

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ МЕТАЛУРГІЇ

Кафедра Металургії

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проект

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему "Вдосконалення технології підготовки
путьи червоних шлаків змнозального
виробництва до утилізації"

Виконав: студент 2 курсу, групи МЕТТ-18-2-м-а
спеціальності 136 "Металургія"

(код і назва спеціальності)

освітньої програми "Металургія кольорових металів"

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

В. В. Палак

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, доцент, к.т.н. Нестеренко Т. М.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент доцент, доцент, к.т.н. Карченко В. О.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя

2020

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет Металургії
 Кафедра Металургії
 Рівень вищої освіти другий (магістерський)
 Спеціальність 136 „Металургія“
(код та назва)
 Освітня програма „Металургія кальцєвих металів“
(код та назва)
 Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри [підпис]
 « 12 » вересня 20 19 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)**

Павяк Віктор Вікторович
(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1 Тема роботи (проекту) „Вдосконалення технології підготовки цупоти червоних металів швидкоземного виробництва до утилізації“
- керівник роботи Нестеренко Тетяна Михайлівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом ЗНУ від « 10 » вересня 20 19 року № 1540-с
- 2 Строк подання студентом роботи 27 грудня 2019 р.
- 3 Вихідні дані до роботи Відвальні шлами українських підприємств швидкоземного виробництва; розмір часток до 20 мкм.
- 4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ 1 Аналітична частина. 2 Методика дослідження. 3 Дослідницька частина. 4 Оцінка праці та техногенна безпека. 5 Економічна частина. Висновки. Додаток посилання.
- 5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1 Аналітична частина - 7 л. 2 Методика дослідження - 1 л. 3 Дослідницька частина - 4 л. 4 Оцінка праці та техногенна безпека - 1 л. 5 Економічна частина - 1 л.

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Нестеренко П. М., доцент	<i>Мам</i> 12.09.2019	<i>Мам</i> 22.11.2019
2	Нестеренко П. М., доцент	<i>Мам</i> 12.09.2019	<i>Мам</i> 25.11.2019
3	Нестеренко П. М., доцент	<i>Мам</i> 12.09.2019	<i>Мам</i> 28.12.2019
4	Нестеренко П. М., доцент	<i>Мам</i> 12.09.2019	<i>Мам</i> 28.12.2019
5	Нестеренко П. М., доцент	<i>Мам</i> 12.09.2019	<i>Мам</i> 28.12.2019

7 Дата видачі завдання 12.09.2019 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	07.10.2019	Виконано
2	Аналітична частина	21.10.2019	Виконано
3	Методика дослідження	31.10.2019	Виконано
4	Дослідницька частина	29.11.2019	Виконано
5	Охорона праці та техногенна безпека	14.12.2019	Виконано
6	Економічна частина	23.12.2019	Виконано
7	Гrafічна частина	27.12.2019	Виконано

Студент *[підпис]* В. В. Пшчак
(підпис) (ініціали та прізвище)Керівник роботи (проекту) *Мам* П. М. Нестеренко
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер *[підпис]* С. В. Баший
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Поляк В.В. Вдосконалення технології підготовки пульпи червоних шламів глиноземного виробництва до утилізації.

Кваліфікаційна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 136 – Металургія, науковий керівник Т.М. Нестеренко. Запорізький національний університет. Інженерний інститут. Факультет металургії, кафедра металургії. 2020.

Розглянуто склад і властивості червоних шламів. Проаналізовано сучасні способи підготовки пульпи червоних шламів до переробки на товарні продукти. Для зневоднення червоних шламів вибрано фільтрування. Проведено лабораторні дослідження впливу технологічних умов фільтрування пульпи червоних шламів на швидкість процесу. Швидкість фільтрування пульпи збільшується з підвищенням температури, розбавленням пульпи, дії вібрації

Ключові слова: БОКСИТ, ГЛИНОЗЕМ, ЗНЕВОДНЕННЯ, ПУЛЬПА, ЧЕРВОНИЙ ШЛАМ, ШВИДКІСТЬ ФІЛЬТРУВАННЯ.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ
КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА

1. Поляк В. В., Нестеренко Т. М. Дослідження підготовки червоних шламів до утилізації. Металургія як основа сучасної промисловості : матеріали ХХІV науково-техн. конф. студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів (м. Запоріжжя, 26–29 лист. 2019 р.). Т. І. Запоріжжя, 2019. С. 8–9.

2. Поляк В. В., Нестеренко Т. М. Про технології підготовки червоних шламів до переробки. Збірник наукових праць магістрантів факультету металургії ІІ ЗНУ. Вип. 1 (15). Запоріжжя: ІІ ЗНУ, 2019. С. 187-191.

ABSTRACT

Polyak V.V. The Improvement of the Preparation Technology of Red Pulp from Alumina Production to Utilization.

Qualifying work for obtaining a master's degree in higher education by specialty 136 – Metallurgy, scientific supervisor T.N. Nesterenko. Zaporizhzhya National University. Engineering Institute. Faculty of Metallurgy, Department of Metallurgy. 2020.

The composition and properties of red mud are considered. Modern preparation methods of pulp of red mud for processing into marketable products are analyzed. Filtration is selected to dehydrate the red mud. Laboratory researches on the influence of technological conditions for the filtration of red mud pulp on the process speed carried out. The filtration speed of the pulp increases with growing temperature, pulp dilution, the action of vibration.

Keywords: BAUXITE, ALUMINA, DEHYDRATE, PULP, RED MUD, FILTRATION SPEED.

АННОТАЦИЯ

Поляк В.В. Усовершенствование технологии подготовки пульпы красных шламов глиноземного производства к утилизации.

Квалификационная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 136 – Metallургия, научный руководитель Т.Н. Нестеренко. Запорожский национальный университет. Инженерный институт. Факультет металлургии, кафедра металлургии. 2020.

Рассмотрены состав и свойства красных шламов. Проанализированы современные способы подготовки пульпы красных шламов к переработке на товарные продукты. Для обезвоживания красных шламов выбрано фильтрование. Проведены лабораторные исследования по изучению влияния технологических условий фильтрования пульпы красных шламов на скорость процесса. Скорость фильтрования пульпы увеличивается с повышением температуры, разбавлением пульпы, под воздействием вибрации.

Ключевые слова: БОКСИТ, ГЛИНОЗЕМ, ОБЕЗВОЖИВАНИЕ, ПУЛЬПА, КРАСНЫЙ ШЛАМ, СКОРОСТЬ ФИЛЬТРОВАНИЯ.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 106 с., 28 табл., 38 рис., 2 додатки, 29 джерел.

БОКСИТ, ГЛИНОЗЕМ, ЗНЕВОДНЕННЯ, ПУЛЬПА, ЧЕРВОНИЙ ШЛАМ, ШВИДКІСТЬ ФІЛЬТРУВАННЯ.

Предмет дослідження – вплив на швидкість фільтрації червоного шламу технологічних чинників.

Об'єкт дослідження – процес підготовки червоних шламів до переробки.

Мета роботи – дослідити особливості та вибрати технологічні умови фільтрування пульпи червоних шламів глиноземного виробництва.

Методи дослідження – методика фільтрування пульпи; методика визначення констант фільтрування графічним методом; обробка та аналізи отриманих результатів, методика термодинамічних розрахунків.

У розділі “Аналітична частина” розглянуто фізико-хімічні властивості червоного шламу, теоретичні основи згущення, промивання та фільтрування червоного шламу, схеми промивання червоного шламу, вплив коагулянтів і флокулянтів на швидкість фільтрації пульпи. Способи переробки червоного шламу, способи зневоднення червоного шламу. Проаналізовано технологічні особливості способів переробки і використання червоного шламу.

Досліджено вплив факторів і технологічних умов фільтрування пульпи червоних шламів на швидкість фільтрування. Побудовано графічні залежності та обчислено лінії тренду для залежностей констант фільтрування для різних співвідношень твердої фази і рідини у складі пульпи та впливу вібрації на процес фільтрування.

Наведено опис шкідливих та небезпечних чинників під час дослідження підготовки червоних шламів до переробки, засоби захисту та попередження їх впливу. Побудовано стрічковий календарний графік проведення науково-дослідної роботи. Розраховано кошторис витрат на проведення науково-дослідної роботи.

ЗМІСТ

Вступ	9
1 Аналітична частина	11
1.1 Утворення червоних шламів	11
1.1.1 Утворення червоного шламу при переробці бокситу Байєра.....	11
1.1.2 Утворення червоного шламу при переробці бокситу способом спікання	13
1.1.3 Згущення і промивка	14
1.2 Склад і властивості червоного шламу	21
1.3 Фільтрація червоного шламу	25
1.3.1 Фізичне зневоднення червоного шламу	26
1.3.2 Теплове зневоднення червоного шламу	28
1.3.3 Хімічні методи зневоднення і розведення пульпи червоного шламу компонентами	30
1.4 Способи утилізації червоного шламу	30
1.4.1 Відновлення заліза з червоного шламу і використання червоного шламу як портландцемент	31
1.4.2. Переробка червоного шламу на сталь, глиноземомісткий шлак	33
1.4.3 Переробка червоного шламу на будівельні матеріали	35
2 Методика дослідження	38
2.1 Характеристика сировини, матеріалів та обладнання.....	38
2.2 Методика зневоднення червоного шламу фільтруванням.....	39
2.3 Методика визначення констант фільтрування червоного шламу.....	42
2.4 Методика проведення термодинамічних розрахунків.....	45
3 Дослідницька частина	52
3.1 Дослідження фільтрування червоного шламу при співвідношенні $r:t = 6:1$	52
3.2 Дослідження фільтрування червоного шламу при співвідношенні $r:t = 8:1$	56
3.3 Дослідження впливу вібрації на фільтрування червоного шламу при співвідношенні $r:t = 8:1$	57

3.4	Математична обробка експерименту і застосування ПЕОМ.....	61
3.5	Результати досліджень.....	64
3.6	Термодинамічний аналіз розчинення сполук, що містяться в червоному шламі.....	67
4	Охорона праці та техногенна безпека.....	72
4.1	Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих чинників, що впливають на дослідника в хіміко-металургійній лабораторії.....	72
4.2	Заходи з поліпшення умов праці.....	74
4.3	Виробнича санітарія.....	76
4.4	Електробезпека.....	77
4.5	Заходи пожеженої безпеки.....	81
5	Економічна частина.....	83
5.1	Організація виконання науково-дослідницької роботи.....	83
5.1.1	Планування етапів науково-дослідницької роботи.....	83
5.1.2	Визначення трудомісткості виконання НДР.....	84
5.1.3	Визначення числа виконавців НДР.....	85
5.1.4	Розрахунок тривалості етапів НДР.....	85
5.1.5	Побудова стрічкового графіка проведення науково-дослідної роботи.....	86
5.2	Розрахунок кошторису витрат на проведення дослідження.....	88
5.2.1	Розрахунок витрат на основні матеріали.....	88
5.2.2	Розрахунок витрат на амортизацію обладнання.....	89
5.2.3	Розрахунок витрат на електроенергію.....	90
5.2.4	Розрахунок заробітної плати й відрахувань.....	90
5.2.5	Накладні витрати.....	93
5.2.6	Зведений кошторис витрат на проведення науково-дослідної роботи.....	94
	Загальні висновки.....	95
	Перелік джерел посилання.....	96
	Додаток А. Тези доповіді на XXIV науково-технічній конференції ІІ ЗНУ.....	100
	Додаток Б. Стаття у “Збірник наукових праць магістрантів факультету металургії.....	103

ВСТУП

В алюмінієвій промисловості до найбільших за кількістю відходів належать червоні шлами – твердий залишок гідрохімічної переробки бокситів та вилучення з нього глинозему. У світі накопичено понад 1,5 млрд. т червоних шламів. Кожне шламосховище займає близько 50-100 га землі висотою 30-50 м, містить десятки млн. т високовологого (60-90 %) тонкодисперсного та пластичного матеріалу [1].

Сучасні українські підприємства глиноземного виробництва (ТОВ «Миколаївський глиноземний завод» (МГЗ), ПАТ «Запорізький алюмінієвий комбінат» (ЗАЛК)), не володіють технологією комплексної переробки бокситів і складають відходи в шламосховища, вважаючи подальшу переробку економічно недоцільною. Внаслідок такої ситуації створюється екологічна небезпека для промислових регіонів [2]. Відходами виробництва глинозему з бокситів та іншої сировини, що містить глинозем, є червоні шлами. При виробництві 1 т товарного алюмінію за способом Байєра утворюється близько 3 т червоного шламу. Так, у шламосховищі ТОВ «МГЗ» зібрано 15-17 млн. т червоного шламу [3]. Червоний шлам сам по собі не є отруйним. Однак у виробництві глинозему застосовується лужний розчин, і саме червоний шлам разом з лугом несе небезпеку. Луг спричинює опіки шкіри, слизових оболонок. Важкі метали, що містяться в шламів, можуть привести до зниження інтелектуального розвитку, уваги і вміння зосередитися у дітей; у дорослих – до підвищення артеріального тиску, оніміння або поколювання в кінцівках, болю у м'язах, головного болю, болю у животі, зниження пам'яті та імунітету, неокрів'я, ураження печінки та нирок [4]. Слід зазначити, що в урядовому рішенні про будівництво ТОВ «МГЗ» передбачалася повна переробка червоних шламів з початком експлуатації заводу, проте це не було здійснено. Шламосховище вже близько до наповнення і проблема вторинного використання шламу стоїть дуже гостро. Йдеться не тільки про використання його цінних компонентів, але і зменшення техногенного тиску на навколишнє середовище [3,4]. Враховуючи особливості хімічного складу (високий вміст

оксидів заліза і алюмінію) та високу дисперсність (кількість часточок розміром до 5 мкм досягає 80 %) у першу чергу практичний інтерес становлять методи переробки червоного шламу з максимальним виділенням компонентів у товарні продукти. Червоні шлами є практично невивченим видом відходів українського глиноземного виробництва.

Утилізація червоних шламів у різних галузях промисловості потребує вирішення складного завдання організації та впровадження на глиноземних підприємствах фільтрування і сушіння червоних шламів, вологість яких має становити до 15-20 %. Проте за сучасними схемами переробки промита шламова пульпа, що потрапляє у відвал, має вологість 75-80 %. Тому особливо актуальним стає завдання розробки технології підготовки червоних шламів до переробки та їх утилізації, створення якої дозволить вирішити низку як технологічних, так і екологічних проблем нашої країни.

Мета роботи – дослідити особливості та вибрати технологічні умови фільтрування пульпи червоних шламів глиноземного виробництва.

Завдання роботи:

1. Проаналізувати сучасний склад і властивості червоних шламів.
2. Проаналізувати сучасні способи зневоднення пульпи червоних шламів для подальшої переробки .
3. Дослідити технологічні особливості фільтрування червоних шламів.

Наукова новизна:

1. Термодинамічним аналізом звичайного розчинення компонентів пульпи червоних шламів встановлено причину їх зволоження.
2. Експериментально досліджено вплив розбавлення пульпи, вібраційної дії на перебіг процесу і швидкість фільтрування та зневоднення.

Практичне значення:

1. Встановлено, що швидкість фільтрування пульпи збільшується з підвищенням температури, розбавленням пульпи, дії вібрації.
2. Встановлено, що висока дисперсність червоних шламів спричинює їх низьку здатність до фільтрування.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Утворення червоних шламів

1.1.1 Утворення червоних шламів при переробці бокситу Байєра

Відходи глиноземного виробництва, що утворюються під час переробки бокситу, залежать від типу використаної сировини. Класифікація відходів переробки бокситів показана на рис. 1.1.

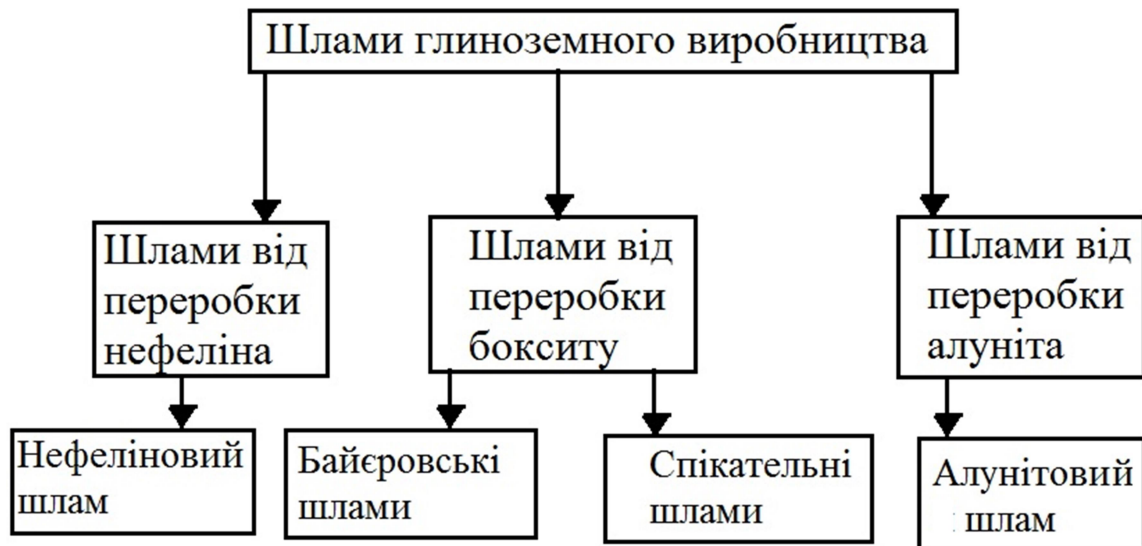
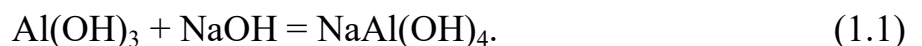


Рисунок 1.1 – Відходи, що утворюються при видобуванні алюмінію [5]

Червоний шлам утворюється при переробці бокситів за способом Байєра (рис. 1.2). В основі способу Байєра лежить оборотна хімічна реакція:



Попередньо подрібнений боксит піддають вилуговуванню протягом 1-2 годин обіговим лужним розчином з каустичним модулем $\alpha_k = 3,5$. Для гібситових бокситів вилуговування відбувається протягом 1 години при температурі близько 100 °С розчинами з концентрацією Na_2O не більше 150 г/л. Для бокситів, що важко розкладаються, до складу яких входять беміт або

діаспор, вилуговування відбувається при таких умовах: вилуговування в автоклавах при температурі 230 °С, концентрація обігового розчину 300 г/л Na_2O , добавка вапна 3-5 % від маски бокситу.

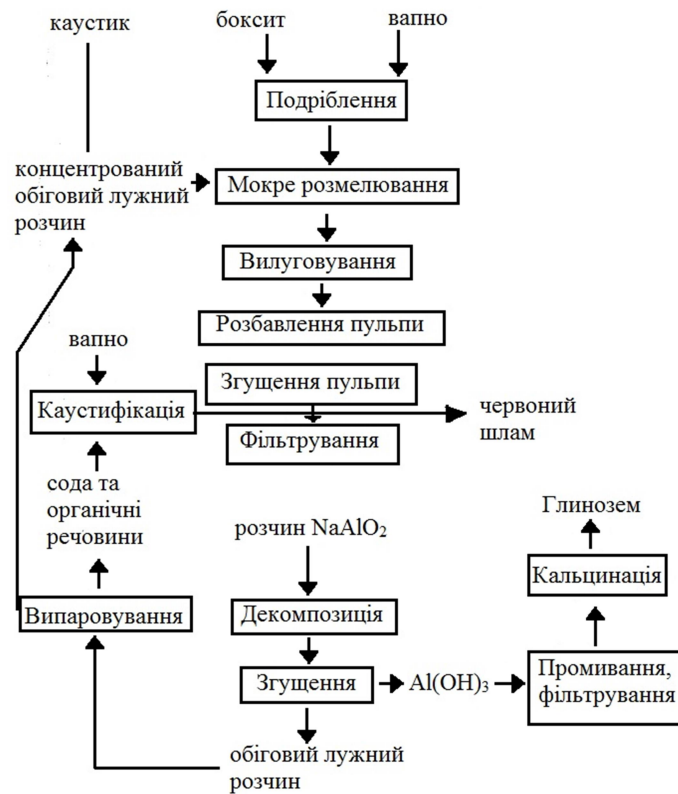


Рисунок 1.2 – Переробка бокситу за способом Байєра [6]

При вилуговуванні бокситів обіговими розчинами протікають [6]:

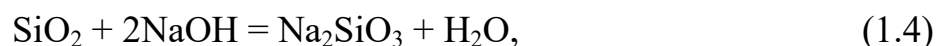
а) для гібситу:

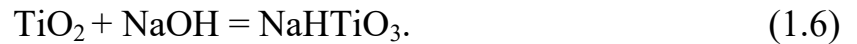


б) для беміту:



Паралельно реакції (1.2) і (1.3) паралельно протікають і інші реакції, обумовлені наявністю розчинних домішок у бокситі та що визивають у підсумку втрати алюмінію і лугу у вигляді гідро алюмосилікати(ГАСН):





На етапі (1.5) утворюється відходи у вигляді червоного шламу.

1.1.2 Утворення червоного шламу при переробці бокситу способом спікання

Спосіб спікання (рис 1.3) для отримання глинозему з висококремнистих (до 6-8 % SiO_2) бокситів з кремнієвим модулем менше 5-7 і з нефелінових руд. Спосіб придатний також для переробки будь-якої алюмінієвої сировини.

Приготування шихти зводиться до дроблення і подрібнення вихідних матеріалів, дозуванні компонентів шихти і коригування хімічного складу шихти - приготування шихти з необхідними фізико-хімічними характеристиками: хімічний склад, вологість, крупність, співвідношення компонентів шихти. Суть методу спікання полягає в отриманні твердих алюмінатів шляхом їх спікання при високих (~ 1300 °C) температурах і в подальшому вилуговуванні отриманого спека. Спікання ведуть в трубчастих обертових печах діаметром до 5 м і довжиною до 185 м. Температура в печі підвищується від 200-300 °C в місці подачі пульпи до ~ 1300 °C в розвантажувальному кінці у пальника. При нагріванні оксид алюмінію перетворюється в водорозчинний алюмінат натрію:



Гідроксид алюмінію випадає в осад. Далі проводять ті ж технологічні операції, що і в способі Байера: відділення $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ від розчину і кальцинації - зневоднення гідроксиду алюмінію у трубчастих печах з одержанням глинозему Al_2O_3 . Червоний шлам відділяють при згущенні і промивці.

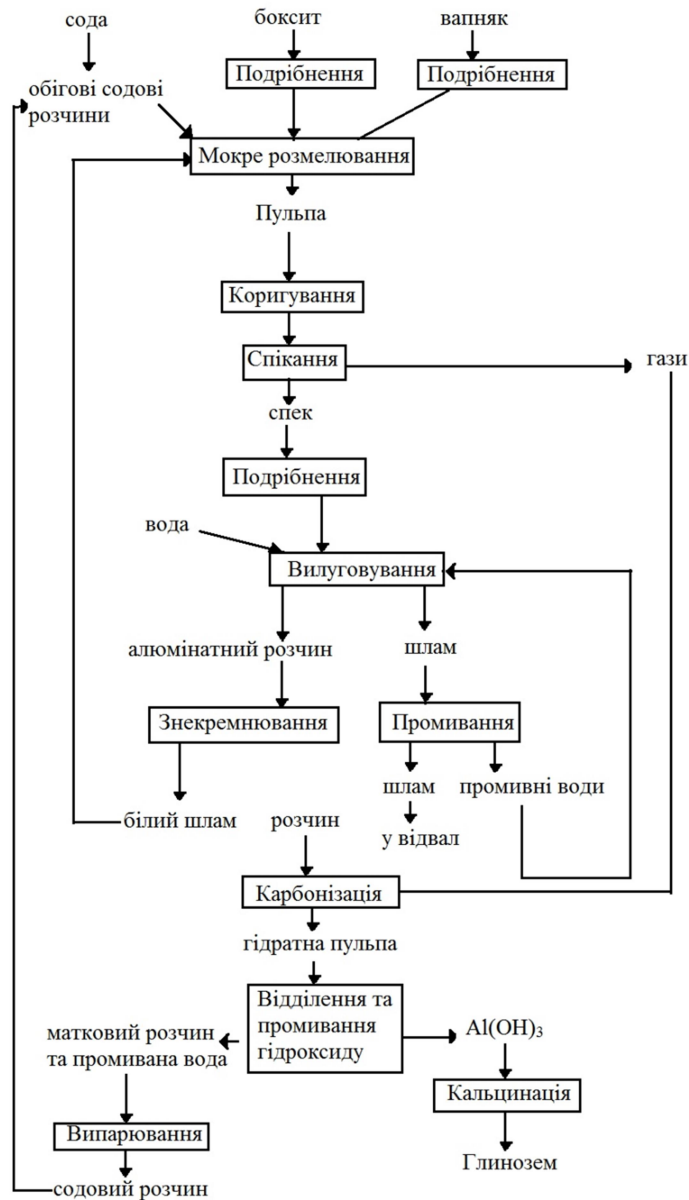


Рисунок 1.3 – Переробка бокситу способом спікання [6]

1.1.3 Згущення і промивка

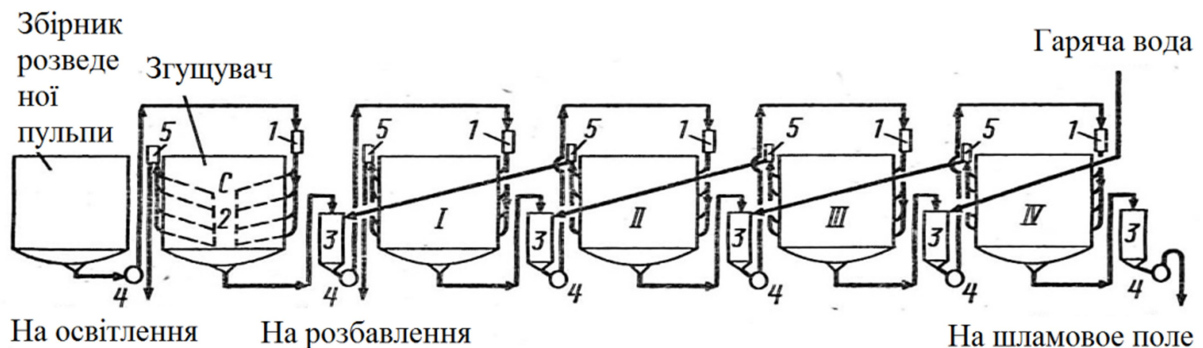
Для забезпечення якісного згущення і промивання шламу технологічні апарати – згущувачі і промивачі – встановлюють послідовно з організацією схеми протитечійного промивання шламу.

Сутність схеми полягає в тому, що промивна вода, отримана після промивання червоного шламу (перша промислова вода) використовується для розведення алюмінатної пульпи, що надходить із вилугування. Розведену

пульпу направляють у згущувачі(с). У результаті згущення одержують прояснений алюмінатний розчин (злив) і згущений червоний шлам.

Типова схема згущення та промивання шламу приведена на рис. 1.1. Згущена пульпа з згущувача 2 і слив з зливний коробки 5 промивала II змішуються в баку 3, звідки пульпа перекачується відцентровим насосом 4 в живильну коробку 1 промивала I.

Промивний розчин з промивала I йде на розведення міцної пульпи, а згущений шлам промивала I змішується зі зливом промивала II і т.д.



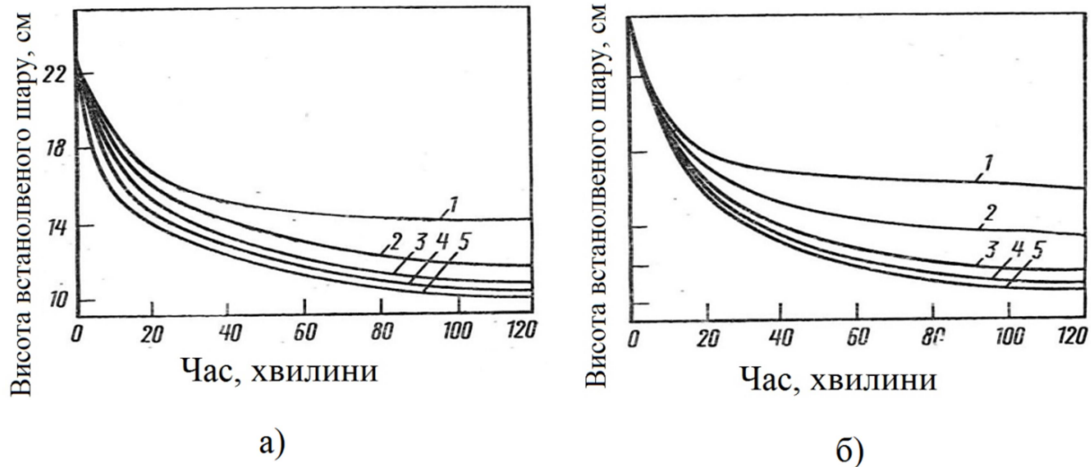
1 – живильну коробку; 2 – згущувач;

3 – бак; 4 – насос; 5 – зливний коробок

Рисунок 1.4 – Схема чотирикратної протиточного промивання червоного шламу [4]

На швидкість відстоювання і якість ущільнення червоного шламу впливають мінералогічний склад бокситів, крупність частинок шламу, умови вилуговування бокситу і певні інші фактори. На рис. 1.5 показано вплив концентрації певних мінералів на швидкість відстоювання [7].

