Процес дроблення в дробарках із зубчатими валками здійснюється при меншому переподрібненні та витраті енергії, ніж у щоккових і конусних дробарках.

Зубчаті дробарки працюють при ступенях дроблення 4...6. Для зубчатих дробарок також повинна виконуватися умова захоплення грудки матеріалу, що дробиться:

$$D_B = (1,5 \dots 3,5) D_{max} ,$$

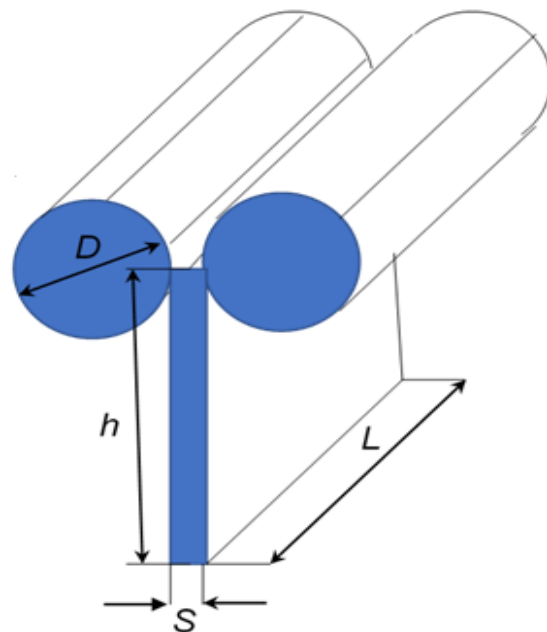
де D_B – діаметр валків , мм; D_{max} – максимальний розмір грудок матеріалу, що дробиться, мм.

Продуктивність валкових дробарок розраховують за об'ємом дробленого продукту, що вивантажується з дробарки за один оберт валків (рис. 3.2):

Довжина кола $h = 2 \cdot \pi \cdot R = \pi \cdot D$;

Висота матеріалу за годину:
 $H = 60 \cdot n \cdot \pi \cdot D$;

Об'єм матеріалу за годину:
 $H = 60 \cdot \pi \cdot n \cdot D \cdot L \cdot S \cdot k$



$$Q_v^1 = \pi \cdot D \cdot L \cdot S, \text{ м}^3/\text{за 1 оберт.}$$

Рисунок 3.2 – Визначення об'ємної продуктивності дробарки



Тоді об'єм матеріалу за годину становить:

$$Q_v = 60 \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot S \cdot n, \text{ м}^3/\text{год.}$$

В дробарку руда поступає не суцільним каменем, а має деяку розпушеність і тоді об'ємна продуктивність валкової дробарки визначається із виразу:

$$Q_v = 60 \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot S \cdot n \cdot k, \text{ м}^3/\text{год.}$$

Якщо відомий об'єм та щільність матеріалу неважко отримати запис масової продуктивності валкової дробарки:

$$Q = 60 \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot S \cdot n \cdot k \cdot \delta, \text{ т/год,}$$

де S – ширина щілини між валками, м; D і L – діаметр і довжина валків, м, n – частота обертання валків, хв^{-1} , k – коефіцієнт розпушення дробленого продукту при виході з дробарки ($k = 0,1 \dots 0,3$); δ – щільність початкового матеріалу, т/м^3 .

Валкові дробарки мають багато переваг: простота конструкції, компактність, надійність в експлуатації і невеликий вміст дріб'язку в готовому продукті. Однак вони мають низьку продуктивність і великі питомі витрати електроенергії.

Завдання

Визначити продуктивність валкової дробарки за даними табл. 3.1, яка розміщена на наступній сторінці.

В типорозмірі дробарок цифри вказують на діаметр (D) та довжину (L) валків (мм), що використовуються: наприклад, ДГ 600х400 – валкова дробарка із гладкими валками діаметром 600 мм та довжиною 400 мм.

Таблиця 3.1 – Початкові дані за варіантами.

№ варіанту	Характеристика дробарки та матеріалу				
	Розмір валків дробарки, DхL, мм	Частота обертання, n, об/хв	Ширина зазору між валками, S, мм	Щільність матеріалу, δ , т/м ³	Коефіцієнт розпушення
1	2	3	4	5	6
1	400х250	150	5	2,4	0,1
2	600х400	145	10	2,3	0,15
3	800х500	100	12	2,2	0,2
4	1000х550	55	15	2,1	0,25
5	1500х600	40	30	2,0	0,3
6	600х400	160	15	2,9	0,1
7	400х250	180	10	3,0	0,15

8	600x400	140	20	2,7	0,25
9	800x500	120	17	2,6	0,2
10	1000x550	90	20	2,5	0,3
Продовження табл. 3.1					
1	2	3	4	5	6
11	1500x600	60	10	3,4	0,12
2	800x500	90	24	2,4	0,18
13	400x250	200	15	2,3	0,22
14	600x400	160	25	2,2	0,24
15	800x500	110	35	2,1	0,28
16	1000x550	100	18	2,0	0,3
17	1500x600	75	20	3,1	0,1
18	1000x550	55	30	3,3	0,15
19	400x250	180	20	3,5	0,2
20	600x400	100	30	2,6	0,25
21	800x500	145	12	2,5	0,3
22	1000x550	75	20	2,8	0,17
23	1500x600	60	30	2,4	0,19
24	1500x600	45	14	2,3	0,23
25	400x250	120	13	2,2	0,27

Приклад рішення

Визначити продуктивність валкової дробарки ДГ-400x250, якщо швидкість обертання валків складає 120 хв.^{-1} , ширина зазору між валками – 13 мм, щільність продукту – $2,2 \text{ т/м}^3$, коефіцієнт розпушення – 0,27.

Розв'язок

Продуктивність валкових дробарок визначається за виразами:

$$Q = 60 \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot S \cdot n \cdot k \cdot \delta, \text{ т/год,}$$

де n – частота обертання валків, хв^{-1} ; S – ширина зазору між валками, м; D і L – діаметр і довжина валків, м; k – коефіцієнт розпушення дробленого продукту при виході з дробарки ($k = 0,1 \dots 0,3$); δ – щільність матеріалу, т/м^3 .

Для вказаного типорозміру діаметр валків становить:

$$D = 400 \text{ мм} = 0,4 \text{ м,}$$

а довжина – $L = 250 \text{ мм} = 0,25 \text{ м.}$

Підставимо значення у вираз, та отримаємо:

$$\begin{aligned} Q &= 60 \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot S \cdot n \cdot k \cdot \delta = 60 \cdot 3,14 \cdot 0,4 \cdot 0,25 \cdot 0,013 \cdot 120 \cdot 0,27 \cdot 2,2 = \\ &= 17,5 \text{ т/год,} \end{aligned}$$

Відповідь: Продуктивність валкової дробарки становить 17,5 т/год.



ПРАКТИЧНА РОБОТА №4

Визначення швидкості вільного руху мінеральної частинки

Тема: Гідравлічна класифікація

Мета: визначення швидкості вільного руху мінеральної частинки

Теоретичні відомості

Мінеральні частинки у воді рухаються із постійною швидкістю, яка називається швидкістю вільного руху. Аналітичний вираз для визначення швидкості вільного руху частинки в середовищі може бути отримано із аналізу сил, що діють на неї.

На мінеральну частинку в рідині діють наступні сили (рис. 4.1) :

- сила тяжіння G (вага) частинки:

$$G = m \cdot g = V \cdot \delta \cdot g = \frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot \delta \cdot g; \quad (4.1)$$

- сила Архімеда F_A , або виштовхуюча сила, яка для однорідного за щільністю середовища при постійному прискоренні дорівнює:

$$F_A = V \cdot \Delta \cdot g = \frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot \Delta \cdot g; \quad (4.2)$$

- сила опору середовища руху частинці:

$$R = \psi \cdot v^2 \cdot d^2 \cdot \Delta, \quad (4.3)$$

де ψ – коефіцієнт опору рідкого середовища руху твердої частинки (залежить від числа Рейнольдса (Re)); d – еквівалентний діаметр частинки, м; v – швидкість руху твердої частинки відносно рідкого середовища; δ, Δ – відповідно, щільність твердої частинки і щільність рідкого середовища.

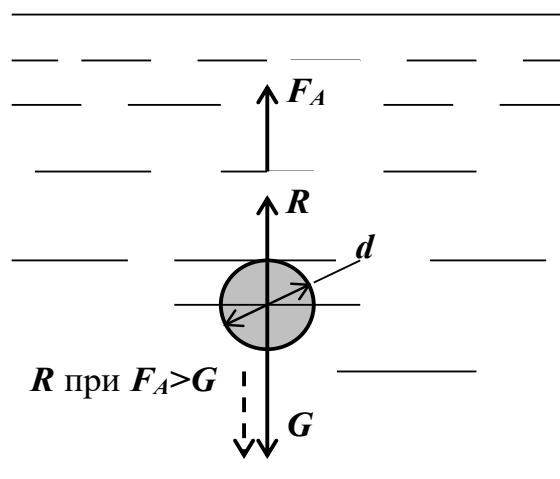


Рисунок 4.1 – Схема дії основних сил при вільному русі частинки у воді

Рівняння руху матеріальної точки за таких умов наступне:

$$m \cdot a = m \cdot \frac{dv}{dt} = G - F_A \mp R. \quad (4.4)$$

Сила опору R може змінювати свій напрям залежності від ваги частинки. Якщо вага частинки більше сили Архімеда то сила опору направлена вгору і береться в рівнянні зі знаком «-», якщо навпаки – то зі знаком «+».

Після підстановки відповідних значень сил, маємо:

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot \delta \cdot g - \frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot \Delta \cdot g - \psi \cdot v^2 \cdot d^2 \cdot \Delta$$

або

$$m \frac{dv}{dt} = \frac{\pi \cdot d^3}{6} (\delta - \Delta) \cdot g - \psi \cdot v^2 \cdot d^2 \cdot \Delta. \quad (4.5)$$

При $m = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot \delta}{6}$ отримаємо:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{(\delta - \Delta)}{\delta} \cdot g - \frac{6 \cdot \psi \cdot v^2}{\pi \cdot d \cdot \delta} \cdot \Delta, \text{ м/с}^2. \quad (4.6)$$

З рівняння (4.6) кінцева швидкість падіння тіла в середовищі буде:

$$v_0 = \sqrt{\frac{\pi \cdot d (\delta - \Delta) \cdot g}{6 \cdot \psi \cdot \Delta}}, \text{ м/с}. \quad (4.7)$$

Визначити швидкість вільного руху мінеральної частинки у воді за виразом (4.7) дуже важко оскільки невідомий режим обтікання даних частинок і невідомо чисельне значення критерію Рейнольдса, а тому не може бути вибране значення коефіцієнта опору середовища. Для вирішення цієї суперечності необхідно скористатися методом Ляценка, за наступним алгоритмом.

1. Розрахувати параметр Ляценко $Re^2 \psi$:

$$Re^2 \cdot \psi = \frac{G_0 \cdot \Delta}{\mu^2} = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot (\delta - \Delta) \cdot g \cdot \Delta}{6 \cdot \mu^2},$$

де d – діаметр частинки, м; δ – щільність частинки, кг/м³; Δ – щільність рідини, кг/м³; g – прискорення вільного падіння, м/с²; μ – динамічний коефіцієнт в'язкості рідини (для води $\mu = 10^{-3}$ Па·с), Па·с.

2. За допомогою табл. 4.1 визначається відповідне значення коефіцієнтів A і m та знаходиться значення критерію Рейнольдса (Re) за виразом:



$$Re = (A \cdot Re^2 \cdot \psi)^m.$$

3. За знайденим значенням значення критерію Рейнольдса Re розраховується швидкість руху зерна сферичної форми за формулою:

$$v = \frac{Re \cdot \mu}{d \cdot \Delta}.$$

Таблиця 4.1 – Значення коефіцієнтів A і m в залежності від параметра Лященко

Діапазон зміни $Re^2 \psi$	Діапазон зміни Re	A	m
$8 \cdot 10^{-3} \dots 3$	$< 10^{-3}$	0,133	1,0
$3 \dots 1,2 \cdot 10^2$	$10^{-3} \dots 10$	0,1	0,943
$1,2 \cdot 10^2 \dots 3,5 \cdot 10^3$	$10 \dots 10^2$	0,269	0,69
$3,5 \cdot 10^3 \dots 10^5$	$10^2 \dots 8 \cdot 10^2$	1,112	0,575
$10^5 \dots 3 \cdot 10^9$	$8 \cdot 10^2 \dots 1,2 \cdot 10^5$	7,95	0,493

Завдання

Визначити швидкість руху мінеральної частинки у воді, якщо вона має розмір d мм та щільність δ кг/м³ (вихідні дані наведені в табл. 4.2). Щільність води прийняти рівною 1000 кг/м³.

