

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
 ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
 ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра Металургії

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз та вдосконалення технології  
гідроплазмифікації розбавленої пудри, що є  
створюється у виробництві

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1363-МКМ-3  
 спеціальності 136 "Металургія"

(код і назва спеціальності)

спеціалізації \_\_\_\_\_

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми "Металургія коксуючих металів"

(назва освітньої програми)

С. В. Шибилець

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, доцент, К.Т.М. Местерський І.М.

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

Рецензент проф. С.М.С., З.Х.Н. Прутьков Р. В.

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

Запоріжжя

2020



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут \_\_\_\_\_  
Кафедра Металургії  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Спеціальність 136 «Металургія»  
(код та назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(код та назва)  
Освітня програма «Металургія кольорових металів»

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри [підпис]  
« 10 » жовтня 20 20 року

ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Грибчук Іван Володимирович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проєкту) Аналіз та вдосконалення технології гідрокласифікації розбавленої пульпи, що утворюється у виробництві  
керівник роботи Костерева Тетяна Миколаївна к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 03 » жовтня 20 20 року № 1586-с

2 Строк подання студентом роботи 30 листопада 2020р

3 Вихідні дані до роботи Вулкана полідисперсного складу містить часточки піску

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналітична частина 2. методика дослідження 3. Дослідницька частина 4. Охорона праці та техно безпека 5. Економічна частинка. Висновки  
Перелік джерел посилань

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
1. Аналітична частина - 4 л. 2. Методика дослідження - 1 л  
3. Дослідницька частина - 5 л 4. Охорона праці та техно безпека - 1 л 5. Економічна частинка - 1 л.



## 6 Консультанти розділів роботи

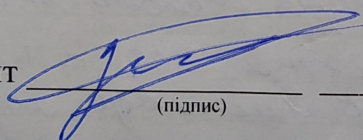
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Местеренко Т. М., доцент	Мес 10.10.2020	Мес 15.10.2020
2	Местеренко Т. М., доцент	Мес 10.10.2020	Мес 30.10.2020
3	Местеренко Т. М., доцент	Мес 10.10.2020	Мес 30.10.2020
4	Местеренко Т. М., доцент	Мес 10.10.2020	Мес 21.11.2020
5	Местеренко Т. М., доцент	Мес 10.10.2020	Мес 28.11.2020

7 Дата видачі завдання 10 жовтня 2020р

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	12.10.2020	викорано
2	Аналітичне настання	20.10.2020	викорано
3	Методія дослідження	26.10.2020	викорано
4	Дослідницька частина	14.11.2020	викорано
5	Охорона праці та техногенна безпека	19.11.2020	викорано
6	Висновки настання	23.11.2020	викорано
7	Графічна настання	30.11.2020	викорано

Студент

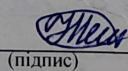


(підпис)

Т. В. Живий

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)



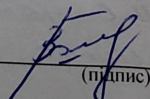
(підпис)

Т. М. Местеренко

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер



(підпис)

Р. М. Волер

(ініціали)

та

прізви

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 61 с., 18 табл., 8 рис., 27 джерел.

БОКСИТ, ГІДРОКЛАСИФІКАТОР, ГІДРОЦИКЛОН, ГІДРАТ, ГЛИНОЗЕМ, КОЕФІЦІЄНТ ЕФЕКТИВНОСТІ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, ПУЛЬПА, ТВЕРДА ФАЗА.

Об'єкт дослідження: процес гідрокласифікації розбавленої пульпи, що утворюється в виробництві глинозему.

Предмет дослідження: вплив технологічних умов гідрокласифікації розбавленої пульпи на повноту поділу пульпи.

Мета роботи: дослідити особливості та вибрати напрями вдосконалення технології гідрокласифікації пульпи, що утворюється в виробництві глинозему.

Методика дослідження: визначення вмісту твердої фази в алюмінатних розчинах та пульпі; спектральний і хімічний аналізи; визначення гранулометричного складу глинозему та гідроксиду алюмінію методом лазерної дифракції.

Одержані наслідки та їх новизна: дослідженням зонтоподібного та канатоподібного режимів розвантаження гідроциклона визначена можливість виникнення просторових структур в гідратних пульпах глиноземного виробництва; параметри класифікації гідратних пульпах можна регулювати як вмістом твердої фази у пульпі, що надходить у гідроциклон, так і уявленнями про межевий розмір зерен твердої фази. Найкращі результати гідрокласифікації у гідроциклонах досягаються під час обробки матеріалів, що містять невелику кількість зерен розмірами 32-63 мкм. Можливість поетапної заміни існуючих класифікаторів на гідроциклонні установки в діючому виробництві дозволить вивільнювати до 50-60 % виробничих площ ділянки гідрокласифікації.

## ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	6
1 Аналітична частина.....	9
1.1 Світове виробництво глинозему.....	9
1.2 Основні мінерали алюмінію.....	13
1.3 Класифікація способів одержання глинозему. Спосіб Байєра	
2 Методика дослідження.....	26
2.1 Характеристики вихідних матеріалів і обладнання.....	26
2.2 Методика визначення масової концентрації оксиду алюмінію в алюмінатних, обігових розчинах, пульпах глиноземного виробництва.....	26
2.3 Методика гравіметричного визначення вмісту твердої фази в алюмінатних розчинах та пульпі.....	28
2.4 Методика визначення концентрації загального лугу.....	29
2.5 Методика визначення концентрації каустичного лугу.....	30
2.6 Методика визначення гранулометричного складу глинозему та гідроксиду алюмінію методом лазерної дифракції.....	31
3 Дослідницька частина.....	33
3.1 Застосування установки гідрокласифікації пульпи у виробництві глинозему .....	33
3.2 Дослідження впливу співвідношення Р:Т в пульпі на розподіл потоків і продуктивність гідроциклону.....	34
4 Охорона праці та техногенна безпека.....	40
4.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих чинників, що впливають на дослідника в металургійній лабораторії.....	40
4.2 Заходи з поліпшення умов праці.....	42
4.3 Виробнича санітарія.....	43
5 Економічна частина.....	47

5.1 Організація виконання науково-дослідницької роботи.....	47
5.1.1 Планування етапів науково-дослідницької роботи.....	47
5.1.2 Визначення трудомісткості виконання НДР.....	48
5.1.3 Визначення числа виконавців НДР.....	49
5.1.4 Розрахунок тривалості етапів НДР.....	49
5.1.5 Побудова стрічкового графіка проведення науково- дослідної роботи.....	50
5.2 Розрахунок кошторису витрат на проведення дослідження.....	52
5.2.1 Розрахунок витрат на основні матеріали.....	52
5.2.2 Розрахунок витрат на амортизацію обладнання.....	53
5.2.3 Розрахунок витрат на електроенергію.....	53
5.2.4 Розрахунок заробітної плати й відрахувань.....	54
5.2.5 Накладні витрати.....	57
5.2.6 Зведений кошторис витрат на проведення науково- дослідної роботи.....	58
Загальні висновки.....	59
Перелік джерел посилання.....	60

## ВСТУП

Основною проблемою під час переробки високозалізистих бокситів в глиноземному виробництві є використання плоскодонних апаратів на ділянці згущення і промивання червоних шламів. Через збільшення кількості великих за розміром частинок шламу в розведеній вареній пульпі збільшується навантаження на приводи пристроїв, що перемішують. Це негативно позначається як на обладнанні, так і на перебігу технологічних процесів, призводить до збільшення аварійних зупинок і, як наслідок, до зниження кратності промивання червоного шламу, що спричинює зростання втрат глинозему і лугу з відвальним шламом. Тому потрібно видаляти з вареної пульпи великі за розміром частинки шламу до його згущення і промивання.