Таким чином, велика концентрація SiO_2 , TiO_2 в червоному сповільнює процес відстоювання червоного шламу. В воді і слабо концентрованому алюмінат норму розчині швидкість промивання найбільша.



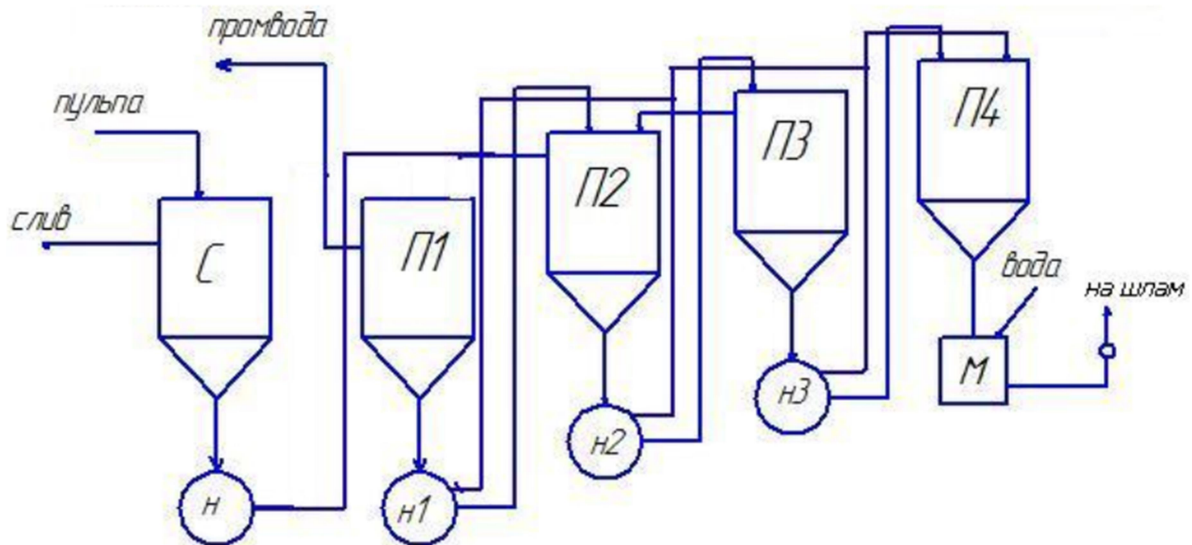
а) 1 – 13,3 %; 2 – 9,7 %; 3 – 6,6 %; 4 – 3,2 %; 5 – 1,0 %.

б) 1 – 3,3 %; 2 – 2,5 %; 3 – 1,7 %; 4 – 0,7 %; 5 – без
добавки; пунктирна крива – 3 % TiO₂ + 3 % CaO

Рисунок 1.5 – Вплив концентрації хімічних речовин, що містяться в червоному шламi (SiO₂ в складі каоліцитi (а), TiO₂ (б)), на швидкість відстоювання червоного шламу [4]

Протиточно-каскадна схема згущене і промивання шламу. Пульпа подається в згущувач, де розділяється на слив і згущений шлам (рис.1.6). Насосом шлам перекачується в батарею П1-П4. Кратність промивок від 4 до 6. У кожному промивач використовується один принцип промивання. Шлам з підвищеною концентрацією рідкої фази спочатку змішують з пром. водою, де концентрація значно нижче.

В результаті концентрація рідкої фази в шламi знижується і в промивач П4 як згущеного продукту - відмитий шлам. Цей шлам вивантажують в мішалки шламовидалення, там же розріджують водою для кращого транспортування шламу в відвал. Промивна рідина має протитечійне рух, це підвищує якість відмивання і зменшує кратність. Відповідно до цього свіжа гаряча вода подається в останній промивач і рухається самопливом (перепад промивачів за рівнем 20-30 см). Міцна промивна вода використовується на розведенні автоклавної пульпи.



З - згущувач, П1-П4 - промивач,
 Н - відцентрові насоси,
 М - мішалка шламового відділу

Рисунок 1.6 – Протитечійно-каскадна схема згущення і промивання шламу [7]

Пульпа подається в завантажувальну трубу і розтікається в відстійнику радіально, в напрямку зливного жолоба з невеликою горизонтальною швидкістю. Під дією сил тяжіння частинки шламу опускаються вниз.

Протитечійна схема з проміжною репульпацією зображена на рис. 1.7.

Вертикальна швидкість визначається за формулою Стокса:

$$W = d^2 (\rho_1 - \rho_2) m$$

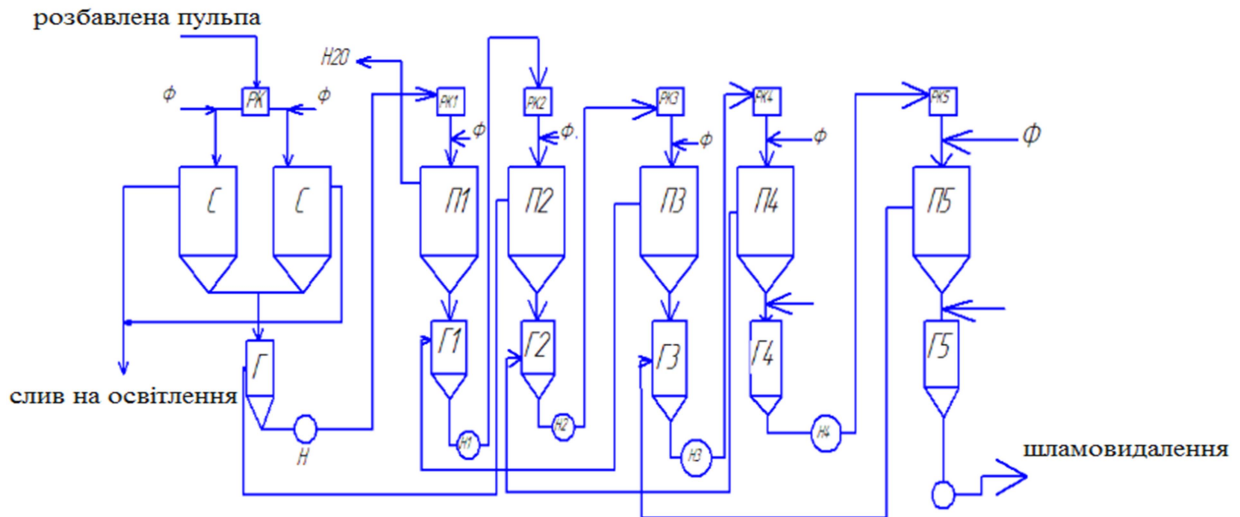
де d - діаметр частинки шламу,

ρ_1, ρ_2 - щільності шламу і алюмінієвого розчину,

m - коефіцієнт в'язкості розчину.

Забезпечує самоплив пром. води, що зменшує кількість насосів і низьке вспінення розчинів.

При невеликому масштабі виробництва шлам промивається в одній використовуються однарусна проти точно каскадна схема промивання і згущення, при великому виробництві працюють кілька ниток промивачів і використовується протитечійна схема з проміжною репульпацією.



РК - розподільні коробки,

Г - гідрозмішувачів,

Н - насоси, Ф - флокулянт

Рисунок 1.7 - Протитечійна схема з проміжною ре пульсацією [7]

Вплив коагулянтів і флокулянтів на швидкість фільтрації пульпи і розмірів частинок червоного шламу. Пульпа, що складається з розчину алюмінату натрію і червоного шламу в якій шлам відокремлюють від розчину відстоюванням і відправляють на відвал. Основна маса червоного шламу складається з дуже дрібних частинок (розміром 1-10 мкм і навіть менше), які під дією тяжіння через незначні розміри осідають дуже повільно. Для пришвидшення осадження частинок червоного шламу в пульпу додають флокулянти і коагулянти.

У алюмінатному розчині частинки шламу мають однойменний електричний заряд і тому взаємно відштовхуються (за рахунок дії кулонівських сил), що перешкоджає їх злиттю і утворенню більших пластівців [8].

При згущенні окремі частинки шламу, заряджені однойменними зарядами, завдяки наявності подвійного електричного шару, під впливом добавок – коагулянтів і флокулянтів втрачають заряд, стають електронейтральними, і при цьому різко зменшується товщина гідратної плівки на поверхні частинок.

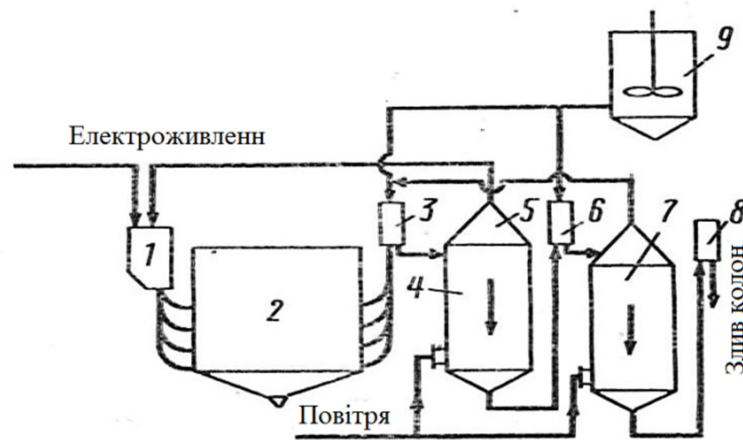
Таблиця 1.1 – Використання флокулянтів і коагулянтів при згущенні і фільтруванні червоного шламу [8]

Речовина	Дозування	Стан використання
Флокулянт		
Акриламіддопропильтри метиламмоній хлорид (АРТАС)	0,1111 г/м ³	У глиноземному виробництві в сучасний час
Вівсюга	1,5 кг/т	У глиноземному виробництві в 90-х роках в країнах СНГ
Ржана мука	1,4 кг/т	У глиноземному виробництві в 90-х роках в країнах СНГ
Крохмал	1 кг/т	У глиноземному виробництві в 90-х роках у США
Поліакриламід марок ППА – СГС, ППА – СГК, ППА-ЗС	0,1 - 10 г/м ³	У глиноземному виробництві сучасний час (промивка відбувається в 3 – 10 раз швидше, ніж при використанні ржаної муки, крохмалу)
Коагулянт		
Donau Klar Clever	0,1211 г/м ³	У глиноземному виробництві в сучасний час

Між частинками з'являються сили зчеплення, і в результаті утворюються пластівці. Ці пластівці мають більшу вагу і тому швидше осідають під дією тяжіння. В 90 роках як коагулянт використовували ржану муку і крохмаль, проте в сучасний час використовують модифікації поліакриламідів. Фільтрація при використанні модифікацій поліакриламідів проходить швидше в 3-10 раз, ніж при використанні ржаної муки і крохмалю.

На рис.1.8 показаний флотофлокуляційний метод освітлення. Суть цього способу полягає в наступному. Злив згущувача 2 змішується з вибірково чинним поверхнево активним полімером і з зливний коробки 3

подається в верхню частину протитечійного флотаційного колонки 4, де рухається вниз назустріч піднімається бульбашок повітря.

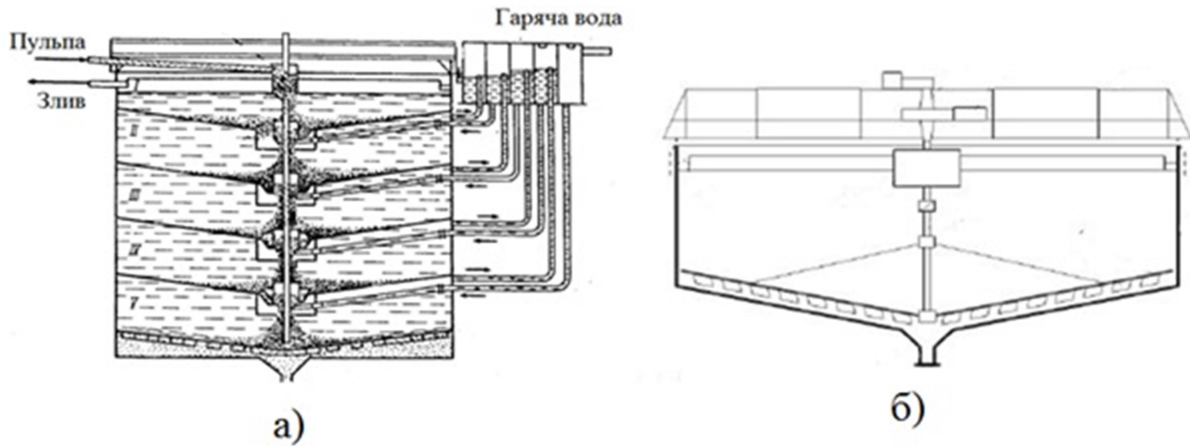


- 1 – змішувач попереднього освітлення; 2 – згущувач;
 3,6,8 – зливні коробки; 4,7 – флотаційні колонки;
 5 – конічне звуження колонки; 9 – ємність

Рисунок 1.8 - Схема флотофлокуляційного освітлення алюмінатного розчину від червоного шламу [4]

Пінний продукт, збагачений агрегований суспензією, потоком флотаційного повітря з конічного звуження 5 колонки спрямовується на операцію попереднього освітлення 1. Для підвищення надійності процесу очищення слив першої колонки з додатковим доданим полімером з ємності 9 продувається повітрям у другій колонці 7. пінний продукт другої колонки подається на вхід першої [4]. Багатокамерний і однокамерний згущувачі показані на рис.1.9.

Основними перевагами багатокамерних згущувачів перед однокамерними є скорочення виробничих площ в цеху на установку згущувачів і економія матеріалів на їх спорудження. Однак в багатокамерних згущувачах висота камер нижче, ніж в однокамерних, тому зменшуються час перебування шламу в зоні ущільнення, отже, знижується ступінь його ущільнення.



а) п'ятикамерний згущувач

б) однокамерний згущувач

Рисунок 1.9 – Схеми згущувачів [4,9]

Це в свою вимагає збільшення введення води в систему на промивку шламу. Більш низький ступінь ущільнення шламу - основний недолік багатокамерних згущувачів.

1.2 Склад і властивості червоного шламу

Хімічний аналіз червоного шламу показує, що він містить близько 50- 60 % оксиду заліза, 20-30 % оксиду алюмінію та незначну кількість інших корисних компонентів. Отже, червоний шлам може служити додатковим сировинним джерелом техногенного походження для ряду галузей промисловості [1,2]. Пульпа червоного шламу і висушений червоний шлам показано на рис.1.10.

В червоному шламі присутні наступні оксиди, гідроксиди, хлориди, карбонати алюмінію, силіцію, кальцію, натрію, заліза і титану: TiO_2 , $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 0.6SiO_2 \cdot 4.9H_2O$, $2CaO \cdot SiO_2$, $Na_6Ca_2[Al_6Si_6O_{24}](CO_3)_2 \cdot nH_2O$, $NaAlCO_3(OH)_2$, $\alpha-FeO(OH)$, Fe_2O_3 , $[Ca_2Al(OH)_6]Cl_{1-x}(OH)_x \cdot 3H_2O$, $Ca_2Al(OH)_7 \cdot 2H_2O$, $FeTiO_3$, $Fe_2O_3 \cdot H_2O$, Fe_3O_4 , $CaTiO_3$, SiO_2 , TiO_2 , $Na_4Al_3(SiO_4)_3Cl$, $3Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2NaCl$, $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 1,7SiO_2 \cdot 2H_2O$,

$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaC}_2\text{O}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$, $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$, CaCO_3 . В залежності від складу бокситу в червоному шламi можуть бути присутніми i інші розчини.



Рисунок 1.10 – Пульпа червоного шламy i висушений червоний шлам

Червоний шлам має високу лужність з рН від 10 до 13, вологість 75-80 %, основна маса часток твердої фази має розмір від 1 до 10 мкм.

Таблиця 1.2 – Вміст компонентів в червоному шламi [1]

Тип шламy	Масова частка компонента у шламi, %						
	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	SiO_2	NaO	TiO_2	Домішки
Баєровський	32-45	12-17	8-13	5-8	3-6	3-5	6-10
Спiкательний	20-25	22-28	17-22	16-20	3-6	3-7	4-5

Мiнералогiчний склад червоного шламy Миколаївського глиноземного заводу визначався у роботi [10] рентген-фазовим аналізом i методом ІЧ-спектроскопії. Аналізом встановлено, що червоний шлам складається з гематиту Fe_2O_3 , шамозиту $4\text{FeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{SiO}_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, кальциту CaCO_3 , гiдрогранату $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2\cdot(6 - 2x)\text{H}_2\text{O}$, гiдросилікату натрію. Результати гранулометричного складу шламy надано на рис.1.11.

Проведений аналіз показав, що основна маса червоного шламу представлена на 83,7 % частинками розміром менше 0,025 мм, кількість частинок розміром менше 0,01 мм досягає 66,7 % [10]

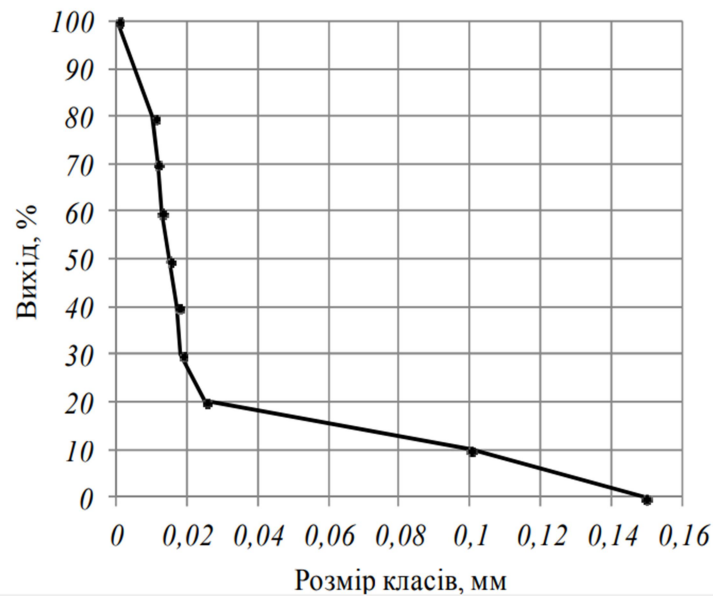


Рисунок 1.11 – Ситова характеристика червоного шламу МГЗ [10]

Ситова характеристика червоного шламу підпорядковується поліноміальному рівнянню 5 ступеня з достовірністю апроксимації 0,9977:

$$\gamma = 20 + 0,9d^5 \cdot 10^{-5} + 0,8d^4 \cdot 10^4 + 0,07d^3 + 0,6d^2 + 58,26d,$$

де γ – вихід фракцій, %;

d – розмір зерен.

Зіставленням результатів хімічного аналізу з ситовим показало, що в дрібних фракціях (розмір до 0,01 мм) концентруються мінерали, що містять Fe_2O_3 , TiO_2 , а карбонати і сірка більш зосереджені у крупних класах.

Мінерали, що містять алюміній, розподілені за класами крупності рівномірно, також як і сполуки силіцію. Зерна, розмір яких перевищує 1,2 мм, представлені частинками бокситу з вмістом Al_2O_3 близько 34,3 %, але вихід цього класу не перевищує декількох сотих відсотка. У червоних шламах рентгеноспектральний аналіз показав наявність скандію 0,02 % і галію 0,002-

0,005 %. Розподіл хімічних елементів по класам крупності показано на рис. 1.12.

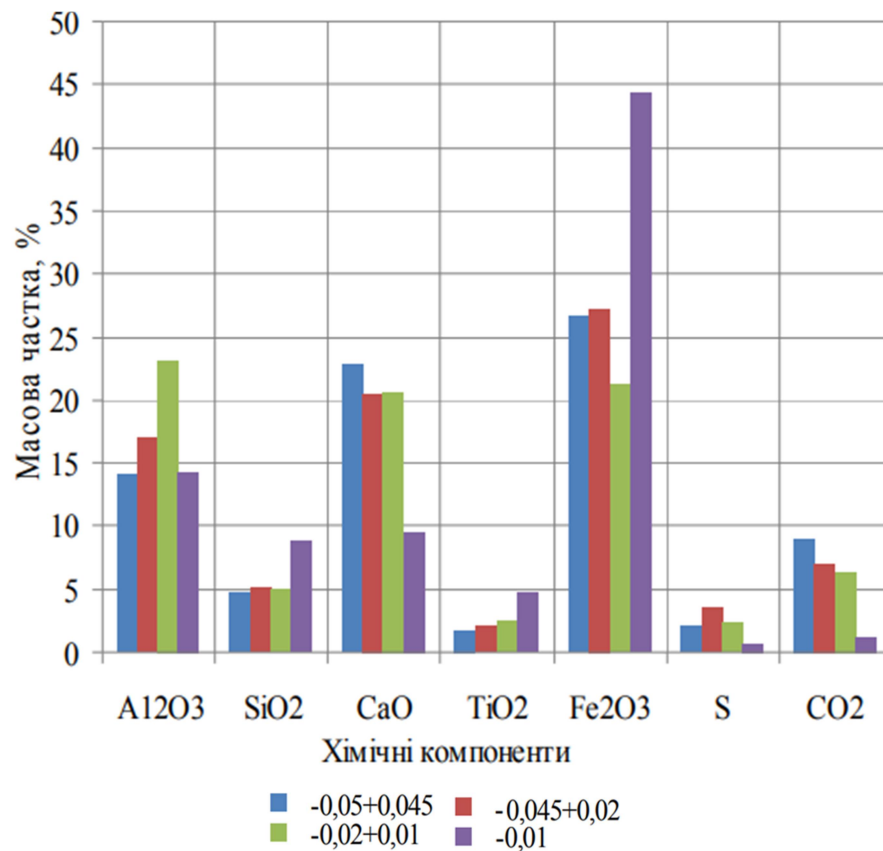


Рисунок 1.12 – Розподіл хімічних елементів по класам крупності [10]

Отже, згідно з даними хімічного аналізу червоні шлами МГЗ характеризуються високим (до 40 %) вмістом оксиду заліза. Гранулометричний аналіз червоного шламу показав, що мінерали, які містять Fe_2O_3 концентруються в дрібних фракціях (-0,01 мм) [10].

Для підвищення вмісту оксиду заліза в шламі і для відділення шкідливих для пігментних властивостей домішок сполук сірки, які концентруються у крупних фракціях, було проведено гідроциклонування червоного шламу.

1.3 Фільтрація червоного шламу

Утилізація червоних шламів у різних галузях промисловості потребує вирішення складного завдання організації та впровадження на глиноземних підприємствах фільтрації і сушіння червоних шламів, вологість яких має становити до 15-20 %. Проте за сучасними схемами переробки промита шламова пульпа, що потрапляє у відвал має вологість 75-80 %. Тому особливо актуальним стає завдання розробки технології підготовки червоних шламів до переробки та їх утилізації. Способи зневоднення показано на рис. 1.13.

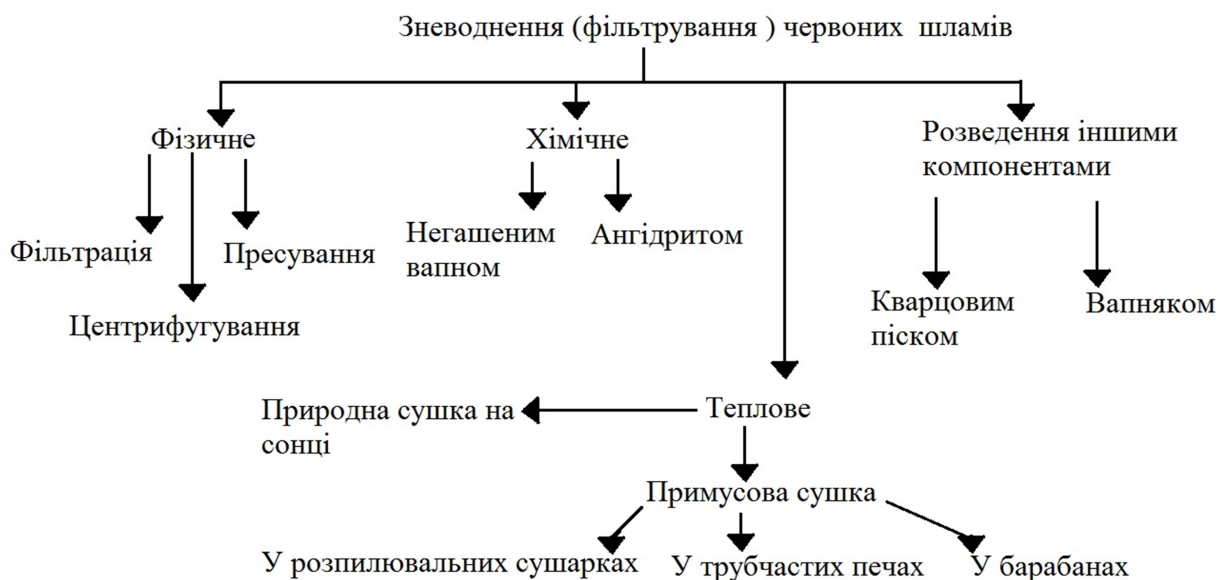


Рисунок 1.13 – Способи зневоднення червоного шламу

Для шламів, що виходять із системи згущення і промивання глиноземних заводів з $R/T = (2,5 \div 3,5)/1$, недоцільно застосування операції теплової або хімічної сушки через велику витрату палива або зв'язаної вологи. Отже розглянуті фізичні методи зневоднення червоного шламу такі як використання вакуум- фільтрів, фільтр – пресів, центрифуг. Використання центрифуг, вакуум- фільтрів та фільтр – пресів є дешевшим ніж його зберігання. Трудовитрати на обслуговування агрегатів в усіх випадках будуть приблизно однакові. Я проведу експерименти використовуючи метод вакуум-фільтрів.

1.3.1 Фізичне зневоднення червоного шламу

Найбільш широке поширення в промисловості знайшли барабанні вакуум-фільтри з зовнішньої фільтруючою поверхнею що зображені на рис. 1.14. Товщина осаду в ньому повинна бути не менше 5 мм, тверда фаза - кристалліческою або аморфної, але не колоїдної структури [11].

Головним робочим органом служить перфорований барабан, обтягнутий фільтруючою тканиною і закріплений своїми цапфами в підшипниках ковзання. Привід барабана здійснюється від електродвигуна через відкриту передачу і редуктор; для зміни числа обертів встановлені варіатори.

Барабан складається з бічних стінок і циліндра. Порожнина між циліндром і перфорованим листом барабана розділена поздовжніми ребрами на ряд секцій, які ребрами жорсткості радіально розбиті на осередки. Всі осередки за допомогою дренажних трубок повідомляються з колекторними трубками; число колекторних трубок дорівнює числу секцій. Глибина осередків в різних фільтрах має розмір від 6 до 25 мм; число осередків 12-24.

Барабан занурений (приблизно на 30 %) в корито, куди подається суспензія. На торці цапфи встановлена розподільна головка, у якій є кілька розділених перегородками камер. Число камер визначається числом операцій, що виконуються, виконуваних фільтром. Камери з'єднуються з вакуум насосом, з лінією стисненого повітря і перекриті нерухомою золотниковою шайбою, прорізи якої збігаються з камерами головки. До нерухомою шайбі щільно притискається притерта рухлива шайба, яка жорстко скріплюється з опорної цапфою і обертається разом з нею. У рухомої шайбі є отвори, до яких підходять колекторні трубки, і число отворів шайби що відповідає числу секцій барабана.