Таблиця 4.2 – Вихідні дані для розрахунку

№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Діаметр зерна, мм	0,1	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
Щільність зерна, кг/м ³	4100	4000	3900	3800	3700	3600	3500	3400	3300	3250
№ варіанту	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Діаметр зерна, мм	6,0	7,0	9,0	11,0	15,0	20,0	25,0	30,0	40,0	50,0
Щільність зерна, кг/м ³	3200	3100	3050	3000	2950	2900	2800	2750	2700	2650

Приклад рішення

Визначити швидкість падіння мінеральної частинки розміром 0,03 мм та щільністю 3200 кг/м³. Щільність води прийняти рівною 1000 кг/м³.

Розв'язання

1. Визначаємо параметр Лященко $Re^2 \psi$:

$$Re^2 \cdot \psi = \frac{G_0 \cdot \Delta}{\mu^2} = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot (\delta - \Delta) \cdot \Delta}{6 \cdot \mu^2} =$$
$$= \frac{3,14 \cdot (0,03 \cdot 10^{-3})^3 (3200 - 1000) \cdot 9,81 \cdot 1000}{6 \cdot (10^{-3})^2} = 0,3$$

2. Визначаємо за допомогою табл. 4.1 коефіцієнти A і m .

Даному значенню критерію Лященко відповідають: $A = 0,133$, $m = 1,0$.
Тоді значення критерію Рейнольдса складе:

$$Re = (A \cdot Re^2 \cdot \psi)^m;$$
$$Re = (0,133 \cdot 0,3)^1 = 0,04.$$

3. За знайденим значенням значення критерію Рейнольдса Re розраховується швидкість руху зерна сферичної форми за формулою:

$$v = \frac{Re \cdot \mu}{d \cdot \Delta} = \frac{0,04 \cdot 10^{-3}}{0,03 \cdot 10^{-3} \cdot 1000} = 0,0014 \text{ м/с.}$$

Відповідь: Швидкість падіння зерна розміром 0,03 мм та щільністю 3200 кг/м³ становить 0,0014 м/с.



ПРАКТИЧНА РОБОТА №5 Визначення істинної щільності матеріалу

Тема: Гравітаційні процеси збагачення корисних копалин.

Мета роботи: вивчення методики та набуття практичних навичок щодо визначення істинної щільності руди (агломерату, котунів).

Теоретичні відомості

Однією з основних фізичних характеристик тіл є їхня щільність. Розрізняють дійсну і щільність речовини, що здається.

Дійсна (істинна) щільність речовини – це відношення маси речовини до її об'єму не враховуючи пор і тріщин.

$$\delta_d = \frac{m_M}{V_M};$$

де m_M – маса мінералу, кг; V_M – об'єм мінералу, без урахування пор і тріщин, м³.

Уявна щільність тіла – це відношення маси пористої речовини до її об'єму у природному вигляді, тобто. з урахуванням пор та тріщин. ;

$$\delta_y = \frac{m_m}{V_p},$$

де: m_m – маса тіла, кг; V_p – об'єм тіла у природному вигляді, м³.

Справжня щільність речовини завжди більше уявної. Для мінералів – дійсна і уявна щільності практично рівні, так як їх пористість мізерно мала.

Значення істинної щільності речовини використовуються в численних обчисленнях у тому числі і при проведенні седиментаційного аналізу проб (самостійно з'ясувати суть седиментаційного аналізу та умови його застосування) і дозволяє визначити швидкість вільного падіння і час осадження мікронних частинок в рідині.

Визначення істинної щільності частинок можливе декількома способами. Розглянемо два найпростіші.

1. Гідростатичний спосіб визначення щільності частинок за допомогою важких рідин.

Цим способом можна користуватися при визначенні щільності відносно великих мінеральних частинок з допустимою часткою помилки, в основному для тіл і мінералів у яких істинна і уявна щільності дуже близькі.

Щільність визначається в наступний спосіб. Готується кілька розчинів важких рідин, щільність яких визначається за допомогою

аерометра. Мінеральне зерно пінцетом послідовно опускають в розчини важких рідин від меншої щільності до більшої (або навпаки) до тих пір, поки воно не спливатиме. Щільність мінерального зерна (δ_3) визначиться як середнє арифметичне значення із величин щільності двох суміжних рідин за умови $\Delta_i < \delta_3 < \Delta_{i+1}$, де Δ_i і Δ_{i+1} – щільності двох суміжних розчинів важкої рідини, в яких мінеральне зерно тоне і спливає, кг/м³.

Тоді:
$$\delta_3 = \frac{\Delta_i + \Delta_{i+1}}{2}, \text{ кг/м}^3.$$

Часто значення щільності записують наступним чином:

$$\delta_3 = \frac{\Delta_i + \Delta_{i+1}}{2} \pm \frac{|\Delta_i - \Delta_{i+1}|}{2}, \text{ кг/м}^3. \quad (5.1)$$

Чим менша різниця в щільності розчинів рідини, тим щільність мінерального зерна буде визначена точніше. Якщо мінеральне зерно плаває всередині рідини, його щільність відповідає щільності цієї рідини.

2. Визначення щільності частинок **пікнометричним способом.**

Цей спосіб є простим, найпоширенішим і дозволяє з досить високою точністю визначити щільність речовини.

При визначенні істинної щільності матеріалу виконують наступні дії:

1. Наважку руди, для якої визначається дійсна щільність подрібнюють до крупності –70 мкм, (це виконується для того, щоб виключити вплив пористості речовини).

2. Беруть пікнометр. Пікнометр – мірна колба з подовженою шийкою, що дозволяє дуже точно визначати кількість рідини ній; див. рис. 5.1.

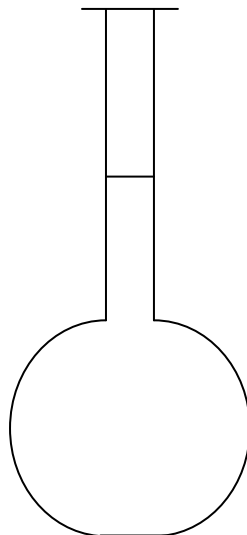


Рисунок 5.1 – Пікнометр



На довгій шийці наносять мітку, яка є рівнем для рідини.

3. Зважується сухий пікнометр і визначається його маса (m_{Π}).

4. Пікнометр наливають до рівня мітки рідину (дистильовану воду або технічний спирт). Нижній меніск рідини повинен бути на рівні мітки. Шляхом зважування визначається маса пікнометра з рідиною ($m_{\Pi+P}$).

5. Рідина виливається та пікнометр висушується.

6. Подрібнюють пробу матеріалу (агломерат, обкотиші (котуни), руда і т.п.) до крупності -70 мкм. Не більше ніж на $1/4$ об'єму (зазвичай $5 \dots 10$ г), пікнометр заповнюється подрібненим матеріалом і визначається вага пікнометра з матеріалом ($m_{\Pi+T}$).

7. Пікнометр заливають на $2/3$ рідиною, обережно струшують і залишають на $2 \dots 3$ години (це виконується для того, щоб рідина увійшла в усі пори подрібненого матеріалу, і вийшло повітря з порошку).

8. Доливають пікнометр рідиною до рівня мітки. Визначається вага пікнометра з рідиною та матеріалом ($m_{\Pi+P+T}$).

9. Визначається справжня щільність матеріалу з виразу:

$$\delta_{\partial} = \frac{m_T}{V_T}. \quad (5.2)$$

Масу твердого можна визначити з виразу:

$$m_T = m_{\Pi+T} - m_{\Pi}, \quad (5.3)$$

А його об'єм, як різницю об'ємів рідини $V_1 - V_2$, де V_1 – об'єм рідини, яка повністю заповнює пікнометр ($V_1 = \frac{m_{\Pi+P} - m_{\Pi}}{\Delta_P}$); V_2 – об'єм рідини, яка міститься в пікнометрі з матеріалом ($V_2 = \frac{m_{\Pi+P+T} - m_{\Pi+T}}{\Delta_P}$).

Підставимо отримані вирази в формулу 2 та отримаємо:

$$\delta_{\partial} = \frac{m_T}{V_T} = \frac{m_T}{V_1 - V_2} = \frac{(m_{\Pi+T} - m_{\Pi})}{\frac{m_{\Pi+P} - m_{\Pi}}{\Delta_P} - \frac{m_{\Pi+P+T} - m_{\Pi+T}}{\Delta_P}}$$

Після спрощення виразу отримаємо:

$$\delta_{\partial} = \frac{(m_{\Pi+T} - m_{\Pi}) \cdot \Delta_P}{(m_{\Pi+P} + m_{\Pi+T}) - (m_{\Pi} + m_{\Pi+P+T})}$$

Якщо позначити через буквені символи:

A – маса пікнометра з матеріалом ($m_{\Pi+T}$);

B – маса пікнометра (m_{Π});

C – маса пікнометра з рідиною ($m_{\Pi+P}$);

D – маса пікнометра з рідиною та матеріалом ($m_{\Pi+P+D}$),

то отримаємо наступний вираз:

$$\delta_d = \frac{(A-B)D_p}{A-B+C-D} \quad (5.4)$$

Якщо в якості рідини використовують дистильовану воду вираз набуває вигляду:

$$\delta_d = \frac{(A-B)}{A-B+C-D} \quad (5.5)$$

Завдання

Визначити щільність матеріалу, якщо відома маса пікнометра, маса пікнометра з матеріалом, маса пікнометра, що заповнений водою, маса пікнометра, що заповнений водою (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Вихідні дані

№ з/п	Вага, г			
	сухого пікнометра	сухого пікнометра з матеріалом	пікнометра, що заповнений водою	пікнометра, що заповнений водою та матеріалом
1	2	3	4	5
1	22,671	27,794	76,412	80,349
2	23,058	28,426	76,799	80,963
3	23,380	28,859	77,121	81,407
4	24,567	29,932	78,308	82,539
5	24,159	30,0	77,896	82,537
6	24,831	30,98	78,572	83,492
7	25,672	32,066	79,413	84,350
8	25,347	31,852	79,088	84,155
9	26,468	32,859	80,209	85,229
10	26,893	33,76	80,634	86,070
11	27,015	34,19	80,756	86,477
12	27,349	34,769	81,092	87,023
13	27,829	35,36	81,574	87,415
14	28,531	35,948	82,272	88,074
15	27,559	35,452	81,325	87,550
16	28,864	37,065	82,605	89,121
17	29,815	38,261	83,556	90,192
18	29,663	38,22	83,404	90,180
19	29,347	37,79	83,088	89,822
20	29,046	37,965	82,787	89,664
21	23,911	33,138	77,652	84,830
22	24,298	33,77	78,039	85,470
23	24,657	34,24	78,398	85,975
24	25,807	35,276	79,548	87,090



Приклад рішення

Визначити дійсну щільність матеріалу, якщо маса пікнометра складає 25,399 г, маса пікнометра з матеріалом – 35,344 г, маса пікнометра із водою – 79,146 г, маса пікнометра із водою та матеріалом – 87,076 г.

Розв'язання

Дійсна (істинна) щільність матеріалу визначається із наступного виразу (5.5):

$$\delta_{\partial} = \frac{(A-B)\Delta\rho}{A-B+C-D},$$

де A – маса пікнометра з матеріалом ($M_{\Pi+T}$), кг; B – маса пікнометра (M_{Π}), кг; C – маса пікнометра з рідиною ($M_{\Pi+P}$), кг; D – маса пікнометра з рідиною та матеріалом ($M_{\Pi+P+D}$), кг; $\Delta\rho$ – щільність рідини, кг/м³ (для дистилірованої води прийняти – 1000 кг/м³).

Підставимо значення та отримаємо:

$$\delta_{\partial} = \frac{(A-B)\Delta\rho}{A-B+C-D} = \frac{(35,344-25,399) \cdot 10^{-3} \cdot 1000}{(35,344-25,399+79,146-87,076) \cdot 10^{-3}} = 4935 \text{ кг/м}^3$$

Відповідь: Щільність матеріалу становить 4935 кг/м³.



ПРАКТИЧНА РОБОТА №6

Визначення значення питомої магнітної сили

Тема: Магнітне та електричне збагачення корисних копалин

Мета: ознайомлення із основними характеристиками магнітного поля і властивостями мінералів, та визначення питомої магнітної сили, що діє на частинку в магнітному полі

Теоретичні відомості

Магнітні процеси збагачення засновані на використанні розходжень у магнітних властивостях мінералів і гірських порід і здійснюються в магнітних сепараторах у повітряному і водному середовищах. Залежно від характеру середовища процес називається сухим або мокрим. Для створення магнітного поля в сепараторах використовуються постійні магніти або електромагніти.