Для вирішення цієї проблеми розроблено і введено встановку гідрокласифікації розбавленої вареної пульпи, до складу якої входять гідрокласифікатор, бак знекремнювання, дугові грохоти, перемішуючі пристрої, насоси. Застосування установки гідрокласифікації вареної пульпи дозволило поділити варену пульпу на складові частини, відокремлюючи продукційну пульпу від піску, а, отже, знизити навантаження на перемішуючі пристрої згущувачів і промивачів та підвищити ефективність виробничого процесу

*Мета роботи* – дослідити особливості та вибрати напрями вдосконалення технології гідрокласифікації пульпи, що утворюється в виробництві глинозему.

*Завдання дослідження:*

1. Проаналізувати вплив реологічних властивостей пульпи на параметри класифікації і виходу продукта. на його здатність осадження твердої фази.
2. Дослідити особливості та вибрати технологічні умови класифікації і осадження крупних фракцій шламу з розбавленої пульпи.
3. Розробити напрями вдосконалення роботи класифікаторів для промивання і виділення пісків.

*Об'єкт дослідження* – процес гідрокласифікації і осадження крупних фракцій шламу з розбавленої вареної пульпи в виробництві глинозему.

*Предмет дослідження* – вплив технологічних умов гідрокласифікації розбавленої пульпи на повноту поділу пульпи.

*Наукова новизна:*

1. Дослідженням зонтоподібного та канатоподібного режимів розвантаження гідроциклона визначена можливість виникнення просторових структур в гідратних пульпах глиноземного виробництва.

2. Параметри класифікації гідратних пульп можна регулювати як вмістом твердої фази у пульпі, що надходить у гідроциклон, так і уявленнями про межевий розмір зерен твердої фази.

*Практичне значення:*

1. Найкращі результати гідрокласифікації у гідроциклонах досягаються під час обробки матеріалів, що містять невелику кількість зерен розмірами 32-63 мкм.

2. Можливість поетапної заміни існуючих класифікаторів на гідроциклонні установки в діючому виробництві дозволить вивільнювати до 50-60 % виробничих площ ділянки гідрокласифікації.



## 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Світове виробництво глинозему

Алюміній – легкий, міцний і пластичний метал. Унікальне поєднання його властивостей, в числі яких – довговічність, непроникність, висока тепло- і електропровідність, стійкість до корозії і можливість стовідсоткової переробки – робить його незамінним компонентом для величезної кількості промислової продукції – від електричної лампочки до реактивного літака.

Алюміній без перебільшень можна назвати металом майбутнього – можливості і темпи розвитку людства безпосередньо залежать від розвитку алюмінієвої галузі. Інтенсивне зростання світового населення передбачає будівництво нових доріг і будівель, а також виробництво транспорту в об'ємі, достатньому для перевезення кількості пасажирів, що щорік збільшується. Все це можливо лише із застосуванням алюмінію.

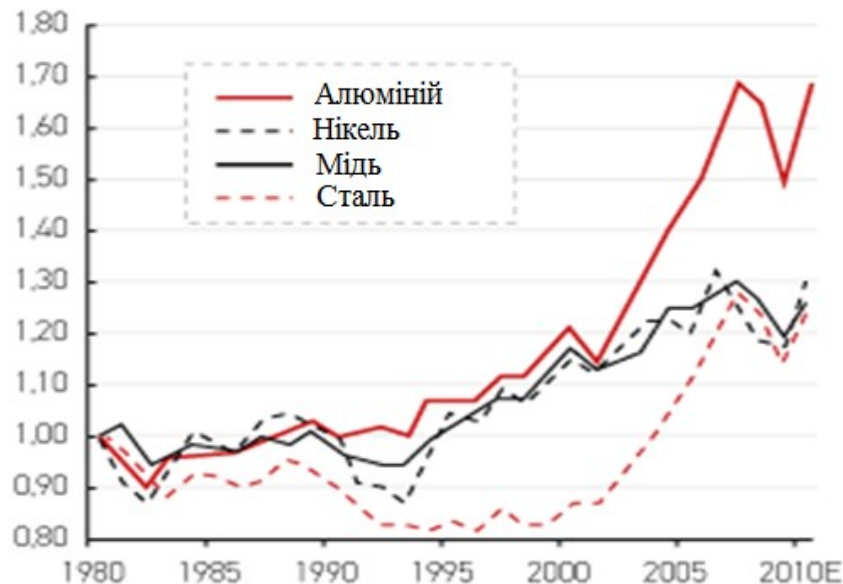


Рисунок 1.1 – Індекс світового використання металу

Світове зростання попиту на алюміній підтримане перш за все швидким економічним розвитком і урбанізацією Китаю, доля якого в загальному об'ємі світового вжитку складає більше 40 %. Активними споживачами алюмінію на сьогоднішній день є також Японія, країни Європи і США. У 2018 р. виробництво первинного алюмінію в світі підвищилося в порівнянні з 2017 р. в результаті того, що вводить до ладу нових плавильних підприємств і відновлення функціонування заводів, закритих в 2018 р. - початку 2019 г. Споруда і введення в експлуатацію нових підприємств в 2018 р. був здійснений в основному в Китаї і Індії. У Катарі і ОАЕ були виведені на проектну потужність заводи, будівництво яких було завершено до 2018 р. - початку 2019 р.



Рисунок 1.2 – Об'єм споживання алюмінію різними країнами і континентами в 2018 р.

Завдяки істотному зростанню попиту на алюміній в Китаї і відновленню попиту на метал в США, Європі і Японії світовий об'єм вжитку алюмінію в 2019 році виріс на 6 % порівнянно з 2018 р. і склав 47,7 млн. т.

По повідомленню "International Aluminium Institute", світові складські запаси металу в продуцентів алюмінію збільшилися до кінця липня 2019 р. приблизно до 2,6 млн. т. з 2,5 млн. в кінці 2018 р. Запаси первинного алюмінію на розташованих в різних регіонах світу складах Лондонської біржі металів (ЛБМ) підвищилися до кінця вересня минулого року до 4,6 млн. т з 4,3 млн. т в кінці 2019 р.

Алюміній – найпоширеніший метал на Землі, його доля в земній корі складає до 8,8 %. Проте всупереч поширеній думці, алюмінієвих копалень в природі не існує. Завдяки своїй хімічній активності алюміній практично не зустрічається у вільному вигляді – для промислового виробництва лічать лише небагато з мінералів, що містять його, і гірських порід.

Процес виробництва алюмінію включає видобуток бокситів, їх переробку в глинозем і подальше виробництво алюмінію. Обмежений доступ до комерційно витягваних запасів бокситів і виснаження руд є основним обмеженням для розвитку алюмінієвої галузі.

Для одержання 1 т електролітичного алюмінію потрібно в середньому 2 т глинозему. Глинозем виробляється в 33 країнах світу на 84 заводах з загальною проектною потужністю більше 66 млн. т/рік (із них 22 заводи з продуктивністю більше одного мільйона т глинозему на рік) [1].

Глиноземні заводи – великотоннажні енергоємні виробництва. На одну тону глинозему витрачається в середньому 2,7 т бокситу і 15,3 ГДж теплової енергії. Сумарні витрати на сировину й енергію в собівартості глинозему складають 50–70 %. Потужність діючих і споруджуваних заводів досягає 3–4 млн. т на рік з тенденцією наближення їх до місця розташування бокситових родовищ.

Світовий видобуток бокситів в 2018 р. збільшився на 6,1 % до 211 млн.т. Можна відзначити, що в світі щорічний добувається до 1 % запасів бокситів, виявлених в земній корі. Якщо рівні видобутку збільшуватимуться поточними темпами, а об'єм запасів залишиться на тому ж рівні, то запаси земних бокситів

вичерпаються приблизно через 80-100 рр. Серед країн, найбільш крупних продуцентів даної сировини можна відзначити Австралію, з долею 33,2 % світового видобутку. Найбільшими добувними країнами є також Китай – 19 %, Бразилія – 15,2 %, Індія – 8,5 %, Гвінея – 8,2 %, Ямайка – 4,4 % світового видобутку. Варто відзначити, що одна з найбільших країн по видобутку бокситів - Китай, щорік добуває 4,6 % своїх підтверджених запасів. Таким чином при подальшому підвищенні рівня видобутку поточними темпами, країна вичерпає запаси вже через 20 р. Також відзначимо, що при поточному світовому рівні видобутку бокситів (211 млн.т./р) підтвержені світові запаси закінчаться через 114 рр, а при тенденції збільшення світового видобутку щорік на 5 %, через 38-40 років, до 2050 р [1,2].