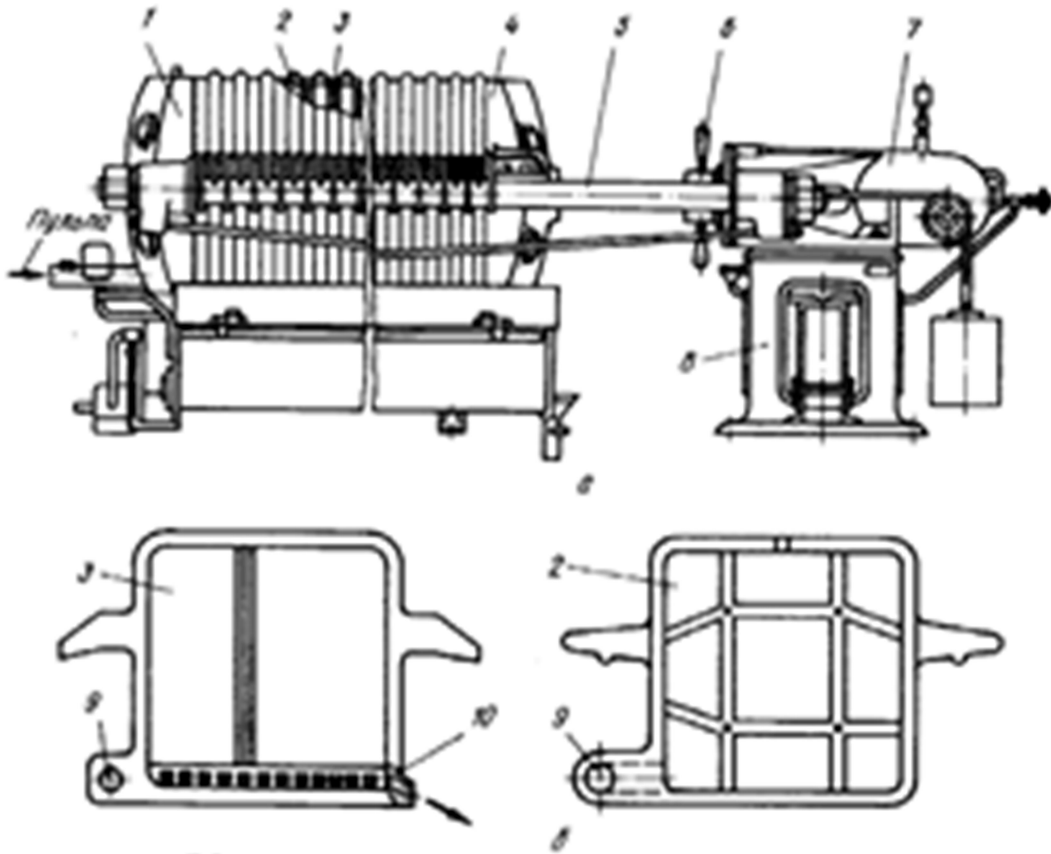
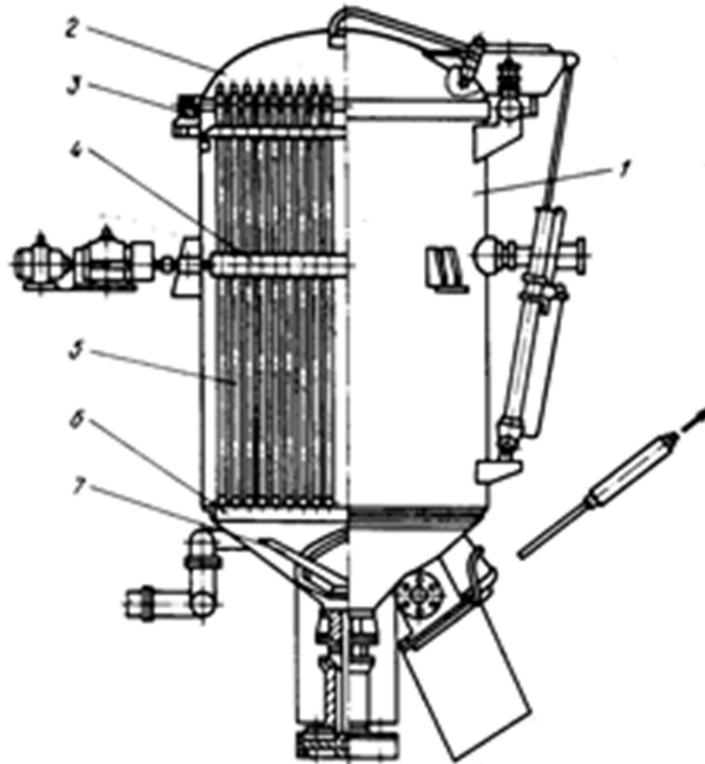


Рисунок. 1.15 – Рамний фільтрпрес [11]

Пристрій і роботу листового фільтра можна розглянути на прикладі фільтра ЛВ-130. Основним робочим елементом фільтра служить металева рама, обтягнута металевою сіткою. Фільтруючу поверхню створюють нанесенням на сітку целюлозно-паперової маси. Усередині рами в прорізі вставлений металевий лист, який служить додатковим каркасом і спрямовуючою для протікання фільтрату. Внутрішня порожнина рами через штуцер з'єднана з колектором для відведення фільтрату. Рами розміщені на деякій відстані один від одного і знаходяться в герметизованому резервуарі, який заповнений суспензією.

Листові фільтри характеризуються поверхнею фільтрації $50 - 130 \text{ м}^2$; місткістю $5,2 - 15,6 \text{ м}^3$; числом рам $10 - 42$.



- 1 - корпус; 2 - кришка; 3 - байонетний затвор; 4 - механізм гідрозмиву; 5 - фільтрувальні рами; 6 - колектори для відводу фільтра; 7 - ножовий механізм вивантаження осаду

Рисунок 1.16 – Листовий вакуум-фільтр [11]

Так як фізичні методи зневоднення не потребують палива або хімічних речовин для зневоднення пульпи червоного шламу, вони являються найбільш економічно вигідними.

1.3.2 Теплове зневоднення червоного шламу

Тепловий метод зневоднення включає в себе природну сушку на сонці і примусову сушку. Примусова сушка проводиться в трубчастих, барабанних (рис. 1.17) і розпилювальних сушарках [1,12,13].

Барабанна піч - промислова піч для випалювання та сушіння сировини та напівпродуктів, зображена на рис.1.17. Барабанна піч має форму

горизонтально розташованого циліндра діаметром 1,2-5 м і довжиною 18-200 м, який повільно обертається навколо осі. Призначена для фізико-хімічної обробки сипучих матеріалів. Як правило, паливо спалюється всередині печі; менш поширені непрямий нагрів (через стінку муфеля) і комбінований нагрівання оброблюваного матеріалу. Під обертової печі спалюються пиловидне, тверде, рідке або газоподібне паливо. Як правило природний газ.



Рисунок 1.17 – Барабанна піч [12,13]

Розпилювальну сушарку застосовують для отримання сухих порошкоподібних або гранульованих матеріалів з рідких розчинів або суспензій. Розпилювальна сушарка має циліндричний або циліндроконічний теплоізолюваний корпус, у якому за допомогою механічних форсунок або розпилюючих високо-оберткових дисків розпорошують на дрібні краплі продукт, що висушується. Об'ємна напруга за вологою в таких сушарках становить 5—10 кг/(м³/год). Краплі осаджуються в потоці гарячого теплоносія, при цьому відбувається видалення вологи з них, а висушений продукт виводиться із сушильної камери знизу у вигляді дрібнодисперсного порошку, розмір частинок готового продукту становить 10—500 мкм.

Недоліком методу теплового зневоднення являється використання палива для зневоднення пульпи червоного шламу.

1.3.3 Хімічні методи зневоднення і розведення пульпи червоного шламу компонентами

В даному методі зневоднення пульпу червоного шламу оброблюють вапняком, кварцовим піском, ангідритом і негашеним вапном. Даний метод зневоднення пульпи червоного шламу вважається нерентабельним, так як для зневоднення пульпи червоного шламу потрібні речовини.

1.4 Способи утилізації червоного шламу

Способи використання червоного шламу показані на рис. 1.18.



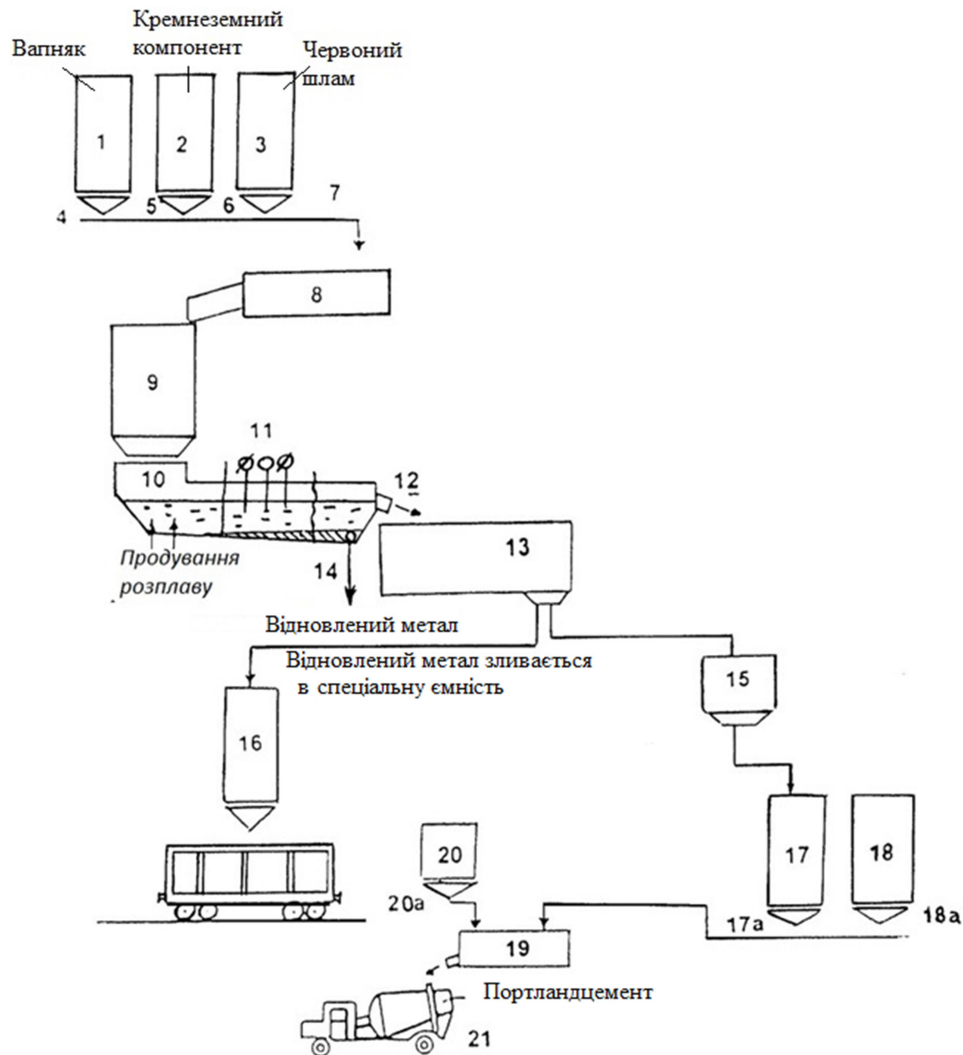
Рисунок 1.18 – Способи утилізації червоного шламу [1]

Червоний шлам можна комплексно перероблювати на глинозем, цемент і виділяти з червоного шламу певні цінні метали, також червоний шлам можна використовувати як добавку в будівельні матеріали, в якості асфальту, в сільському господарстві. Так як червоний шлам після промивки і відправки в відвал має вологість 75-80 %, його неможливо перероблювати і переносити в такому стані, тому перед переробкою його потрібно висушити.

1.4.1 Відновлення заліза з червоного шламу і використання червоного шламу як портландцемент

На рис.1.19 схематично показана установка переробки червоного шламу на портландцемент. З бункерів 1,2,3 сховища за допомогою дозаторів 4,5,6 і транспортера в змішувач 8 подаються вапняк (або відходи видобутку крейди), кремнеземистий компонент (пісок), червоний шлам, де компоненти змішуються. Отримана сировина відправляється на термічну обробку в барабанну обертову піч 9, в передній частині якої суміш нагрівається потоком димових газів до 1300 °С. При цьому відбувається реакція розкладання вапняного компонента на CaO і CO_2 . При попаданні розпечених частинок червоного шламу в струмінь відновного газу, який подається в камеру через спеціальну форсунку, відбувається відновлення оксидів заліза до металевого заліза, яке у вигляді мікрокрапель осідає на стінках камери установки 9 і під дією сили тяжіння стікає вниз камери. В кінці установки 9 суміш нагрівається до 1500 °С, при такій температурі більша частина оброблюваного матеріалу переходить в розплав і стікає в ванну 10. У середній частині ванни розплав за допомогою електродів нагрівається до температури 1800 °С, після чого в'язкість зменшується і частки відновленого металу, що містяться в ньому, вільно опускаються на дно ванни 10, де метал через зливник 14 зливається в спеціальну ємність на складі 16. При досягненні розплавом певної висоти він виливається через зливник 12 в установку грануляції.

У верхній частині ванни 10, що містить розплав, за рахунок продувки її високотемпературними продуктами згоряння паливно-кисневої суміші, утворюється киплячий шар. У потік дисперсного розплаву і димових газів, що надходять у верхню зону ванни, подають холодний природний газ для охолодження і грануляції розплаву. Отримані гранули відправляють на склад 16, де вони зберігаються до використання у виробництві портландцементу на місці або до завантаження у вагони.



- 1, 2, 3 – бункери; 4, 5, 6 – дозатори; 7, 19 – транспортер;
 8 – змішувач; 9 – установка термічної обробки; 10 – ванна;
 11 – електроди; 12 – труба; 13 – установка грануляції;
 14 – зливник, 15 – помольна установка, 16 – склад,
 17, 18, 20 – бункери для зберігання, 17а, 18а, 20а – дозатори,
 21 – змішувач

Рисунок 1.19 – Оптимізована схема переробки червоного шламу [1]

Використовуваний на місці клінкер подають в помольну установку 15, де його розмелюють до тонкощі зерна, що відповідає питомій поверхні не менше $0,5 \text{ м}^2/\text{г}$. В результаті отримують чисте гідравлічне в'язече, частину якого направляють в бункери для зберігання 17, де він міститься до моменту

його використання. Іншу частину отриманого чистого гідравлічного в'язучого направляють в змішувач 19, де до нього з бункера 18 за допомогою дозатора 18а. До отриманого змішаного гідравлічному в'язучому додають з бункера 20 за допомогою дозатора 20а активний компонент в кількості від 2 до 10 %. Готове до застосування змішане гідравлічне в'язуче завантажують в бетоновози 21 і доставляють до місця використання.

В результаті переробки червоного шламу отримують відновлене залізо, чисту гідравлічну в'язучу речовину, яка характеризується такими показниками міцності: 80 кг/см² через 3 доби; 190 кг/см² через 7 діб; через 28 діб – 310 кг/см², що відповідає портландцементу марки М300 [1].

1.4.2 Використання червоного шламу в чорній металургії для зміцнення залізорудних офлюсованих агломератів і окатишів

Для переробки червоного шламу на сталь, глинозем-місткий шлак в шихту в якості відновника оксиду заліза вводиться розрахункова кількість подрібненого вугілля і добавки бентоніту і вапняку. При твердофазному відновленні 90 % цих оксидів з підготовленої суміші виробляються окатиші. При озалізненні окатишів відновлене залізо насичується вуглецем до 3,5-4,0 %. На плавку окатиші подаються або холодними, або гарячими.

Плавка підготовленої і озалізненої шихти починається з розплавленої сталі (рис.1.20), наведеної в обертання в плавильній камері багатофункціональним плавильним агрегатом (БПА) з електромагнітним полем (індукційна піч). Кількість цієї сталі залежить від того, скільки її буде отримано після звільнення від титану і кремнію з залишився в БПА залишку лігатури. Після змішування червоного шламу і концентрованої титаномагнієвої руди (КТР) середній вміст основних оксидів в шихті буде таким, %: Fe - 45; Fe + Fe₂O₃ - 61,8; SiO₂ - 9,4; Al₂O₃ - 7,9; TiO₂ - 3,07; CaO - 6,4.

Після озалізнення до 90 % на 1 т суміші червоного шламу і КТР в останніх оксидах заліза залишиться приблизно 17 кг кисню. Після плавки

порції шихти на сталевий обертається підкладці вийде чавун з вмістом вуглецю близько 2,5-3,5 % (температуру чавуну не нижче 1400 °С).

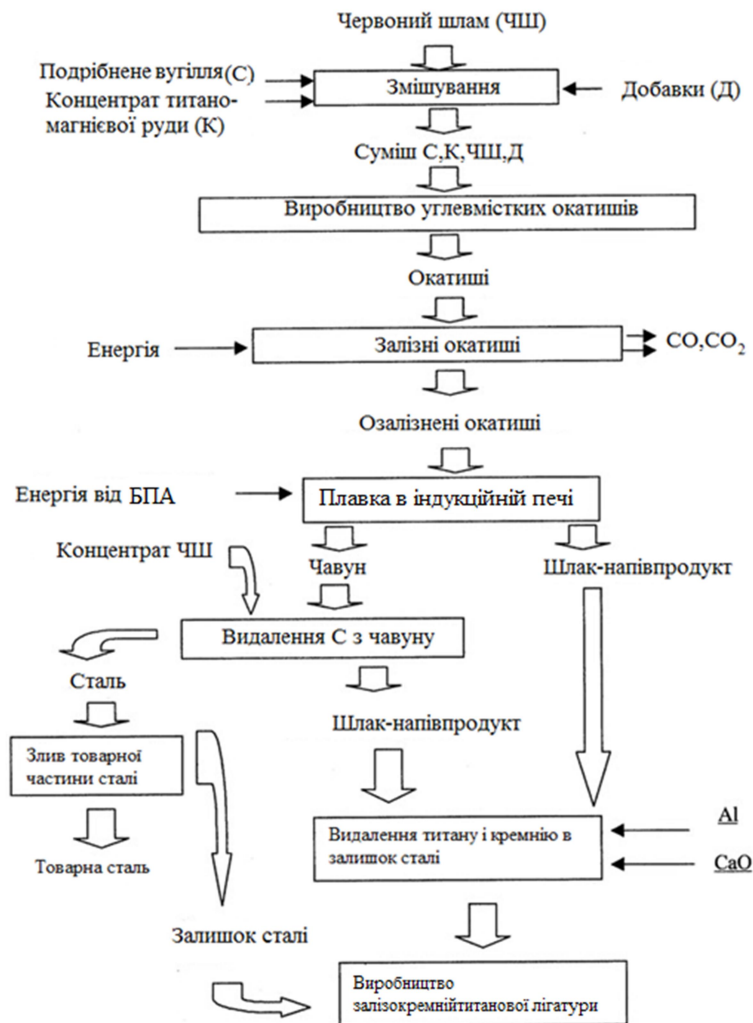


Рисунок 1.20 – Використання червоного шламу при виробництві сталі [14]

У процесі самої плавки озалізненої шихти і після розплавлення порції шихти вуглець чавуну почне відновлювати залізо в залишку оксиду заліза, але повністю витрачений не буде. Тому після закінчення розплавлення порції шихти проводиться операція по остаточному окисленню вуглецю в чавуні. Для підтримки металу в стані розплаву температуру металевої фази підвищують до 1500-1550 °С. Частина оксидів заліза з концентрату ільменіту відновиться і їх кисень піде в газову фазу, залізо в металеву фазу, а решта - вторинний шлак.

Наступна операція процесу - видалення основної частини отриманої сталі з камери плавильного агрегату, через наявну в індукційній печі бічну летку, і герметизація плавильної камери плавильного агрегату.

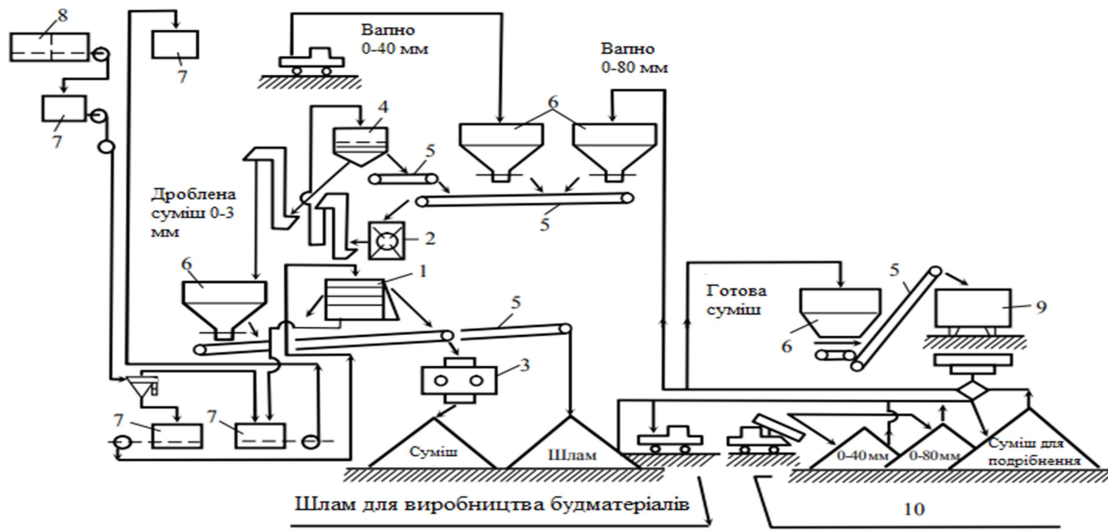
Після проведення операції по відновленню згаданих оксидів алюмінієм в кінцевому шлаку залишаються в основному оксиди алюмінію і кальція. Температура плавлення шлаку буде в межах 1800-1850 °С. Центр пода БПА містить центральну зливну лютку. Після розкриття центральної лютки БПА стає можливим слив в ківш кінцевого товарного високо-глиноземистого шлаку. Після закінчення зливу основної частини отриманої лігатури центральна річка відомим прийомом перекривається, після чого в циклі переробки порції підготовленої шихти здійснюється остання операція.

З 1 т підготовленої шихти може бути отримано близько 100 кг лігатури, в якій вміст титану буде близько 20 %, 400 кг якісної сталі і 200-250 кг високоглиноземистого шлаку.

1.4.3 Переробка червоного шламу на будівельні матеріали

Близько 50 % речової маси червоного шламу є оксидом заліза, тому логічно використовувати червоний шлам в складі шихти для отримання доменного агломерату. Однак потрібно враховувати, що цей матеріал значно поступається залізним рудам, що переробляються, за вмістом заліза. Його застосування, безперечно, знижує продуктивність доменних печей і збільшує питому витрату коксу. Дослідженнями, наведеними в роботі [8], встановлено, що вказаний мінус, перекривається плюсами від істотного зміцнення агломерату. Виявлено здатність червоного шламу запобігати поліморфізму двокальцієвого силікату, що знаходиться в структурі агломератів та призводить до ліквідації внутрішніх напружень, які руйнують агломерати. Зменшення на 1 % кількості дрібних частинок розміром до 5 мм сприяє підвищенню на 1 %

продуктивності доменної печі і економії доменного коксу. Схема переробки червоного шламу на будівельні матеріали показана на рис. 1.21.



- 1 - фільтрпрес; 2 - дробарка; 3 - змішувач; 4 - гуркіт;
 5 - конвеєри; 6 - бункери; 7 - мішалки; 8 – промивач
 глиноземного цеху; 9 - залізничний вагон; 10 – штабель

Рисунок 1.21 – Апаратурно-технологічна схема промислової установки з отримання товарного червоного шламу продуктивністю понад 20 тис. т/рік [15]

Крім того, виявлено в'язучі властивості червоного шламу, поліпшення грудкування шихти і її газопроникності [15]. Підвищується продуктивність агломераційних машин без капітальних витрат на 5-10 %. Якщо кількість дрібниці в агломерату скорочується на 3-5 %, а зменшення вмісту заліза становить в середньому близько 0,5 %, то сумарна технологічна ефективність у доменному виробництві становить: збільшення виробництва чавуну на 1,2-2,5 %, економія витрати доменного коксу на 1,5-1,8 %.

Додатково визначено, що введення червоного шламу до складу агломераційної шихти утворює зміцнену алюмоферитну зв'язку агломератів і окатишів. Вихід фракції 0-0,5 мм при нагріванні і відновленні агломератів і окатишів у доменних печах скорочується на 20-40 %. Внаслідок цього

зменшуються втрати заліза з пилом, що виноситься з доменних печей, відповідно, зростає їх продуктивність.

Проведеними промисловими випробуваннями на одному з найбільших металургійних комбінатів виявлено, що будівництво відвантажувального комплексу продуктивністю 20 тис. т/рік окупиться за 2-3 роки [15].

Добутий кек червоного шламу мав вологість близько 25 % і володів необхідними транспортабельні властивостями, придатний для використання у виробництві будівельних матеріалів. Для цього способу переробки підходить байсровський і спікательний червоні шлами.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Характеристика сировини, матеріалів та обладнання

Червоний шлам – твердий залишок гідрохімічної переробки бокситів і вилучення з нього глинозему. Зазвичай під час отримання глинозему утворюється в два рази більша кількість червоного шламу, ніж оксиду алюмінію, це співвідношення залежить від типу бокситу, що використовується в процесі переробки [17]. Пульпа червоного шламу, що досліджується, має високу лужність з рН від 10 до 13. Вологість твердого шламу становить 75-80 %, основна кількість часток твердої фази має розмір від 1 мкм до 10 мкм, щільність близько 2800 кг/м³.

Для дослідження технологічних особливостей фільтрування пульпи червоних шламів та експериментального визначення констант процесу фільтрування потрібні такі прилади і матеріали: колба Бунзена; лійка Бюхнера; фільтрувальна тканина; затискне кільце; вакуум-насос; манометр; трійник із двома кранами; колби; механічна мішалка; секундомір.

Як основне лабораторне обладнання для дослідження процесу фільтрування червоних шламів використовуються вакуумна фільтрувальна установка, аналітичні ваги, сушильна вакуумна шафа ШСВ-45, витяжна шафа.

Сушильна вакуумна шафа ШСВ-45 за ГОСТ 20790-82 призначена для сушіння хімічних речовин і реагентів. Задана температура в робочій камері підтримується за допомогою двохпозиційного терморегулятора.

Лабораторна фільтрувальна установка складається з колби Бунзена, механічної мішалки, манометра (вакуумметра), триходового крану, кранів для регулювання вакууму та продування повітря, вакуум-насоса ВНЗ. Колба Бунзена – плоскодонна конічна колба з товстостінного скла з тубусом (відведенням). Колба Бунзена (рис.2.1) застосовується в основному для вакуумного фільтрування. Для очищення води від механічних, нерозчинних частинок використовується фільтрувальна тканина. Для з'єднання колби

Бунзена з вакуум-насосом застосовують шланг вакуумний у вигляді гнучкої трубки з вакуумної гуми.



1 – фільтрувальна лійка Бюхнера; 2 – стакан скляний вимірювальний; 3 – колба Бунзена

Рисунок 2.1 – Лабораторне обладнання

Вакуумний насос ВНЗ – пристрій, що застосовується для видалення (відкачування) газів або парів до певного рівня тиску або для створення різниці тисків. Стакан скляний вимірювальний місткістю 400 мл (рис.2.1) використовується для вимірювання кількості рідких речовин.

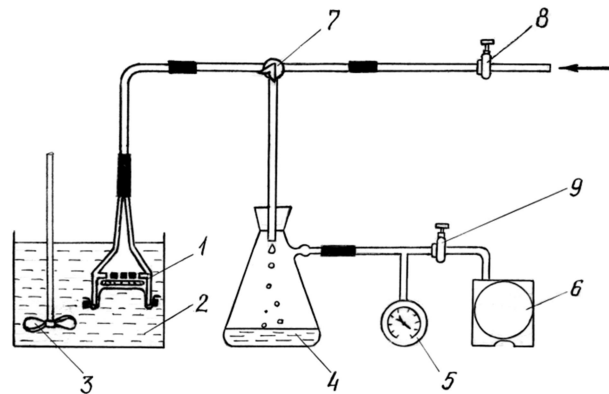
2.2 Методика зневоднення червоного шламу фільтруванням

Досліди по зневодненню червоного шламу фільтруванням проводять на лабораторній вакуумній фільтрувальній установці. Схема лабораторної фільтрувальної установки показана на рис. 2.2.

Приготувати пульпу із заданим співвідношенням твердої фази (червоний шлам) і рідкої фази (водний розчин їдкого натру). Готову пульпу залити в посудину для суспензії. Щоб уникнути осадження осаду (часточок червоного шламу) увімкнути механічну мішалку [6].

Зібрати вакуум-фільтр. Для цього на лійку покласти круг фільтрувальної тканини діаметром більшим за діаметр лійки. Тканину натягти затискним кільцем. Колбу Бунзена закрити пробкою з уставленою трубкою. Окремі частини установки з'єднати між собою вакуумними гумовими трубками, як

показано на рис. 2.2.



1 – вакуум-фільтр

р; 2 – посудина для суспензії; 3 – мішалка; 4 – приймач
фільтрату; 5 – манометр (вакуумметр); 6 – вакуум-насос; 7 – триходовий
кран; 8 – кран для продування повітря; 9 – кран-регулятор вакууму

Рисунок 2.2 – Схема фільтрувальної установки [6]

Зібраний вакуум-фільтр установити в посудину для суспензії, занурюючи його в суспензію на кілька сантиметрів. Триходовий кран і кран для продування повітря повинні бути закриті. Ввімкнути вакуум-насос і, відкриваючи кран-регулятор вакууму, установити заданий режим вакууму за вакуумметром. Після встановлення призначеного режиму відкрити триходовий кран і одночасно ввімкнути секундомір. Перший вимір часу зробити з появою перших крапель фільтрату в приймачі. Через якийсь час, коли в приймачі набереться деяка кількість фільтрату (50 мл; 100 мл; 150 мл; 200 мл; 250 мл; 300 мл; 350 мл), зробити (не вимикаючи секундоміра) одночасний вимір часу і зібраного фільтрату V' . Всі вимірювання часу й об'єму фільтрату проводити, не вимикаючи секундоміра і враховуючи їх від початкового моменту фільтрування.

Після цього (не вимикаючи вакуум-насоса) вимкнути секундомір, записавши час і об'єм фільтрату. Потім слід звільнити вакуум-фільтр і піднімати його нагору так, щоб гумова трубка ніде не створювала застоїв рідини. Фільтрувальна поверхня фільтра повинна бути повернена нагору. При

цьому зливається в приймач рідина (фільтрат), що знаходиться у фільтрі і трубці. Коли поверхня осаду утратить вологий блиск і перестане змінювати свій вигляд, продувку припинити, вимкнути вакуум-насос і секундомір, записати час і об'єм фільтрату. Кількість фільтрату, що додалася при продувці, приписати до першого виміру часу (до появи перших крапель) і додати до всіх інших записів (за винятком останньої). Тоді передостанній і останній записи об'єму будуть однакові, тому що при продувці нового фільтрату не з'явилося.