Основною силовою характеристикою магнітного поля є його напруженість - сила, з якою поле діє на одиницю позитивної магнітної маси, що розташована у даній точці. За характером зміни напруженості магнітні поля поділяють на однорідні і неоднорідні (рис. 6.1).

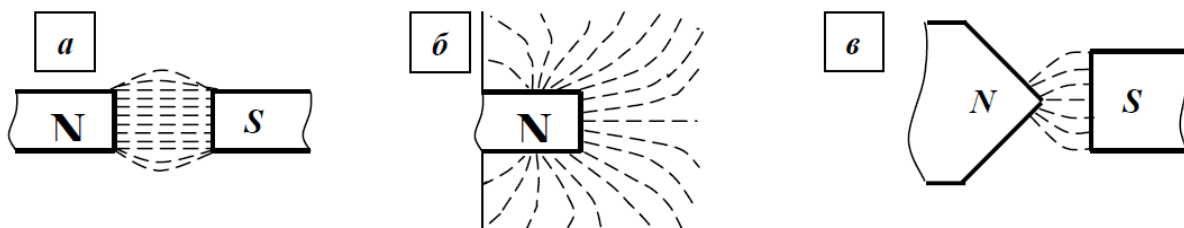


Рисунок 6.1 – Схеми магнітних полів
а – однорідне поле; б, в – неоднорідні поля

В однорідному магнітному полі напруженість однакова і за величиною, і за напрямком, в неоднорідному – напруженість непостійна за величиною і може змінюватися за напрямком. Однорідне магнітне поле виникає між двома різнойменними полюсами плоскої форми, а неоднорідне – між полюсами криволінійної і кутастої форми. В однорідному полі на магнітну частинку діє магнітний момент, під впливом якого частинка орієнтується уздовж силових ліній поля. В неоднорідному полі на магнітну частинку крім магнітного моменту діє магнітна сила (притягання або відштовхування) у напрямку підвищення напруженості магнітного поля. Дією цієї сили і обумовлено розділення магнітних і немагнітних мінералів. Тому в магнітних сепараторах застосовуються тільки неоднорідні магнітні поля.



Неоднорідне магнітне поле характеризується градієнтом поля $gradH$ – інтенсивністю зміни напруженості магнітного поля:

$$gradH = dH / dx , A/m^2, \quad (6.1)$$

де dx – відстань на якій напруженість магнітного поля H змінюється на величину dH .

Магнітні властивості мінералів характеризуються магнітною сприйнятливістю і магнітною проникністю. Магнітна сприйнятливість – фізична величина, що характеризує здатність тіла змінювати інтенсивність власної намагніченості. Розрізняють об'ємну і питому магнітну сприйнятливість. Об'ємна магнітна сприйнятливість ε дорівнює відношенню намагніченості тіла J до напруженості магнітного поля H , у якому знаходиться тіло:

$$\varepsilon = J / H. \quad (6.2)$$

Питома магнітна сприйнятливість χ це об'ємна магнітна сприйнятливість віднесена до одиниці маси тіла:

$$\chi = \varepsilon / \delta , [m^3/kg] \quad (6.3)$$

де δ – щільність тіла, kg/m^3 .

Магнітна проникність μ – величина, що характеризує здатність речовини змінювати свою магнітну індукцію B під дією зовнішнього магнітного поля:


$$\mu = B / H. \quad (6.4)$$

Для вакууму $\mu = \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} = 1,256 \cdot 10^{-6}$, Гн/м, цю величину також називають магнітною сталою.

Магнітна індукція B – векторна величина, що характеризує напруженість магнітного поля в речовині. Залежить від напруженості зовнішнього магнітного поля H і намагніченості речовини:

$$B = \mu_0 \cdot \mu \cdot H. \quad (6.5)$$

За магнітними властивостями всі мінерали і гірські породи поділяють на *ферромагнітні*, *парамагнітні* і *діамагнітні*. Але технологічна класифікація мінералів за магнітними властивостями дещо відрізняється від фізичної, тому що у магнітних сепараторах в магнітні продукти не вилучаються не тільки діамагнітні матеріали, а також і парамагнітні з занадто низькою магнітною сприйнятливістю. За технологічною класифікацією всі мінерали і гірські породи залежно від їх питомої магнітної сприйнятливості розділяють також на три групи:



– сильномагнітні (ферромагнітні) мінерали, що мають питому магнітну сприйнятливість $\chi > 3 \cdot 10^{-6}$ м³/кг. Ці мінерали (магнетит, маггеміт, піротин, франклініт та ін.) можуть вилучатися у магнітну фракцію на сепараторах з відносно слабим магнітним полем напруженістю $H = 70 \dots 120$ кА/м;

– слабوماгнітні мінерали, що мають питому магнітну сприйнятливість $1 \cdot 10^{-8} \leq \chi \leq 6 \cdot 10^{-7}$ м³/кг. Ця найбільш численна група мінералів відповідає парамагнітним речовинам і включає оксиди, гідрооксиди та карбонати заліза і марганцю, вольфраміт, ільменіт, біотит, гранат і ін. Для вилучення цих мінералів у магнітну фракцію напруженість магнітного поля сепараторів мусить бути $H = 480 \dots 1600$ кА/м;

– немагнітні мінерали, до яких належать парамагнітні мінерали з питомою магнітною сприйнятливістю $\chi < 1 \cdot 10^{-8}$ м³/кг і всі діамагнітні мінерали ($\chi < 0$). Ці мінерали не вилучаються в магнітну фракцію навіть у сепараторах з сильним магнітним полем.

На мінеральне зерно в неоднорідному магнітному полі діє питома магнітна сила $F_{\text{магн}}$, що визначається за формулою:

$$F_{\text{магн}} = \mu_0 \cdot \chi \cdot H \cdot \text{grad}H, \text{ Н/кг або м/с}^2, \quad (6.6)$$

де χ – питома магнітна сприйнятливість, м³/кг; H – напруженість магнітного поля, А/м; $\text{grad}H$ – неоднорідність магнітного поля, або інтенсивність зміни напруженості магнітного поля, А/м².

Чим більша питома магнітна сприйнятливість, тим з більшою силою магнітне поле діє на мінеральне зерно. Мінеральні зерна, для яких магнітна сила більше суми протидіючих механічних сил (ваги, інерції, опору середовища, відцентрової і ін.), притягуються до полюсів магнітної системи і вилучаються у магнітний продукт. Мінеральні зерна з низькою магнітною сприйнятливістю практично не змінюють намагніченості, не взаємодіють з зовнішнім магнітним полем і рухаються у магнітному полі за траєкторіями, що залежать від дії тільки механічних сил. Ці мінеральні зерна вилучаються у немагнітний продукт.

Завдання

Визначити питому магнітну силу, що діє на частинку в зазорі магнітного сепаратора, якщо індукція магнітного поля становить B , неоднорідність магнітного поля $\text{grad}H$, питома магнітна сприйнятливість частинки χ . Вихідні дані наведені в табл. 6.1.



Таблиця 6.1 – Вихідні дані

№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Індукція магнітного поля, Тл	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75
Неоднорідність магнітного поля, $gradH \cdot 10^6$, кА/м ²	0,7	0,8	0,9	0,9	0,95	1,0	1,1	1,2	1,2	1,25
Питома магнітна сприйнятливість частинки, $\chi \cdot 10^{-8}$, м ³ /кг	125	115	105	95	85	75	65	55	45	35
Продовження табл. 6.1										
№ варіанту	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Індукція магнітного поля, Тл	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25
Неоднорідність магнітного поля, $gradH \cdot 10^6$, кА/м ²	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6
Питома магнітна сприйнятливість частинки, $\chi \cdot 10^{-8}$, м ³ /кг	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30

Приклад рішення

Визначити питому магнітну силу, що діє на частинку в зазорі магнітного сепаратора, якщо індукція магнітного поля (B) становить 0,45 Тл; неоднорідність магнітного поля ($gradH$) – $1,15 \cdot 10^6$, кА/м²; питома магнітна сприйнятливість частинки (χ) – $50 \cdot 10^{-8}$, м³/кг.

Розв'язання

1. На мінеральне зерно в неоднорідному магнітному полі діє питома магнітна сила $F_{\text{магн}}$, що визначається за формулою (6.7):

$$F_{\text{магн}} = \mu_0 \cdot \chi \cdot H \cdot gradH, \text{ Н/кг(м/с}^2\text{)},$$

де μ_0 – магнітна стала, $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} = 1,256 \cdot 10^{-6}$, Гн/м; χ – питома магнітна сприйнятливість, м³/кг; H – напруженість магнітного поля, А/м; $gradH$ – неоднорідність магнітного поля, або інтенсивність зміни напруженості магнітного поля, А/м².

2. Але перед тим як скористатися цим виразом необхідно знайти напруженість магнітного поля, яка пов'язана із значенням індукції магнітного поля виразом (6):

$$B = \mu_0 \cdot \mu \cdot H,$$

де μ – магнітна проникливість середовища, для повітря та води $\mu = 1$.



Звідки

$$H = B / (\mu_0 \cdot \mu)$$

Напруженість магнітного поля для вказаних умов становить:

$$H = B / (\mu_0 \cdot \mu) = \frac{0,45}{1,256 \cdot 10^{-6}} = 358280,3 \text{ A/м} \approx 358,3 \text{ кА/м.}$$

Тоді питома магнітна сила дорівнює:

$$F_{\text{магн}} = \mu_0 \cdot \chi \cdot H \cdot \text{grad}H = 1,256 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 10^{-8} \cdot 358,3 \cdot 10^3 \cdot 1,15 \cdot 10^9 = 258,8, \text{ Н/кг.}$$

Відповідь: Питома магнітна сила, що діє на частинку, дорівнює 258,8 м/с².



ПРАКТИЧНА РОБОТА №7 Визначення співвідношення розчинів

Тема: Теорія флотаційного методу збагачення корисних копалин

Мета: визначення кількості розчинів для отримання розчину заданої концентрації

Теоретичні відомості

Флотаційні реагенти – хімічні сполуки, які використовуються для зміни в бажаному напрямку поверхневих властивостей флотованих і нефлотованих мінералів, а також повітряних бульбашок і флотаційного середовища з метою утворення сприятливих умов для розділу мінералів процесом флотації [6, 9, 15, 30].

Фізичним наслідком дії реагентів і продуктів їх реакцій є зміна величини енергії змочування, взаємодії подвійних електричних шарів на бульбашках і частинках, і в результаті – протягування флотованих зерен і бульбашок повітря.


Склад флотаційних реагентів досить різноманітний. До них належать органічні й неорганічні сполуки, кислоти і луги, солі різного складу, речовини добре розчинні й практично нерозчинні у воді. Асортимент реагентів, витрата, спосіб приготування робочого розчину, дозування, умови введення в пульпу, тривалість контактування з пульпою складають *реагентний режим*.

Залежно від призначення всі флотаційні реагенти поділяють на три групи: *збирачі* або *колектори*, *спінювачі* або *піноутворювачі* та *модифікатори*. Модифікатори, у свою чергу, підрозділяються на *активатори*, *депресори* і *регулятори середовища*.

Збирачі – речовини, що мають здатність до сорбції на межі розділу фаз «рідина (вода) – тверде (поверхня мінеральної частинки)», у результаті чого збільшується крайовий кут змочування флотованого мінералу і його гідрофобність.

Спінювачі – поверхнево-активні речовини, які концентруються на межі розділу фаз «рідина (вода) – газ (повітря)» і зменшують поверхневий натяг; вони сприяють збереженню повітряних бульбашок у дисперсному стані й перешкоджають їхній коалесценції. Завдяки підвищенню стійкості мінералізованої бульбашки, що спливає на поверхню, спінювачі збільшують стійкість флотаційної піни.

Модифікатори (активатори, депресори й регулятори середовища) – флотаційні реагенти, що використовуються для регулювання взаємодії збирача з мінералами з метою збільшення або зменшення гідрофобізації їхньої поверхні.



При подачі реагентів у флотаційні машини важливим елементом є дозування реагентів відповідно до реагентного режиму. Реагентний режим залежить в першу чергу від мінерального складу початкової сировини, а тому часто піддається зміні.

При зміні реагентного режиму залишаються розчини відповідно зі старою концентрацією реагентів, а також мають в наявності маточні розчини зі збільшеною концентрацією реагентів. В цьому випадку виникає питання визначення необхідної кількості кожного із розчинів для отримання робочого розчину із заданою концентрацією.