За попередньою оцінкою Геологічної служби США, в 2019 р видобуток бокситів в світі збільшився в порівнянні з попереднім роком на 5 % – до 220 млн. т після практично такого ж приросту в 2010 р. Зростання виробництва торік було забезпечене таким, що вводить до ладу нових копалень, а також розширенням потужностей, що діють, і відновленням експлуатації раніше зупинених підприємств в Бразилії, Венесуелі, Гвінеї, Індії, Китаї, Сурінамі і на Ямайці. У Австралії видобуток бокситів, за оцінкою, дещо знизився із-за повеней, копалень, що негативно позначилися на функціонуванні ряду. Останні крупні світові продуценти даної сировини в 2018 р. помітно підвищили випуск, причому в лідируючої трійки – Австралії, Китаї і Бразилії виробництво істотно перевищило рівень 2008 р. У Росії в 2019 р. після зниження в 2012 - 2018 рр. видобуток бокситів збільшився [2,3].

Світові природні запаси бокситів на кінець 2011 р. геологічна служба США оцінює в 29 млрд. т. При цьому її географічна структура приведена в таблиці 1.1.



Таблиця 1.1 – Світові природні запаси бокситів у 2018-2019 рр.

Країна	Кількість, млн. т	
	2018 р	2019 р
Всього	28000	29000
Гвінея	7400	7400
Австралія	5400	6200
Бразилія	3400	3600
В'єтнам	2100	2100
Ямайка	2000	2000
Індія	900	900
Гаяна	850	850
КНР	750	830
Греція	600	600
Сурінам	580	580
Венесуела	320	320
Росія	200	200
Казахстан	360	160
США	20	20
Інші держави	3300	3300

В Україні глинозем виробляє ТОВ «Миколаївський глиноземний завод» (МГЗ). МГЗ було введено в дію у 1980 р. з проектною потужністю 1 млн. т глинозему на рік, рацює за способом Байєра. На цей час його продуктивність зросла до 1,3 млн. т на рік і планується підвищити до 2,0 млн. т.

ТОВ «Запорізький алюмінієвий комбінат» (ЗАЛК), побудований у 1933 році, виробляє глинозем, алюміній і силумін. Глиноземний цех працював за способом Байєр-спікання. Продуктивність – 250 тис. т глинозему на рік. Потужність електролізного виробництва була 100 тис. т алюмінію на рік.

Глиноземне виробництво МГЗ працює на імпортованих бокситах Австралії, Гвінеї, Індії, Ямайки і тощо [9].

## 1.2 Основні мінерали алюмінію

Алюміній після кисню й кремнію третій за поширеністю елемент у земній корі. Його частка складає 8,7 % (за масою) [3]. У природі алюміній зустрічається тільки у зв'язаному вигляді, і є однією з основних складових гірських порід первинного походження. У гірських вулканічних породах алюміній представлений мінералами алюмосилікатів (ортоклаз, альбіт, силіманіт, нефелін та ін.), шпінелями (хімічні сполуки  $Al_2O_3$  з оксидами інших металів –  $Al_2O_3 \cdot MeO$ ) і корундом. Під впливом атмосфери, температури, природних вод відбувалося руйнування первинних алюмосилікатних порід і утворення вторинних порід. Алюміній зберігся в них у вигляді гідроксидів (гібсит, беміт, діаспор), каолініту, алуніту та інших мінералів. З продуктів руйнування утворилися родовища алюмінієвої сировини (бокситові, алунітові, давсонітові та ін.).

Вміст кожного компонента в мінералі можна розрахувати за формулою і молекулярною чи атомною вагою елементів.

Як сировина для виробництва глинозему найбільший інтерес мають такі: боксити (основна складова представлена гідроксидами алюмінію), нефеліни й алуніти [1-7].

Каолініти (основа родовищ глини і каолінів) і давсоніти становлять інтерес тільки як потенційна алюмінієва сировина.

До складу нефелінової сировини, крім алюмінію, входять калієвий і натрієвий луги. Родовища нефелінів відомі в багатьох країнах світу. Переробляються тільки в Росії. На нефелінах Кольського півострова працює Пікалевське об'єднання «Глинозем». На нефелінах Сибіру (Кия-Шалтирське

родовище) – Ачинський глиноземний комбінат. Найбільш поширені мінерали алюмінію наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Основні мінерали алюмінію [4,5]

Мінерал	Хімічна формула	Вміст $Al_2O_3$ , % (за масою)
Корунд	$Al_2O_3$	100
Беміт, діаспор	$AlOON$ чи $(Al_2O_3 \cdot H_2O)$	85
Гібсит (гідраргіліт)	$Al(OH)_3$ чи $(Al_2O_3 \cdot 3H_2O)$	65,4
Каолініт	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	39,5
Нефелін	$(Na,K)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	33-36
Алуніт	$(Na,K)_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 4Al(OH)_3$	-
Сіліманіт	$Al_2O_3 \cdot SiO_2$	63
Альбіт	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	19
Ортоклаз	$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$	18

Великі родовища алунітових руд відомі в Мексиці, США, Азербайджані, Україні, на цей час вони не переробляються.

Найбільш коштовною сировиною для виробництва глинозему є боксит. З нього одержують 95 % виробленого у світі глинозему.

Боксити – це складна гірська порода, що складається з гідроксидів алюмінію, оксидів заліза, кремнію та інших мінеральних компонентів. Вміст оксиду алюмінію досягає 66,5 %. Алюміній у бокситах знаходиться у вигляді триводного оксиду – гібситу (гідраргіліту) чи одноводяних оксидів (беміт, діаспор), а також до 20 % від загального вмісту є наявним у вигляді алюмоферритів, каолініту, алюмосилікатів різного складу [4]. Оксиди заліза в бокситах знаходяться у вигляді гематиту ( $Fe_2O_3$ ), гетиту ( $2Fe_2O_3 \cdot H_2O$ ), алюмоферритів, сидериту  $FeCO_3$ , піриту  $FeS_2$ , шамозиту та інших сполук.

Загальний вміст оксидів заліза в різних бокситах може змінюватися від 5 % до 40 %, частіше на рівні 15-18 % [5-8].

Наступним за вмістом від 2 до 25 % у бокситах представлений оксид кремнію. Його вміст у високоякісних байеровських бокситах звичайно не перевищує 8 %. Сполуки кремнію знаходяться у вигляді різних модифікацій  $\text{SiO}_2$  (кварц, опал, халцедон), каолініту  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , шамозиту та деяких інших мінералів. Сумарна частка інших мінералів звичайно, не перевищує в бокситах 10 %. До них відносяться мінерали титану (рутил і анатаз  $\text{TiO}_2$ , ільменіт  $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ , перовскит  $\text{CaO} \cdot \text{TiO}_2$ ), кальцію (кальцит), магнію (магнезит  $\text{MgCO}_3$ , доломіт  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ), сірки (пірит  $\text{FeS}_2$ ), а також сполуки хрому, фосфору, ванадію та інші неорганічні й органічні домішки.

Колір бокситів – від білого до червоно-коричневого. Твердість – від 2 до 7 (за шкалою Мооса), щільність – від 1200 до 3500  $\text{кг/м}^3$  [10].

Боксити різних родовищ різняться за кольором, структурою, твердістю, мінералогічним і хімічним складами. Багато в чому ці відмінності обумовлені особливостями формування родовищ.