Потім вимірити торцем металевої лінійки (поділки якої починаються від зрізу) товщину шару осаду на фільтрі і діаметр всього шару. Вакуум-фільтр розібрати, осад зняти в спеціальну ємкість, після чого промити фільтр і тканину. Зібрати фільтр знову. Висушити осад червоного шламу в сушильній шафі до постійної маси. Зважити вологий і сухий осад шламу. Визначити вологість B (%) шламу за формулою:

$$B = 100 \cdot (m_1 - m_2) / m_1, \quad (2.1)$$

де m_1, m_2 – маса вологого і просушеного шламу, г.

Результати вимірювань занести в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати дослідів з фільтрування червоного шламу

№ пор.	Час вимірювання	Об'єм фільтрату				Інтервал		Відношення $\Delta t \Delta V, \text{с} \cdot \text{м}^2 / \text{м}^3$
		попередній V' , мл	мл	м^3	$\text{м}^3 / \text{м}^2$	часу $\Delta t, \text{с}$	об'ємів фільтрату $\Delta V, \text{м}^3 / \text{м}^2$	
1		0	50	$5 \cdot 10^{-5}$				
2		50	100	$10 \cdot 10^{-5}$				
3		100	150	$15 \cdot 10^{-5}$				
...					
8		350	400	$40 \cdot 10^{-5}$				

Обчислити швидкість фільтрування в початковий і кінцевий моменти фільтрування відповідно.

Визначити годинну продуктивність фільтра за фільтратом і вологим червоним шламом [6]:

$$V_{\phi} = 3600 \cdot V_{\Pi} / (F_{\phi} \cdot \tau_{\Pi}), \quad (2.2)$$

$$V'_{oc} = 3600 \cdot V_{oc} / (F_{\phi} \cdot \tau_{\Pi}), \quad (2.3)$$

де V_{Π} – загальна кількість фільтрату, зібраного за час дослідів, м^3 ;

$V'_{\text{ос}}$ – об'єм осаду шламу, що дорівнює $F_{\text{ф}} \cdot h_{\text{ш}}$, м^3 ;

$F_{\text{ф}}$ – площа фільтра, м^2 ;

$h_{\text{ш}}$ – товщина шару осаду шламу на фільтрі, м ;

τ_{Π} – тривалість дослідів, с .

2.3 Методика визначення констант фільтрування червоного шламу

Швидкість фільтрування суспензії залежить від фізичних властивостей і крупності твердих часточок. У самому загальному вигляді закон фільтрування може бути представлений у вигляді рівняння [20]:

$$dV/d\tau = \Delta P/R, \quad (2.4)$$

де dV – продуктивність по фільтрату, $\text{м}^3/\text{м}^3$ за час $d\tau$ (за год., хв., с);

$dV/d\tau$ – швидкість фільтрування;

ΔP – рушійна сила процесу фільтрування (перепад тисків), $\text{Н}/\text{м}^2$;

R – опір фільтрування, $\text{Н} \cdot \text{с}/\text{м}^3$.

Рушійною силою процесу фільтрування є різниця тисків по обидва боки фільтруючої перегородки. Різниці тисків можна досягти: а) створенням гідростатичного тиску пульпи (тобто шаром самої суспензії, наливої на фільтр, різниця тисків до 0,05 МПа); б) подаванням пульпи на фільтр відцентровим або поршневым насосом, що розвиває тиск до 0,5 МПа і більше; в) створенням вакууму під фільтрувальною перегородкою (різниця тисків не перевищує 0,09 МПа, у промислових вакуум-фільтрах вакуум дорівнює 0,080–0,087 МПа); г) створенням тиску стисненого повітря (до 0,5–1,0 МПа).

Опір фільтрування складається з опору осаду $R_{\text{ос}}$ і опору фільтруючої перегородки (тканини) $R_{\text{тк}}$, тобто

$$R = R_{\text{ос}} + R_{\text{тк}}. \quad (2.5)$$

Тому що опір осаду пропорційний кількості осаду, що відклався, а отже, пропорційний кількості фільтрату, що пройшов, то

$$R_{oc} = K' \cdot V. \quad (2.6)$$

Опір фільтруючої перегородки (тканини) можна замінити опором шару осаду, що утворює такий же опір процесові фільтрування, який утворює тканина, і виразити відповідною кількістю фільтрату C , тобто

$$R_{тк} = K' \cdot C. \quad (2.7)$$

де K' – коефіцієнт пропорційності.

Тоді

$$R = K' \cdot (V + C). \quad (2.8)$$

Підставивши отримане значення R у рівняння (2.4), розділивши перемінні і проінтегрувавши, після невеликих перетворень одержимо рівняння фільтрування:

$$V^2 + 2 \cdot V \cdot C = K \cdot \tau, \quad (2.9)$$

де V – об'єм фільтрату, m^3 (перераховується в питомі об'єми, віднесені до площі фільтра, m^3/m^2);

$$K = 2 \cdot \Delta P / K' = 2 \cdot \Delta P / (\mu \cdot r_o \cdot x_o);$$

μ – в'язкість фільтрату;

r_o – питомий опір осаду;

x_o – концентрація суспензії;

τ – час фільтрування.

Якщо константи K и C рівняння (2.9) відомі, то можна визначити необхідну поверхню фільтрування при заданій продуктивності фільтра, що особливо важливо при проектуванні фільтрувальної апаратури, ці константи визначають дослідним шляхом.

Після диференціювання рівняння (2.9) по V , заміни першої похідної відношенням кінцевих різниць і деякого перетворення одержимо наступне рівняння:

$$\begin{aligned} d\tau/dV &= 2 \cdot V/K + 2 \cdot C/K, \\ \Delta\tau/\Delta V &= 2 \cdot V/K + 2 \cdot C/K = A \cdot V + B. \end{aligned} \quad (2.10)$$

У рівнянні (2.10) $\Delta\tau$ і ΔV – приріст часу фільтрування й об'єму отриманого фільтрату. У координатах $V-\Delta\tau/\Delta V$ (рис.2.3) це рівняння

зображується прямою лінією DM , нахиленою до осі абсцис під кутом α , тангенс якого $\operatorname{tg}\alpha = 2/K$. Ця лінія відтинає на осі ординат (при $V = 0$) відрізок B , рівний $2 \cdot C/K$.

Для визначення констант процесу фільтрування K і C проводять дослід по розподілу досліджуваної суспензії на фільтрі при постійній різниці тисків.

Протягом дослідження відзначають кілька значень об'єму отриманого фільтрату $V_1, V_2, V_3, V_4, \dots, V_n$ і тривалості фільтрування $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \dots, \tau_n$. Визначають приріст об'єму фільтрату $\Delta V_1=V_1, \Delta V_2=V_2-V_1, \Delta V_3=V_3-V_2, \dots, \Delta V_n=V_n-V_{n-1}$ і приріст тривалості фільтрування $\Delta\tau_1=\tau_1, \Delta\tau_2=\tau_2-\tau_1, \Delta\tau_3=\tau_3-\tau_2, \dots, \Delta\tau_n=\tau_n-\tau_{n-1}$. Після чого обчислюють відношення $\Delta\tau/\Delta V$ для всіх випадків.

Для побудови прямої в координатах $V-\Delta\tau/\Delta V$ (рис.2.3) на осі абсцис відкладають величини $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ і з отриманих точок встановлюють перпендикуляри.

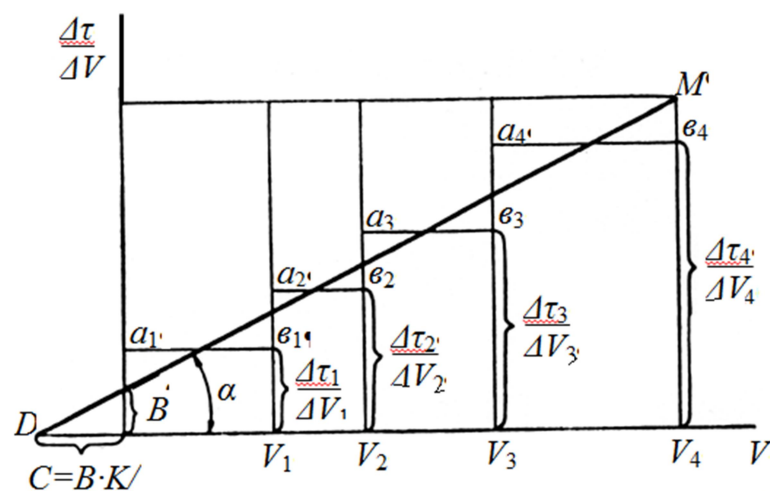


Рисунок 2.3 – Визначення констант фільтрування графічним методом [6]

На кожному перпендикулярі відкладають відповідне відношення приросту $\Delta\tau/\Delta V$. З отриманих таким способом точок проводять горизонтальні відрізки до перетину з лівим сусіднім перпендикуляром. Пряму проводять через середини відрізків a_1-b_1, a_2-b_2 і т.д., що відповідає приблизно середній продуктивності по фільтрату в діапазонах зміни V від 0 до V_1 , від V_1 до V_2 , від V_2 до V_3 і т.д. для відповідних прирощень $\Delta\tau/\Delta V$ або зменшень швидкості фільтрування, тому що $\Delta\tau/\Delta V$ – величина, зворотна зменшенню швидкості

фільтрування. Пряму продовжують до перетину з осями ординат і абсцис. Побудувавши цю пряму за експериментальними даними, можна визначити константи процесу фільтрування K і C [6, 20].

Об'ємна швидкість проходження рідини крізь фільтр або швидкість фільтрування – величина змінна, яка безупинно зменшується і яку для заданого моменту часу від початку фільтрування визначають на основі рівняння (2.10):

$$dV/d\tau = K/[2 \cdot (V + C)], \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с}). \quad (2.11)$$

Для визначення константи K знайти тангенс кута нахилу прямої DM (рис.2.3) як відношення катетів, узятих у відповідних масштабах. Наприклад:

$$\text{tg}\alpha = \frac{\Delta\tau_4/\Delta V_4 - \Delta\tau_1/\Delta V_1}{V_3 + (V_4 - V_3)/2 - V_1/2}. \quad (2.12)$$

З виразу $\text{tg}\alpha = 2/K$ знайти константу фільтрування

$$K = 2/\text{tg}\alpha \quad (2.13)$$

2.6 Методика проведення термодинамічних розрахунків

Термодинамічна можливість звичайного розчинення визначається негативною величиною вільної енергії Гіббса:

$$\Delta G_{\text{розч}}^{\pm} = \Delta H_{\text{розч}}^{\pm} - T \cdot \Delta S_{\text{розч}}^{\pm}. \quad (2.14)$$

З циклу розчинення відомо, що зміни термодинамічних функцій при розчиненні солі, гідратації і утворенні кристалічної ґратки зв'язані між собою співвідношеннями:

$$\Delta H_{\text{розч}}^{\pm} = \Delta H_{\text{гідр}}^{\pm} - \Delta H_{\text{кр}} = Q_{\text{гідр}}^{\pm} - U_{\text{кр}};$$

$$\Delta S_{\text{розч}}^{\pm} = \Delta S_{\text{гідр}}^{\pm} - \Delta S_{\text{кр}};$$

$$\Delta G_{\text{розч}}^{\pm} = \Delta G_{\text{гідр}}^{\pm} - \Delta G_{\text{кр}}.$$

Отже,

$$\Delta G_{\text{розч}}^{\pm} = \Delta H_{\text{розч}}^{\pm} - T \cdot \Delta S_{\text{розч}}^{\pm} = (Q_{\text{гідр}}^{\pm} - U_{\text{кр}}) - T \cdot (\Delta S_{\text{гідр}}^{\pm} - \Delta S_{\text{кр}}). \quad (2.15)$$

Аналогічні співвідношення справедливі і для йонних складових цих

функцій.

Таким чином, якщо відомі значення $\Delta H_{\text{гидр}}^0$, $\Delta S_{\text{гидр}}^0$, $\Delta H_{\text{кр}}^0$ і $\Delta S_{\text{кр}}^0$, можна розрахувати ентальпію, ентропію і енергію Гіббса розчинення.

Теплоту розчинення твердих речовин $\Delta H_{\text{розч}}$ (кДж/моль) знаходять з гідратаційного циклу [6]:

$$\Delta H_{\text{розч}} = -U_{\text{кр}} + \Delta H_{\text{гидр}}^+ + \Delta H_{\text{гидр}}^-, \quad (2.16)$$

або, якщо відомі розчинності речовини при різних температурах, за формулою:

$$\lg \frac{P_1}{P_2} = \frac{\Delta H_{\text{розч}}}{2,303 \cdot R} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right),$$

де $\Delta H_{\text{гидр}}^+$, $\Delta H_{\text{гидр}}^-$ – ентальпія гідратації катіона та аніона відповідно, що входять до складу даної солі, кДж/моль;

P_1 , P_2 – розчинність речовин за температур T_1 та T_2 .

Енергію кристалічної решітки $U_{\text{кр}}$ (кДж/моль) кристалів, що утворені з йонів, які не поляризують один одного (галогеніди лужних і лужноземельних металів, солі з великими комплексними йонами), розраховують за рівнянням Капустинського [6]:

$$U_{\text{кр}} = 120,2 \cdot \frac{z_K \cdot z_A \cdot n}{r_K + r_A} \cdot \left(1 - \frac{0,0345}{r_K + r_A} \right), \quad (2.17)$$

або з термодинамічного циклу Борна–Габера:

$$U_{\text{кр}} = -\Delta H_{\text{утв}} + Q_{\text{возг}} + Q_{\text{дис}} + Q_{\text{іон}} + Q_a,$$

де z_K , z_A – заряди катіона та аніона;

r_K , r_A – радіуси катіона та аніона, нм;

n – число йонів, що утворюють молекулу даної солі;

$\Delta H_{\text{утв}}$ – тепловий ефект утворення кристалу солі, кДж/моль;

$Q_{\text{возг}}$ – теплота возгонки (сублімації) атома металу, кДж/моль;

$Q_{\text{дис}}$ – енергія дисоціації молекули газу, кДж/моль;

$Q_{\text{ион}}$ – енергія йонізації атомів, кДж/моль;

Q_a – спорідненість атома газу до електрона, кДж/моль.

Для розрахунку енергії гідратації йонів $\Delta H_{\text{гидр}}$ (кДж/моль) використовують емпіричні рівняння [18]:

$$\Delta H_{\text{гидр}} = -6,925 \cdot z^2 / (r_i + \Delta), \quad (2.18)$$

$$\Delta H_{\text{гидр}} = -42,57 \cdot z^2 / (r_i + r_{\text{H}_2\text{O}} \pm \beta)^2, \quad (2.19)$$

де z – величина заряду йона (без урахування його знака);

r_i – радіус йона, нм;

Δ – постійна поправка, що дорівнює 0,04 нм для аніонів та 0,08 нм для катіонів;

$r_{\text{H}_2\text{O}}$ – ефективний радіус молекули води, що дорівнює 0,193 нм;

β – поправка, що враховує асиметрію центрів диполя в молекулі води та йона, тобто для катіона $\beta = +0,025$ нм, для аніона $\beta = -0,025$ нм.

Підставляючи у рівняння (2.19) $r_{\text{H}_2\text{O}} = 0,193$ нм, $\beta = 0,025$ нм, $n = 8$ (однаково для всіх йонів) і числові значення решти величин, отримуємо:

$$\Delta H_{\text{гидр}} = -42,57 \cdot z / (r_i + 0,193 \pm 0,025)^2. \quad (2.20)$$

Якщо вихідні дані для розрахунку відсутні, то їх можна розрахувати за допомогою рівняння Капустінського (2.17) і емпіричних формул (2.18) і (2.20) для розрахунку ентальпії гідратації, а також емпіричними рівняннями для розрахунку йонної ентропії розчинення, Дж/(моль·К):

для однозарядних катіонів

$$\Delta S_{\text{розч}}^0 = 144,3 - 11,2/r; \quad (2.21)$$

для двозарядних катіонів

$$\Delta S_{\text{розч}}^0 = 122,2 - 20,8/r; \quad (2.22)$$

для однозарядних аніонів

$$\Delta S_{розч}^0 = 170,7 - 27,6/r, \quad (2.23)$$

де r – термoxiмiчний рaдiус йона (у разi йонiв, що наближаються за формою до сфери (октаедричних, тетраедричних, кубiчних), термoxiмiчний рaдiус дорiвнює кристалoxiмiчному (за Гольдмiдтом)), нм.

Ентрoпiю утворення кристалiчної рeшiтки з газоподiбних йонiв можна визначити за емпiричною формулою:

$$\Delta S_{кр} = 107,5 \cdot n + 0,63 \cdot \left(\frac{n_K \cdot z_K^2}{r_K} + \frac{n_A \cdot z_A^2}{r_A} \right), \quad (2.24)$$

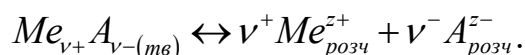
де $\Delta S_{кр}$ – ентрoпiя утворення кристалiчної гратки, Дж/(моль·К);

n_K, n_A, n – вiдповiдно число катiонiв, анионiв i сумарне число йонiв у молекули речовини;

z – величина заряду йона;

r – рaдiус йона, нм.

Зв'язок мiж розчиннiстю солей i властивостями йонiв. Процес розчинення йонного кристала (йонної солi $Me_{\nu^+}A_{\nu^-}$. можна описати рiвнянням:



Константа рiвноваги цього рiвняння рiвна добутку активностей катiона i аниона в розчинi:

$$K = a_{Me^{z^+}}^{\nu^+} \cdot a_{A^{z^-}}^{\nu^-}.$$

Активнiсть солi в насиченому розчинi $a = a_{Me^{z^+}}^{\nu^+} \cdot a_{A^{z^-}}^{\nu^-}$. Тодi $K = a$.

Оскiльки величина константи рiвноваги може бути розрахована, якщо вiдома енергiя Гiббса розчинення солi $\Delta G_{розч}^\pm$, та оскiльки $\Delta G = -n \cdot R \cdot T \cdot \ln K$, то представляється можливим розрахувати розчиннiсть за допомогою термодинамiчних даних.

Мiж розчиннiстю i енергiєю Гiббса розчинення солi (або ентальпiєю i ентрoпiєю розчинення) iснує залежнiсть:

$$n \cdot R \cdot T \cdot \ln a = -\Delta G_{розч}^{\pm} = -\Delta H_{розч}^{\pm} + T \cdot \Delta S_{розч}^{\pm}, \quad (2.25)$$

де n – число йонів, що утворюють молекулу солі;

a – активність солі в насиченому розчині;

$\Delta G_{розч}^{\pm}$, $\Delta H_{розч}^{\pm}$ і $\Delta S_{розч}^{\pm}$ – відповідно енергія Гіббса, ентальпія і ентропія розчинення солі.

Очевидно, що розрахунок розчинності за допомогою термодинамічних даних по рівнянню (2.25) можливий лише для малорозчинних сполук, коли активність солі в насиченому розчині практично дорівнює концентрації (коефіцієнт активності близький до одиниці). Якщо ж розчинність солі велика, коефіцієнт активності відрізняється від одиниці, причому при різних концентраціях солі він може приймати значення, у багато разів менші або більші одиниці.

Оскільки немає рівнянь, що описують залежність коефіцієнтів активності від концентрації речовин в розчині, розрахувати концентрацію насиченого розчину не вдається. В той же час, якщо прийняти, що активність пропорційна концентрації (тобто великі значення активності солі в насиченому розчині відповідають високій розчинності, а малі – низькій), за допомогою рівняння (2.25) можна якісно, але не кількісно, оцінити розчинність різних солей. За допомогою такої якісної оцінки К. Я. Яцимірський намітив загальну картину розчинності солей залежно від радіусу йонів, з яких вони утворені, і сформулював закономірності розчинності таким чином:

1. Розчинність визначається, перш за все, відношенням радіусів катіона і аніона. Для солей типу MeA мінімальна розчинність спостерігається при $r_K : r_A = 0,7$; для солей типу MeA_2 – при $r_K : r_A = 1,1$; для солей типу Me_2A – при $r_K : r_A = 0,4-0,6$ (залежно від абсолютних значень радіусів). Найбільшу розчинність мають солі з максимальною відмінністю радіусів катіонів і аніонів.

2. Розчинність залежить також від абсолютних розмірів йонів: серед солей з малою розчинністю, що мають вказані в п.1 відношення радіусів іонів,

найменшу розчинність мають солі типу MeA , якщо радіуси мінімальні. Для солей типу MeA_2 і Me_2A найменша розчинність спостерігається, як для мінімальних, так і для максимальних радіусів обох йонів.

3. Розчинність солі залежить від зарядів катіонів і аніонів. Якщо $r_A \gg r_K$, то у солей типу MeA_2 розчинність значно вища, ніж у солей типу MeA , що мають ті ж радіуси іонів. Якщо ж $r_A \approx r_K$, то розчинність солей типу MeA_2 значно нижча, ніж солей типу MeA , що мають ті ж радіуси іонів. Таким чином, при зміні відношення радіусів іонів розчинність солей змінюється тим різкіше, чим вище заряди йонів, що складають дану сіль.

Перераховані закономірності дозволяють пояснити відмінності, що здаються аномальними, в розчинності солей, утворених близькими по хімічних властивостях йонами. Наприклад, у парах $LiCl$ і LiF , $CaCl_2$ і CaF_2 перша сіль розчиняється набагато краще другої, хоча утворені вони одним і тим же катіоном і близькими по хімічних властивостях аніонами. У всіх цих випадках відмінності в розчинності можна пояснити, зіставляючи радіуси катіона і аніона:

$$r_{Li^+} : r_{Cl^-} \approx 0,4; \quad r_{Li^+} : r_{F^-} \approx 0,6; \quad r_{Ca^{2+}} : r_{Cl^-} \approx 0,6; \quad r_{Ca^{2+}} : r_{F^-} \approx 0,8.$$

Відношення радіусів катіонів і аніонів малорозчинних солей близько до відношення, що відповідає мінімальній розчинності солі даного типу.

Розчинність солей, утворених багатоатомними іонами, підпорядковується в основному тим же закономірностям, що і розчинність солей того ж типу з одноатомними іонами. Разом з тим слід враховувати також додаткові чинники, що впливають на ентальпію гідратації, і, отже, на енергію Гіббса розчинення і розчинність. Наприклад, істотно впливає на розчинність форма іона: різке відхилення від сферичної форми приводить до зменшення теплоти гідратації і розчинності солі порівнянно з сіллю того ж типу, що має сферичні іони з тим же радіусом. Цим пояснюється значно менша розчинність галогенатов (хлоратів, броматів, йодатів) калію, рубідію і цезію порівнянно з галогенідами цих же металів. Теплота гідратації і розчинність більші у солі, що містить іони,

які здатні вступати у взаємодію з молекулами води (утворюючи, наприклад, водневий зв'язок). Наявність в комплексному йоні полярних груп приводить до збільшення енергії кристалічної ґратки солі і зменшення її розчинності.

3 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

3.1 Дослідження фільтрування червоного шламу при співвідношенні р:т = 6:1

Використано 300 мл червоного шламу 1-го типу. Для визначення константи К знайшов тангенс кута нахилу прямої DM (рис. 3.1) як відношення катетів, узятих у відповідних масштабах.

Результати заміру занесено в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати дослідів по визначенню констант процесу фільтрування

Номер досліду	Час заміру	Об'єми фільтрату				Інтервали		$\Delta\tau/\Delta v$
		Попередні заміри,	Остаточні заміри V			Часу	Δv	
	с		мл	мл	$10 \cdot \text{м}^3$	$\text{м}^3/\text{м}^2$	$\Delta\tau, \text{с}$	$\text{м}^3/\text{м}^2$
1	16	0	50	0,0005	0,0104	16	0,010	1528,3
2	29	50	100	0,001	0,0209	13	0,010	1241,7
3	57	100	150	0,0015	0,0314	28	0,010	2674,5
4	94	150	200	0,002	0,0418	37	0,010	3534,1
5	117	200	250	0,0025	0,0523	23	0,010	2196,9
6	210	250	300	0,003	0,0628	93	0,010	8883,2

Константу С знайшов безпосередньо заміром відрізка DO на рисунку 3.1.

Далі обчислюємо константи фільтрування К і С аналітичним методом, використовуючи дані табл. 3.1.

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = K \cdot \frac{1}{2(v + c)} \quad (3.1)$$

$$\begin{cases} \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} = \frac{0.010469}{16} = \frac{K}{2(v_1 + C)} = \frac{K}{2(0,0101469 + C)} \\ \frac{\Delta v_6}{\Delta t_6} = \frac{0,010469}{16} = \frac{K}{2(v_1 + C)} = \frac{K}{2(0,0101469 + C)} \end{cases} \quad (3.2)$$

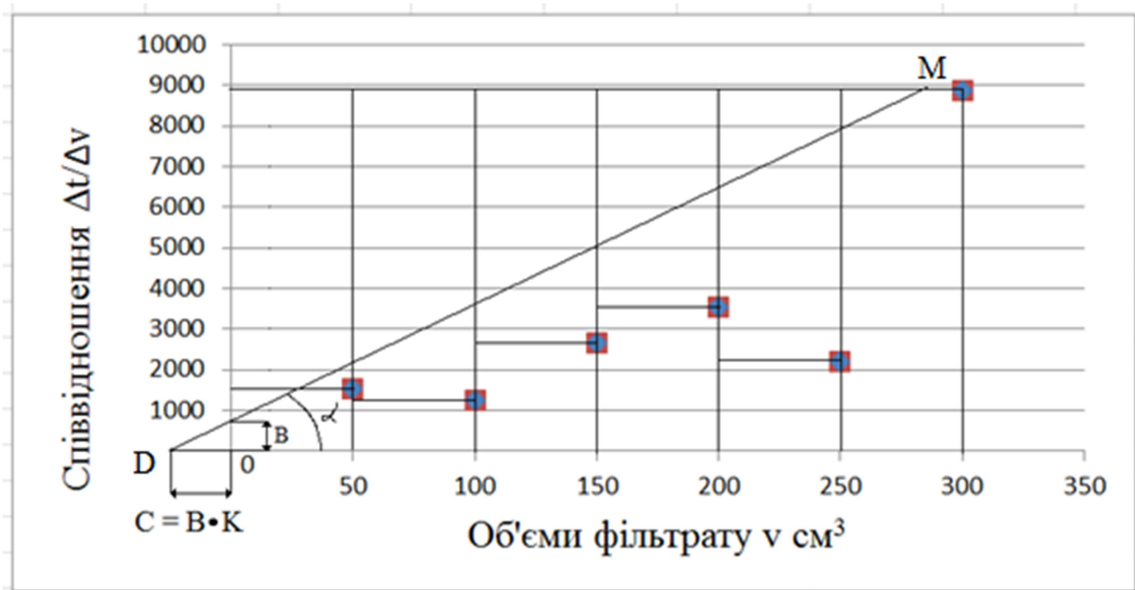


Рисунок 3.1 – Визначення констант фільтрування

З рівняння (3.2) виводимо K :

$$K = \frac{2 \cdot v_1}{16} \cdot (v_1 + C) = \frac{2 \cdot 0.010469}{16} \cdot (0.010469 + C)$$

використовуємо формулу (3.1) і знаходимо C :

$$\frac{\Delta v_6}{\Delta t_6} = \frac{K \frac{2 \cdot v_1}{16} \cdot (v_1 + C)}{2(v_1 + C)} = \frac{\frac{2 \cdot 0.010469}{16} \cdot (0.010469 + C)}{2(0.010469 + C)} = \frac{0.010469}{16} \quad (3.3)$$

Використовуючи рівняння (3.3), знайдено константи фільтрування:

$$C = 0,407 \cdot 10^{-3}; \quad K = 1,4234 \cdot 10^{-5}.$$

Використовуючи діаграму на рис. 3.1, графічним методом знайдено C і K :

$$C = 0,403 \cdot 10^{-3}; \quad K = 1,4444 \cdot 10^{-5}.$$

Обчислені графічним і аналітичним методами величини констант фільтрування K і C записано в таблицю 3.7.

Використано 300 мл червоного шламу 2-го типу. Для визначення константи K знайшов тангенс кута нахилу прямої DM (рис 3.2) як відношення катетів, узятих у відповідних масштабах. Результати заміру занесено в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати дослідів по визначенню констант процесу фільтрування при $r:t=6:1$

Номер досліду	Час заміру	Об'єми фільтрату				Інтервали		$\Delta\tau/\Delta v$
		Попередні заміри,	Остаточні заміри V			Часу	Δv	
	мл		мл	$10 \cdot \text{м}^3$	$\text{м}^3/\text{м}^2$			
1	12	0	50	0,0005	0,0104	12	0,010	1146,2
2	34	50	100	0,001	0,0209	22	0,010	2101,4
3	62	100	150	0,0015	0,0314	28	0,010	2674,5
4	119	150	200	0,002	0,0418	57	0,010	5444,5
5	166	200	250	0,0025	0,0523	47	0,010	4489,3
6	255	250	300	0,003	0,0628	89	0,010	8501,1

Константу С знайшов безпосередньо заміром відрізка DO на рисунку 3.2.