Для визначення необхідної кількості кожного із розчинів скористаємося двома рівняннями балансу:

$$\begin{cases} \gamma_p = \gamma_y + \gamma_z \\ \gamma_p \cdot C_p = \gamma_y \cdot C_y + \gamma_z \cdot C_z \end{cases}; \quad (7.1)$$

де γ_p , γ_y , γ_z – виходи, відповідно робочого розчину, першого та другого, %; C_p , C_y , C_z – концентрації, відповідно робочого розчину, першого та другого, %.

Зазвичай вихід робочого розчину приймається за 100%. Тоді рівняння буде мати вигляд:

$$\begin{cases} 100 = \gamma_y + \gamma_z \\ 100 \cdot C_p = \gamma_y \cdot C_y + \gamma_z \cdot C_z \end{cases}. \quad (7.2)$$

Кількість другого розчину можна визначити із першого рівняння:

$$\gamma_z = 100 - \gamma_y. \quad (7.3)$$

Підставимо його в друге рівняння та вирішимо відносно γ_y .

$$\begin{aligned} 100 \cdot C_p &= \gamma_y \cdot C_y + (100 - \gamma_y) \cdot C_z; \\ \gamma_y &= 100 \cdot \frac{C_p - C_z}{C_y - C_z}. \end{aligned} \quad (7.4)$$

Завдання

Робочий розчин $x\%$ реагенту готується з двох розчинів, перший з концентрацією $y\%$, а другий $z\%$. Визначте, яку кількість кожного з розчинів необхідно взяти для отримання заданої концентрації. Вихідні дані надані в табл. 7.1.



Таблиця 7.1 – Вихідні дані

№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Концентрація робочого розчину, %	2	4	5	6	4	3	7	8	5	6
Концентрація першого розчину, у%	11	12	13	14	15	14	11	16	9	9
Концентрація другого розчину, z%	1	2	2	3	1	2	4	4	3	3
№ варіанту	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Концентрація робочого розчину, %	3	4	5	6	4	5	8	6	7	6
Концентрація першого розчину, у%	11	12	10	11	10	12	11	16	9	8
Концентрація другого розчину, z%	1	3	2	3	2	3	4	4	3	2

Приклад рішення

Робочий розчин 3% реагенту готується з двох розчинів, перший з концентрацією 7%, та другий 1%. Визначте, яку кількість кожного з розчинів необхідно взяти для отримання заданої концентрації.

Розв'язання

Скористаємося рівнянням (7.4).

$$\gamma_y = 100 \cdot \frac{C_p - C_z}{C_y - C_z} = 100 \cdot \frac{3 - 1}{7 - 1} = 33,3\%$$

Кількість другого розчину визначимо із рівняння:

$$\gamma_z = 100 - \gamma_y = 100 - 33,3 = 66,7\%.$$

Відповідь: Необхідно взяти 33,3 частин 7,0% розчину та 66,7 частини 1,0% розчину.



ПРАКТИЧНА РОБОТА №8

Визначення значення вологості матеріалу

Тема: Процеси зневоднення корисних копалин

Мета: визначення значення вологості матеріалу та набути практичних навичок, щодо застосування операцій зневоднення.

Теоретичні відомості

Корисні копалини у більшості випадків збагачуються у воді або у важкому середовищі (водній суспензії), тому продукти збагачення містять воду в кількості від 30 до 90%. Для подальшої металургійної, хімічної переробки або транспортування з таких продуктів вода повинна бути видалена одним з процесів зневоднення.

Зневодненням називають процес видалення води з корисної копалини або з продуктів збагачення. Розрізняють процеси механічного і термічного зневоднення. До методів механічного зневоднення належать: дренавання, центрифугування, згущення і фільтрування, до термічного – сушіння.

На механізм процесів зневоднення суттєво впливає енергія зв'язку рідини з матеріалом. Чим більша енергія зв'язку, тим важче відділити вологу від матеріалу. На цьому принципі базується класифікація видів вологи у продуктах збагачення:


– гравітаційна волога заповнює проміжки між окремими частинками, утримується тільки силами взаємного притягнення молекул води і може вільно переміщуватись під дією сили ваги. Вміст гравітаційної вологи може в багато разів перевищувати вміст твердої речовини. При зневодненні цей вид вологи видаляється найбільш інтенсивно;

– гігроскопічна – утримується на поверхні частинок у вигляді мономолекулярних плівок адсорбційними силами. Її вміст обумовлено рівновагою між пружністю парів води в навколишній атмосфері і даному матеріалі. Висока гігроскопічність властива вугіллю;

– плівкова – утримується на поверхні частинок силами молекулярного зчеплення у вигляді тонких і товстих плівок. Вміст її обумовлюється ступенем змочування матеріалу водою. Ця волога, як і гігроскопічна, видаляється тільки термічною сушкою (або новітніми спеціальними методами – вакуумування, зрив водної плівки швидкісним потоком повітря);

– капілярна – заповнює частково або повністю дрібніші проміжки між частинками (капілярна зовнішня) і утримується в порах силами капілярного тиску (капілярна внутрішня);

– хімічно зв'язана (конституційна, молекулярна) – входить безпосередньо у кристалічну ґратку мінералів або до складу молекул речовини.



Залежно від вмісту і виду вологи (води) розрізняють наступні продукти збагачення:

– пульпа (обводнені продукти) – механічні суміші твердої речовини і рідини, що володіють текучістю. Пульпа містить понад 40% води (усіх видів вологи);

– мокрі – містять усі види вологи, але загальний її вміст не перевищує 40%. До таких продуктів відносять зливи млинів і класифікаторів, флотаційні концентрати і відходи і т.п. Вони можуть бути одержані після попереднього зневоднення обводнених продуктів;

– вологі – містять гігроскопічну, плівкову і частково капілярну вологу. Загальний вміст вологи у цих продуктах складає як правило від 5 до 20%. Такі продукти одержують звичайно після інтенсивного механічного зневоднення. При збереженні на повітрі ці продукти втрачають капілярну вологу (зовнішню – в першу чергу) внаслідок випарювання її в навколишнє середовище;

– повітряно-сухі – містять тільки гігроскопічну, плівкову і капілярну (внутрішню) вологу, що утримується в порах частинок. Загальний вміст вологи частіше за все не перевищує 5% (але у деяких випадках, для продуктів з розвиненою пористістю, наприклад, бурого вугілля може досягати десятків процентів). При збереженні на повітрі ці продукти не змінюють своєї маси;

– сухі – містять тільки хімічно зв'язану вологу. Такі продукти можна одержати тільки при глибокій термічній сушці.

Вологість W (%) визначається як відношення маси води, що знаходиться в продукті до маси вологого початкового продукту:

$$W = 100 \cdot (Q_1 - Q_2) / Q_1, \% \quad (8.1)$$

де Q_1 – маса вологого продукту; Q_2 – маса сухого продукту.

Вибір методу зневоднення залежить від характеристики матеріалу (крупності, гранулометричного складу, вологості, густини пульпи) і необхідних кондицій на готову продукцію. Звичайно кондиції за вологістю не досягаються за одну операцію, тому процеси зневоднення здійснюються у декілька стадій і різними способами.

Завдання

Визначте вологість продукту, якщо відома його маса у сухому та вологому стані, та запропонуйте схему зневоднення, якщо відома крупність продукту та вимоги щодо кінцевої вологості (табл. 8.1). Запропонуйте устаткування, якщо в схемі декілька операцій, то за кожною із них.



Таблиця 8.1 – Вихідні дані для розрахунку

№ варіанту	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Маса вологого продукту, кг	11,5	11	20	25	18	20	14	7	9	8
Маса сухого продукту, кг	6,5	4	8	8	4	6	5	2	3	2
Необхідний вміст вологи, %	9	9	9	0,5	9	9	9	9	0,5	9
Крупність продукту:										
- верхня межа крупності, мм	100	6	13	3	0,1	150	4	13	2	0,15
- нижня межа крупності, мм	13	0,5	1,0	0,1	0,02	20	0,5	1,0	0,1	0,02
№ варіанту	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Маса вологого продукту, кг	3	4	5	6	8	7,5	9,5	6	7	8
Маса сухого продукту, кг	1	2,5	2	1	3	1,2	3,5	2	3	1,5
Необхідний вміст вологи, %	9	9	8	0,5	9	9	9	9	0,5	9
Крупність продукту:										
- верхня межа крупності, мм	100	13	4	3	0,1	150	4	13	2	0,1
- нижня межа крупності, мм	13	0,5	0,5	0,1	0,01	20	0,5	1,0	0,1	0,01

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ №1

ТЕМА: ГРАНУЛОМЕТРИЧНИЙ СКЛАД КОРИСНИХ КОПАЛИН

Мета: навчитися будувати гранулометричні характеристики крупності та вміти користуватися ними.

Індивідуальне завдання з дисципліни «Переробка та збагачення корисних копалин» виконується у вигляді звіту.

Метою виконання індивідуального завдання є узагальнення та поглиблення теоретичних знань та набуття практичних навичок при виконанні обчислень.

Номер варіанту для виконання індивідуального завдання обирається здобувачем освіти у відповідності до його номеру за списком студентської групи, абозначається викладачем.

Титульний аркуш оформлення звіту із індивідуального завдання надано в додатку Б.

Теоретичні відомості

Визначення гранулометричного складу сухих матеріалів найбільше часто здійснюється ситовим аналізом. Ситовий аналіз це розсів досліджуваних проб корисних копалин і продуктів їхньої переробки на ряд класів за допомогою набору стандартних сит, що дозволяє кількісно характеризувати склад матеріалу за крупністю і визначити співвідношення в ньому зерен різної крупності. Результати ситового аналізу оформляють у вигляді таблиці (напр., табл. 9.1), за даними якої будують характеристики крупності продукту (графічне уявлення гранскладу корисних копалин).

Таблиця 9.1. – Результати ситового аналізу продукту

Класи крупності, мкм	Середній розмір, мкм	Маса наважки, г	Вихід, %	Сумарний вихід, %	
				за «+»	за «-»
-355+250	302,5	0,1	0,2	0,2	100
-250+ 180	215	1,5	3,02	3,22	99,8
-180+ 125	152,5	4,8	9,68	12,9	96,78
-125 + 90	107,5	10,4	20,97	33,87	87,1
- 90 + 63	76,5	15,1	30,44	64,31	66,13
- 63 + 45	54	12,2	24,6	88,91	35,69
-45 + 0	22,5	5,5	11,09	100	11,09
Всього		49,6	100,0		

Вихід кожного вузького класу крупності розраховується за виразом:



$$\gamma_i = \frac{m_i}{m_{np}} \cdot 100, \% \quad (9.1)$$

де γ_i – вихід відповідного вузького класу крупності, %; m_i , m_{np} , – маса, відповідно вузького класу крупності та всього матеріалу, що підлягав розсіву, г (кг).

Розрізняють часткові (рис. 9.1) та сумарні (рис. 9.2) гранулометричні характеристики. Часткові (диференційні) характеристики показують вихід вузького класу крупності і будуються як гістограми, або суцільною кривою. При побудові часткової характеристики у вигляді суцільної кривої по осі абсцис береться середній розмір вузького класу крупності, а по осі ординат його вихід $f(\gamma_i, d_{icp})$.