За походженням всі родовища бокситів відносяться до латеритного типу, тобто утворилися в результаті вивітрювання й розкладання материнських алюмосилікатних гірських порід. Родовища поділяють на залишкові (автохтонні) і осадові (аллохтонні) [10].

Боксити залишкових родовищ утворилися в результаті вивітрювання й розкладання алюмосилікатів, вони розташовані на материнських породах. До них належить велика частина світових родовищ бокситів. Це родовища Африки, Австралії, Центральної та Південної Америки й Індії.

Осадові родовища бокситів утворилися в результаті переносу ґрунтовими водами й ріками продуктів розкладання алюмосилікатів на нові ділянки. Це родовища бокситів Ямайки, Китаю, В'єтнаму, Європи й Росії.

Основні вимоги, які висуваються глиноземною промисловістю до бокситів [9-12]:

- добре розкриття у лужних розчинах;
- високий вміст і витяжка оксиду алюмінію;



- мінімальний вміст шкідливих домішок ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ , карбонатів, сірки, фосфору, хрому, органічних сполук);

- низька твердість.

У більшій мірі цим вимогам відповідають боксити залишкових родовищ.

Розкриття бокситів залежить від того, в якій мінералогічній формі в них знаходяться гідроксиди алюмінію. За цим критерієм розрізняють гібситові, бемітові та діаспорові боксити. З легкокорозквиваних гібситових бокситів  $\text{Al}(\text{OH})_3$  переходить у лужний розчин при температурі 100-110 °С. Для розкладання беміту потрібні температури вище 160 °С, діаспору – вище 210 °С. Часто в бокситах одночасно присутні дві форми гідроксиду алюмінію. Такі боксити за мінералогічним складом відносять до типу змішаних, наприклад, гібсит-бемітові, беміт-діаспорові. Переважна мінералогічна форма вказується на першому місці.

Наявність важкорозквивної форми гідроксиду алюмінію вимагає створення більш жорстких режимів їхнього розкриття (підвищення температури й концентрації лужного розчину).

Пухкі, пористі боксити з розвитою поверхнею вилуговуються значно швидше й повніше, ніж щільні, мало пористі [2-4].

Великий вплив на якість бокситів має вміст у них оксидів алюмінію й кремнію. Чим вище вміст  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і нижче вміст  $\text{SiO}_2$ , тим якість бокситу вища. До високоякісних відносять боксити зі вмістом  $\text{Al}_2\text{O}_3$  вище 50 %, але при цьому потрібно враховувати і вміст у них  $\text{SiO}_2$ . Причина полягає в тому, що кремнезем при вилуговуванні зв'язує частину  $\text{Al}_2\text{O}_3$  у нерозчинний гідро алюмосилікат натрію (ГАСН) умовного складу  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1,7\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Таким чином, у складі ГАСН кожен кг кремнезему зв'язує один кг оксиду алюмінію.

Сумарний вміст шкідливих домішок у бокситі може досягати 10% і більше. До них відносяться  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , сірка, карбонати, хром, органічні сполуки і тощо. Ці домішки в процесі вилуговування взаємодіють з каустичним

лугом і утворюють відповідні лужні сполуки, що впливають на властивості розчинів і показники витяжки глинозему.

За мінералогічною характеристикою і вмістом домішок боксити поділяють також на каолінітові (з високим вмістом каолініту), сидеритезовані, хлоритові, піритизовані.

За фізичною (літологічною) характеристикою розрізняють кам'янисті, пухкі, глинисті, земляні, сухаристі боксити. Кам'янисті, як правило, високозалісти, що складаються з породоутворюючих мінералів гідроксидів алюмінію і заліза. Вони мають невисокий вміст оксиду кремнію. Якість їх висока. У пухких бокситах більше каолініту і менше гідроксидів алюмінію.

Глинисті боксити мають підвищений вміст каолініту і низький вміст оксидів алюмінію, також характеризуються підвищеними витратами при вилуговуванні.

У загальному випадку для характеристики бокситів можуть служити два основні показники: вміст  $\text{Al}_2\text{O}_3$  % ( $A_6$ ) і  $\text{SiO}_2$  ( $S_6$ ) у бокситі, що пов'язано з витратою бокситу ( $Q_6$ ) на 1 т глинозему.

Твердість бокситів залежить від їхнього мінералогічного складу. Боксити діаспорового типу характеризуються високою твердістю (твердість діаспора 7 за шкалою Мооса). Боксити гібситового типу мають твердість 2-3. З огляду на високі витрати на подрібнення діаспорових бокситів, більш економічно переробляти менш тверді, легкокорозивні гібситові і гібсит-бемітові боксити.

За кордоном відсутні однакові вимоги до якісних бокситів, за винятком вмісту в них  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і  $\text{SiO}_2$ . Вміст  $\text{Al}_2\text{O}_3$  повинен бути вище 50 %, а  $\text{SiO}_2$  – не перевищувати 5 %.

Хімічні й мінералогічні характеристики складів різних бокситів наведені в табл. 1.3.

Основна маса бокситів, яка переробляється, належить до категорії легкокорозивних гідраргілітових бокситів з низьким вмістом двооксиду

кремнію. Це, у першу чергу, боксити Ямайки, Гвінеї, Індії, Сурінаму з кремнієвим модулем вище 14, а також боксити Австралії, Бразилії з кремнієвим модулем 10-15. У бокситах Гвінеї і Ямайки є домішка беміту (до 4 %), а в австралійських бокситах частка беміту може досягати 20 % основного мінерального складу [1-8].

Таблиця 1.3 - Хімічний склад бокситів різних родовищ [1-8]

Країна	Вміст основних компонентів, %							Мінералогічний тип бокситу
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Ca	п.п.в.	μ <sub>Si</sub>	
Ямайка	44,3	1,5	18,2	-	-	25,0	29,5	Гідраргілітовий
Гвінея	56,7	2,7	7,4	3,6	0,2	26,4	21,0	Гідраргілітовий
Румунія	63,7	3,6	9,7	-	-	-	17,7	Діаспоровий
Індія	49,2	2,8	16,1	6,4	0,1	25,1	17,6	Гідраргілітовий
Греція	56,6	3,8	21,6	2,5	0,8	12,6	14,9	Діаспоровий
Росія	53,5	3,7	22,5	2,0	3,8	12,5	14,5	Діаспоровий
Сурінам	54,5	3,8	8,7	2,6	-	26,0	14,2	Гідраргілітовий
Австралія	43,7	3,6	16,4	1,9	-	21,3	12,1	Гідраргілітовий + беміт
Угорщина	53,1	4,8	18,8	2,8	-	19,5	11,1	Беміт + гібсит
Бразилія	49,4	4,5	14,6	1,4	0,3	24,0	11,0	Гідраргілітовий
Югославія до 1990 р.	50,9	4,9	22,0	2,9	0,6	18,5	10,4	Бемітів
Китай	66,1	7,9	5,5	3,3	0,4	13,8	8,4	Діаспоровий
Туреччина	57,4	7,0	18,1	-	-	12,0	8,2	Діаспоровий
Росія	45,5	8,8	19,4	2,2	7,0	-	5,2	
Казахстан	42,6	11,6	18,4	2,3	0,8	20,5	3,7	Гібсит + каолінит

Грецькі боксити за хімічним складом знаходяться на рівні кращих за своїми показниками, але оксид алюмінію в них представлений

важкорозкривним діаспором, що знижує їхню технологічну цінність. До діаспорного типу відносяться боксити Китаю, Росії, Туреччини й Румунії.

Слід зазначити, що, крім переробки в глиноземному виробництві, боксити використовують для одержання електрокорунду (ЕБ), цементу (ЦБ), вогнетривів (ПРО), мартенівського виробництва (МБ).