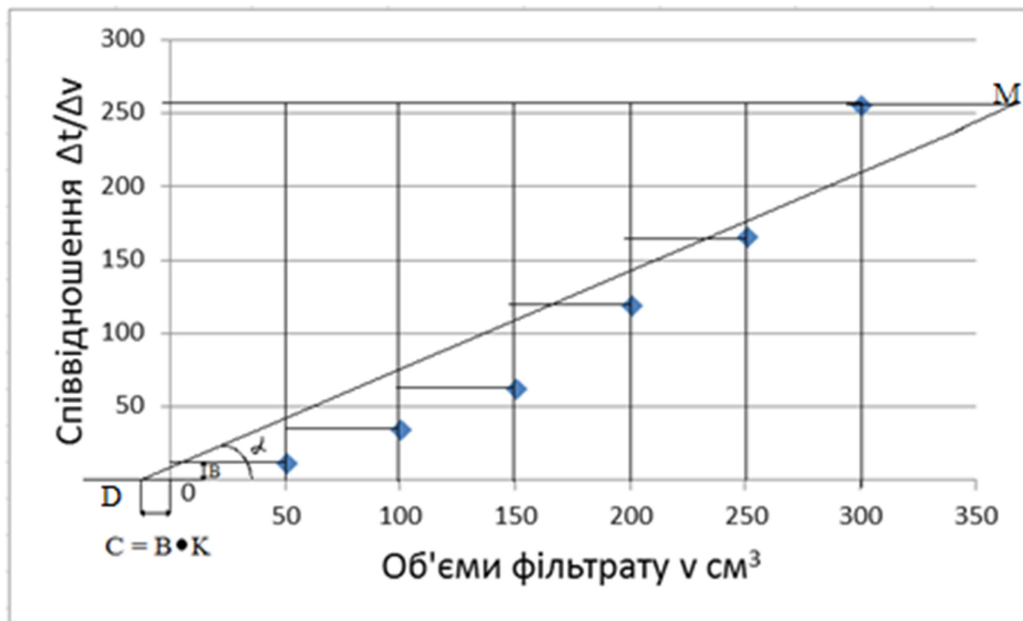


Рисунок 3.2 – Визначення константи фільтрування

Використовуючи рівняння (3.3) знайдено константи фільтрування:

$$C = 0,409 \cdot 10^{-3}; \quad K = 1,4264 \cdot 10^{-5}.$$

Використовуючи діаграму на рис.3.2, графічним методом знайдено C і K:

$$C = 0,402 \cdot 10^{-3}; \quad K = 1,4384 \cdot 10^{-5}.$$

Знайдені константи K і C записано в таблицю 3.7.

Використано 300 мл червоного шламу 2-го типу. Для визначення константи К знайшов тангенс кута нахилу прямої DM (рис. 3.3) як відношення катетів, узятих у відповідних масштабах. Результати заміру занесені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.3 – Результати дослідів по визначенню констант процесу фільтрування при $r:t=6:1$

Номер Дослід	Час заміру	Об'єми фільтрату				Інтервали		$\Delta\tau/\Delta v$
		Попередні заміри,	Остаточні заміри V			Часу	Δv	
			мл	мл	$10 \cdot m^3$	m^3/m^2	$\Delta\tau, c$	
1	43	0	50	0,0005	0,01046	43	0,010	4107
2	127	50	100	0,001	0,02093	84	0,010	8023
3	292	100	150	0,0015	0,03140	165	0,010	15760
4	469	150	200	0,002	0,04187	177	0,010	16906
5	718	200	250	0,0025	0,05234	249	0,010	23784
6	1059	250	300	0,003	0,06281	341	0,010	32571

Константу С знайшов безпосередньо заміром відрізка DO на рисунку 3.3.

Використовуючи рівняння (3.3) знайдено константи фільтрування:

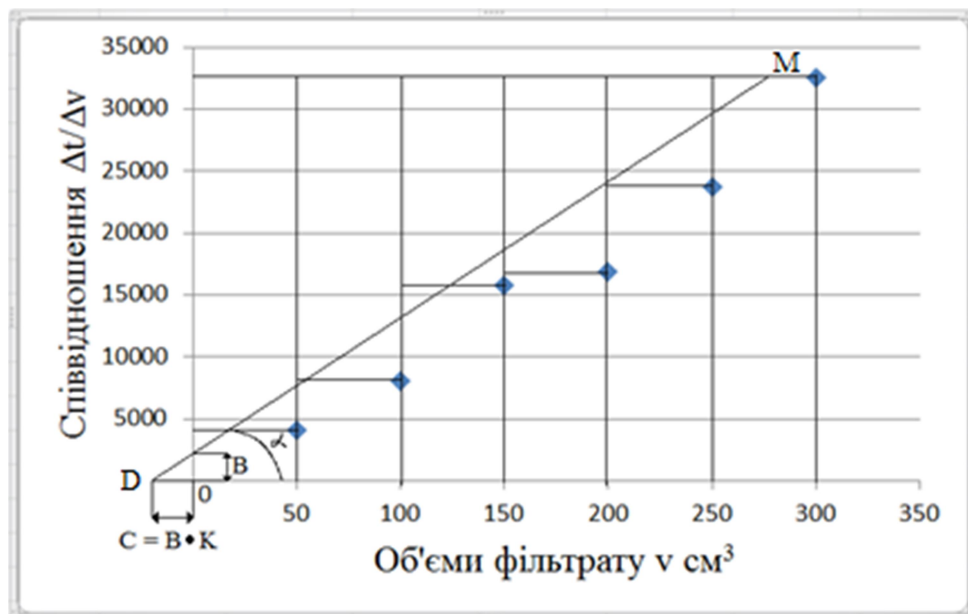


Рисунок 3.3 – Визначення константи фільтрування за рівнянням (3.3)

$$C = 0,407 \cdot 10^{-3}; \quad K = 1,4234 \cdot 10^{-5}.$$

Використовуючи діаграму на рис. 3.3, графічним методом знайдено C і K :

$$C = 0,403 \cdot 10^{-3}; \quad K = 1,4444 \cdot 10^{-5}.$$

Знайдені константи K і C записано в таблицю 3.7.

3.2 Дослідження фільтрування червоного шламу при співвідношенні $p:t = 8:1$

Таблиця 3.4 – Результати дослідів по визначенню констант процесу фільтрування при $p:t=8:1$

Номер дослідів	Час заміру	Об'єми фільтрату				Інтервали		$\Delta\tau/\Delta v$
		Попередні заміри,	Остаточні заміри V			Часу	Δv	
	с		мл	мл	$10 \cdot m^3$	m^3/m^2	$\Delta\tau, c$	m^3/m^2
1	40	0	50	0,0005	0,01046	40	0,010	3820,7
2	116	50	100	0,001	0,02093	76	0,010	7259,4
3	290	100	150	0,0015	0,0314	174	0,010	16620,
4	440	150	200	0,002	0,0418	150	0,010	14327,
5	604	200	250	0,0025	0,0523	164	0,010	15665,
6	875	250	300	0,003	0,0628	271	0,010	25885,
7	1039	300	350	0,0035	0,0732	164	0,010	15665,
8	1457	350	400	0,004	0,0837	418	0,010	39926,

Використано 400 мл суспензії, що складається з червоного шламу і води, з заданим співвідношенням $p:t=8:1$.

Константу C знайшов безпосередньо заміром відрізка DO на рисунку 3.4. Далі визначив швидкості фільтрування в початковий і кінцевий моменти.

Для визначення константи K знайшов тангенс кута нахилу прямої DM (рис 3.4) як відношення катетів, узятих у відповідних масштабах.

Використовуючи рівняння (3.3) знайдено константи фільтрування:

$$C = 2,736 \cdot 10^{-3}; \quad K = 1,9945 \cdot 10^{-5}.$$

Використовуючи діаграму на рис. 3.4, графічним методом знайдено C і K :

$$C = 2,768 \cdot 10^{-3}; \quad K = 1,9965 \cdot 10^{-5}.$$

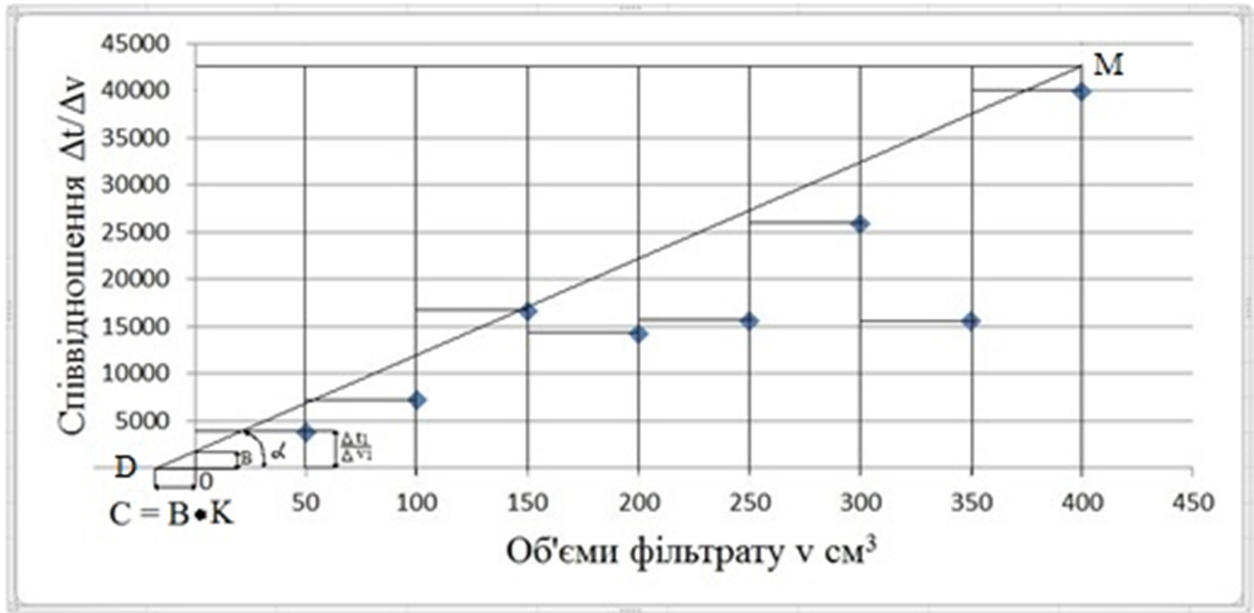


Рисунок 3.4 – Визначення константи фільтрування

Знайдені константи K і C записано в таблицю 3.7.

3.3 Дослідження впливу вібрації на фільтрування червоного шламу при співвідношенні $r:t = 8:1$

Таблиця 3.5 – Результати дослідів по визначенню констант процесу фільтрування при $r:t=8:1$ та вібрації

Номер досліду	Час заміру	Об'єми фільтрату				Інтервали		$\Delta\tau/\Delta v$
		Попередні заміри,	Остаточні заміри V			Часу	Δv	
	с		мл	мл	$10 \cdot m^3$	m^3/m^2	$\Delta\tau, c$	m^3/m^2
1	27	0	50	0,0005	0,0104	80	0,010	7641,5
2	80	50	100	0,001	0,0209	103	0,010	9838,4
3	183	100	150	0,0015	0,0314	145	0,010	13850
4	328	150	200	0,002	0,0418	102	0,010	9742,9
5	430	200	250	0,0025	0,0523	350	0,010	33431
6	780	250	300	0,003	0,0628	138	0,010	13181
7	918	300	350	0,0035	0,0732	321	0,010	30661
8	1239	350	400	0,004	0,0837	321	0,010	30661

Для визначення константи K знайшов тангенс кута нахилу прямої DM (рис 3.5) як відношення катетів, узятих у відповідних масштабах. За методикою знайдено константи фільтрування K і C , величини яких обчислено за експериментальними даними, які надано в табл. 3.5.

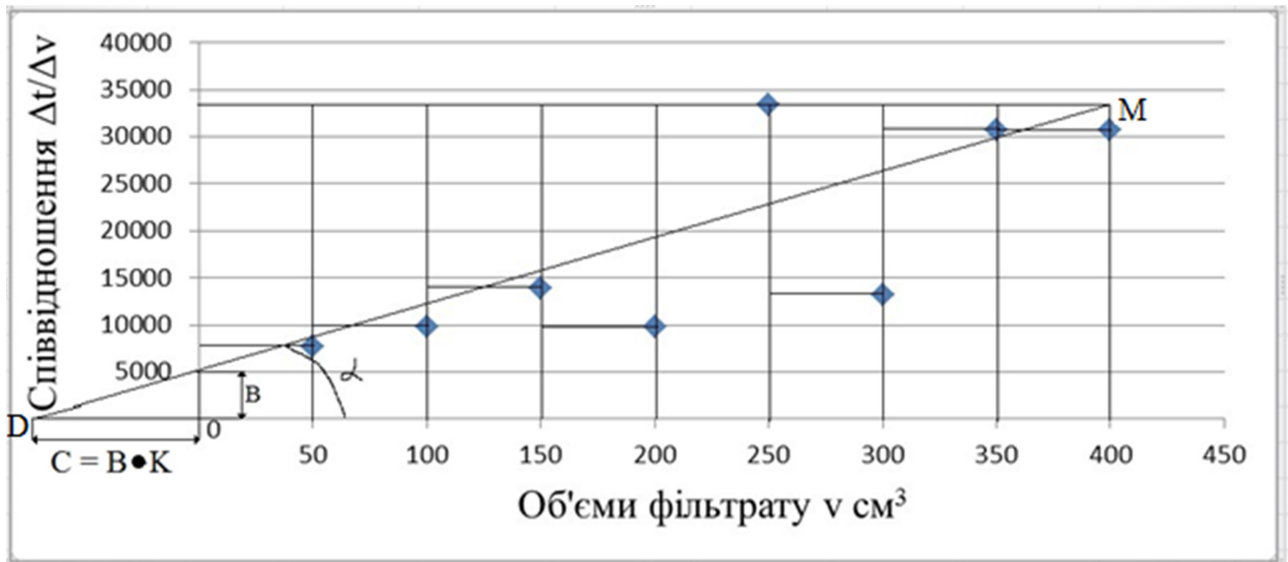


Рисунок 3.5 – Визначення константи фільтрування

Використовуючи рівняння (3.3) знайдено константи фільтрування:

$$C = 2,744 \cdot 10^{-3}; \quad K = 1,9929 \cdot 10^{-5}.$$

Використовуючи діаграму на рис. 3.5, графічним методом знайдено C і K :

$$C = 2,748 \cdot 10^{-3}; \quad K = 1,9934 \cdot 10^{-5}.$$

Знайдені константи K і C записано в таблицю 3.7.

Повторне дослідження щодо впливу вібрації на фільтрування червоного шламу наведено у табл. 3.6.

Константу C знайшов безпосередньо заміром відрізка DO на рисунку 3.6.

Для дослідження використано 400 мл суспензії с червоним шламом. Для з'ясування впливу вібрації на процес фільтрування шламу організовано струшування колби через певні інтервали часу.

Константу C знайдено безпосередньо заміром відрізка DO на рис. 3.6.

Таблиця 3.6 – Результати дослідів по визначенню констант процесу фільтрування при $r:t=8:1$

Номер досліду	Час заміру	Об'єми фільтрату				Інтервали		$\Delta\tau/\Delta v$
		Попередні заміри,	Остаточні заміри V			Часу	Δv	
	с		мл	мл	$10 \cdot m^3$	m^3/m^2	$\Delta\tau, c$	m^3/m^2
1	27	0	50	0,0005	0,0104	80	0,010	7641,5
2	80	50	100	0,001	0,0209	103	0,010	9838,4
3	183	100	150	0,0015	0,0314	145	0,010	13850
4	328	150	200	0,002	0,0418	102	0,010	9742,9
5	430	200	250	0,0025	0,0523	350	0,010	33431
6	780	250	300	0,003	0,0628	138	0,010	13181
7	918	300	350	0,0035	0,0732	321	0,010	30661
8	1239	350	400	0,004	0,0837	321	0,010	30661

Далі визначено швидкості фільтрування в початковий і кінцевий періоди часу. Знайдені константи K і C записуємо в табл. 3.7.

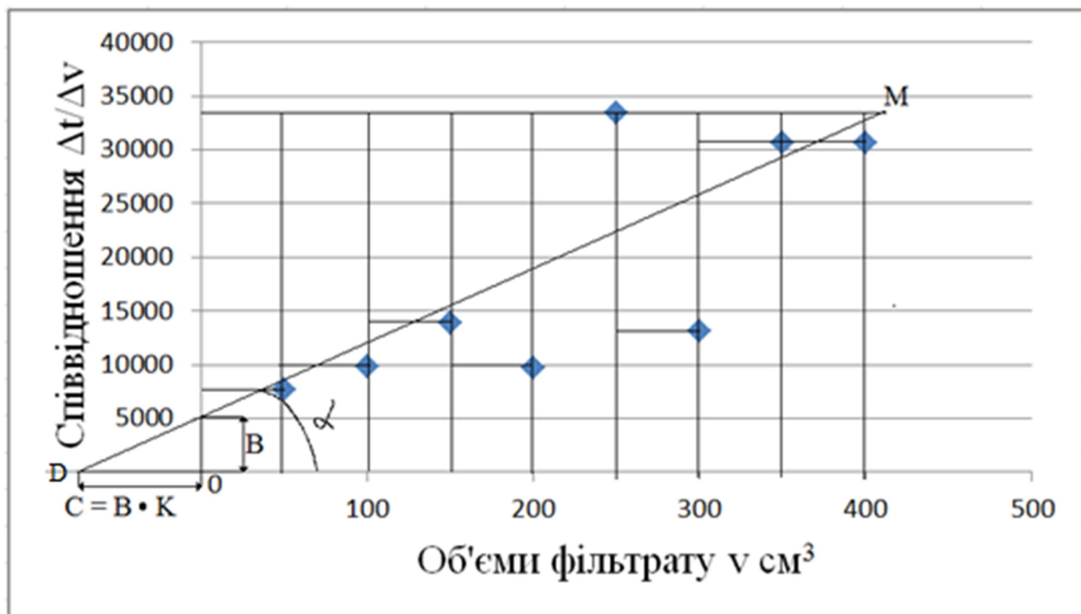


Рисунок 3.6– Визначення константи фільтрування

Використовуючи рівняння (3.3), знайдено константи фільтрування:

$$C = 2,967 \cdot 10^{-3}; \quad K = 1,9927 \cdot 10^{-5}.$$

Використовуючи діаграму на рис.3.6, графічним методом знайдено С і К:

$$C = 2,758 \cdot 10^{-3}; \quad K = 1,9977 \cdot 10^{-5}.$$

Знайдені константи К і С записано в таблицю 3.7.

Таблиця 3.7 –Константи К і С, що вимірені графічним і розрахунковим методами

№ п/п	Співвідношення р:т	Константи фільтрування				Розбіжність для констант, %	
		розрахунковий метод		графічний метод		С	К
		$C \cdot 10^{-3}$	$K \cdot 10^{-5}$	$C \cdot 10^{-3}$	$K \cdot 10^{-5}$		
1	6:1	0,407	1,4230	0,403	1,4440	0,004	5,2109
2	6:1	0,409	1,4264	0,402	1,4384	0,007	2,9850
3	6:1	0,405	1,4234	0,407	1,4294	0,002	1,4742
4	8:1	2,736	1,9945	2,768	1,9965	0,032	0,0722
5	8:1	2,744	1,9929	2,748	1,9934	0,004	0,0181
6	8:1	2,967	1,9927	2,758	1,9977	0,209	0,1812

Константа фільтрування С показує, що при співвідношенні р:т як 8:1 швидкість фільтрування найбільша, опір фільтрувальної перегородки К найменший при співвідношенні р:т як 6:1.

3.4 Математична обробка експерименту і застосування ПЕОМ

З допомогою ПЕОМ у програмі Microsoft Excel знайдено лінію тренда і діаграму, а також достовірність лінії тренда до експериментальних даних для залежності константи фільтрування від умов фільтрування за даними (рис.3.7).

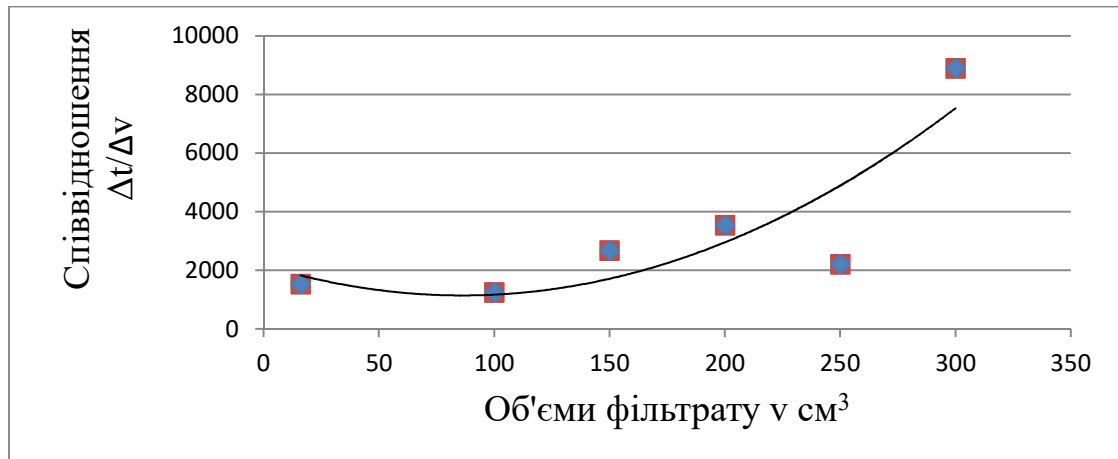


Рисунок 3.7 – Визначення константи фільтрування за рівнянням (3.3)

Обчислена лінія тренда описується рівнянням:

$$y = 0,1699x^2 - 36,318x + 3257,2, \quad (3.4)$$

де y – співвідношення $\Delta t/\Delta v$;

x – v об'єми фільтрату, см³.

Обчислена достовірність рівняння (3.4) дорівнює $R^2 = 0,7504$.

За допомогою програми Microsoft Excel знайдено лінію тренда і діаграму, а також достовірність лінії тренда до експериментальних даних для залежності константи фільтрування від умов фільтрування за даними рис.3.8.

Обчислена лінія тренда за даними рис.3.8 описується рівнянням:

$$y = 8,9596e^{0,0118x}, \quad (3.5)$$

де y – співвідношення $\Delta t/\Delta v$;

x – v об'єми фільтрату, см³.

Обчислена достовірність рівняння (3.5) дорівнює $R^2 = 0,964$.

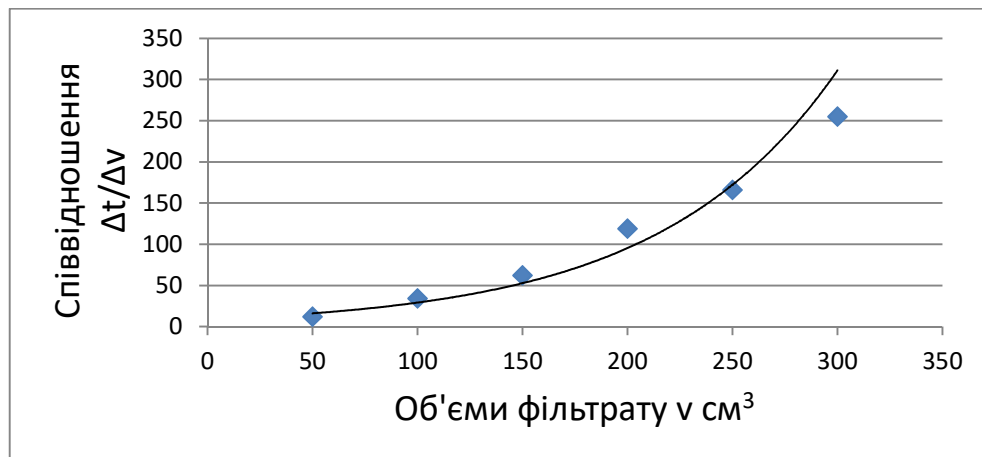


Рисунок 3.8 – Визначення константи фільтрування за рівнянням (3.3)

За допомогою програми Microsoft Excel знайдено лінію тренда і діаграму, а також достовірність лінії тренда до експериментальних даних для залежності константи фільтрування від умов фільтрування за даними рис.3.9.

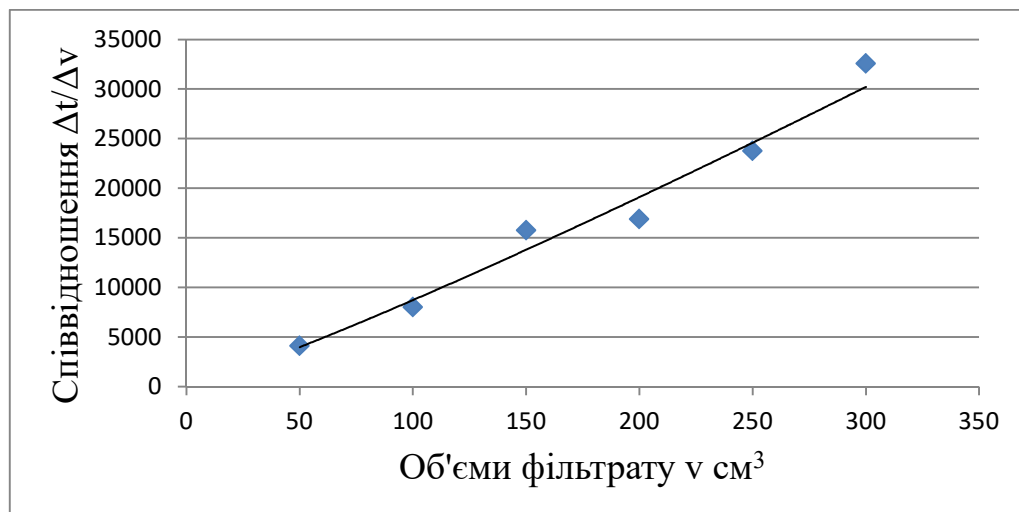


Рисунок 3.9 – Визначення константи фільтрування за рівнянням (3.3)

Обчислена лінія тренда за даними рис.3.9 описується рівнянням:

$$y = 47,723x^{1,131}, \quad (3.6)$$

де y – співвідношення $\Delta t/\Delta v$;

x – v об'єми фільтрату, см³.

Обчислена достовірність рівняння (3.6) дорівнює $R^2 = 0,9834$.

За допомогою програми Microsoft Excel знайдено лінію тренда і діаграму, а також достовірність лінії тренда до експериментальних даних для залежності константи фільтрування від умов фільтрування за даними рис.3.10.

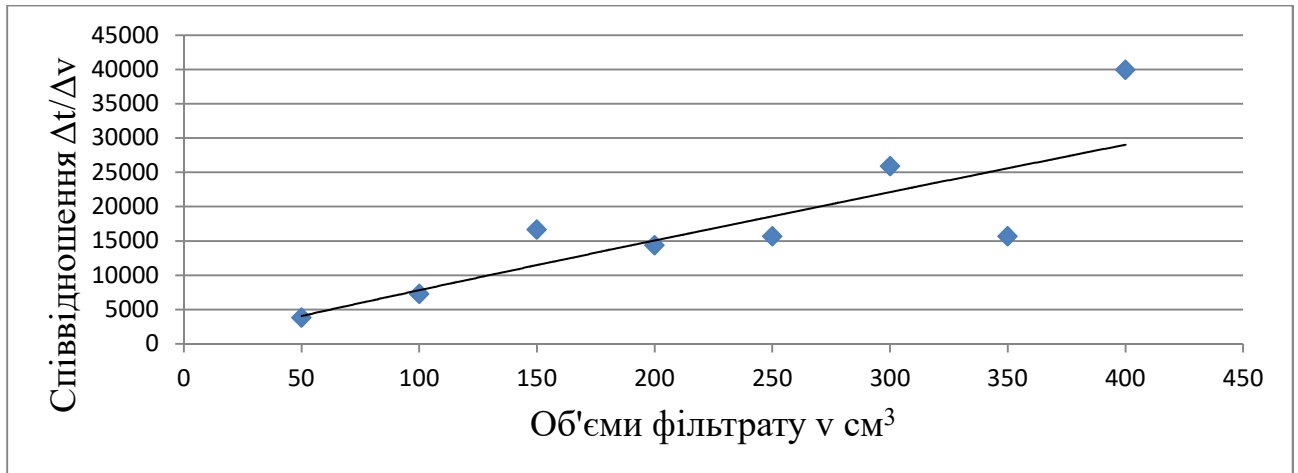


Рисунок 3.10 – Визначення константи фільтрування за рівнянням (3.3)

Обчислена лінія тренда за даними рис.3.10 описується рівнянням:

$$y = 100,11x^{0,9463}, \quad (3.7)$$

де y – співвідношення $\Delta t/\Delta v$;

x – v об'єми фільтрату, см³.

Обчислена достовірність рівняння (3.7) дорівнює $R^2 = 0,8504$.

Після занесення експериментальних в програму Microsoft Excel, побудовано графічні залежності, на яких зображено лінію тренда, а також знайшов формули залежності лінії тренда і їх достовірності. Завдяки цим формулам можна передбачити швидкість процесу фільтрування при різних умовах процесу і їх вплив на процес фільтрування.