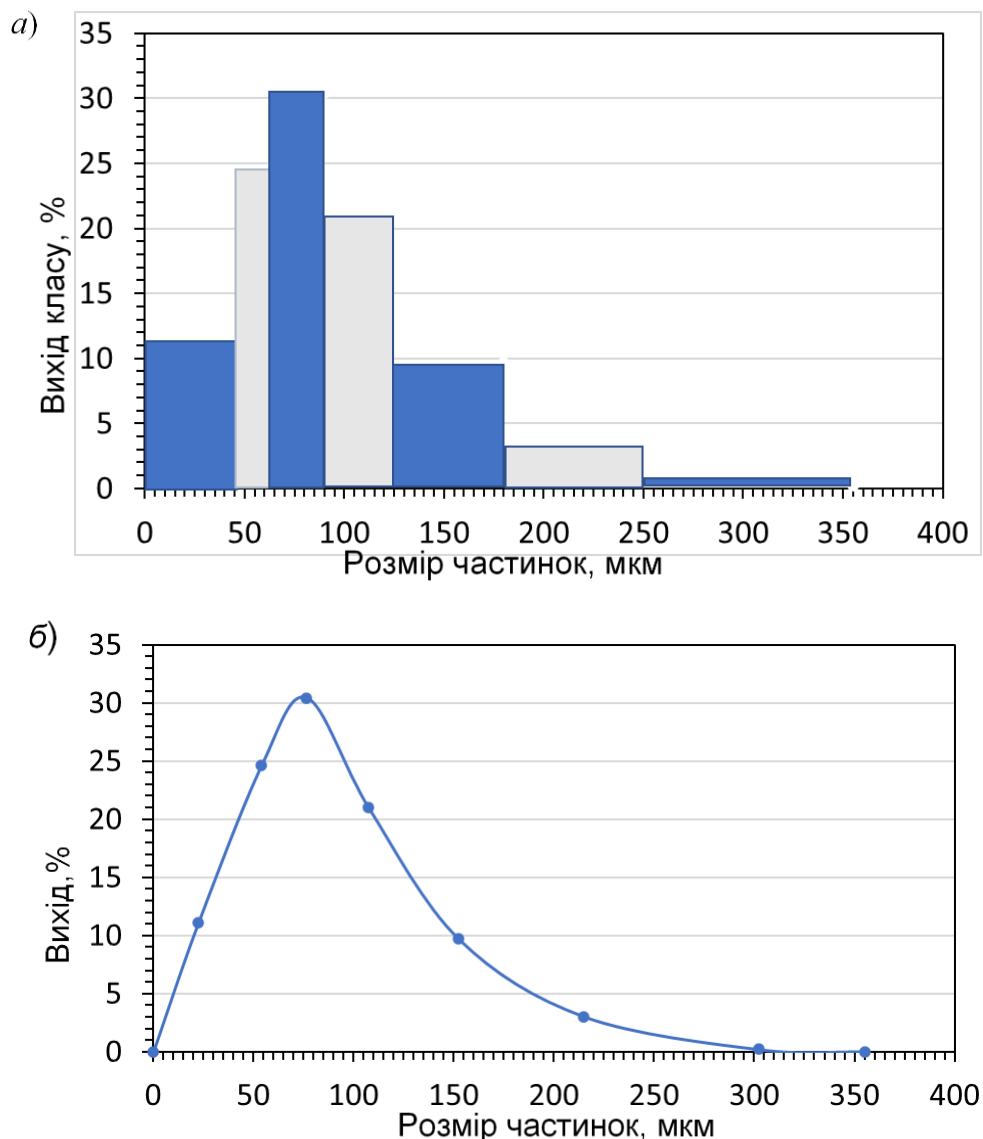


Рисунок 9.1 – Часткові характеристики гранулометричного складу:
а – у вигляді гістограми
б – суцільною кривою



Сумарні (кумулятивні, інтегральні) криві за «плюсом» або «мінусом» показують загальну кількість частинок більше або менше цього розміру.

Якщо по осі ординат відкладено вихід матеріалу, більший за даний діаметр, то характеристика побудована за «плюс d » якщо дрібніше за даний діаметр, то за «мінус d ». Обидві характеристики дзеркально відображають одна одну і, якщо побудовані на одному графіку, перетинаються в точці, що відповідає виходу матеріалу, що дорівнює 50%.

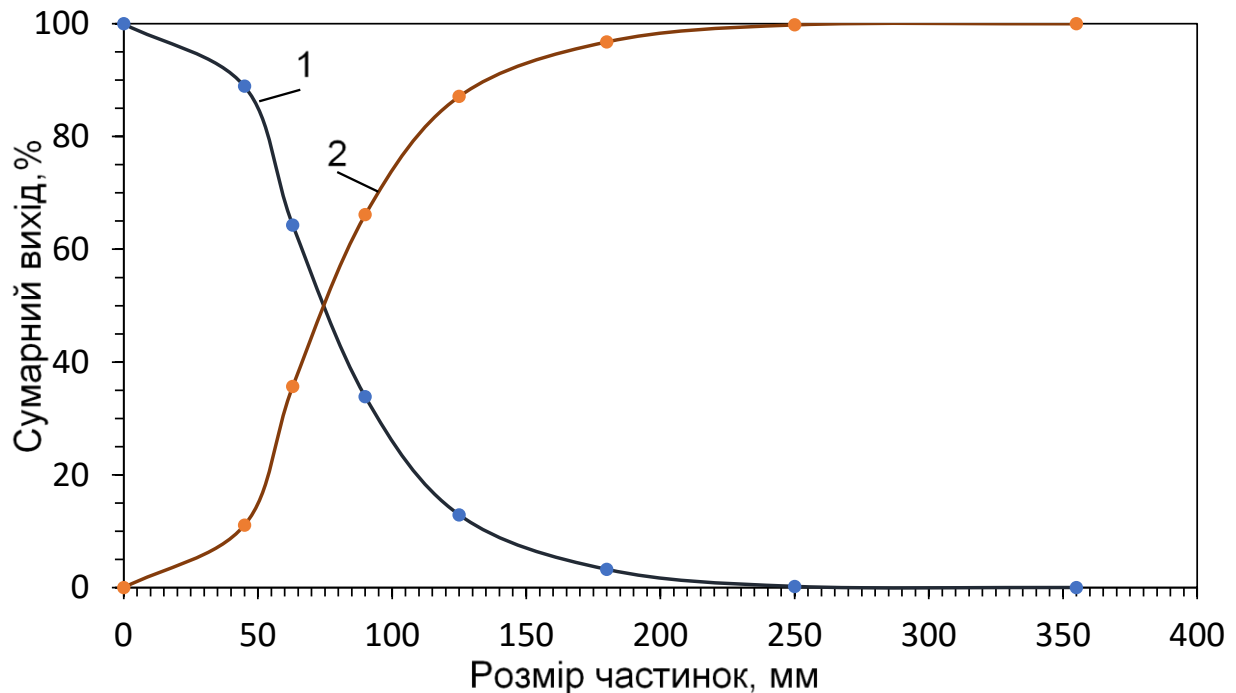


Рисунок 9.2 – Сумарні характеристики гранулометричного складу:
1 – побудована за «плюс d »;
2 – побудована за «мінус d »

Сумарні характеристики за «плюс d » бувають випуклими, увігнутими та прямолінійними. Випукла крива виходить, якщо в матеріалі переважна кількість крупних зерен, увігнута - якщо переважна кількість дрібних зерен. Прямолінійна крива свідчить про рівномірний розподіл у матеріалі зерен за крупністю, тобто на будь-якій ділянці характеристики на одиницю зміни діаметра припадає однакова зміна сумарного виходу матеріалу.

За видом часткової характеристики висновок про розподіл у матеріалі крупних і дрібних зерен зробити не можна, оскільки її вигляд залежить від набору сит, що застосовувалися при ситовому аналізі. Зміна шкали сит змінює вигляд часткової характеристики.

За кривою сумарної характеристики можна визначити вихід будь-якого класу крупності.



При побудові сумарних показників у широкому діапазоні крупностей зерен матеріалу відрізки на осі абсцис в області дрібних класів виходять дуже малого розміру, що ускладнює побудову і використання показників. Доводиться будувати надмірно великі графіки. Щоб уникнути цього недоліку, сумарні характеристики будують у системі координат з напівлогарифмічними або логарифмічними шкалами. Напівлогарифмічну сумарну характеристику крупності будують у системі координат $\lg d$, Y , де d – розмір отворів сита, Y – сумарний вихід класів.

Перевага напівлогарифмічної кривої в порівнянні зі звичайною кривою $Y = f(d)$ полягає в тому, що відстані між сусідніми значеннями отворів сит на осі абсцис в області дрібних зерен збільшуються, а в області крупних – скорочуються, що дозволяє більш точно підраховувати виходи дрібних класів при звичайному розмірі графіка.

Вихід класу крупності $+d$, або $-d$ визначається із відповідної сумарної характеристики крупності.

Вихід вузького класу крупності $+d_2 - d_1$ визначається із однієї сумарної характеристики крупності.

Якщо визначається із характеристики за «плюс d », то:

$$Y_{+d_2-d_1} = Y_{d_2} - Y_{d_1}.$$

Якщо визначається із характеристики за «мінус d », то:

$$Y_{+d_2-d_1} = Y_{d_1} - Y_{d_2}.$$

Середньозважений розмір суміші частинок (матеріалу) визначається за виразом:

$$d_{\text{св}} = \frac{\sum(\gamma_i \cdot d_{i\text{ср}})}{\sum \gamma_i}; \quad (9.2)$$

де γ_i – вихід вузького класу крупності, %; $d_{i\text{ср}}$ – середньоарифметичний розмір вузького класу крупності, мм.

Для гранулометричного складу наведеного вище:

$$d_{\text{св}} = \frac{0,2 \cdot 302,5 + 3,02 \cdot 215 + 9,68 \cdot 152,5 + 20,97 \cdot 107,5 + 30,44 \cdot 76,5 + 24,6 \cdot 54 + 11,09 \cdot 22,5}{0,2 + 3,02 + 9,68 + 20,97 + 30,44 + 21,6 + 11,09} = 83,48 \text{ мкм}$$

Завдання

Побудувати часткову та сумарні характеристики крупності, графічно визначити вихід вузьких класів крупності за даними табл. 9.2, 9.3, та розрахувати середньозважений розмір суміші.



Таблиця 9.2 – Початкові дані для визначення виходу вузького класу крупності

№ варіанту	№ характеристики із табл. 3	Вузький клас крупності, мм			
1	1	-10	+15	-20 +8	-10 +5
2	2	-10	+15	-20 +8	-10 +5
3	3	-10	+15	-20 +8	-10 +5
4	4	-10	+15	-20 +8	-10 +5
5	5	-10	+15	-20 +8	-10 +5
6	1	+20	-15	-35 +10	-18 +4
7	2	+20	-15	-35 +10	-18 +4
8	3	+20	-15	-35 +10	-18 +4
9	4	+20	-15	-35 +10	-18 +4
10	5	+20	-15	-35 +10	-18 +4
11	1	+10	-8	-20 +5	-15 +10
12	2	+10	-8	-20 +5	-15 +10
13	3	+10	-8	-20 +5	-15 +10
14	4	+10	-8	-20 +5	-15 +10
15	5	+10	-8	-20 +5	-15 +10
16	1	-30	+20	-35 +9	-15 +5
17	2	-30	+20	-35 +9	-15 +5
18	3	-30	+20	-35 +9	-15 +5
19	4	-30	+20	-35 +9	-15 +5

Таблиця 9.3 – Результати розсіву проби

Клас крупності, мм	№ характеристики крупності				
	1	2	3	4	5
	Маса вузького класу крупності, кг				
-100 +50	2,3	0,6	5,57	0,48	4,8
-50 +25	2,1	1,2	2,45	0,72	0,7
-25 +13	1,4	1,4	0,63	1,02	0,2
-13 +6	0,7	1,0	0,18	1,68	0,1
-6 +3	0,4	0,7	0,09	0,9	0,08
-3 +1,5	0,3	0,6	0,05	0,72	0,06
-1,5 +0	0,3	0,5	0,03	0,48	0,06
Всього, кг	7,5	6,0	9,0	6,0	6,0

Приклад рішення

Побудувати часткову та сумарні характеристики крупності, графічно визначити вихід вузьких класів крупності за даними табл. 9.4, 9.5, та розрахувати середньозважений розмір суміші.



Таблиця 9.4 – Початкові дані для визначення виходу вузького класу крупності

№ варіанту	№ характеристики із табл. 9,5	Вузький клас крупності, мм			
		+10	-15	-35 +12	-10 +5
26	6				

Таблиця 9.5 – Результати розсіву проби

Клас крупності, мм	Маса вузького класу крупності, кг					
	1	2	3	4	5	6
-100 +50	2,3	0,6	5,57	0,48	4,8	0,32
-50 +25	2,1	1,2	2,45	0,72	0,7	0,64
-25 +13	1,4	1,4	0,63	1,02	0,2	1,76
-13 +6	0,7	1,0	0,18	1,68	0,1	2,88
-6 +3	0,4	0,7	0,09	0,9	0,08	1,44
-3 +1,5	0,3	0,6	0,05	0,72	0,06	0,56
-1,5 +0	0,3	0,5	0,03	0,48	0,06	0,40
Всього, кг	7,5	6,0	9,0	6,0	6,0	8,0

Розв'язання

1. Для побудови часткової та сумарних характеристик крупності початкові дані заносяться в табл. 9.6, яка наведена в теоретичних відомостях як табл. 9.1.

В перший стовпчик вставляються свої класи крупності із табл. 9.5.


В другому стовпчику визначається середній розмір вузького класу крупності, як:

$$d_{cp} = \frac{(d_{min} + d_{max})}{2}$$

В третьому стовпчиківі записуються свої маси вузьких класів крупності із табл. 9.5 для вказаного варіанту відповідно табл. 9.4, в даному випадку для 6 варіанту.