Україна не має великих родовищ бокситів. Найбільш значущими є Високопольське, Південно-Нікопольське (Дніпропетровська обл.) і Смілянське (Черкаська обл.) Боксити невисокої якості. Вміст оксиду алюмінію – 35 – 45 %, кремнієвий модуль 3...6. Потужність рудних шарів невелика, у середньому – 1,5-3,0 м [7].

Крім цих родовищ, прояви бокситових порід виявлені в Криму, Донецькій області й у Західній Україні.

Із сировини, що містить алюміній, в Україні являють інтерес нефелінові масиви (маріуполіти) Приазов'я, розташовані в Донецькій області (Волноваський, Старобешевський райони). Запаси оцінюються в один мільярд тонн. Маріуполіти містять приблизно 22 %  $Al_2O_3$ , до 13 % лугів і підвищену кількість рідких металів (цирконій, ніобій, тантал, галій і т.д.) [8].

Великі родовища алунітових порід відомі в Закарпатті (Беганьське і Берегівське родовища) з запасами до 300 мільйонів т

### **1.3 Класифікація способів одержання глинозему. Спосіб Баєра**

Оксид алюмінію має амфотерні властивості. Його можна переводити в розчин, обробляючи як лугами, так і кислотами. Крім того, оксиди алюмінію при спіканні досить легко взаємодіють з оксидами лужних і лужноземельних металів з утворенням подвійних сполук лугів, що розчиняються у водяних розчинах.

Історично першими відомими варіантами одержання глинозему були способи спікання [12]. У 1858 р. Ле-Шательє запропонував спосіб спікання



бокситів з содою, з наступним вилуговуванням спека обіговим лужним розчином і розкладанням отриманих алюмінатних розчинів карбонізацією при пропусканні крізь них газів, що містять  $\text{CO}_2$ . Спосіб використовувався, в основному, для переробки низькокремністих бокситів. У 1880 р. Мюллер запропонував у шихту для спікання, крім соди, вводити вапняк чи магнезит для зв'язування кремнезему в нерозчинні у воді силікати лужноземельних металів, але дозування були прив'язані до маси вихідного бокситу і завищені. Паккард у 1902 р. вперше вказав на необхідність дозування вапняку в шихті з розрахунку зв'язування двооксиду кремнію у двокальцієвий силікат ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ). Це молярне відношення використовується зараз. У цей період вже починає одержувати визнання спосіб вилуговування бокситів, запатентований Байєром.

Розвиток варіантів переробки алюмінієвої сировини спіканням було продовжено російськими та радянськими вченими. У 1916 р. Пеняков запропонував спосіб спікання алюмінієвих руд з вапняком. Теорія й практика спікання алюмосилікатів, нефелінів, висококремністих бокситів були розроблені в 20–30 рр минулого століття радянськими вченими Лілеєвим, Уразовим, Строковим, Яковкіним та ін.

Високоякісні боксити переробляють за способом Байєра. Це найбільш економічний спосіб одержання глинозему, але вимагає використання бокситів з низьким вмістом  $\text{SiO}_2$ , S,  $\text{CO}_2$  і ряду інших домішок.

Гідрохімічні способи дозволяють переробляти вилуговуванням низькоякісну сировину, що містить алюміній, але вимагають використання висококонцентрованих лужноалюмінатних розчинів, високих тисків і температур (спосіб Пономарьова-Сажина) або обмежуються тільки зниженням вмісту двооксиду кремнію у вихідній сировині до кремнієвого модуля 1,0 (спосіб Манвеляна).

Спікальні лужні способи найбільш універсальні. Вони дозволяють переробляти на глинозем з досить високим витягом  $\text{Al}_2\text{O}_3$  практично будь-яку сировину, що містить алюміній, у тому числі відходи. Основа спікательних

способів: утворення алюмінатів натрію при нагріванні з содою та зв'язування двооксиду кремнію при його взаємодії з вапняком у двокальцієвий силікат. Таким чином, у результаті термообробки при 1099 – 1399 °С отримують спік, що складається з алюмінату натрію й двокальцієвого силікату. Різновиди спікальних способів відрізняються дозуванням компонентів спікальної шихти, видом і складом вихідної сировини. Необхідність проведення спікання при температурах вище 1100 °С обумовлює високі енергетичні витрати на переробку, що приводить до підвищення собівартості глинозему. Об'єднання способів Байера і спікання викликано потребою переробляти низькоякісні боксити (послідовний спосіб Байер-спікання) або одночасно переробляти на одному підприємстві високоякісні й низькоякісні боксити (рівнобіжний, тобто паралельний варіант Байер-спікання). Кислотні способи не знайшли широкого практичного використання в наш час. Вони вимагають наявності дорогої кислотостійкої апаратури, складної технології очищення кислих розчинів від домішок, значних капітальних витрат, характеризуються високою собівартістю глинозему і невисокою його якістю.

Цілком можливі великі удосконалення відомих кислотних способів, а також розробка нових. З алюмосилікатів за допомогою кислот можна одержувати додатково рідкісні метали. Саме тому переважно цими способами посилено займаються в усьому світі [10-12].

Останнім часом опрацьовували кислотно-лужні способи виробництва глинозему. Суть їх полягає в тому, що руду спочатку обробляють кислотами, одержуючи глинозем з домішками оксидів заліза, титану та ін. Такий глинозем, (свого роду концентрат), далі переробляють лужним способом.

Термічні способи, для яких звичайно використовуються електропечі, засновані на відновній плавці з видачею з печі більш-менш багатого кремнієм феросплаву й шлаку, з якого глинозем витягається лужними способами. Промислове застосування цього способу виправдано лише достатком дешевої електроенергії.

Світове виробництво глинозему базується на переробці високоякісних бокситів за способом Байєра.

Фізико-хімічні основи цього способу були розроблені більше 100 р. тому і дотепер не зазнали істотних змін. Разом з тим апаратурне й технологічне оформлення процесу значно удосконалені.

В основу способу були покладені запатентовані в 1889 – 1892 рр. хіміком Карлом Йосипом Байєром два переділи: [10,11].

- вилуговування бокситів міцними обіговими лужно-алюмінатними розчинами, що одержують у результаті випарювання маточних розчинів;
- розкладання алюмінатних розчинів з виділенням гідроксиду алюмінію.

У першому патенті (німецький патент № 43977 від 03.08.1889 р.) Байєр писав: «Відкритий автором спосіб... заснований на тім спостереженні, що отриманий уже відомим способом розчин алюмінату починає розкладатися, якщо при безупинному русі рідини додати до неї гідрат глинозему... і що це розкладання продовжується протягом певного часу доти, поки молекулярні кількості глинозему й окису натрію не будуть співвідноситись один з другим як 1:6. Після досягнення цього співвідношення розкладання припиняється...».

У другому винаході (німецький патент № 65604 від 03.09.1892 р.) Байєр вказував, що обігові лужні «розчини можуть, якщо їх упарити... розчиняти глинозем безпосередньо з бокситу. Для цього треба обробляти боксит протягом 1,5–2,0 год. випареними розчинами при постійному перемішуванні, при тиску 3–4 атм. відповідній температурі (159 –171 °С)».

Основна ідея способу полягала в тому, що розкласти боксити можна лужно-алюмінатними розчинами, з яких потрібно виділяти витягнутий з бокситів оксид алюмінію. При цьому витрачений на вилуговування каустичний луг звільняється й у складі розчину, отриманого після відокремлення оксиду алюмінію, знов повертається на вилуговування.

Гідроксид алюмінію з бокситу витягають обробкою обіговим лужно-алюмінатним розчином, що містить вільний каустик. У результаті розведення алюмінатної пульпи й відокремлення порожньої породи одержують алюмінатний розчин, в якому луг, зв'язаний в алюмінат натрію. При розкладанні алюмінатного розчину виділяють гідроксид алюмінію, а в розчині залишається вільний каустик. Такий розчин називають маточним. Після випарювання з нього води, одержують концентрований розчин (обіговий), який знову використовують для вилуговування бокситу.