3.5 Результати досліджень

Для шламів, що виходять із системи згущення і промивання глиноземних заводі, недоцільно застосування операції теплової або хімічної сушки через велику витрату палива або зв'язаної вологи. Отже, розглянуті фізичні методи зневоднення червоного шламу такі як використання вакуум- фільтрів, фільтр – пресів, центрифуг. Використання центрифуг, вакуум-фільтрів та фільтр – пресів є дешевшим, ніж його зберігання. Трудовитрати на обслуговування агрегатів в усіх випадках будуть приблизно однакові. Проведено експерименти використовуючи метод вакуум-фільтрів.

При фільтруванні з вібрацією процес тривав 1239 с, а без вібрації 1457, що на 218 с швидше (на 15 відсотків швидше). Вплив співвідношення рідкої до твердої фаз на швидкість фільтрації показано на рис.3.12. При фільтрації без вібрації швидкість фільтрування буде рівною 0 на 2077 с, а при впливі вібрації швидкість фільтрування буде рівною 0 на 6806 с, це показує, що швидкість фільтрування пульпи червоних шламів при впливі вібрації буде більша, ніж без вібрації. Рівняння лінії тренда при використанні вібрації і без вібрації показано в (3.8) і (3.9) формулах:

$$y = -0,024 \cdot \ln(x) + 0,208; \quad (3.8)$$

$$y = -0,059 \cdot \ln(x) + 0,5407. \quad (3.9)$$

Вплив вібрації на швидкість фільтрації показаний на рис. 3.11.

При співвідношення рідкої фази до твердої 6:1 процес фільтрації тривав 1059 с, а при співвідношення рідкої фази до твердої 8:1 процес фільтрації тривав 1457 с, що на 398 с довше (на 27 % повільніше).

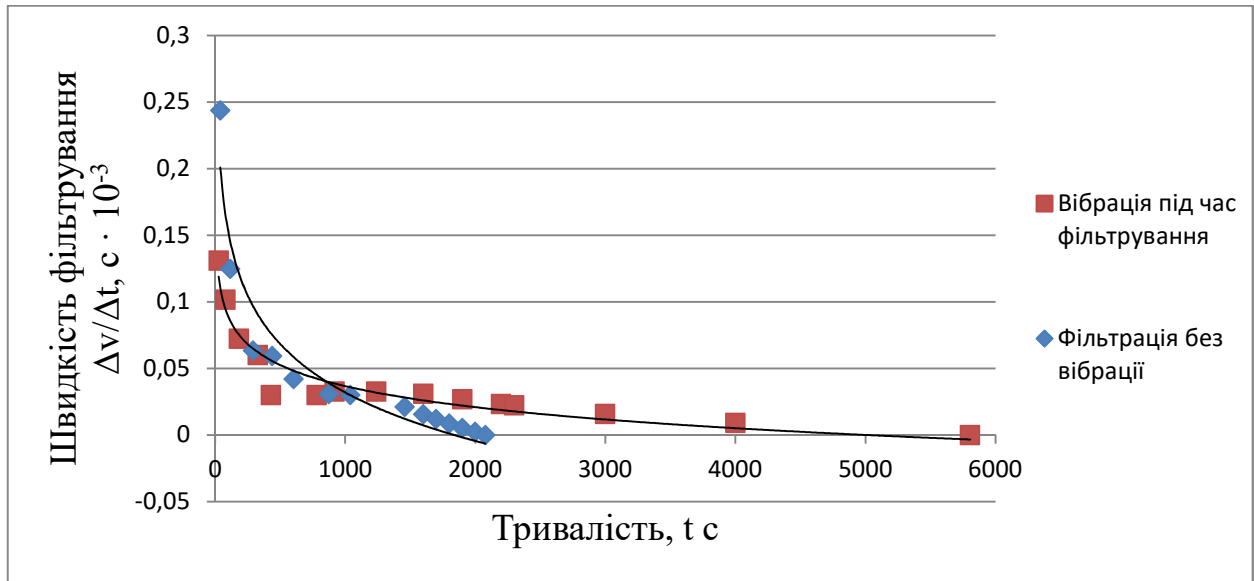


Рисунок 3.11 – Вплив вібрації на швидкість фільтрування червоного шламу

Вплив співвідношення р:т на швидкість фільтрації показаний на рис.3.12.

При співвідношенні рідкої фази до твердої 6:1 швидкість фільтрування буде рівною 0 на 2077 с, а при співвідношенні рідкої фази до твердої 8:1 швидкість фільтрування буде рівною 0 на 1754 с, це показує, що швидкість фільтрування пульпи червоних шламів при співвідношенні 6:1 більша, ніж при співвідношенні 8:1.

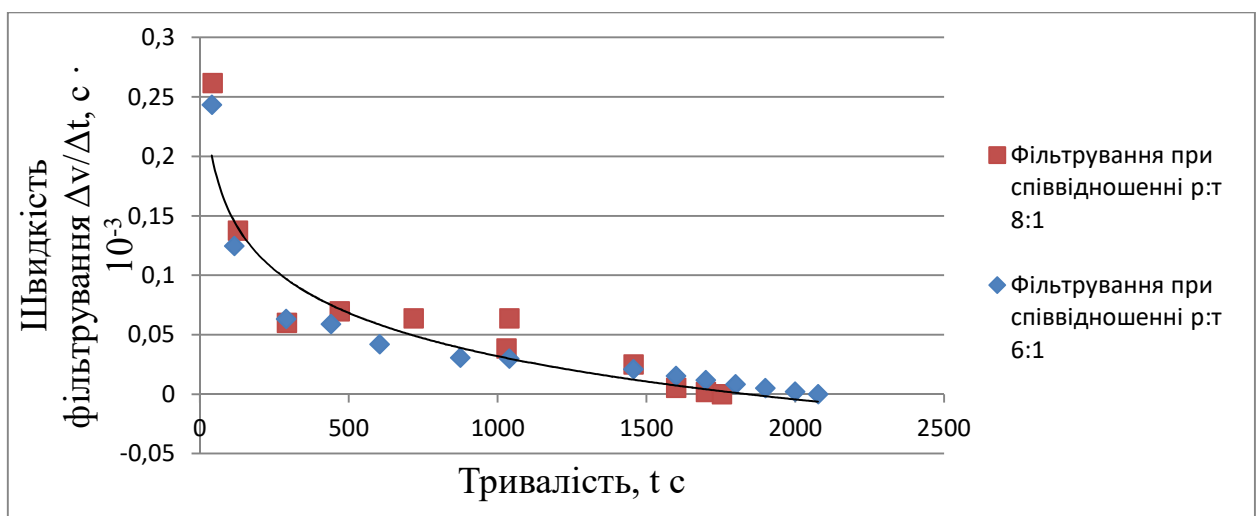


Рисунок 3.12 – Вплив співвідношення рідкої до твердої фаз на швидкість фільтрації

Рівняння лінії тренда при р:т 6:1 показано в формулі (3.10), при р:т 8:1 показано в формулі (3.11):

$$y = -0,059 \cdot \ln(x) + 0,5407; \quad (3.10)$$

$$y = -0,059 \cdot \ln(x) + 0,4407. \quad (3.11)$$

Висновки. Таким чином, можна зробити наступні висновки:

1. Встановлено позитивний вплив вібрації на швидкість фільтрування червоного шламу.

2. Чим більше співвідношення рідких речовин до твердих у складі пульпи червоного шламу, тим повільніше буде фільтруватися пульпа.

Таким чином, при фільтруванні пульпи червоного шламу рекомендовано впливати на пульпу червоного шламу вібрацією.

3.6 Термодинамічний аналіз розчинення сполук, що містяться в червоному шламі

Для визначення можливості розчинення у воді сполук, що містяться в червоному шламі, обчислюються величини вільної енергії Гіббса. Формально термодинамічна можливість перебігу простого розчинення визначається негативним значенням зміни вільної енергії Гіббса [6,20].

Для розрахунку термодинамічних характеристик звичайного розчинення твердих гідроксидів, які містяться в пульпі червоного шламу, що досліджується, а саме натрієвий луг і калієвий луг, вибрано температури від 303 К до 363 К. Термодинамічні характеристики звичайного розчинення названих гідроксидних сполук обчислюються з інтервалом в 20 К за циклом розчинення. Зміни термодинамічних функцій під час розчинення солі, гідратації та утворення кристалічної ґратки пов'язані між собою співвідношеннями (2.14). Розрахунки термодинамічних характеристик виконано з використанням електронних таблиць Microsoft Excel.

Для кожної солі відомі радіуси йонів, з яких вона складається (табл. 3.8).

Таблиця 3.8 – Радіуси йонів, з яких складаються гідроксиди [6]

Йон	K ⁺	Na ⁺	OH ⁻
Радіус, нм	0,133	0,098	0,153

Спочатку обчислюємо енергії кристалічних ґраток $U_{кр}$ для твердих гідроксидів NaOH, KOH за рівнянням А. Д. Капустинського (формулою (2.17)) відповідно:

$$U_{кр}(\text{NaOH}) = 120,2 \cdot \frac{1 \cdot 1 \cdot 2}{0,098 + 0,153} \cdot \left(1 - \frac{0,0345}{0,098 + 0,153} \right) = 826,123 \text{ кДж/моль};$$

$$U_{кр}(\text{KOH}) = 120,2 \cdot \frac{1 \cdot 1 \cdot 2}{0,133 + 0,153} \cdot \left(1 - \frac{0,0345}{0,133 + 0,153} \right) = 739,163 \text{ кДж/моль}.$$

Розраховуємо ентальпії гідратації $\Delta H_{\text{гiдр}}$ йонів, які містяться у складі вказаних сполук, за рівнянням К. П. Міщенко (формулою (2.20)):

$$\Delta H_{\text{гiдр}}(\text{Na}^+) = -\frac{42,57 \cdot 1}{(0,098 + 0,193 + 0,025)^2} = -426,314 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{\text{гiдр}}(\text{K}^+) = -\frac{42,57 \cdot 1}{(0,133 + 0,193 + 0,025)^2} = -345,533 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{\text{гiдр}}(\text{OH}^-) = -510 \text{ кДж/моль}.$$

Ентальпію розчинення твердих гідроксидів $\Delta H_{\text{розч}}$ розраховуємо за гідратаційним циклом по формуле (2.16):

$$\Delta H_{\text{розч}}(\text{NaOH}) = -826,123 - 426,314 - 510 = -1762,437 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{\text{розч}}(\text{KOH}) = -739,163 - 345,533 - 510 = -1594,696 \text{ кДж/моль}.$$

Далі за емпіричним рівнянням (2.21) для однозарядних катіонів K^+ , Na^+ розраховуємо йонні ентропії розчинення:

$$\Delta S_{\text{розч}}^0(\text{Na}^+) = 144,3 - 11,2/0,098 = 30,014 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)};$$

$$\Delta S_{\text{розч}}^0(\text{K}^+) = 144,3 - 11,2/0,133 = 60,089 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}.$$

Далі за емпіричним рівнянням (2.22) для однозарядних аніонів OH^- розраховуємо йонні ентропії розчинення:

$$\Delta S_{\text{розч}}^0(\text{OH}^-) = 170,7 - 27,6/0,153 = -9,692 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}.$$

Далі розраховуємо ентропію розчинення твердих гідроксидів NaOH, KOH відповідно:

$$\Delta S_{\text{розч}}^{\pm}(\text{NaOH}) = \Delta S_{\text{розч}}^0(\text{Na}^+) + \Delta S_{\text{розч}}^0(\text{OH}^-) = 30,014 - 9,692 = 20,322 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)};$$

$$\Delta S_{\text{розч}}^{\pm}(\text{KOH}) = \Delta S_{\text{розч}}^0(\text{K}^+) + \Delta S_{\text{розч}}^0(\text{OH}^-) = 60,089 - 9,692 = 50,397 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}.$$

Оскільки при розчиненні гідроксиду, гідратації і утворенні кристалічної ґратки зміни термодинамічних функцій зв'язані між собою, за співвідношенням (2.15) обчислюємо енергію Гіббса розчинення твердих гідроксидів NaOH, KOH.

Результати розрахунків енергії Гіббса розчинення твердих сполук NaOH, KOH, що містяться в червоних шламах, в інтервалі температур від 303 К до 363 К заносимо в табл.3.9.

Таблиця 3.9 – Результати розрахунків енергії Гіббса розчинення сполук

Температура, К	Енергія Гіббса розчинення речовин, кДж	
	NaOH	KOH
303	-7920,003	-16864,987
323	-8326,443	-17872,927
343	-8732,883	-18880,867
363	-9139,323	-19888,807

Будуємо графік залежності зміни енергії Гіббса розчинення твердих солей NaOH, KOH, що містяться в червоних шламах, від температури, який надано на рис. 3.13.

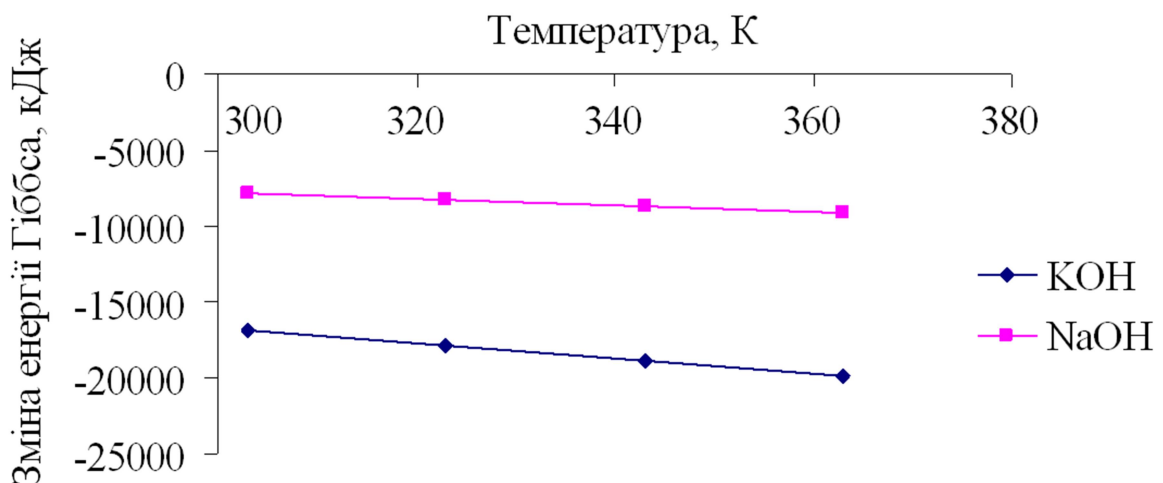
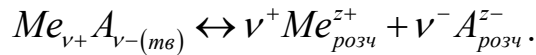


Рисунок 3.13 – Зміна енергії Гіббса розчинення гідроксидів залежно від температури

Процес розчинення гідроксидів $Me_{v^+}A_{v^-}$, які є йонними кристалами, можна описати рівнянням:



Константа рівноваги цього рівняння рівна добутку активностей катіона і аніона в розчині:

$$K = a_{Me^{z^+}}^{v^+} \cdot a_{A^{z^-}}^{v^-}.$$

Активність сполук в насиченому розчині $a = a_{Me^{z^+}}^{v^+} \cdot a_{A^{z^-}}^{v^-}$. Тоді $K = a$.

Оскільки величина константи рівноваги може бути розрахована, якщо відома енергія Гіббса розчинення луку $\Delta G_{розч}^{\pm}$, та оскільки $\Delta G = -n \cdot R \cdot T \cdot \ln K$, то є можливим розрахувати розчинність за допомогою термодинамічних даних.

Між розчинністю і енергією Гіббса розчинення луку (або ентальпією і ентропією розчинення) існує залежність:

$$n \cdot R \cdot T \cdot \ln a = -\Delta G_{розч}^{\pm} = -\Delta H_{розч}^{\pm} + T \cdot \Delta S_{розч}^{\pm}, \quad (3.12)$$

де n – число йонів, що утворюють молекулу луку;

a – активність солі в насиченому розчині;

$\Delta G_{розч}^{\pm}$, $\Delta H_{розч}^{\pm}$ і $\Delta S_{розч}^{\pm}$ – відповідно енергія Гіббса, ентальпія і ентропія розчинення солі.

Очевидно, що розрахунок розчинності за допомогою термодинамічних даних по рівнянню (3.12) можливий лише для малорозчинних сполук, коли активність луку в насиченому розчині практично дорівнює концентрації (коефіцієнт активності близький до одиниці). Розчинність гідроксиду велика, коефіцієнт активності відрізняється від одиниці, причому при різних концентраціях речовини він може приймати значення, у багато разів менші або більші одиниці.

Оскільки немає рівнянь, що описують залежність коефіцієнтів активності

від концентрації речовин в розчині, розрахувати концентрацію насиченого розчину не вдається. В той же час, якщо прийняти, що активність пропорційна концентрації (тобто великі значення активності луку в насиченому розчині відповідають високій розчинності, а малі – низькій), за допомогою рівняння (3.12) можна якісно, але не кількісно, оцінити розчинність різних сполук. За допомогою такої якісної оцінки К. Я. Яцимірський намітив загальну картину розчинності сполук залежно від радіусу йонів, з яких вони утворені, і сформулював закономірності розчинності: «Розчинність визначається, перш за все, відношенням радіусів катіона і аніона. Для сполук типу MeA мінімальна розчинність спостерігається при $r_K : r_A = 0,7$; для сполук типу MeA_2 – при $r_K : r_A = 1,1$; для сполук типу Me_2A – при $r_K : r_A = 0,4-0,6$ (залежно від абсолютних значень радіусів). Найбільшу розчинність мають сполуки з максимальною відмінністю радіусів катіонів і аніонів» [6].

Оскільки для луку КОН відношення радіусів $r_K : r_A = 0,873$, для луку NaOH відношення радіусів $r_K : r_A = 0,64$, то з двох сполук КОН і NaOH мінімальну розчинність буде мати твердий гідроксид NaOH.

Таким чином, за даними рис.3.13 встановлено, що зміни енергії Гіббса розчинення твердих сполук NaOH, КОН негативні (істотно менше нуля), тобто всі перелічені сполуки за температур від 303 К до 363 К мимовільно можуть розчинюватися у воді. Тому водним фільтруванням неможливо відокремити натрієвий або калієвий луг з пульпи червоного шламу.

Висновки. Термодинамічним аналізом розчинення гідроксидів NaOH, КОН, що містяться в червоних шламах, підтверджена неможливість їх виділення на фільтрі з водних пульп під час фільтрування. Оскільки ці сполуки володіють доброю розчинністю, тому велика ймовірність того, що ці гідроксиди будуть наявні у вологих шламах і спричинюватиме зволоження червоних шламів під час їх складування і зберігання. Тому відфільтрований червоний шлам потребує додаткову теплову обробку – сушіння.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих чинників, що впливають на дослідника в хіміко-металургійній лабораторії

Під час роботи в приміщенні хіміко-металургійної лабораторії на людину можуть негативно впливати такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори: а) небезпека отруєння парами хімічних речовин; б) підвищена або знижена температура повітря; в) підвищена або знижена вологість повітря; г) недостатня освітленість робочого місця; д) підвищений рівень тепловиділення; є) небезпека ураження електричним струмом.

Основними шкідливими чинниками під час дослідження особливостей підготовки пульпи червоних шламів до утилізації шляхом їх промивання та зневоднення є тепло- і газовиділення. Найбільша кількість теплоти виділяється під час фільтрування горячих пульп, менша кількість тепловиділень – під час , зневоднення та сушіння відфільтрованого шламу.

При дослідженні підготовки пульпи червоних шламів основними потенційними небезпеками є ураження електричним струмом. Джерелами прихованої небезпеки дії електричного струму слугують електроустановки. Робота електротермічного устаткування створює небезпеку теплового ураження. При водному фільтруванні лужних пульп червоного шламу відбувається інтенсивне газо- та пиловиділення, в основному нетоксичного пилу. Найбільш інтенсивне виділення газів відбувається під час зневоднення вологих залишків від фільтрування.

В хіміко-металургійній лабораторії при роботі з хімічними речовинами слід виходити з того, що всі хімічні реактиви в тій або іншій мірі є отруйними. За ступенем впливу на організм шкідливі речовини поділяються на чотири класи безпеки. При роботі з хімічними речовинами слід запобігати можливості їх проникнення в організм людини через легені, шкіру і через рот [23,24].

Робота зі скляним посудом також є небезпечним чинником. Нещасні

випадків при роботі зі склом, в першу чергу порізи рук, призводять до мікротравм (після яких можна продовжувати роботу) і легких травм (втрата працездатності на один або кілька днів), а також опіки рук при перенесенні скляного посуду з киплячою рідиною без засобів індивідуального захисту.

До основних шкідливих чинників в приміщенні хіміко-металургійної лабораторії належать отруєння хімічними речовинами в разі аварії і небезпека ураження електричним струмом. Аналіз шкідливих і небезпечних факторів та карта умов праці для робочого місця дослідника в хіміко-металургійній лабораторії з підготовки пульпи червоних шламів до утилізації надано в табл.4.1.

Таблиця 4.1 – Оцінка чинників виробничого та трудового процесу працівника хіміко-металургійної лабораторії

№	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі і небезпечні умови			Тривалість дії чинників в заміну %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ 2 клас безпеки: їдкий натр	0,5	0,1				60
	3–4 клас безпеки: технічна сода	2	4	2р			40
2	Неіонізуючі випромінювання: - діапазон промислової частоти, кВ/м	20	20				20
3	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря, °С	20–24	29		5		100
	- швидкість руху повітря, м/с	не більше 0,3	0,1				100
	- відносна вологість повітря, %	не більше 75	50				100
	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	140	80				20
4	Важкість і напруженість праці	Категорія важкості праці – легка, категорія напруженості праці – помірно напружена					

Таким чином, аналіз шкідливих і небезпечних чинників праці під час дослідження особливостей підготовки пульпи червоних шламів дозволяє зробити висновок, що умови роботи в лабораторії характеризуються наявністю нешкідливих виробничих чинників, які не призводять до зростання захворюваності з втратою працездатності та проявом початкових ознак професійної патології.

4.2 Заходи з поліпшення умов праці

При дослідженні особливостей підготовки пульпи червоних шламів робота, яка проводиться, пов'язана з використанням шкідливих речовин, наявністю і використанням електричного струму, експлуатацією обладнання з підвищеною температурою. Невиконання правил безпеки може привести до отруєння шкідливими газами, травмам, ураженню електричним струмом, термічним і хімічним опікам.

Перелік шкідливих речовин, що використовуються при дослідженні, зведений у табл. 4.2 [23,25].

Таблиця 4.2 – Перелік шкідливих речовин

Найменування речовини, формула	Характеристика дії на організм людини	Шляхи проникнення в організм людини	Засоби захисту і засоби попередження
Їдкий натр	Роздратування слизуватих оболонок, нежить, кашель, опіки	Дихальні шляхи	Засоби індивідуального захисту, працювати під витяжною шафою
Кальцинована сода Na_2CO_3	Викликає подразнення при потраплянні на вологу шкіру або слизову оболонку очей та носу, а при тривалому контакті дерматит	Шкіряні та слизові покрови очей та носа	Засоби індивідуального захисту, правила гігієни, спеціальний одяг, взуття і працювати під витяжною шафою

Перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які трапляються при дослідженні особливостей підготовки пульпи червоних шламів, надано в

табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Наіменування шкідливого виробничого фактору	Параметр (норма)	Значення параметра на робочому місті	Характер дії на організм людини	Засоби захисту
Електричний струм	0,01А	Опір заземлення (Р) має бути не більше 10 Ом, опір ізоляції по паспорту на устаткування	Електрошок, електротравма, електроудар, термічні опіки тіла, зупинка роботи серця і дихання	Діелектричні рукавиці
<p>Джерело: Муфельна піч, піч електричного опору. Заходи запобігання: Корпус печі має бути надійно заземлений. Строго стежити за станом електроізоляції і заземлення устаткування. Всі поверхні устаткування мають бути чистими і сухими.</p>				

Для поліпшення умов праці і захисту працюючих від теплової дії та виділення шкідливих газів і пилу передбачено наступні заходи: теплоізоляція, механічна вентиляція, природна аерація, спецодяг і засоби індивідуального захисту дослідника.

Для захисту від дії шкідливих хімічних речовин при дослідженні, передбачена механічна вентиляція (витяжна шафа) та природна аерація. На роботах зі шкідливими умовами праці, а також в особливих температурних умовах повинні бути використаними засоби індивідуального захисту (халат, наруківники, рукавиці гумові, рукавиці бавовняні, захисні окуляри).

Всі роботи з хімічними газоподібними речовинами, а також леткими рідинами або такими, що димлять, слід проводити тільки у витяжних шафах. Під тягою слід розмістити також сушильні шафи, в яких сушать речовини. Для створення достатнього освітлення витяжні шафи повинні бути обладнані світильниками у вибухобезпечному виконанні. Штепсельні розетки і вимикачі повинні бути розташовані поза витяжною шафою. Постійно діюча вентиляція повинна забезпечувати п'ятиразовий повітрообмін.

Для створення безпечної роботи зі скляним посудом потрібно переконатися у цілісності посуду (повинна бути без тріщин і інших ушкоджень), не класти на край столу, краї стола забезпечити захисною смугою, щоб зпробігти перекиданню скляного посуду. Нагрівати на електроплиті потрібно тільки термостійкі склянки і колби, простеживши попередньо, щоб зовнішня поверхня судини була сухою.

Для створення і автоматичної підтримки в хіміко-металургійній лабораторії оптимальних значень температури, вологості і швидкості руху повітря в холодну пору року потрібно використовувати водяне опалення, в теплу пору року слід застосовувати для охолодження повітря кондиціонери, які за допомогою приладів автоматичного регулювання підтримують в приміщенні задані параметри повітряного середовища.

Для збільшення освітлення лабораторії крім природного освітлення, що здійснюється через віконні отвори та є дуже слабким, на робочому місці слід застосовувати також штучне освітлення. Штучне освітлення створюють електричним джерелом світла, яке включають за потреби, регулюють інтенсивність світлового потоку і його спрямованість.

4.3 Виробнича санітарія

Для очищення повітря хіміко-металургійну лабораторію потрібно обладнати загальнообмінною примусовою вентиляцією, а місця можливого накопичення шкідливих хімічних речовин – витяжними шафами.

Для створення сприятливих умов зорової роботи для виконання роботи середньої точності використовуємо такі норми освітлення, які зазначені в табл. 4.4 і табл. 4.5, за ДБН В.2.5-28:2018.

Таблиця 4.4 – Нормовані значення природного освітлення для виробничих процесів

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкту для розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Коефіцієнт природного освітлення, %	
			при верхньому і комбінованому освітленні	при звичайному освітленні
Середньої точності	0,5–0,1	IV	3,6	1,4

Таблиця 4.5 – Норми освітлення штучним світлом

Характеристика роботи	Розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд роботи	Під-розряд роботи	Контраст об'єкта з фоном	Фон	Найменше освітлення, Лк			
						при газорозрядних		при лампах розжарювання	
						комбіноване	загальне	комбіноване	загальне
Середньої точності	0,5–1	IV	Г	Великий	Світлий	300	150	300	100

4.4 Електробезпека

Приміщення хіміко-металургійної лабораторії згідно Правил будови електроустановок (ПБЕ) можна віднести до 1 класу – без підвищеної небезпеки ураження струмом (сухе, безпилкове, з нормальною температурою повітря, ізольованими підлогами і малим числом заземлених приладів). На робочому місці дослідника з усього обладнання лабораторії металевим є вакуумний насос, низькотемпературна лабораторна електропіч (сушильна шафа).

Основними загрозами можуть бути: а) дотик до металевих неструмоведучих частин пічі, які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції; б) заборонене використання непромислових електричних приладів, таких як електричні чайники, обігрівачі.

Для освітлення дослідницької хіміко-металургійної лабораторії і живлення устаткування використовують найчастіше змінний електричний струм напругою 220-380 В. Змінний струм напругою більше 42 В небезпечний,

силою струму 0,1 А і вище смертельний. Для мережі загального освітлення допускається напруга не вище 220 В. В приміщеннях з підвищеною небезпекою, а також особливо небезпечних приміщень напруга для переносних освітлювачів і ручного інструменту не повинно перевищувати 12 В [24,27].

Основний чинник, що обумовлює той або інший ступінь ураження людини – сила струму. Для характеристики його дії на людину встановлено три критерії (табл. 4.6) [24-26].

Таблиця 4.6 – Середні значення порогових струмів

Струм	Значення струму		
	пороговий відчутний, мА	пороговий невідпускаючий, мА	порогово-фібриляційний, мА
Змінний частотою 50 Гц	0,5–1,5	6–10	50–100
Постійний	5,0–20	50–80	300

Усі електрощітки, зборки повинні постійно знаходитись з закритому положенні і не захаращувати сторонніми предметами. Струмopовідні частини устаткування, які знаходяться під високою напругою, повинні бути заземлені.

Основними заходами запобігання ураження електричним струмом в лабораторії є захист від дотику до частин електрообладнання, що знаходяться під напругою, застосування малих напруг, подвійна ізоляція, захисне заземлення і відключення, спеціальні засоби захисту (гумовий килимок), а також організаційні заходи.