Таблиця 9.6. – Результати ситового аналізу продукту

Класи крупності, мм	Середній розмір, мм	Маса наважки, кг	Вихід, %	Сумарний вихід, %	
				за +	за -
1	2	3	4	5	6
-100 +50	75	0,32	4,0	4,0	100
-50 +25	37,5	0,64	8,0	12,0	96
-25 +13	19	1,76	22,0	34,0	88
-13 +6	9,5	2,88	36,0	70,0	66
-6 +3	4,5	1,44	18,0	88,0	30
-3 +1,5	2,25	0,56	7,0	95,0	12
-1,5 +0	0,75	0,40	5,0	100,0	5
Всього		8,0	100,0		



В четвертому стовпчику записується вихід вузького класу крупності, який розраховується за виразом (1), а саме:

$$\gamma_i = \frac{m_i}{m_{np}} \cdot 100, \%$$

де γ_i – вихід відповідного вузького класу крупності, %; m_i , m_{np} – маса, відповідно вузького класу крупності та всього матеріалу, що підлягав розсіву, кг (кг).

Згідно вказаного виразу вихід вузького класу крупності $\gamma_{-100+50}$ становить:

$$\gamma_{-100+50} = \frac{m_{-100+50}}{m_{np}} \cdot 100 = \frac{0,32}{8} \cdot 100 = 4,0 \%$$

Вузького класу крупності γ_{-50+25} :

$$\gamma_{-50+25} = \frac{m_{-50+25}}{m_{np}} \cdot 100 = \frac{0,64}{8} \cdot 100 = 8,0 \%$$

І так далі заповнюється весь стовпчик.

Сумарний вихід за «плюсом» (5 стовпчик) розраховується зверху, тобто матеріалу в крупності більше 50 мм (+50) становить 5%.

В крупності +25 мм – 12% (так як він складається із матеріалу двох вузьких класів крупності –100 +50 мм та –50 +25 мм, а саме:

$$\gamma_{+25} = \gamma_{-100+50} + \gamma_{-50+25} = 4,0 + 8,0 = 12,0\%.)$$

В крупності +13 мм – 34% (так як він складається із матеріалу вже трьох вузьких класів крупності –100 +50 мм; –50 +25 мм та –25 +13 мм, а саме:

$$\gamma_{+13} = \gamma_{-100+50} + \gamma_{-50+25} + \gamma_{-25+13} = 4,0 + 8,0 + 22,0 = 34,0\%.)$$

І так далі, в крупності +0 мм кількість матеріалу становить 100%.

Сумарний вихід за «мінусом» (6 стовпчик) розраховується знизу, тобто матеріалу в крупності менше 1,5 мм (–1,5) становить 4%.

В крупності –3,0 мм – 12% (так як він складається із матеріалу двох вузьких класів крупності –1,5 +0 мм та –3 +1,5 мм, а саме:

$$\gamma_{-3} = \gamma_{-1,5+0} + \gamma_{-3+1,5} = 5,0 + 7,0 = 12,0\%.)$$

В крупності –6 мм – 30% (так як він складається із матеріалу вже трьох вузьких класів крупності –1,5 +0 мм; –3 +1,5 мм та –6 +3 мм, а саме:

$$\gamma_{-6} = \gamma_{-1,5+0} + \gamma_{-3+1,5} + \gamma_{-6+3} = 5,0 + 7,0 + 18,0 = 30,0\%.)$$

І так далі, в крупності –100 мм кількість матеріалу становить 100%.



2. Часткова гранулометрична характеристика будується у вигляді гістограми, або кривої лінії.

Побудова часткової характеристики у вигляді гістограми показана на рис. 9.3. Тут кожний прямокутник відповідає вказаному класу крупності. Його довжина відповідає розміру окремого класу крупності, а висота – виходу цього класу крупності.

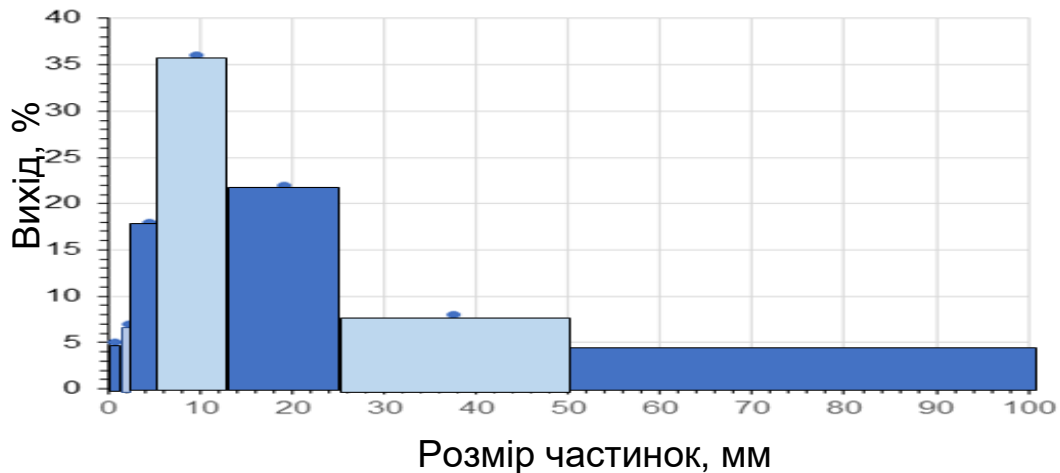


Рисунок 9.3 – Часткова характеристика гранулометричного складу у вигляді гістограми

При побудові часткової характеристики у вигляді суцільної кривої, яка представлена на рис. 9.4, по осі абсцис береться середній розмір вузького класу крупності i , а по осі ординат вихід цього вузького класу крупності $f(\gamma_i, d_{icp})$, (табл. 9.6, стовпчики 2 та 4). Координати першої точки при цьому становлять $(0;0)$, а останньої $(d_{max};0)$.

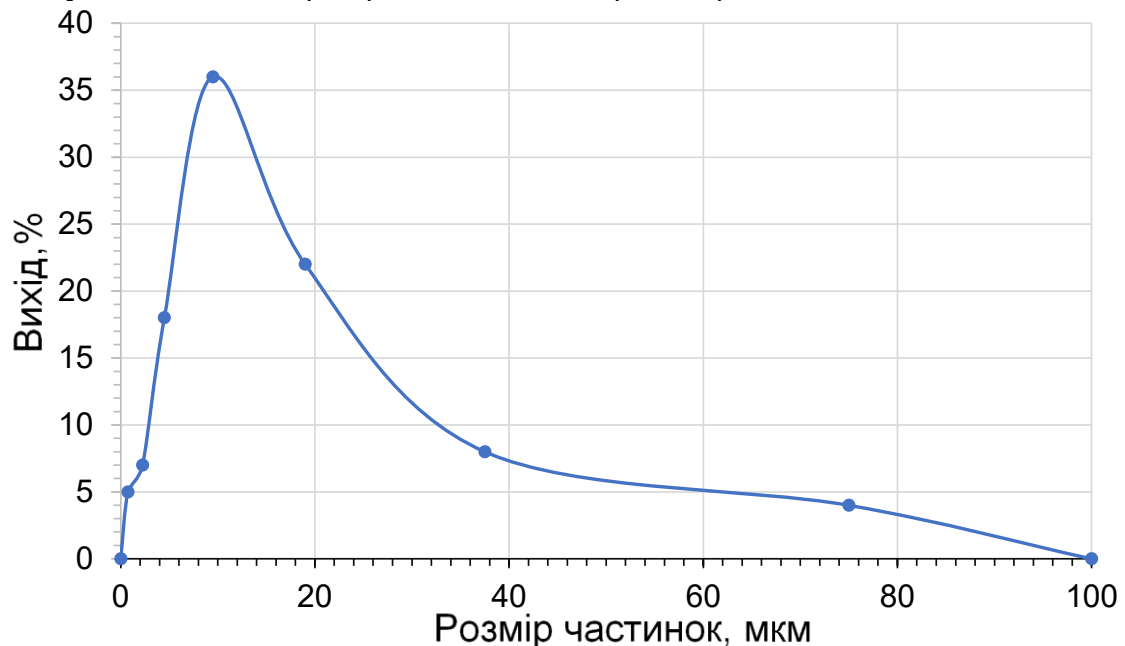


Рисунок 4 – Часткова характеристика гранулометричного складу у вигляді суцільної кривої



3. Сумарні (кумулятивні, інтегральні) криві за «плюсом» або «мінусом» показують загальну кількість частинок більше або менше цього розміру.

Сумарна характеристика за «плюс d » (рис. 9.5 крива 1) будується за даними табл. 9.6 стовпчик 1 (розмір частинок $+d$) та стовпчик 5 (сумарний вихід частинок). Остання точка при побудові характеристики ($d_{max}; 0$).

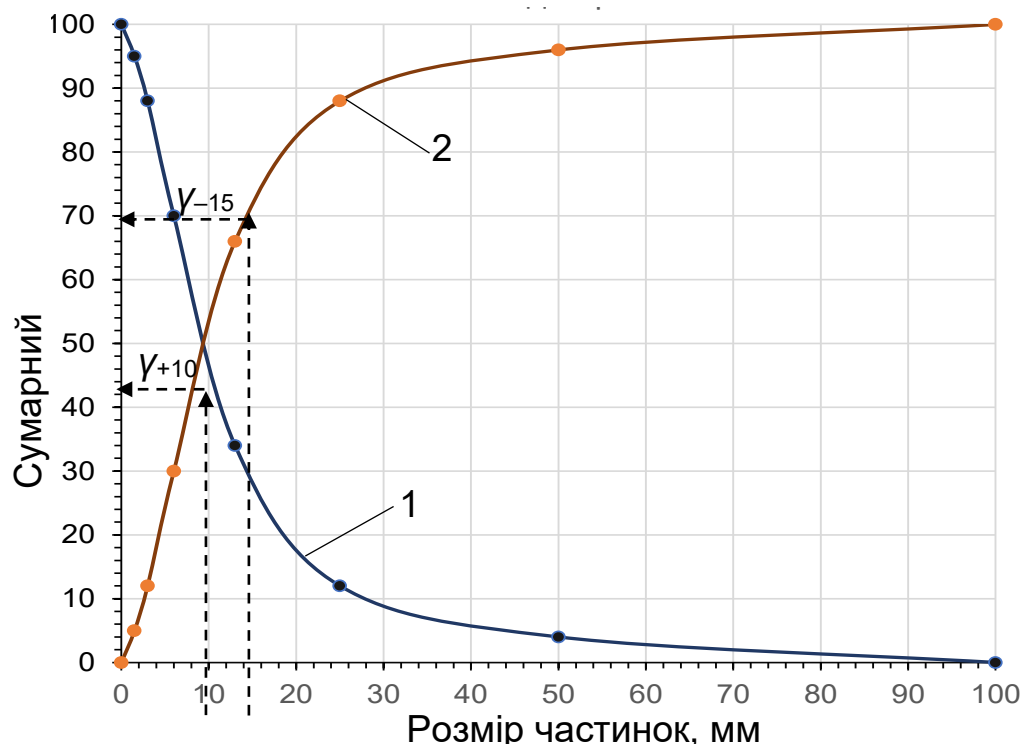


Рисунок 9.5 – Сумарні характеристики гранулометричного складу
1 – за «плюсом»; 2 – за «мінусом»

Сумарна характеристика за «мінус d » (рис. 5 крива 2) будується за даними табл. 9.6 стовпчик 1 (розмір частинок $-d$) та стовпчик 6 (сумарний вихід частинок). Перша точка при побудові характеристики ($0; 0$).

Якщо сумарні характеристики побудовані вірно то точка їх перетину відповідає 50%.

4. Визначення класів крупності.

За сумарними характеристиками гранулометричного складу (рис. 9.5) визначають сумарний вихід матеріалу більше, або менше заданого розміру. В даній задачі необхідно визначити γ_{+10} та γ_{-15} .

Для визначення сумарного виходу частинок більше 10 мм (γ_{+10}) від розміру частинок $d = 10$ мм проводимо вертикальний відрізок до перетину із «плюсовою» характеристикою (рис. 9.5, крива 1). Ордината точки перетину і покаже сумарний вихід частинок більше 10 мм. Із графіка видно, що $\gamma_{+10} = 47\%$.

Для визначення сумарного виходу частинок менше 15 мм (γ_{-15}) від розміру частинок $d = 15$ мм проводимо вертикальний відрізок до перетину із «мінусовою» характеристикою (рис. 9.5, крива 2). Ордината точки перетину і покаже сумарний вихід частинок менше 15 мм. Із графіка видно, що $\gamma_{-15} = 72\%$.

Вихід вузького класу крупності виконується із використанням лише одного типу кривої побудованої за «плюсом», чи за «мінусом».

Необхідно за умовами задачі визначити виходи вузьких класів крупності, а саме γ_{-35+12} та γ_{-10+5} .

За основу візьмемо характеристику за «мінусом» (рис. 9.6) і виконаємо необхідні дії.