Основні завдання, які вирішуються в способом Байєра:

- 1) забезпечити оптимальні умови для селективного переведення в лужний розчин гідроксиду алюмінію з бокситу;
- 2) відокремити нерозчинний залишок (червоний шлам) від отриманого алюмінатного розчину;
- 3) створити умови для найбільш повного виділення з алюмінатного розчину гідроксиду алюмінію, який після прожарювання має відповідати вимогам до продукційного глинозему.

Боксити, що переробляються за способом Байєра, повинні мати низький вміст оксиду кремнію, мінімальні кількості сірки, карбонатів та інших шкідливих домішок, що ускладнюють переробку бокситів.

Загальну схему способу Байєра наведено на рис. 1.3 [3-5].

Боксит піддають дрібненню і мокрому розмелу до заданого розміру часток. На розмел подають частину обігового лужного розчину і додають вапно в кількості до 3 % від маси бокситу. Пульпу, що складається з подрібненого бокситу та обігового розчину, вилуговують у батареях автоклавів в умовах, що забезпечують максимальний перехід у розчин гідроксидів алюмінію. Отриману варену пульпу розбавляють промводою та відокремлюють від неї червоний шлам. Червоний шлам промивають водою в системі промивачів для найбільш повного відокремлення від алюмінатного розчину. Отримана промвода служить для розведення вареної пульпи. Червоний шлам направляють у відвал або на утилізацію. Отриманий



очищений і розведений розчин називають алюмінатним. У нього переходить 85...95 % оксиду алюмінію з бокситу. Весь оксид алюмінію, який перейшов, виділяють з алюмінатного розчину на переділі декомпозиції, що називають також викруткою чи розкладанням.

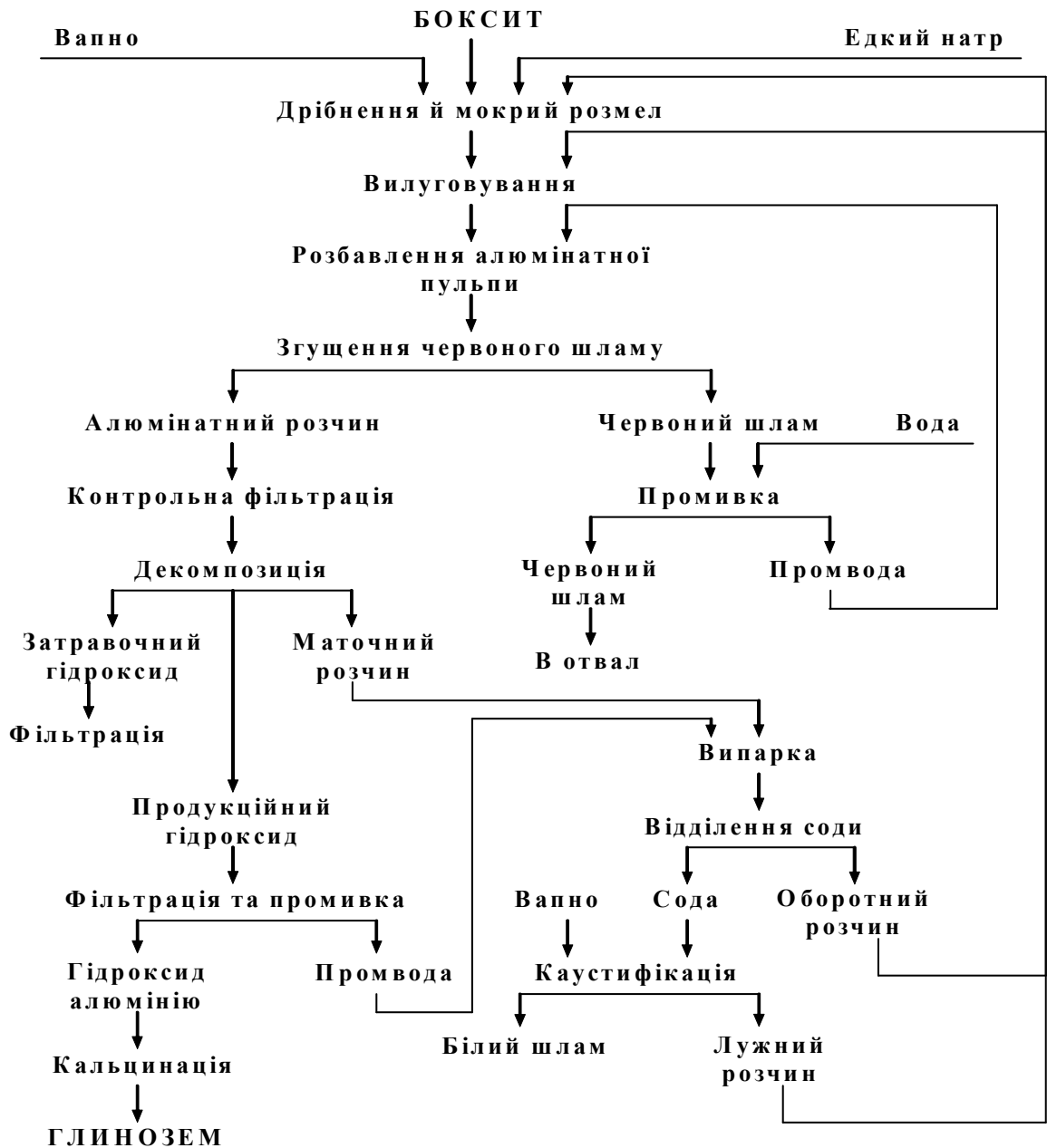


Рисунок 1.3 – Загальна схема способу Байера [5]

На цьому переділі, завдяки охолодженню алюмінатного розчину й введенню центрів кристалізації (затравочний гідроксид алюмінію) відбувається виділення з алюмінатного розчину гідроксиду алюмінію (тверда фаза  $\text{Al}(\text{OH})_3$  у вигляді гібситу).

Розчин, отриманий після декомпозиції, називають маточним. Маточний розчин випаровують для видалення води, уведеної на попередніх переділах, і одержують концентрований, який називається обіговим. Обіговий розчин повертають у голову процесу на вилуговування й розмел бокситу.

Виділений на декомпозиції гідроксид алюмінію направляють на кальцинацію, тобто прожарюють, для видалення зв'язаної води і одержують глинозем. Велику частину гідроксиду алюмінію тримають в обороті, використовують як затравочний гідроксид.

Для компенсації втрат луку в циклі Байера в обіговий розчин вводять свіжий каустик.

Під час випаровування може виділитися з обігового розчину деяка кількість соди (що називається «руда» сода). Цю соду каустифікують у розчині з додатками вапна.

Для якісної й ефективної переробки бокситів за способом Байера потрібно, у першу чергу, знати хімізм і механізм процесів, що відбуваються при вилуговуванні бокситів, при розведенні, випаровуванні і розкладанні розчинів, а також при кальцинації гідроксидів алюмінію.

Сучасні схеми способу Байера передбачають відмінності й варіанти реалізації використовуваної сировини відповідно до технологічних і економічних вимог.

## 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Характеристики вихідних матеріалів і обладнання

Для лабораторного дослідження класифікації готували синтетичні проби пульпи, які склалися з часточок в заданому співвідношенні (табл.2.1). Концентрація твердого від 100 г/л до 950 г/л.

Таблиця 2.1 – Гранулометричний склад твердої фази досліджуваної проби пульпи

Фракція, мкм	Масова частка, %
-63	10,0
+63-100	5,0
+100-200	5,0
+200-315	5,0
+315-500	5,0
+500-800	5,0
+800-1600	10,0
+1600-2000	10,0
+2000-2500	10,0
+2500-6000	35,0

Вихідний склад лужно-алюмінатного розчину був наступним, г/дм<sup>3</sup>: 204,6 Na<sub>2</sub>O<sub>тітр</sub>; 21,4 Na<sub>2</sub>O<sub>кб</sub>; 183,2 Na<sub>2</sub>O<sub>ку</sub>; 97,4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,38 SiO<sub>2</sub>. Каустичний модуль  $\alpha_k = 3,09$ ; силіційний модуль  $\mu_{Si} = 256$ .