Основними організаційними заходами запобігання ураження електричним струмом є інструктаж і навчання безпечним методам праці, перевірка знань правил безпеки та інструкцій відповідно до виконуваної роботи. Проведення незапланованого і планового ремонту електроприладів виконуються електротехнічним персоналом, які відповідають за обслуговування та ремонтні роботи. Якщо ремонт проводиться на струмоведучих частинах, що знаходяться під напругою, тоді роботу виконують не менш як дві особи із застосуванням електрозахисних засобів.

Розрахунок захисного заземлення. Для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при дотику до металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою у результаті пошкодження ізоляції, в хіміко-металургійній лабораторії пропонується застосувати захисне заземлення. Захисне заземлення призначено для створення між корпусом вакуум-насоса і землею електричного з'єднання досить малого опору, щоб у разі замикання на землю при дотику людини через його тіло пройшов струм малої величини, безпечний для організму [23-26].

Заземлення вакуум-насоса забезпечено підведенням заземлювальної жили до живильних розеток. Опір заземлення становить 4 Ом згідно ПБЕ для електроустановок до 1000 В [25].

Виконаємо розрахунок захисного заземлення для хіміко-металургійної лабораторії, у якій розташовано вакуум-насос. Вибираємо заземлювальний пристрій, який застосовується при малих струмах замикання на землю, зокрема в установках до 1000 В.

Заземлювач передбачається виконати з вертикальних труб $l=2,5$ м із зовнішнім діаметром $d=0,03$ м, верхні кінці яких з'єднуються між собою за допомогою горизонтального електрода – сталевий смуги перетином 4×40 мм, покладеної в землю на глибині $t=0,8$ м. Питомий опір ґрунту $\rho=100$ Ом·м. Коефіцієнт сезонності для вертикального заземлювача дорівнює $\psi=1,3$. Нормативний опір заземлювача становить 4 Ом.

Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту для заглибленого вертикального заземлювача [24]:

$$\rho_B = \psi \cdot \rho = 1,3 \cdot 100 = 130 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Опір растіканню струму одиночного вертикального заземлювача, заглибленого в землю на 0,8 м визначаємо за формулою:

$$R_o = \frac{\rho_B}{2 \cdot \pi \cdot l} \left[\ln \frac{2 \cdot l}{d} + 0,5 \ln \frac{4 \cdot t + 3 \cdot l}{4 \cdot t + l} \right]. \quad (5.1)$$

Тоді за формулою (5.1), отримаємо

$$R_o = \frac{130}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5} \left[\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,03} + 0,5 \ln \frac{4 \cdot 0,8 + 3 \cdot 2,5}{4 \cdot 0,8 + 2,5} \right] = 44,97 \text{ Ом.}$$

Знаходимо орієнтовну кількість вертикальних заземлювачів за формулою:

$$n = \frac{1,3 \cdot R_o}{R_H} = \frac{1,3 \cdot 44,97}{4} = 15 \text{ шт.}$$

Знаходимо відношення відстані між заземлювачами до їх довжини:

$$A = a/l = 2,5/2,5 = 1.$$

Коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів становить $\eta_B=0,7$ та горизонтальних заземлювачів $\eta_r=0,74$ [26].

Знаходимо опір растріванню струму групи вертикальних заземлювачів

$$R_B = \frac{R_o}{n \cdot \eta_B} = \frac{44,97}{15 \cdot 0,7} = 4,3 \text{ Ом.}$$

Довжину горизонтальної сполучної смуги визначаємо за формулою:

$$L_r = a \cdot (n - 1). \quad (5.2)$$

Отже, за формулою (5.2) отримаємо:

$$L_r = 2,5 \cdot (15 - 1) = 35 \text{ м.}$$

Коефіцієнт сезонності для горизонтального заземлювача при довжині смуги 35 м становить $\psi_r=2,5$.

Розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтального заземлювача:

$$\rho = \psi_r \cdot \rho = 2,5 \cdot 100 = 250 \text{ Ом.}$$

Опір горизонтальної смуги шириною $b=0,04$ м, заглибленої в землю на 1,8 м становить:

$$R_r = \frac{\rho_r}{2 \cdot \pi \cdot l_r \cdot \eta_r} \cdot \ln \left[\frac{2 \cdot l_r^2}{b \cdot t} \right]. \quad (5.3)$$

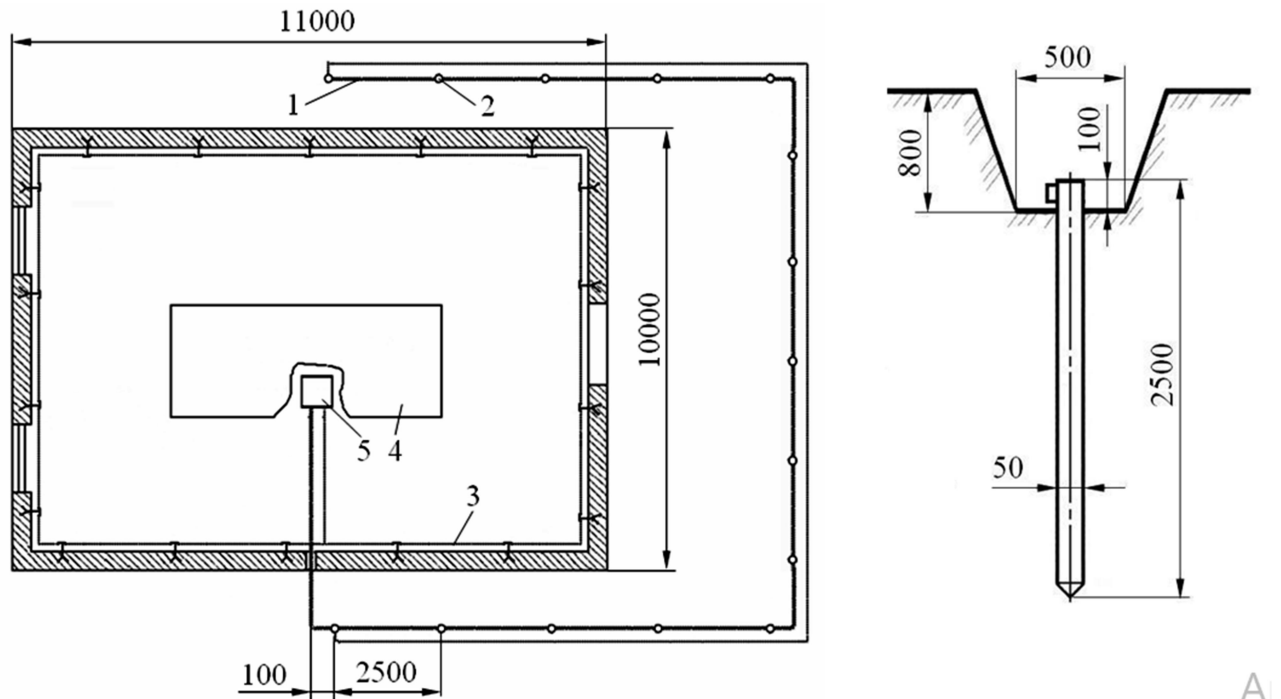
Тоді за формулою (5.3)

$$R_r = \frac{250}{2 \cdot 3,14 \cdot 35 \cdot 0,74} \cdot \ln \left[\frac{2 \cdot 35^2}{0,04 \cdot 0,8} \right] = 17,49 \text{ Ом.}$$

Опір заземленню в цілому дорівнює

$$R_3 = \frac{R_B \cdot R_r}{R_B + R_r} = \frac{4,3 \cdot 17,49}{4,3 + 17,49} = 3,45 \text{ Ом.}$$

Отриманий опір заземлювачів не перевищує номінальний (4 Ом), що відповідає вимогам ПБЕ [25]. Розташовуємо 15 заземлювачів в ряд на відстані 2,5 м один від одного (рис.4.1).



1 – сполучна смуга; 2 – заземлювач; 3 – внутрішній контур заземлення; 4 – стіл; 5 – вакуум-насос

Рисунок 4.1 – Схема виносного заземлення

4.5 Заходи пожежної безпеки

Пожежна безпека об'єкту повинна забезпечуватися системами запобігання пожежі і протипожежному захисту, у тому числі організаційно-технічними заходами. Для попередження пожеж і обмеження розповсюдження вогню передбачають необхідну вогнестійкість будівель [22]. Згідно з ОНТП 24-86 приміщення хіміко-металургійної лабораторії відноситься до категорії В по вибухопожежній і пожежній небезпеці (табл.4.7).

Таблиця 4.7 – Категорія приміщень вибухопожежної та пожежної небезпеки

Категорія	Конструктивні характеристики
В	<ul style="list-style-type: none"> - ТГРiГР з $T_{сп} > 61$ °С; - Пил і волокна з НМС > 65 г/м³; - ТР, пальні і важко горючі речовини і матеріали; - Речовини при взаємодії з Н₂О; О₂ і один з одним без наслідків.

Ступінь вогнестійкості за СНiП 2.09.02-85 П-I, його характеристика надана в табл. 4.8. Необхідний ступінь вогнестійкості виробничих будівель визначається залежно від категорії вибухопожежної небезпеки, площі і поверхні будівлі [23].

Таблиця 4.8 – Конструктивні характеристики будівель залежно від їх ступеня вогнестійкості

Ступінь вогнестійкості	Конструктивні характеристики
I	Будівлі з несучими і огорожуючими конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону з застосуванням листових і плиткових негорючих матеріалів.

Усі легкозаймисті рідини повинні берегатися в зачинених металевих ящиках, реактиви в зачинених шафах. Заборонено залишати без догляду включені схеми і устаткування.

Для гасіння пожеж в хіміко-металургійній лабораторії використовується порошкові і вуглекислотні вогнегасники, вода, пожежні крани, азбестове полотно, пісок. Вогнегасники ручні вуглекислотні призначені для гасіння при спалахі горючих і тліючих матеріалів усіх видів, а також електроустановок, що знаходяться під напругою до 1000 В, з відстані 1,5 м. Вогнегасники ручні порошкові ВП-5(з) призначені для гасіння невеликих загоряння легкозаймистих горючих рідин, а також електроустановок, що знаходяться під напругою до 1000 В з відстані не менше 1 м. Інструмент розміщується на видному і доступному місці на стендах.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Організація виконання науково-дослідницької роботи

5.1.1 Планування етапів науково-дослідницької роботи

Планування науково-дослідницької роботи (НДР) включає визначення складу та послідовності виконання етапів і робіт по них, їх трудомісткості, тривалості і календарних строків виконання.

У проведенні дослідження з підготовки пульпи червоних шламів до утилізації можна виділити наступні етапи, наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Етапи НДР з дослідження підготовки пульпи червоних шламів до утилізації

Номер етапу	Етап НДР	Зміст етапу
1	Літературний огляд і постановка завдання	1.1 Видача завдання. 1.2 Збір, вивчення, аналіз інформації по вітчизняним й закордонним джерелам. 1.3 Узгодження й твердження мети й завдання дослідження. 1.4 Виявлення можливих напрямків дослідження. 1.5 Затвердження програми дослідження. 1.6 Вибір состава виконавців.
2	Теоретичні дослідження	Розробка методики дослідження
3	Експериментальні дослідження	Проведення досліджень щодо підготовки пульпи червоних шламів до утилізації
4	Узагальнення й оцінка результатів дослідження	4.1 Аналіз й обробка експериментальних даних 4.2 Виконання графічної частини
5	Завершальний	5.1 Приймання дослідницької роботи 5.2 Захист дослідницької роботи

5.1.2 Визначення трудомісткості виконання НДР

Для визначення трудомісткості запланованих робіт найбільш часто застосовується метод імовірних оцінок. Його суть полягає в тому, що безпосередній виконавець робіт оцінює максимальну $T_{\max i}$ і мінімальну $T_{\min i}$ трудомісткість роботи []. На основі цих оцінок визначається очікувана трудомісткість $T_{\text{оч } i}$ (чол·днів) робіт за формулою:

$$T_{\text{оч } i} = \frac{3T_{\min i} + 2T_{\max i}}{5}, \quad (5.1)$$

де $T_{\max i}$ – максимальна трудомісткість роботи;

$T_{\min i}$ – мінімальна трудомісткість роботи;

$T_{\text{оч } i}$ – очікувана трудомісткість.

Визначаємо трудомісткість першого етапу:

$$T_{\text{оч } 1} = \frac{3 \cdot 7 + 2 \cdot 10}{5} = 8 \text{ чол.·днів.}$$

Визначаємо трудомісткість другого етапу:

$$T_{\text{оч } 2} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 8}{5} = 7 \text{ чол.·днів.}$$

Визначаємо трудомісткість третього етапу:

$$T_{\text{оч } 3} = \frac{3 \cdot 22 + 2 \cdot 26}{5} = 24 \text{ чол.·днів.}$$

Визначаємо трудомісткість четвертого етапу:

$$T_{\text{оч } 4} = \frac{3 \cdot 8 + 2 \cdot 10}{5} = 9 \text{ чол.·днів.}$$

Визначаємо трудомісткість п'ятого етапу:

$$T_{\text{оч}5} = \frac{3 \cdot 4 + 2 \cdot 7}{5} = 5 \text{ чол.} \cdot \text{днів.}$$

5.1.3 Визначення числа виконавців НДР

У таблиці 5.2 наведена кількість виконавців необхідних для виконання НДР.

Таблиця 5.2 – Кількість виконавців НДР

Номер етапу	Виконавець НДР	Кількість виконавців
1	Дослідник	1
2	Дослідник, провідний інженер	2
3	Дослідник, провідний інженер, старший науковий співробітник, лаборант-вимірник	4
4	Дослідник, провідний інженер	2
5	Дослідник	1

5.1.4 Розрахунок тривалості етапів НДР

Тривалість етапів дослідження $t_{\text{оч}i}$ розраховується за формулою:

$$t_{\text{оч}i} = \frac{T_{\text{оч}i}}{P_i \cdot K_{\text{вн}}}, \quad (5.2)$$

де $T_{\text{оч}i}$ – очікувана трудомісткість виконання даної роботи, чол.-днів;

P_i – кількість виконавців, чол.;

$K_{\text{вн}}$ – коефіцієнт виконання норми, $K_{\text{вн}}=0,95$.

Тривалість 1 етапу:

$$t_{\text{оч1}} = \frac{8}{1 \cdot 0,95} = 8,42 \approx 8 \text{ дн.}$$

Тривалість 2 етапу:

$$t_{\text{оч2}} = \frac{7}{2 \cdot 0,95} = 3,68 \approx 4 \text{ дн.}$$

Тривалість 3 етапу:

$$t_{\text{оч3}} = \frac{24}{4 \cdot 0,95} = 6,32 \approx 6 \text{ дн.}$$

Тривалість 4 етапу:

$$t_{\text{оч4}} = \frac{9}{2 \cdot 0,95} = 4,74 \approx 5 \text{ дн.}$$

Тривалість 5 етапу:

$$t_{\text{оч5}} = \frac{5}{1 \cdot 0,95} = 5,26 \approx 5 \text{ дн.}$$

5.1.5 Побудова стрічкового графіка проведення науково-дослідної роботи

При невеликій кількості робіт з етапів і виконавців, основним документом планування виконання НДР є стрічковий графік.

Відрізком горизонтальної прямої показується тривалість етапу роботи від першого до останнього дня роботи. За розрахованими даними будемо стрічковий графік, що наведений у табл. 5.3.

Загальна тривалість робіт склала 28 днів.

5.2 Розрахунок кошторису витрат на проведення дослідження

Кошторисну калькуляцію складають на весь обсяг робіт по темі. Для визначення витрат для проведення дослідження необхідно розрахувати:

- витрати на основні матеріали;
- витрати на заробітну плату;
- витрати на амортизацію використаного обладнання;
- витрати на електроенергію;
- накладні витрати.

5.2.1 Розрахунок витрат на основні матеріали

У дану статтю включаються всі витрати на придбання матеріалів, покупних виробів і напівфабрикатів, необхідних для безпосереднього виконання роботи з теми з урахуванням транспортно-заготівельних витрат.

Транспортно-заготівельні витрати $S_{ТЗ}$ становлять 2 % від суми основних матеріалів і розраховуються по формулі:

$$S_{ТЗ} = \frac{\sum S_M \cdot 2}{100}, \quad (5.3)$$

де S_M – витрати на основні матеріали, грн.

$$S_{ТЗ} = \frac{113,50 \cdot 2}{100} = 2,27 \text{ грн.},$$

де 113,50 – сума витрат на основні матеріали, грн.

Витрати на основні матеріали при виконанні НДР показано в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Розрахунок вартості матеріалів при виконанні НДР

Найменування матеріалів	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за кг, грн	Усього витрат, грн
Червоний шлам	кг	3,0	19,50	58,50
Їдкий натр	кг	0,5	68,40	34,20
Технічна вода	л	50	0,016	0,80
Фільтрувальна тканина	м ³	0,05	400,00	20,00
Транспортно-заготівельні витрати				2,27
Разом				115,77

5.2.2 Розрахунок витрат на амортизацію обладнання

Витрати на амортизацію $S_{ам}$ використаного при дослідженнях обладнання визначаються за формулою:

$$S_{ам} = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_{ам i}}{100} \cdot K_i \cdot \frac{T_{др}}{T_p}, \quad (5.4)$$

де $\alpha_{ам i}$ – норма амортизаційних відрахувань для даного виду обладнання або приладу приймаємо 15 %;

K_i – вартість обладнання або приладу i -го виду, грн;

$T_{др}$ – тривалість використання даного i -го виду обладнання

або приладу в дослідницькій роботі, години;

T_p – можливе число годин використання обладнання або приладів на протязі року.

При однозмінній роботі T_p приймається 2000 годин.

Розрахунок витрат на амортизацію обладнання й приладів наведений в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Витрати на амортизацію обладнання

Найменування обладнання	Кількість одиниць	Ціна за одиницю, грн.	Норма амортизації, %	Тривалість використання, год.	Витрати на амортизацію, грн.
Фльтрувальна установка	1	60000	15	20	90,00
Витяжна шафа	1	78000	15	40	234,00
Сушильна шафа	1	34000	15	20	51,00
Набір хімічного посуду	3	750	15	40	6,75
Разом					381,75

5.2.3 Розрахунок витрат на електроенергію

Вартість електроенергії S_e витраченої на проведення дослідження визначають за формулою:

$$S_e = \sum_{i=1}^N T_e \cdot N_{ci} \cdot T_{vi} \cdot m_i, \quad (5.5)$$

де T_e – тариф за кожен споживаний кВт/годину, грн;

N_{ci} – середня споживана потужність і-го виду обладнання, кВт;

T_{vi} – час використання і-го виду обладнання або приладу, година/цикл;

m_i – кількість обладнання і-го виду, примірників.

Тариф за 1 кВт електроенергії з урахуванням ПДВ становить 2,10 грн.

Розрахунок витрат на електроенергію наведений у таблиці 5.6.

5.2.4 Розрахунок заробітної плати й відрахувань

У розрахунок заробітної плати входять наступні статті: основна заробітна плата наукових, інженерно-технічних і допоміжних працівників, зайнятих виконанням робіт з теми; додаткова заробітна плата, що включає

Таблиця 5.6 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Кількість одиниць	Потужність, кВт	Число годин використання, година	Тариф за 1кВт-год, грн.	Усього витрат, грн.
Фільтрувальна установка	1	2,0	20	2,10	84,00
Витяжна шафа	1	2,5	40	2,10	210,00
Сушильна шафа	1	1,8	20	2,10	75,60
Разом					369,60

виплати по оплаті чергових і додаткових відпусток, на виконання державних і суспільних доручень, винагороди.

Величина заробітної плати по темі може бути розрахована за формою представленої в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Величина заробітної плати

Виконавець	Кількість, чол.	Оклад, грн.	Тривалість, дні	Оплата праці, грн.
Провідний інженер	1	8000	15	5714,28
Лаборант	1	4000	6	1142,86
Старший науковий співробітник	1	10000	6	2857,14
Разом				9714,28

Заробітна плата виконавців НДР $Z_{\text{осн}}$ розраховується за формулою:

$$Z_{\text{осн}} = \frac{Z_{\text{окл}}}{T_{\text{міс}}} \cdot T_{\text{ет}}, \quad (5.6)$$

де $Z_{\text{окл}}$ – посадовий оклад, грн;

$T_{\text{міс}}$ – кількість робочих днів у місяці, днів;

$T_{\text{ет}}$ – тривалість певного етапу, днів.

Заробітна плата інженера-консультанта $Z_{\text{осн}}^{i-k}$:

$$Z_{\text{осн}}^{i-k} = \frac{8000}{21} \cdot 15 = 5714,28 \text{ грн.}$$

Заробітна плата лаборанта-вимірника $Z_{\text{осн}}^{\text{Л-В}}$:

$$Z_{\text{осн}}^{\text{Л-В}} = \frac{4000}{21} \cdot 6 = 1142,86 \text{ грн.}$$

Заробітна плата старшого наукового співробітника $Z_{\text{осн}}^{\text{ПЛ}}$:

$$Z_{\text{осн}}^{\text{с.н.с.}} = \frac{10000}{21} \cdot 6 = 2857,14 \text{ грн.}$$

Загальна заробітна плата виконавців НДР розраховується по формулі:

$$Z_{\text{заг}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{дод}}, \quad (5.7)$$

де $Z_{\text{дод}}$ – додаткова заробітна плата виконавців (10 % від $Z_{\text{осн}}$).

$$Z_{\text{заг}} = 9714,28 + 1165,71 = 10879,99 \text{ грн.}$$

Нарахування на фонд оплати праці $Z_{\text{нар}}^{\text{ФОП}}$ становить 37,5 %:

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ФОП}} = \frac{Z_{\text{заг}} \cdot 37,5}{100}. \quad (5.8)$$

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ФОП}} = \frac{10879,99 \cdot 37,5}{100} = 4080,00 \text{ грн.}$$

З них:

– у фонд державного соціального страхування $Z_{\text{нар}}^{\text{ФДСС}}$ становить 2,5 %:

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ФДСС}} = \frac{Z_{\text{заг}} \cdot 2,5}{100}. \quad (5.9)$$

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ФДСС}} = \frac{10879,99 \cdot 2,5}{100} = 272,00 \text{ грн.};$$

– у пенсійний фонд $Z_{\text{нар}}^{\text{ПФ}}$ становить 32 %:

$$З_{\text{нар}}^{\text{ПФ}} = \frac{З_{\text{заг}} \cdot 32,0}{100}. \quad (5.10)$$

$$З_{\text{нар}}^{\text{ПФ}} = \frac{10879,99 \cdot 32,0}{100} = 3481,60 \text{ грн.};$$

– у фонд безробіття $З_{\text{нар}}^{\text{ФБ}}$ становить 1,5 %:

$$З_{\text{нар}}^{\text{ФБ}} = \frac{З_{\text{заг}} \cdot 1,5}{100}. \quad (5.11)$$

$$З_{\text{нар}}^{\text{ФБ}} = \frac{10879,99 \cdot 1,5}{100} = 163,20 \text{ грн.};$$

– у фонд соціального страхування від нещасного випадку $З_{\text{нар}}^{\text{ФНВ}}$ становить 1,5 %:

$$З_{\text{нар}}^{\text{ФНВ}} = \frac{З_{\text{заг}} \cdot 1,5}{100}. \quad (5.12)$$

$$З_{\text{нар}}^{\text{ФНВ}} = \frac{10879,99 \cdot 1,5}{100} = 163,20 \text{ грн.}$$

5.2.5 Накладні витрати

Накладні витрати $Н_{\text{в}}$ становлять 40 % від фонду оплати праці:

$$Н_{\text{в}} = \frac{З_{\text{заг}} \cdot 40}{100}. \quad (5.13)$$

$$Н_{\text{в}} = \frac{10879,99 \cdot 40}{100} = 4352,00 \text{ грн.}$$

5.2.6 Зведений кошторис витрат на проведення науково-дослідної роботи

Кошторис витрат на науково-дослідну роботу визначається на весь обсяг виконаних робіт.

Кошторис витрат наведений у таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Кошторис витрат на проведення науково-дослідної роботи

Статті витрат	Усього витрат	
	грн.	%
1. Витрати на матеріали	115,77	0,57
2. Основна заробітна плата	9714,28	48,14
3. Додаткова заробітна плата	1165,71	5,78
4. Нарахування на фонд оплати праці (37,5 %):	4080,00	20,22
– на держ. соцстрах (2,5 %)	272,00	1,35
– пенсійний фонд (32 %)	3481,60	17,25
– у фонд безробіття (1,5 %)	163,20	0,81
– у фонд соц. страхування від нещасного випадку (1,5 %)	163,20	0,81
5. Амортизаційні відрахування	381,75	1,89
6. Витрати на електроенергію	369,60	1,83
7. Накладні витрати	4352,00	21,57
Разом	20179,11	100,00

В результаті проведення науково-дослідної роботи в організаційній частині був побудований стрічковий календарний план. Загальна тривалість виконання науково-дослідної роботи склала 28 днів. В економічній частині розрахований зведений кошторис витрат на проведення науково-дослідницької роботи. Загальні витрати на проведення роботи склали 20179,11 грн.

ВИСНОВКИ

Червоний і спікательний бокситові шлами є дисперсними матеріалами, гранулометричний склад яких визначається способом переробки бокситу і апаратурним оформленням операцій вилуговування і промивання. Червоні шлами відрізняються від спікательних бокситових шламів ще більшою дрібністю часточок з переважним розміром до 1 мкм (28-35 %).

Через високу дисперсність червоним шламам властива низька здатність до фільтрування.

Проаналізовано склад і властивості бокситових шламів. Встановлено, що висока дисперсність червоних шламів спричинює їх низьку здатність до фільтрування.

Проаналізовано сучасні способи підготовки пульпи червоних шламів до переробки на товарні продукти. Зневоднити червоні шлами можна тепловою обробкою, фізичними або хімічними способами, обробкою реагентами. Для зневоднення відвальних бокситових шламів вибрано фільтрування.

Експериментально досліджено вплив технологічних умов фільтрування пульпи червоних шламів на швидкість процесу. Встановлено, що швидкість фільтрування пульпи збільшується з підвищенням температури, розбавлянням пульпи, дії вібрації. Обчислено константи фільтрування.

Виявлені закономірності є основою для вибирання оптимальних технологічних умов фільтрування червоних шламів

В результаті проведення науково-дослідної роботи в організаційній частині був побудований стрічковий календарний план. Загальна тривалість виконання науково-дослідної роботи склала 28 днів. В економічній частині розрахований зведений кошторис витрат на проведення науково-дослідницької роботи. Загальні витрати на проведення роботи склали 20179,11 грн.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Трушко В. Л. Актуальность и возможности полной переработки красных шламов глиноземного производства / В.Л. Трушко, В.А. Утков, В.Ю. Бажин // Записки Горного института. 2017. Т. 227. С. 547-553. DOI: 10.25515/PMI.2017.5.547.

<https://cyberleninka.ru/article/v/aktualnost-i-vozmozhnosti-polnoy-pererabotki-krasnyh-shlamov-glinozernogo-proizvodstva> (дата звернення 05.09.2019)

2. Олійник Т. А. Вивчення можливості переробки «червоних» шламів на предмет отримання залізоокисних пігментів / Т.А. Олійник, А.В. Василишина. Гірничий вісник. Вип. 97, 2014. С. 239-244.

3. Логинов Ю. Н. Восстановительная плавка красных шламов глиноземного производства / Ю. Н. Логинов, С. П. Буркин, И. В. Логинова // Сталь. 1998. №8. С.74-77.

4. Шморгуненко Н. С. Комплексная переработка и использование красных шламов глиноземного производства / Н. С. Шморгуненко, В. И. Корнеев. М.: Metallurgiya, 1982. 128 с.

5. Савеня А.Н. Состав и перспективы использования оксидного продукта – красного шлама от переработки бокситов / А. Н. Савеня, М. Н. Свиридова, И. Н. Танутров // Институт металлургии УрО РАН Россия, 620016, 2014. С. 41-44.

6. Нестеренко Т. М. Теоретичні основи гідрометалургійних процесів: Підручник / Т. М. Нестеренко, І. Ф. Червоний, В. П. Грицай – К.: Вища шк., 2013. – 408 с.: іл. ISBN 978-966-642-505-1.

7. Участок сгущения и промывки красных шламов в однокамерных аппаратах глиноземного 22.01.2012.

<https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=515259> (дата звернення 05.11.2019)

8. Саламатов В. И. Влияние полиакриламида на сгущение и промывку красных шламов из низкокремнестых боситов / В.И. Саламатов, О.В. Саламатов, Б. А. Байдорин // Вестник ИрГТУ №12 (107) 2015. С. 241-246. DOI: 10.25515/PMI.2017.5.547.

9. Описание технологии процесса сгущения и промывки красного шлама

https://studbooks.net/624558/tovarovedenie/opisanie_tehnologii_protsesta_sguscheniya_promyvki_krasnogo_shlama (дата звернення 05.11.2019)

10. Олійник. Т.А., А.В. Василишина Вивчення можливості переробки «червоних» шламів на предмет отримання залізоокисних пігментів / Т.А. Олійник, А.В. Василишина // Гірничий вісник. Вип. 97. 2014.