Визначимо вихід вузького класу γ_{-35+12} . Для цього визначимо виходи матеріалу γ_{-35} та γ_{-12} . Із рис. 9.6 видно, що вихід класу $\gamma_{-12} = 60,0\%$, а $\gamma_{-35} = 93\%$. Тоді за рівнянням $\gamma_{+d2-d1} = \gamma_{d1} - \gamma_{d2}$ визначається вихід вузького класу крупності: $\gamma_{-35+12} = \gamma_{-35} - \gamma_{-12} = 93 - 60 = 33\%$

Аналогічно визначимо вихід вузького класу крупності γ_{-10+5} . Для цього визначимо виходи матеріалу γ_{-10} та γ_{-5} . Із рис. 9.6 видно, що вихід класу $\gamma_{-10} = 52,0\%$, а $\gamma_{-5} = 22\%$.

Визначаємо вихід вузького класу крупності:

$$\gamma_{-10+5} = \gamma_{-10} - \gamma_{-5} = 52 - 22 = 30\%$$

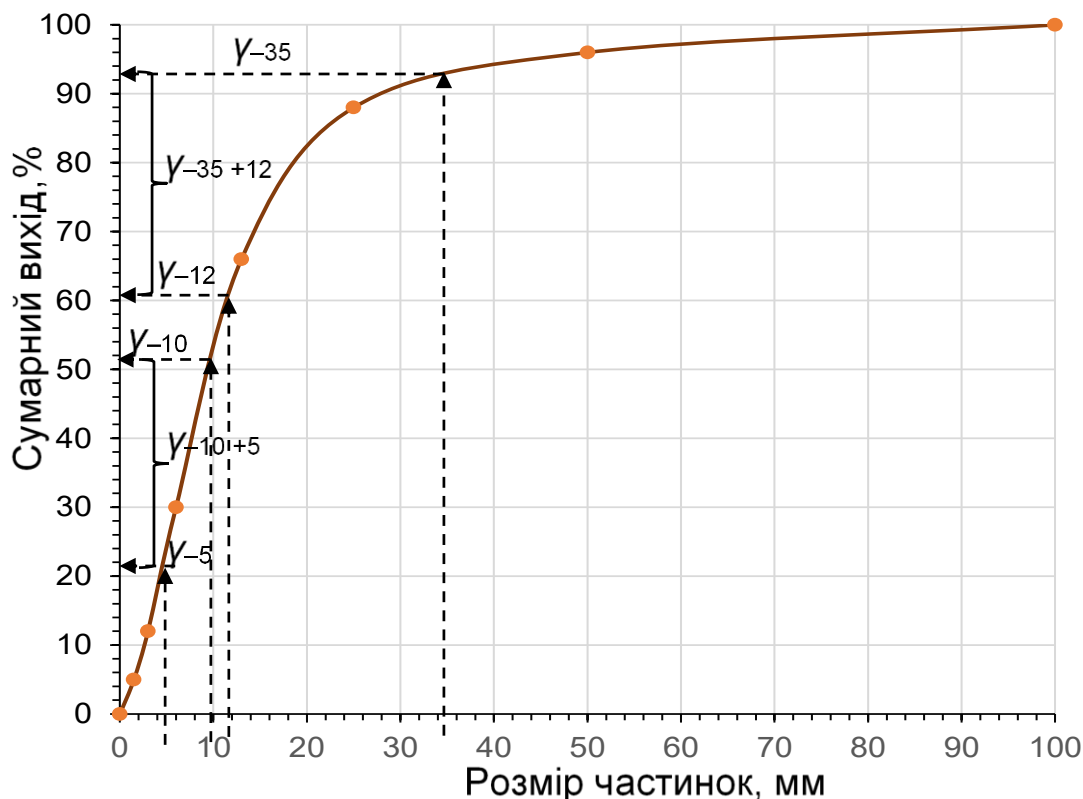


Рисунок 9.6 – Сумарна характеристика гранулометричного складу за «мінусом»



4. Визначається середньозважений розмір суміші частинок (матеріалу) за виразом (9.2):

$$d_{\text{св}} = \frac{\sum(\gamma_i \cdot d_{i\text{ср}})}{\sum \gamma_i};$$

де γ_i – вихід вузького класу крупності, %; $d_{i\text{ср}}$ – середньоарифметичний розмір вузького класу крупності, мм

Для гранулометричного складу наведеного вище:

$$d_{\text{св}} = \frac{4,0 \cdot 75 + 8,0 \cdot 37,5 + 22,0 \cdot 19,0 + 36,0 \cdot 9,5 + 18,0 \cdot 4,5 + 7,0 \cdot 2,25 + 5,0 \cdot 1,5}{4,0 + 8,0 + 22,0 + 36,0 + 18,0 + 7,0 + 5,0} = 14,61 \text{ мм}$$

Відповідь: Вихід вузьких класів крупності становить:

$$\gamma_{-15} = 72\%; \quad \gamma_{+10} = 47\%; \quad \gamma_{-35+12} = 33\%; \quad \gamma_{-10+5} = 30\%;$$

Середньозважений розмір суміші частинок становить: $d_{\text{св}} = 14,61$ мм.



ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ №2

Тема: Огрудкування корисних копалин

Мета роботи: Вивчення методики та набуття практичних навичок щодо визначення пористості агломерату або обкотишів (котунів).

Теоретичні відомості

Пористість металургійної сировини належить до його найважливіших властивостей. Діаметр і форма пор визначають швидкість дифузії газоподібних реагентів та продуктів реакції. Поверхня пор значно перевищує зовнішню поверхню куска сировини. Доведено експериментально, що відновлюваність агломерату прямо пропорційна сумарній поверхні пор доступних газу-відновнику. Для залізних руд багатьох родовищ знаходять прямий зв'язок між відновлюваністю та загальною пористістю куска, так як розміри і форма пор для руди певного родовища змінюються у досить вузьких межах. Поверхня пор значною мірою впливає і на швидкість сушіння, дегідратації, декарбонізації руди, а також швидкість її розчинення в кислотах. Що стосується коксу, то величина його пористості визначають швидкість горіння перед фурмами доменної печі, величину окисної зони фурми, а також істотно впливає на реакційну здатність коксу (швидкість взаємодії з CO_2 при 900°C). Пористість впливає і на механічні властивості кускової сировини.

Пористість магнетитових руд змінюється в межах від 0,1 до 10%; гематитових та мартованих руд – від 2 до 30% бурих залізняків – до 40...50%. Пористість агломератів і котунів коливаються в межах – 20...50%, коксу – 35...55%.

Загальна (повна, абсолютна) пористість – це об'єм усіх пор у породі. Відповідно коефіцієнт пористості є відношенням об'єму всіх пор до об'єму породи.

Коефіцієнт пористості визначається відношенням об'єму пор до об'єму зразка досліджуваного тіла.

$$k_n = \frac{V_n}{V_3} \cdot 100, \%$$

де k_n – коефіцієнт пористості, %; V_n , V_3 – об'єм, відповідно пор, що знаходяться в зразку, та зразку, m^3 .

Все це добре, але об'єм пор практично неможливо визначити, і тому його визначають, як різницю об'єму зразка та об'єму речовини, із якої складається тіло (об'єм тіла завжди більше об'єму речовини).

Тоді коефіцієнт пористості запишеться як:

$$k_n = \frac{V_3 - V_p}{V_3} \cdot 100, \%$$

В свою чергу об'єм зразку та об'єм речовини можна виразити через масу та значення щільності. При визначенні об'єму речовини необхідно взяти значення дійсної щільності, а об'єму зразку – уявної (вдаваної) щільності. При цьому маса зразка в кожному разі має одне й те ж значення.

Тоді коефіцієнт пористості можна записати як:

$$k_n = \frac{\frac{m_3}{\delta_y} \frac{m_3}{\delta_\partial}}{\frac{m_3}{\delta_y}} \cdot 100 = \frac{m_3 \cdot \left(\frac{\delta_\partial - \delta_y}{\delta_y \cdot \delta_\partial} \right)}{\frac{m_3}{\delta_y}} \cdot 100 = \frac{\delta_\partial - \delta_y}{\delta_\partial} \cdot 100, \%$$

де m_3 – маса зразка, кг; δ_∂ , δ_y – щільність, відповідно дійсна та уявна, кг/м³ (г/см³).

Уявна (вдавана) щільність (δ_y) руди визначається методом зважуванням зразка руди в парафіновій сорочці послідовно в повітрі і у воді.

Послідовність операцій наступна:

1. Виготовити зі шматка руди на шліфувальному колі кулястий, або квадратний зразок діаметром 15 – 25 мм. Зважити зразок на аналітичних терезах (m_3 , г).

2. Обв'язати зразок подвійною нитковою петлею. Тримаючи вільний кінець нитки, опустити зразок у розплавлений парафін, а потім швидко вийняти його на повітря. Зразок руди покриється водонепроникною парафіною сорочкою. Зважити зразок у парафіновій сорочці на аналітичних вагах ($m_{з+параф}$, г).

3. Обчислити об'єм парафіну ($V_{параф}$, см³),

$$m_{параф} = m_{з+параф} - m_3,$$

$$V_{параф} = \frac{m_{параф}}{\delta_{параф}},$$

де $\delta_{параф}$ – густина парафіну, взята з довідника ($\delta_{параф} = 0,844$ г/см³).

4. Зібрати установку, що складається з аналітичних ваг, одна з чашок яких замінена досліджуваним зразком у парафіновій сорочці. Зразок необхідно прикріпити ниткою до коромисла терезів і занурити у воду. Зразок втрачає у вазі стільки, скільки важить вода у його об'ємі.

5. Обчислити об'єм зразка з парафіною сорочкою:

$$V_{з+параф} = (m_{з+параф})_{воздух} - (m_{з+параф})_{вода}$$

де $(m_{з+параф})_{воздух}$ – вага зразка з парафіною сорочкою при зважуванні на повітрі; $(m_{з+параф})_{вода}$ – те ж, при зважуванні у воді.

6. Обчислити об'єм зразка без парафінової сорочки:

$$V_3 = V_{3 + \text{параф}} - V_{\text{параф}}$$

7. Обчислити уявну (вдавану) щільність зразка

$$\delta_y = \frac{m_3}{V_3}$$

8. Розрахувати коефіцієнт пористість зразку.

$$k_n = \frac{\delta_\delta - \delta_y}{\delta_\delta} \cdot 100, \%$$

Завдання

Визначте пористість агломерату, якщо відома маса зразку агломерату та маси зразку агломерату в парафінової сорочці зваженого у повітрі та у воді (табл. 10.1).

Дійсну щільність агломерату прийняти із попередньої роботи, а саме практичної роботи № 5.

Таблиця 10.1 – Вихідні дані

№ п/п	Вага, г		
	агломерату	агломерату в парафінової сорочці у повітрі	агломерату в парафінової сорочці у воді
1	51,84	54,63	36,13
2	86,91	91,27	56,43
3	62,02	65,16	43,67
4	93,67	98,31	60,16
5	71,56	75,02	50,17
6	99,10	104,00	62,55
7	75,82	79,60	51,41
8	88,24	93,40	48,66
9	96,92	100,99	69,47
10	121,99	127,32	80,40
11	56,86	59,77	40,54
12	88,05	92,50	56,56
13	56,72	59,97	37,36
14	81,20	85,93	46,68
15	71,83	75,40	49,44
16	84,64	89,63	47,08
17	86,34	90,21	60,91
18	113,37	118,62	72,79

19	95,46	99,63	67,00
20	99,04	104,46	56,44
21	49,00	52,03	31,67
22	72,77	77,31	40,27
23	63,07	66,43	42,70
24	96,33	101,15	60,80
25	80,60	84,28	57,20

Приклад рішення

Визначити пористість агломерату, якщо дійсна його щільність становить 4935 кг/м^3 (із попередньої практичної роботи №5); вага агломерату – $80,60 \text{ г}$; вага агломерату в парафіновій сорочці на повітрі – $84,28 \text{ г}$; вага агломерату в парафіновій сорочці у воді – $57,2 \text{ г}$.