### 2.2 Методика визначення масової концентрації оксиду алюмінію в алюмінатних, обігових розчинах, пульпах глиноземного виробництва

Визначення масової концентрації оксиду алюмінію виконують для двох, відібраних об'ємів технологічного розчину [9].

Об'єм технологічного розчину ( $V_a$ ) поміщають в мірну колбу місткістю 100 см<sup>3</sup> (V), доводять об'єм до позначки дистильованою водою та перемішують. Величина об'ємної частки технологічного розчину, в залежності

від вмісту оксиду алюмінію, приведена в таблиці 2.3. Аліквотну частину ( $V_p$ ) розбавленого розчину поміщають в конічну колбу місткістю  $250 \text{ см}^3$ , розбавляють дистильованою водою до  $100 \text{ см}^3$ . Величина аліквотної частини розбавленого розчину, в залежності від вмісту оксиду алюмінію, приведена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Величина аліквотних частин вихідного та розведеного технологічного розчину

Вміст $\text{Al}_2\text{O}_3$ в технологічному розчині, $\text{г/дм}^3$	Об'єм технологічного розчину ( $V_a$ ), $\text{см}^3$	Загальний об'єм розведення ( $V$ ), $\text{см}^3$	Аліквотна частина розведеного розчину ( $V_p$ ), $\text{см}^3$	Об'єм трилона Б, що додається до аналізованого розчину, $\text{см}^3$
1,0÷50,0	20	100	5	15
50,0÷180,0	10	100	5	20
Більше 180,0	10	100	5	35

Далі до аналізованого розчину додають з бюретки розчин трилона Б (0,2 н.), нагрівають до кипіння, додають 3-4 краплі індикатора ксиленолового помаранчевого та нейтралізують по краплям соляної кислоти (1:1) до переходу забарвлення індикатора у жовтий колір. Після нейтралізації додають  $15 \text{ см}^3$  ацетатного буферного розчину ( $\text{pH}=5,5$ ) та охолоджують. В охолоджений розчин прибавляють 2-3 краплі індикатора ксиленолового помаранчевого та відтитровують надлишок трилона Б розчином цинку оцетокислого (0,2 н) до переходу забарвлення розчину з жовтого в рожевий.

Значення масової концентрації оксиду алюмінію ( $X$ ) обчислюють за формулою:

$$X = \frac{(V_1 - K_1 * V_2) * T * V * 1000}{V_a * V_p}, \quad (2.1)$$

де  $X$  – вміст оксиду алюмінію в технологічному розчині,  $\text{г/дм}^3$ ;

$V_1$  – об'єм розчину трилона Б (0,2 н.),  $\text{см}^3$ ;

$V_2$  – об'єм розчину цинку оцетокислого (0,2 н.), витрачений на титрування,  $\text{см}^3$ ;

$T$  – титр розчину цинку оцетокислого (0,2 н.), виражений в г/см<sup>3</sup> оксиду алюмінію;

$V_a$  – об’єм технологічного розчину, відібраний для визначення, см<sup>3</sup>;

$V_p$  – аліквотна частина розведеного розчину, см<sup>3</sup>;

$V$  – загальний об’єм розведення технологічного розчину, см<sup>3</sup>;

$K_1$  – коефіцієнт поправки для розчину цинку оцетокислого (0,2 н.).

### **2.3 Методика гравіметричного визначення вмісту твердої фази в алюмінатних розчинах та пульпі**

Визначення вмісту твердої фази виконують гравіметричним методом аналізу.

Метод визначення вмісту твердої фази в пульпі, шламах та суспензіях глиноземного виробництва заснован на відокремленні твердої фази шляхом фільтрації аналізуючого об’єму проби, висушування до постійної маси та зважування отриманого залишку твердої фази. Для визначення вмісту твердої фази відбирають дві аліквоти аналізуючої проби. Фільтр зважують с похибкою 0,01 г. та поміщають в воронку Брюхнера [9,11,12].

Відбирають аліквоту 100 см<sup>3</sup> проби в три рази, після кожного разу ретельно перемішують методом “з склянки в склянку”. Причому основну частину аліквоти відбирають за два рази, а під час третього – обережно доводять до відмітки. Для проб з вмістом твердого – 800 г/дм<sup>3</sup> і більше відбирають аліквоту 50 см<sup>3</sup>. Циліндр с аліквотою зважують з похибкою 0,01 г. Відібрану аліквоту переносять на воронку Бюхнера. Залишок на фільтрі промивають гарячою водою. Якість відмивки контролюють індикатором фенолфталеїном до зупинки забарвлення відмивної води в рожевий колір. Вапнякову суспензію після переносу на воронку Бюхнера однократно промивають 1 дм<sup>3</sup> гарячою дистильованою водою. Залишок разом с фільтром висушують у сушильному шкафі при (100±5) °С протягом 2-х годин до

постійної маси, охолоджують на повітрі та зважують. Вміст твердої фази в технологічних розчинах, пульпі та суспензіях в масових концентраціях, г/дм<sup>3</sup>, визначають за формулою [9]:

$$X = \frac{m_2 - m_1}{V} * 1000, \text{ г/дм}^3, \quad (2.2)$$

де  $X$  – вміст твердої фази, г/дм<sup>3</sup>;

$m_1$  – маса фільтра, г;

$m_2$  – маса залишку з фільтром, г;

$V$  – об'єм аліквоти, відібраної на аналіз, см<sup>3</sup>;

Вміст твердої фази пульпи в масових частках, %, визначають за формулою [9]:

$$X = \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_3} * 100, \% \quad (2.3)$$

де  $X$  – вміст твердої фази в пульпі в масових долях, %;

$m_1$  – маса фільтра, г;

$m_2$  – маса залишку з фільтром, г;

$m_3$  – маса циліндру, г;

$m_4$  – маса циліндру з пульпою, г;

За результат аналізу приймають середнє арифметичне значення результатів двох аліквот проби.

#### 2.4 Методика визначення концентрації загального луку

У колбу місткістю 250 мл відібрати аліквотну частину за допомогою піпетки і гумової груші. Додати дистильованої води так, щоб по нижньому меніску рівень розчину збігався з рискою на горлечку колби [14]. Розчин, що міститься у колбі, ретельно перемішати і відібрати другу аліквотну частину – у дві конічні колби за допомогою піпетки і гумової груші. У конічні колби додати по 50 мл дистильованої води і по 1–2 краплі фенолфталеїну. Розчин набуває фіолетового кольору. Потім провести титрування 0,1 н. розчином НСІ до зникнення фіолетового кольору. Концентрацію луку розрахувати за формулою:



$$C_{Na_2O_{заг}} = \frac{V_T \cdot V_P \cdot K}{A_1 \cdot A_2}, \quad (2.4)$$

де  $C_{Na_2O_{заг}}$  – концентрація загального лугу  $Na_2O_{заг}$  в розчині, г/л;

$V_T$  – об'єм титранта, мл;

$V_P$  – об'єм розведення, мл;

$K$  – коефіцієнт (для  $Na_2O$  рівний 3,1);

$A_1$  – перша аліквотна частина, мл;

$A_2$  – друга аліквотна частина, мл.