11. Оборудование для разделения фаз, 27.12.2016.

<https://poznayka.org/s79263t1.html> (дата звернення 13.11.2019)

12. Прохоров А.М. Вращающаяся печь / большая советская энциклопедия // А. М. Прохоров, 1969. - 1978.

13. Зиновеев Д. В. Обзор мировой практики переработки красных шламов. Пирометаллургические способы / Д. В. Зиновеев, П. И. Грудинский, В.Г. Дюбанов, Л.В. Коваленко, Л.И. Леонтьев // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2018. Т.61. № 11. С. 843–858.

14. Способ переработки красного шлама глиноземного производства: пат. 2245371 РФ: МПК С21В3/04, С21В13/00, С22В34/12, С22В59/00. № 2245371; заявл. 03.02.2003; опубл. 27.01.2005. Бюл.5.

15. Способ утилизации красного шлама-отхода глиноземного производства: пат. 2179590 РФ: МПК С22В7/04, С04В7/32, С04В18/04. № 200701472; заявл. 18.07.2000; опубл. 20.02.2002, Бюл. 3.

16. Иванов А. И., Насекан Ю. П., Иванова Л. И. Технология производства глинозема : монография. Запорожье : ЗГИА, 2005. 262 с.
17. Абрамов В. Я., Стельмакова Г. Д., Николаев И. В. Физико-химические основы комплексной переработки алюминиевого сырья (щелочные способы). Москва : Metallurgy, 1985. 288 с.
- 18.. Нестеренко Т. М. Металургія легких металів : метод. вказівки до лабораторних занять по розділу “Металургія первинних легких металів”. Запоріжжя : ЗДІА, 2006. 60 с.
19. Поляк В. В., Нестеренко Т. М. Дослідження підготовки червоних шламів до утилізації. Металургія як основа сучасної промисловості : матеріали XXIV науково-техн. конф. студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів (м. Запоріжжя, 26–29 лист. 2019 р.). Т. І. Запоріжжя, 2019. С. 8–9.
20. Поляк В. В., Нестеренко Т. М. Про технології підготовки червоних шламів до переробки. Збірник наукових праць магістрантів факультету металургії ІІ ЗНУ. Вип. 1 (15). Запоріжжя: ІІ ЗНУ, 2019. С. 187-191.
21. Охорона праці : навч. посіб. / Я. І. Бедрій та ін. Львів : Афіша , 1997. 258 с.
22. Гандзюк М. П., Желібо Е. П., Халимовський М. О. Основи охорони праці : підручник. Київ : Каравела, 2005. 393 с.
23. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник. Львів : Афіша, 2002. 318 с.
24. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках : учеб. пос. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Энергоатомиздат, 1984. 448 с.
25. Правила устройства электроустановок. Москва : Энергоиздат, 1982. 89 с.
- 26 Румянцев В. Р., Панасейко С. П., Ткаліч І. О. Охорона праці та техногенна безпека : методичні вказівки до виконання розділу дипломних проєктів (робіт) для студентів ЗДІА напряму 8.050401 “Металургія”. Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 44 с.
27. НПАОП 40.1-1.32-01 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Київ : Держгірпромнагляд

України, 2001. 17 с.

28. Тюріна Н. М., Ведерніков М. Д., Капінос Г. І. Економіка промислового підприємства : підручник. Львів : Новий Світ-2000, 2008. 311 с.
29. Іващенко О. М. Методичні рекомендації до виконання організаційно-економічної частини дипломного проекту для студентів ЗДІА спеціальності “Металургія кольорових металів”. Запоріжжя : ЗДІА, 2004. 31 с.

ДОДАТОК А

**ТЕЗИ ДОПОВІДІ НА XXIV НАУКОВО-ТЕХНІЧНІЙ
КОНФЕРЕНЦІЇ ІІ ЗНУ**

МАТЕРІАЛИ

XXIV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів

Металургія як основа сучасної промисловості

Том I

26-29 листопада 2019 р.

Запоріжжя
2019

Оргкомітет

Голова: Фролов Микола Олександрович, д-р іст. наук, професор, ректор

Заступники голови: Васильчук Г.М. – д-р іст. наук, професор, проректор з наукової роботи;
Бзнах В.А. – д-р техн. наук, проректор з науково-педагогічної роботи та технічної освіти.

Члени оргкомітету:

Коломєць Г.П. – директор Інженерного інституту;
Коваленко В.Л. – декан факультету енергетики, електроніки та інформаційних технологій;
Федченко О.І. – декан факультету будівництва та цивильної інженерії;
Рудашев В.Р. – декан факультету металургії;
Ткаченко С.Ю. – в.о. декана факультету економіки та менеджменту;
Чейбітко А.О. – заступник декана з наукової роботи факультету енергетики, електроніки та інформаційних технологій;
Кашуновська М.О. – доцент, заступник декана з наукової роботи факультету будівництва та цивильної інженерії;

Кіриченко О.Г. – доцент, заступник декана з наукової роботи факультету металургії;
Славя І.В. – доцент, заступник декана з наукової роботи факультету економіки та менеджменту;
Батюшко О.С. – голова НТСАДМВ;

Шербина Т.С. – голова НТСАДМВ факультету металургії;

Лавченко Д.М. – голова НТСАДМВ факультету економіки та менеджменту;
Сісєрсько О.О. – голова НТСАДМВ факультету енергетики, електроніки та інформаційних технологій;
Кокоричев О.П. – голова НТСАДМВ факультету будівництва та цивильної інженерії;

Воробіцький В.Г. – заступник кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем;

Хрипко С.Л. – заступник кафедри мікроелектронічних інформаційних систем;

Кригоска Г.В. – заступник кафедри електронних систем;

Артемух В.В. – в.о. заступника кафедри електротехніки та енергооб'єктивності;

Бахтин В.І. – в.о. заступника кафедри теплових енергетики та гідроенергетики;

Комарник Г.Б. – заступник кафедри прикладної екології та охорони праці;

Банах А.В. – заступник кафедри місцевого будівництва та господарства;

Арутюнян І.А. – заступник кафедри промислового та цивільного будівництва;

Терюховий Ю.Ф. – заступник кафедри металургії;

Янушешко О.В. – заступник кафедри обробки металів тиском;

Огівський Й.К. – заступник кафедри металургійного обладнання;

Пілюк М.Ю. – заступник кафедри автоматизованого управління технологічними процесами;

Мельникова Т.О. – заступник кафедри обліку, аналізу, оподаткування та аудиту;

Мельниченко Н.Г. – заступник кафедри фінансів, банківської справи та страхування;

Воронова В.Г. – заступник кафедри менеджменту організацій та управління проектами;

Глушківський В.В. – заступник кафедри економіки та інформаційних технологій;

Дробішова А.О. – в.о. заступника кафедри економіки підприємств.

I

Матеріали XXIV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів Металургія як основа сучасної промисловості. Том I / П.ЗНУ. – Запоріжжя: П.ЗНУ. – 2019 р. – 88 с.

алюмінієвої сировини отримують червоної шлами різного складу. Шлам є пульсою, яка складається з різної лужної фази з зваженими дрібнодисперсними часточками твердої фази. Основними компонентами шламів є Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Na_2O , CaO , TiO_2 , волога, луги. Фізико-хімічні характеристики шламів залежать від якості сировини, способу її переробки, особливостей технології кожного підприємства.

Завдяки багатомінеральному складу червоних шламів відомо велика кількість технологічних схем його використання: а) в черній металургії для зменшення зазорних аліагратів і окислиш; б) комплексна переробка на чавун, глинозем і цемент; в) виробництво керамічних і будівельних матеріалів та ін. Використання червоних шламів у різних галузях промисловості потребує вирішення складного завдання організації та впровадження на глиноземних підприємствах технологічних ліній підготовки шламу до транспортування, оскільки їх вологість має становити до 15-20 %. Проте за сучасними схемами переробки промита шламова пульпа, що потрапляє у відвал має вологість 75-80 %.

Зневодити шлами можна тепловою обробкою, фізичними або хімічними способами, обробкою реагентами (кварцовим піском, вапном). До фізичних способів належать зневоднення в обробаних вакуум-фільтрах, фільтр-пресах, фільтрувальних центрифугах. При хімічному зневоднення зв'язують вологу ангидридом, негашеним вапном. До теплового оброблення належить природне та примусове сушіння (в трубах, обробаних печах, розливальних сушилах). Для зневоднення червоних шламів доцільніше застосовувати фільтрування, оскільки такі установки використовують у виробництві глинозему.

На згущення пульпи впливають концентрація та температура, мінералогічний склад червоного шламу, розмір його частинок. Тверда частина шламу має малий розмір (1-10 мкм), тому для прискорення осадження червоного шламу з пульпи використовують флокуланти (арохлам 1 кг/т, ржана мука 1,2 кг/т, висухо 1,5 кг/т, модифіковані поліакриламідні марок СААН, ПААБ, ПША-СТК, ПША-3С, ПША-Г 0,1-10 кг/т), коагулянти (H_2O_2 , H_2RO_4 , $Mg(OH)_2$, Дюпал Клар Сієвер 111,1 кг/т). При взаємодії з червоним шламом при речовини сприяють селективній агрегації частинок шламу та утворюють флокули, що осідають значно швидше. Для фільтрування і згущення при великій кількості шламу використовують двоурівневу фільтрувальну установку, при малій кількості – одноурівневу. Схеми згущення і промивання червоного шламу відносяться до розливної установки з підвищенням температури, розбавленням пульпи, дії вібрації. Обчислено константи промивання шламу, тим більша ступінь відмивання шламу та швидше буде фільтруватися пульпа, проте збільшаться витрати на фільтрування і згущення.

Досліджено вплив технологічних умов фільтрування пульпи червоних шламів на швидкість процесу в лабораторних умовах. Швидкість фільтрування пульпи збільшується з підвищенням температури, розбавленням пульпи, дії вібрації. Обчислено константи фільтрування та визначено оптимальні умови процесу фільтрування.

УДК 669.712:66.041:669.162.252

Голова К.О., магістрант гр. 8.1369-мкм-3.

Нестеренко Т.М., доцент, канд. техн. наук – науковий керівник

ПРО МОДЕРНІЗАЦІЮ ГАЗООЧИСНИХ СПОРУД ПЕЧЕЙ ВИПАЛУ ВАПНЯКУ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ГЛИНОЗЕМУ

Інженерний інститут Запорізького національного університету, кафедра М

Досвід використання шклових типу СДК-ЦН для очищення від дрібнодисперсного шламу димових газів, що виходять з печей випалу вапняку в виробництві глинозему, показав їх низьку ефективність (30-60 %).

Для уловлювання дрібнодисперсного шламу з газів, що очищаються, застосовують

9

твердими і газоподібними неметалевиими домішками відлявають сортильність, способи збірництва та підготовки шихти, черговість завантаження компонентів, способи перемішування та переливання розплаву, рафінування, методи доставлення розплаву на розливання. Перелічені чинники залежно від специфічних особливостей алюмінієвого сплаву вносять свій внесок у змінення якості розплаву, проте рафінування істотно впливає на підвищення чистоти металу.

Дослідниками Альтман М.Б., Макаров Г.С., Курдюмов О.В. та іншими виявлено основні закономірності щодо виділення неметалевих домішок та волино з розплаву під час рафінування. Виявлено, що кількість волюю, аліоробованого на поверхні дрібних часточок оксиду алюмінію, який достатній для утримання їх від осадження в розливальному алюмінії, дорівнює половині сумарного об'єму оксидних частинок. Тому кількість газоподібного волюю пропорційна вмісту оксиду в розливі. Оксиди алюмінію, навані в алюмінієвому розливі у вигляді α - γ - Al_2O_3 . Якщо розливі містять активні оксиди α - Al_2O_3 , тоді волюю в ньому знаходиться і як розчин, і як комплексні сполуки типу γ - $Al_2O_3 \cdot xH_2O$. Розпад комплексної сполуки під час охолодження та кристалізації розплаву спричинює утворення газовой пористості у виробі.

Процеси рафінування за технологічними ознаками поділяють на такі групи: поверхневе рафінування; струменеве рафінування, рафінування пазирками. Відомі методи рафінування характерні або для одного з процесів, або є універсальними (так, обробка флосами застосовується в будь-якому процесі). Враховуючи різноманітність вимог до ступеня чистоти металу, особливості взаємодії окремих сплавів з газами і оксидами, різні методи рафінування слід використовувати у комбінації, тобто застосовувати комплексно для очищення розплаву від декількох типів домішок. Для видалення неметалевих домішок використовують фільтрування розплаву крізь ситчасті, кускові, рідкі соляові фільтри. Зважені включення під час фільтрування затримуються механічним способом або через фізико-хімічну взаємодію з матеріалом фільтра. За допомогою флосів зважені неметалеві домішки вилучаються внаслідок адсорбції, розчинення або хімічної взаємодії з розливальними солями. Обробка флосами супроводжується легким розплаву.

Під час плавлення використаного алюмінієвого пакування провадили флосове рафінування з подальшим фільтруванням розплаву через зернисті фільтри, виготовлені з магніситу, суміші фторидів, графіту. Матеріал фільтра використовували одноразово. Під час дослідження комплексного рафінування початковий і профільтрований розливі аналізували на вміст неметалевих і газових домішок. Для визначення оптимальних умов рафінування змінювали висоту шару (від 40 мм до 120 мм) та розмір зерен фільтрувального матеріалу (від 2 мм до 10 мм). Встановлено, що незалежно від матеріалу фільтра ступінь очищення розплаву від домішок підвищується зі зменшенням розміру зерен, збільшенням висоти фільтрувального шару. Для фільтрування розливів, отриманих перешлавленням брутку алюмінієвого пакування з поверхневим лакофарбовим покриттям, вибрано зернистий фільтр із суміші фторидів.

УДК 669.712:628.477.043.61

Поляк В.В., магістрант гр. МЕТ-18-2м,

Нестеренко Т.М., доцент, канд. техн. наук – науковий керівник

ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДГОТОВКИ ЧЕРВОНИХ ШЛАМІВ ДО УТИЛІЗАЦІЇ

Інженерний інститут Запорізького національного університету, кафедра М

На підприємствах глиноземного виробництва не опрацьована технологія комплексної переробки алюмінієвої сировини, внаслідок чого утворюється нерозчинні відходи – червоної шлами, які складуються у шламоосховищах. Залежно від способу переробки

8

ДОДАТОК Б

**СТАТТЯ У “ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ МАГІСТРАНТІВ
ФАКУЛЬТЕТУ МЕТАЛУРГІЇ”**

УДК 669.712.623.477-043.61

Поляк В.В., магістрант гр. МЕТ-18-2м
Нестеренко Т.М., к.т.н., доц.

ПРО ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ ЧЕРВОНИХ ШЛАМІВ ДО ПЕРЕРОБКИ

Ажержий І. Інститут Заторського нафтового університету, кафедро металургії

Розглянуто склад і властивості червоних шламів. Проаналізовано сучасні способи підготовки пульпи червоних шламів до переробки на товарні продукти. Для зневоднення червоних шламів вибрано фільтрування. Проведено лабораторні дослідження впливу технологічних умов фільтрування пульпи червоних шламів на швидкість процесу. Швидкість фільтрування пульпи збільшується з підвищенням температури, розбавленням пульпи, дії вібрації.

Ключові слова: боксит, глинозем, зневоднення, пульпа, червоний шлам, швидкість фільтрування.

The composition and properties of red mud are considered. Modern preparation methods of pulp of red mud for processing into marketable products are analyzed. Filtration is selected to dehydrate the red mud. Laboratory researches on the influence of technological conditions for the filtration of red mud pulp on the process speed carried out. The filtration speed of the pulp increases with growing temperature, pulp dilution, the action of vibration.

Keywords: bauxite, alumina, dehydrate, pulp, red mud, filtration speed.

Вступ. На підприємствах глиноземного виробництва не опрацьована технологія комплексної переробки алюмінієвмісної сировини, внаслідок чого утворюється нерозчищені відходи – червоні шлами, які складуються у шламосховищах. Залежно від складу бокситів і технології їх переробки разом з 1 т глинозему утворюється від 0,9 т до 1,5 т червоних шламів [1,2].

Утилізація червоних шламів у різних галузях промисловості потребує вирішення складного завдання організації та впровадження на глиноземних підприємствах фільтрування і сушіння червоних шламів, вологість яких має становити до 15-20 %. Проте за сучасними схемами переробки промита шламова пульпа, що потрапляє у вивал, має вологість 75-80 %.

Постановка завдання. Завдання роботи – проаналізувати склад і властивості червоних шламів, сучасні способи підготовки пульпи червоних шламів до переробки та в лабораторних умовах дослідити особливості фільтрування червоних шламів.

Матеріали та методика дослідження. Для дослідження як сировину застосовано промисловий червоний шлам, з якого готували пульпу із заданим співвідношенням рідина : тверда фаза (р : т). Для експериментального визначення констант процесу фільтрування використано лабораторну фільтрувальну установку, що складалася з колби Бунзена (прибл. 6 л фільтрату),

лібки Бюхнера з фільтрувальною тканиною, затисненого кільця, вакуум-насоса, манометра, трійника із двома кранами, посудини для пульпи. Окремі частини установки сполучалися між собою вакуумними гумовими трубками. Методику проведення дослідів з фільтрування пульпи та визначення констант фільтрування К і С описано в роботі [3].

Результати дослідження. Залежно від способу переробки алюмінієвмісної сировини отримують червоні шлами різного складу. Шлам є пульпою, яка складається з рідкої лужної фази зі зваженими дрібнодисперсними часточками твердої фази. Внаслідок значної кількості лути (до 12,36 %) та наявності дрібних часточок розміром до 10 мкм у складі червоних шламів, їх накопичення на шламосховищах становить небезпеку для людини та довкілля [4-7]. Основними компонентами шламів є Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Na_2O , CaO , TiO_2 , волога, леткі. Бокситові шлами залежно від способу виробництва глинозему поділяють на байровські та спикательні. Вивальні червоні шлами є змішаними у будь-яких співвідношеннях. Під час зберігання у червоних шламах під впливом лути, діоксиду вуглецю, кисню повітря відбуваються хімічні перетворення, які значно активізуються з підвищенням температури повітря, особливо в літній період, коли температура може досягати 30 °С [8].

Фізико-хімічні характеристики шламів залежать від якості сировини, способу її переробки, особливостей технології кожного підприємства. Гранулометричний склад і питома поверхня червоних шламів залежать від таких чинників: а) товкості розмелювання бокситу; б) хімічного диспергування його часточок під час автоклавного витовчування; в) розміру часточок, що утворюються; г) агрегації часточок шламу під час вивалювання та згущення під дією коагулянтів-флокулянтів. Так, шлам Миколаївського глиноземного заводу складається на 83,7 % з часточок розміром до 25 мкм, на 66,7 % – розміром до 10 мкм [8,9].

Завдяки багатоконфінтному складу червоних шламів відомо велика кількість технологічних схем його використання: а) в чорній металургії для зменшення зашорювальних агломератів і окатишів; б) комплексна переробка на чауш, глинозем і цемент; в) виробництво керамічних і будівельних матеріалів та ін. [10]. Враховуючи особливості хімічного складу (високий вміст оксидів заліза і алюмінію) та високу дисперсність у першу чергу практичний інтерес становлять методи переробки червоного шламу з максимальним виділенням компонентів у товарні продукти.

Опрацьовано велика кількість способів утилізації червоних шламів. Проте незалежно від кількості червоних шламів переробляється в промислових умовах через низьку рентабельність більшості технологій, великих капіталовкладень на освоєння нових технологій і складність реалізації отриманої продукції.

Використання червоних шламів у різних галузях промисловості потребує вирішення складного завдання організації та впровадження на глиноземних підприємствах технологічних ліній підготовки шламу до транспортування,

оскільки за сучасними схемами переробки бокситів промита шламova пульпа, що потрапляє у швайд, має вологість 75-80 %.

Зневоднені шлами можна тепловою обробкою, фізичними або хімічними способами, обробкою реагентами (кварцовим піском, вапняком). До фізичних способів належить зневоднення в барабаних вакуум-фільтрах, фільтр-пресах, фільтрувальних центрифугах. При хімічному зневоднення зв'язують вологу ангідридом, негашеним вапном. До теплового оброблення належать природне та примусове сушіння (в трубчастих, барабаних печах, розшиковальних сушниках). У шлами, підготовленому шляхом примусового теплового сушіння, залишається значна кількість розчинного луѓу.

Враховуючи негативний вплив луѓу при використанні червоного шламу в чорній металургії через руйнування футеровки печей та у виробництві будівельних матеріалів через висоложування, попередня підготовка шламів має складатися з промивання та зневоднення. Для зневоднення червоних шламів доцільніше застосовувати процес фільтрування, оскільки фільтрувальні установки використовують у виробництві глинозему.

На згущення пульпи впливають концентрація та температура, мінералогічний склад червоного шламу, розмір його частинок. Тверда частина шламу має малий розмір (1-10 мкм), тому для прискорення осадження червоного шламу з пульпи використовують флокулянти (хромаль 1 кг/т, рідка мука 1,2 кг/т, вісгог 1,5 кг/т, модифіковані поліакриламідні марок САНН, ПААБ, ППА-СГК, ППА-СГС, ППА-Г 0,1-10 кг/м³), коагулянти (Н₂О₂, Н₂РО₄, Mg(OH)₂, Donau Klar Clever 111,1 кг/м³). При взаємодії з червоном шлагом ці речовини сприяють селективній агрегації частинок шламу та утворюють флокули, що осідають значно швидше. Для фільтрування і згущення при великій кількості шламу використовують двоюрисну фільтрувальну установку, при малій кількості – одноюрисну. Схеми згущення і промивання червоного шламу відрізняються розташуванням устаткування та кратністю промивання. Чим більше кількість промивачів, що використовують під час промивання шламу, тим більша ступінь відмивання шламу та швидше буде фільтруватися пульпа, проте збільшаться витрати на процеси фільтрування і згущення.

Для дослідження впливу технологічних умов фільтрування пульпи червоних шламів на її швидкість в лабораторних умовах визначали тривалість процесу, необхідну для накопичення певної кількості фільтрату (50 мл; 100 мл; 150 мл; 200 мл; 250; 300 мл; 350 мл; 400 мл) у колбі Бузена (приблизно фільтрату).

Константи фільтрування, продуктивність і швидкість фільтрування обчислено за рівнянням

$$V^2 + 2 \cdot V \cdot C = K \cdot \tau,$$

де V – об'єм фільтрату, м³ (перераховується в питомі об'єми, віднесені до площі фільтра, м³/м²);

C – константа фільтрування, яка характеризує гідралічний опір фільтрувальної перегородки, м³/м²;

$K = 2 \cdot \Delta P / K' = 2 \cdot \Delta P / (\mu \cdot t_0 \cdot x_0)$ – константа,
 ΔP – рушійна сила процесу фільтрування (перепад тисків), Н/м²;

μ – в'язкість фільтрату;

t_0 – питомий опір осадку;

x_0 – концентрація пульпи;

τ – час фільтрування.

Для визначення констант процесу фільтрування K і C провели досліди з розподілу досліджуваної пульпи на фільтри за сталої різниці тисків. Константи фільтрування обчислювали аналітичним методом шляхом розв'язування системи рівнянь, порівнювали з величинами цих констант, які обчислені графічним методом.

Проведено серію дослідів для визначення впливу розбавлення пульпи червоних шламів на перебіг процесу і швидкість фільтрування (рис.1).

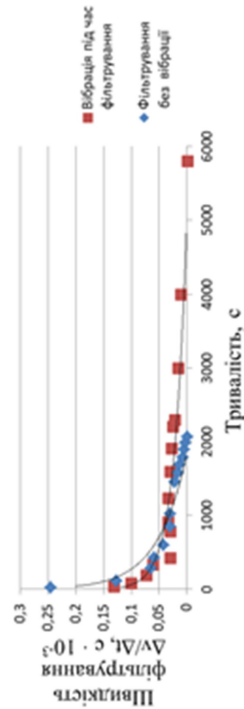


Рисунок 1 – Залежності швидкості фільтрування пульпи від тривалості фільтрування при різних співвідношеннях $\rho : \tau$

За експериментальними даними, наведеними на рис.1, встановлено, що при співвідношенні $\rho : \tau = 6:1$ процес фільтрування червоних шламів тривав 1059 с, а при співвідношенні $\rho : \tau = 8:1$ процес фільтрування тривав 1457 с, тобто на 27 % повільніше (або на 398 с довше).

За результатами розрахунків констант K і C за експериментальними даними встановлено, що підвищення співвідношення $\rho : \tau$ в межах від $\rho : \tau = 2:1$ до $\rho : \tau = 8:1$ підвищує швидкість фільтрування, відповідно забезпечує зростання продуктивності процесу фільтрування.

Для дослідження впливу технологічних умов фільтрування пульпи червоних шламів на її швидкість в лабораторних умовах визначали вплив вібрації. Результати дослідів щодо впливу дії вібрації на швидкість фільтрування червоних шламів наведено на рис.2.

За експериментальними даними, наведеними на рис.2, встановлено, що при фільтруванні з вібрацією процес тривав 1239 с, а без вібрації 1457 с, що на 15 % швидше (або на 218 с швидше). Отже, швидкість фільтрування пульпи збільшується з підвищенням температури, розбавленням пульпи, дії вібрації.

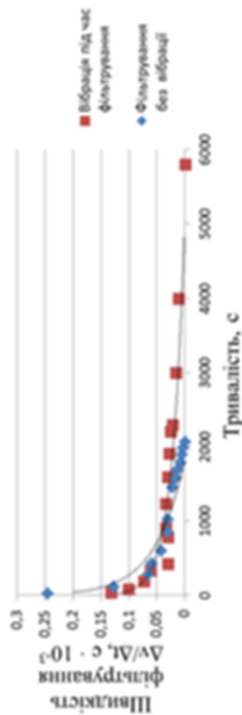


Рисунок 2 – Залежності швидкості фільтрування пудли від тривалості його при наявності та відсутності дії вібрації

Сучасні підприємства глиноземного виробництва, не володіють технологією комплексної переробки бокситів і складують відходи в штамосховища, вважачи подальшу переробку економічно недоцільною. Внаслідок такої ситуації створюється екологічна небезпека для промислових регіонів. Кошти, передбачені для витрат на збирання червоних шламів у штамосховищах, доцільніше вкладати у переробку червоних шламів на товарні продукти.

Висновки. Таким чином, можна зробити наступні висновки:

1. Проаналізовано склад і еластичності бокситових шламів. Встановлено, що висока дисперсність червоних шламів спричиняє їх низьку злагність до фільтрування.
2. Проаналізовано сучасні способи підготовки пудли червоних шламів до переробки на товарні продукти. Зневодили червоні шлами можна тепловою обробкою, фізичними або хімічними способами, обробкою реагентами. Для зневоднення вивільняють бокситових шламів вибрано фільтрування.
3. Експериментально досліджено вплив технологічних умов фільтрування пудли червоних шламів на швидкість процесу. Встановлено, що швидкість фільтрування пудли збільшується з підвищенням температури, розбавлянням пудли, дії вібрації. Обчислено константи фільтрування.
4. Виявлені закономірності є основою для вибрання оптимальних технологічних умов фільтрування червоних шламів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Обзор мировой практики переработки красных шламов. Часть 1. Прямометаллургические способы / Зиковец Д. В. и др. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2018. Т. 61, № 11. С. 843–858.
2. Ребрик И. И., Утков В. А., Смола В. И., Сизяков В. М. Критерии возможности переработки красных шламов как техногенного сырья. *Действующие металлы*. 2013. № 12. С. 36–38.

3. Нестеренко Т. М., Червоный И. Ф., Гришай В. П. Теоретичні основи гідрометалургійних процесів : підручник. Київ : Вища школа, 2013. 408 с.
4. Трушко В. Л., Утков В. А., Бажан В. Ю. Актуальність і можливість повної переробки красних шламов глиноземного виробництва. *Затіски Горного інституту. Санкт-Петербург*, 2017. Т. 227. С. 547–553. DOI: 10.25515/PMI.2017.5.547.
5. Modelling the potential effects of the hungarian red mud disaster on soil properties / Anton A. etc. *Water, Air & Soil Pollution*. 2012. Vol. 223, No. 8. P. 5175–5188.
6. Gräfe M., Power G., Klauber C. Bauxite residue issues : III. Alkalinity and associated chemistry. *Hydrometallurgy*. 2011. Vol. 108, No. 1–2. P. 60–79.
7. Губин Г. В., Губин Г. Г., Ярош Т. П. До питання про переробку червоних шламів як комплексної залізистої техногенної сировини. *Гірничий експерт. Київський Ріг*, 2015. Вип. 99. С. 115–119.
8. Губна В. Г., Калошников В. М. Червоный шлам Николаевского глиноземного завода – шлама техногенна сировина. *Геолого-мнералогічний експерт. Київський Ріг*, 2005. № 2. С. 122–126.
9. Олібік Т. А., Васишина А. В. Вивчення можливості переробки «червоних» шламів на предмет отримання залізо окисних пігментів. *Гірничий експерт. Київський Ріг*, 2014. Вип. 97. С. 239–244.
10. Шморгуненко Н. С., Конев В. И. Комплексная переработка и использование отвальных шламов глиноземного производства. Москва : Металлургия, 1982. 128 с.