Розв'язання

1. Визначаємо об'єм парафіну ($V_{\text{параф}}$, см^3) за виразами:

$$m_{\text{параф}} = m_{\text{з + параф}} - m_{\text{з}}$$

$$V_{\text{параф}} = \frac{m_{\text{параф}}}{\delta_{\text{параф}}}$$

$$V_{\text{параф}} = \frac{m_{\text{з+параф}} - m_{\text{з}}}{\delta_{\text{параф}}} = \frac{84,28 - 80,60}{0,844} = 4,36 \text{ г/см}^3.$$

2. Визначаємо об'єм зразка з парафіною сорочкою:

$$V_{\text{з + параф}} = ((m_{\text{з + параф}})_{\text{воздух}} - (m_{\text{з + параф}})_{\text{вода}}) \Delta, \text{ см}^3,$$

де $(m_{\text{з + параф}})_{\text{воздух}}$ – вага зразка з парафіною сорочкою при зважуванні у повітрі; $(m_{\text{з + параф}})_{\text{вода}}$ – те ж, при зважуванні у воді.

$$V_{\text{з + параф}} = (84,28 - 57,2) 1,0 = 27,08 \text{ см}^3,$$


3. Визначаємо об'єм зразка:

$$V_{\text{з}} = V_{\text{з + параф}} - V_{\text{параф}}$$

$$V_{\text{з}} = 27,08 - 4,36 = 22,72 \text{ см}^3.$$

4. Визначаємо уявну (вдавану) щільність зразка:

$$\delta_y = \frac{m_{\text{з}}}{V_{\text{з}}} = \frac{80,6}{22,72} = 3,548 \text{ г/см}^3.$$



5. Визначаємо пористість зразку:

$$k_n = \frac{\delta_d - \delta_y}{\delta_d} \cdot 100, \%$$
$$k_n = \frac{4935 - 3548}{4935} \cdot 100 = 28,12\%$$

Відповідь: Уявна (вдавана) щільність агломерату становить 3548 кг/м³, а його пористість 28,12%.



ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ ТА ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ

Вимоги до оформлення практичних робіт

Звіт з практичних робіт повинен містити:

- титульну сторінку, оформлену за зразком (додаток А);
- короткі теоретичні відомості за темою практичної роботи;
- завдання та вихідні дані відповідно до варіанту;
- розрахунки відповідно до варіанту.

Звіт готується у друкованому вигляді на аркушах білого паперу формату А4 (210x297мм). Вимоги до оформлення: шрифт Arial, 14 кегль, інтервал – 1,5; береги: верхній, нижній – 2 см, правий – 1,5 см; лівий – 3 см, з абзацним відступом 1,25 см [6-8].

Сторінки звіту нумерують наскрізно арабськими цифрами, номер сторінки проставляють праворуч у верхньому куті сторінки без крапки в кінці. Титульний аркуш входить до загальної нумерації сторінок звіту, але номер сторінки на титульному аркуші не проставляють [6].

Основний текст звіту про виконання практичної роботи оформлюють відповідно до вимог Національного стандарту України «Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки: Структура та правила оформлення. ДСТУ 3008:2015».

Список використаних джерел оформлюють відповідно до ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання».

Виконані практичні роботи у вигляді файлу *.docx або *.pdf розміщуються здобувачем освіти у відповідному розділі дисципліни на платформі Moodle. Перевірка та оцінювання практичних робіт здійснюється відповідно до робочої програми навчальної дисципліни.

Вимоги до оформлення індивідуальних завдань


Індивідуальні завдання з дисципліни «Переробка та збагачення корисних копалин» виконуються у вигляді звіту.

Виконане індивідуальне завдання повинно містити: титульну сторінку, оформлену за зразком (додаток Б), саме завдання та перелік використаних літературних джерел.

Основна частина звіту повинна містити:

- короткі теоретичні відомості за темою Індивідуального завдання;
- завдання та вихідні дані відповідно до варіанту;
- розрахунки відповідно до варіанту, при необхідності графіки.
- власні висновки здобувача освіти та оцінка викладеного матеріалу.

Недопустимим є механічне переписування матеріалу з літературних та інтернет-джерел без аналітичної обробки інформації.



Звіт готується у друкованому вигляді на аркушах білого паперу формату А4 (210х297мм). Вимоги до оформлення: шрифт Arial, 14 кегль, інтервал – 1,5; береги: верхній, нижній – 2 см, правий – 1,5 см; лівий – 3 см, з абзацним відступом 1,25 см [6-8].

Сторінки звіту нумерують наскрізно арабськими цифрами, номер сторінки проставляють праворуч у верхньому куті сторінки без крапки в кінці. Титульний аркуш входить до загальної нумерації сторінок звіту, але номер сторінки на титульному аркуші не проставляють [6].

Звіт про виконання індивідуального завдання оформлюють відповідно до вимог Національного стандарту України «Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки: Структура та правила оформлювання. ДСТУ 3008:2015».

Список використаних джерел оформлюють відповідно до ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання».

Виконане індивідуальне завдання у вигляді файлу *.docx або *.pdf розміщується здобувачем освіти у відповідному розділі дисципліни на платформі Moodle. Перевірка та оцінювання індивідуального завдання здійснюється відповідно до робочої програми навчальної дисципліни.



АКАДЕМІЧНІ ПОЛІТИКИ

Виконання практичних робіт та індивідуальних завдань повинно здійснюватись в суворому дотриманні принципів академічної доброчесності. Дотримання академічної доброчесності здобувачами освіти в Університеті передбачає:

- самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання (для осіб з особливими освітніми потребами ця вимога застосовується з урахуванням їхніх індивідуальних потреб і можливостей);

- посилення на джерела інформації у разі використання ідей, розробок, тверджень, відомостей;

- дотримання норм законодавства про авторське право і суміжні права;

- надання достовірної інформації про результати власної навчальної / наукової діяльності, використані методики досліджень і джерела інформації;

- академічний твір здобувача освіти може включати раніше створений ним академічний твір (повністю або частково) лише у разі, якщо це дозволено умовами навчального завдання [10].

Відповідно до Закону України «Про академічну доброчесність»: *«Академічна доброчесність – сукупність цінностей, принципів і заснованих на них правил, якими мають керуватися суб'єкти академічної діяльності під час провадження такої діяльності»* [9].

До числа порушень академічної доброчесності, що можуть трапитися при підготовки звіту, належать:


- 1) *Відчуження авторства* – це передача автором(и) створеного ним(и) на замовлення або без такого замовлення, платно чи безоплатно, академічного твору / частини іншій особі та подальше оприлюднення такого академічного твору / частини із зазначенням як автора особи, яка не є його(її) автором.

- 2) *Академічний плагіат* – оприлюднення (частково або повністю) наукових результатів, отриманих іншими особами, як результатів власного дослідження та/або відтворення опублікованих текстів інших авторів без зазначення авторства та/або оприлюднення в академічному творі (навчальній роботі) перекладу іншомовного твору (його частини) без зазначення авторства.

- 3) *Приписування авторства* – це оприлюднення твору, серед авторів якого зазначена особа, яка не брала участі у його створенні.

- 4) *Самоплагіат* – оприлюднення (частково або повністю) власних раніше опублікованих наукових результатів без зазначення інформації про джерело попереднього оприлюднення.

- 5) *Фабрикація* – вигадкування даних чи фактів, що використовуються в освітньому процесі або наукових дослідженнях.



6) *Фальсифікація* – свідомо зміна чи модифікація вже наявних даних, що призводить до створення завідомо неправдивої інформації щодо результатів академічної діяльності.

7) *Недоброчесне використання результатів, згенерованих штучним інтелектом* – це оприлюднення текстів, зображень, моделей, даних, інших результатів, згенерованих штучним інтелектом, як результатів власної академічної діяльності, якщо цей факт не зазначено в академічному творі чи супровідних матеріалах до нього.

8) *Недоброчесне оцінювання* – свідоме завищення або заниження оцінки результатів навчання здобувачів освіти.

9) *Несамостійне виконання завдання* – це виконання навчального завдання, зокрема під час оцінювання результатів навчання, із залученням не дозволених для використання джерел інформації, технічних засобів та/або недозволеної допомоги іншої особи /інших осіб.

10) *Недозволена допомога* – це надання допомоги, не передбаченої умовами навчального завдання, яка призвела або могла призвести до викривлення оцінки результатів академічної діяльності.

11) *Академічний саботаж* – це діяння (дія чи бездіяльність) учасника(ів) освітнього процесу, що перешкоджає реалізації прав, свобод і законних інтересів іншої особи в її академічній діяльності.

12) *Схиляння до порушення академічної доброчесності* – це прохання, вмовляння, доручення (вказівка), погроза, примушування, тиск чи будь-яка інша форма спонукання особи до вчинення порушення академічної доброчесності [10].

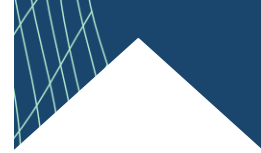
За порушення академічної доброчесності здобувачі освіти можуть бути притягнені до академічної відповідальності згідно з [10].

Використання ШІ в процесі виконання практичних робіт та індивідуальних завдань не заборонене, якщо воно здійснюється відповідально і з дотриманням вимог «Політики ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» щодо використання технологій генеративного штучного інтелекту в освітній та науковій діяльності» [12].



ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Білецький В.С., Олійник Т.А., Смирнов В.О., Скляр Л.В. Основи техніки та технології збагачення корисних копалин : навч. посібн. Київ : Видавництво Ліра-К, 2020. 634 с. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/d9d9ed68-5767-4926-a3b3-5f3d0cfb958c/content>
2. Смирнов В. О., Сергєєв П. В., Білецький В. С. Технологія збагачення вугілля : навч. посіб. Донецьк : Східний видавничий дім, 2011. 476 с. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/162876092.pdf>
3. Смирнов В. О., Білецький В. С. Переробка корисних копалин. Львів : Видавництво «Новий Світ-2000», 2020. 607 с. URL: <https://ns2000.com.ua/wp-content/uploads/2019/11/Pererobka-korysnykh-kopalyn.pdf>
4. Младецький І. К., Пілов П. І. Технологічні розрахунки показників збагачення корисних копалин : навч. посібн. Дніпропетровськ : НГУ, 2005. 156 с.
5. Младецький І. К., Пілов П. І., Левченко К. А., Дрешпак О. С. Теорія сепараційних процесів : навч. посібн. Дніпро : Журфонд, 2024. 204 с.
6. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки: Структура та правила оформлювання. [Чинний від 2017-07-01]. Вид. офіц. Київ, 2016. 26 с.
7. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ, 2016. 16 с.
8. Положення про підготовку та затвердження навчально-методичних розробок у ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» : веб-сайт. URL : <https://metinvest.university/data/file/56/7c/567c49edaba543cd974f698a8df6f8eb.pdf>
9. Про академічну доброчесність : Закон України від 18.12.2025 р. № 4742-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4742-20#Text> (дата звернення: 08.05.2026).
10. Положення про академічну доброчесність здобувачів вищої освіти та працівників ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» : МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА : веб-сайт. URL: <https://metinvest.university/data/file/c1/c9/c1c998364cec4bdbb42478109c72e17c.pdf> (дата звернення: 08.05.2026).
11. РЕКОМЕНДАЦІЇ щодо запобігання академічному плагиату та його виявлення в наукових роботах (авторефератах, дисертаціях, монографіях, наукових доповідях, статтях тощо) : лист МОН України від 15.08.2018 р. №1/11-8681. URL: <https://metinvest.university/data/file/6e/e6/6ee695d4571a43359e7c5db85d0df837.pdf> (дата звернення: 08.05.2026).



12. Політика ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» щодо використання технологій генеративного штучного інтелекту в освітній та науковій діяльності : МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА : веб-сайт. URL : <https://metinvest.university/data/file/f8/53/f853768638e74bad8fdc7e59c54718ef.pdf>



ДОДАТОК А
Приклад титульного аркуша

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Циклова комісія з гірництва та електроінженерії

ЗВІТ
з практичної роботи №__

з навчальної дисципліни

«ПЕРЕРОБКА ТА ЗБАГАЧЕННЯ
КОРИСНИХ КОПАЛИН»

Варіант №__

Виконав:
Здобувач освіти гр. _____

(Прізвище Ім'я По батькові)

Перевірив:

(Вчене звання, посада, П.І.Б.)

Запоріжжя, 20XX



ДОДАТОК Б
Приклад титульного аркуша

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Циклова комісія з гірництва та електроінженерії

Індивідуальне завдання №__

з навчальної дисципліни

**«ПЕРЕРОБКА ТА ЗБАГАЧЕННЯ
КОРИСНИХ КОПАЛИН»**

Варіант №__

Виконав:
Здобувач освіти гр. _____

(Прізвище Ім'я По батькові)

Перевірив:

(Вчене звання, посада, П.І.Б.)

Запоріжжя, 20XX



Навчально-методичне видання

**Левченко Костянтин Анатолійович
Кушнірук Наталія Володимирівна
Михайлова Діна Олегівна**

**ПЕРЕРобКА ТА ЗБАГАЧЕННЯ
КОРИСНИХ КОПАЛИН:
методичні вказівки
до виконання практичних робіт та індивідуальних завдань**

Самостійне електронне мережеве видання

Публікується в авторській редакції