## 2.5 Методика визначення концентрації каустичного лугу

У колбу місткістю 250 мл відібрати аліквотну частину за допомогою піпетки і гумової груші. Додати дистильованої води так, щоб по нижньому меніску рівень розчину збігався з рисою на горлечку колби. Розчин, що міститься у колбі, ретельно перемішати і відібрати другу аліквотну частину в дві конічні колби за допомогою піпетки і гумової груші. У конічні колби додати по 50 мл дистильованої води, по 10 мл 10 %-ного розчину  $BaCl_2$  і по 1–2 краплі фенолфталеїну. Розчин набуває фіолетового кольору. Потім провести титрування 0,1 н. розчином  $HCl$  до зникнення фіолетового кольору. Концентрацію лугу розрахувати за формулою [14]:

$$C_{Na_2O_k} = \frac{V_T \cdot V_P \cdot K}{A_1 \cdot A_2}, \quad (2.5)$$

де  $C_{Na_2O_k}$  – концентрація каустичного лугу  $Na_2O_k$  в розчині, г/л;

$V_T$  – об'єм титранта, мл;

$V_P$  – об'єм розведення, мл;

$K$  – коефіцієнт (для  $Na_2O$  рівний 3,1);

$A_1$  – перша аліквотна частин, мл;

$A_2$  – друга аліквотна частина, мл.

## 2.6 Методика визначення гранулометричного складу глинозему та гідроксиду алюмінію методом лазерної дифракції

Визначення гранулометричного складу виконують методом лазерної дифракції, який полягає в дифракції монохроматичного випромінювання на частинках матеріалу, визначенні кутового розсіювання випромінювання і розрахунку інтегрального розподілу вмісту фракцій.

Під час визначення гранулометричного складу необхідно дотримуватись таких вимог:

- Температура довкілля -  $(20\pm 5)$  °С.
- Відносна вологість атмосферного повітря – до 80 % при температурі  $(20\pm 5)$  °С.
- Напруга струму  $(220\pm 20)$  В.
- Приміщення не повинно піддаватися механічним коливанням.
- Вимірювальна техніка не повинна піддаватися односторонньому нагріву чи охолодженню , а також потужному світловому потоку.
- Модулі аналізатора повинні бути розміщені горизонтально.

Визначення гранулометричного складу проби виконують в двох навісках проби. Усереднений матеріал наважки подають шпателем в резервуар диспергатора у кількості, що забезпечує оптимальну та стабільну степінь ослаблення лазерного променя (затемнення). Затемнення контролюють візуально на дисплеї монітору. Через 20-30 секунд, після стабілізації рівня затемнення, виконують обчислення кутового розподілу інтенсивності розсіяного випромінювання лазеру частинками матеріалу проби. Результати розрахунку виводять на екран монітора та заносять у архів методики у вигляді графіка інтегрального розподілу. Вихід фракції більше, ніж 125-150 мкм виводяться програмним забезпеченням окремим рядком на монітор. Розрахунок складу виходу фракції в аналізуючому діапазоні визначається програмним забезпеченням автоматично. Результат визначення

гранулометричного складу оформляють в робочий журнал. Результат аналізу записують у вигляді:

$$X = X_{\text{cp}} \pm \Delta, \quad (2.6)$$

де  $X$  – склад виходу фракції, масова доля, %;

$X_{\text{cp}}$  – середнє арифметичне значення результатів складу вихода фракції;

$\Delta$  – похибка аналізу, г/см<sup>3</sup>.

## 3 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

### 3.1 Застосування установки гідрокласифікації розбавленої вареної пульпи у виробництві глинозему

При збільшенні випуску товарного глинозему порівняно з проектною потужністю на ділянці згущення виникла проблема щодо підвищених навантажень на перемішуючі пристрої згущувачів і промивачів. Підвищення навантажень на вказаних апаратах відбулося через збільшення кількості розбавленої вареної пульпи і використання бокситу, що містить велику кількість піску. Для вирішення цієї проблеми розроблено і впроваджено установку гідрокласифікації розбавленої вареної пульпи, до складу якої входять гідрокласифікатор, бак знекремнювання, дугові грохоти, перемішуючі пристрої, насоси [13,15].

Розбавлена варена пульпа з баків-агітаторів автоклавних батарей надходить в циліндроконічний гідрокласифікатор. Верхній продукт гідрокласифікатора самопливом надходить в бак знекремнювання, нижній продукт відцентровим насосом із конуса гідрокласифікатора подається на верхній дуговий грохот. Підрешітний продукт (шламова пульпа, відокремлена від пісків) з верхнього дугового грохота самопливом надходить в перемішуючий пристрій, звідки насосом відкачується в згущувач червоного шламу. Надрешітний продукт (пісок з великим розміром часточок) верхнього дугового грохота змішується з промивною водою і самопливом надходить на нижній дуговий грохот. Далі пісок з великим розміром часточок змішується з пульпою дрібнодисперсного червоного шламу і загальним потоком надходить в перемішуючий пристрій, звідки насосом подається на шламовидалення. Підрешітний продукт (пульпа відмитого від пісків шламу) з нижнього дугового грохота самопливом надходить в перемішуючий пристрій, звідки насосом відкачується в промивач червоного шламу.

Застосування установки гідрокласифікації розбавленої вареної пульпи дозволило розділяти варену пульпу на складові частини, відокремлюючи продукційну пульпу від піску, а, отже, знизити навантаження на перемішуючі пристрої згущувачів і промивачів та підвищити ефективність виробничого процесу.

### 3.2 Дослідження впливу співвідношення Р:Т в пульпі на розподіл потоків і продуктивність гідроциклону

Для визначення впливу на параметри класифікації і вихід продукту реологічних властивостей гідратної пульпи були проведені випробування по класифікації суспензій з різним вмістом твердого. Об'єктом досліджень була гідратна пульпа з концентрацією твердого від  $\sim 100$  г/л до  $\sim 950$  г/л або в межах 4–40 % об'ємного вмісту твердої фази. Випробування проводилися на одному тиску, і при одних і тих самих конструктивних параметрах гідроциклону, з розведенням маточним розчином після кожного досліду до більш низької концентрації твердої фази в суспензії.

Для представлення результатів досліджень введено коефіцієнти:

$$k_n = \frac{Q_p}{Q_n}, \quad k_m = \frac{M_p}{M_n}, \quad k_{\circ}^i = \frac{b_p^i}{b_n^i},$$

де  $k_n$  – коефіцієнт потоку, що характеризує частку потоку розвантаження щодо живлення;

$Q_n, Q_p$  – об'єм живлення і розвантаження, м<sup>3</sup>/с;

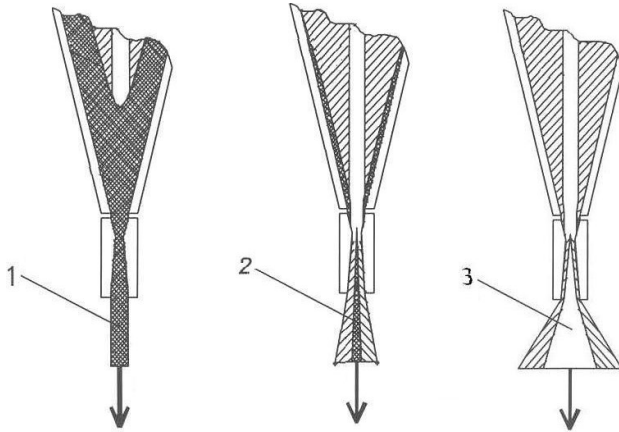
$k_m$  – коефіцієнт загального потоку виходу твердого в піски гідроциклону;

$M_n, M_p$  – маса твердої фази, що надійшла з живленням и виділена в розвантаження, кг;

$k_{\circ}^i$  – коефіцієнтициент ефективності отбивки по  $i$  – тому класу;

$b_n, b_p$  – відсоток вмісту  $i$  – тої фракції в живленні і розвантаженні.

За допомогою методу гравіметрії визначали зв'язок між твердою фазою в гідроциклоні і режимом розвантаження, суть методики надана на рис.3.1.



1 – канатоподібна; 2 – проміжна між канатоподібною і парасолькоподібною; 3 – парасолькоподібна

Рисунок 3.1 – Форма вивантаження гідроциклону

На рисунках 3.2 – 3.5 приведено залежності для коефіцієнтів класифікації від масової концентрації живлення.

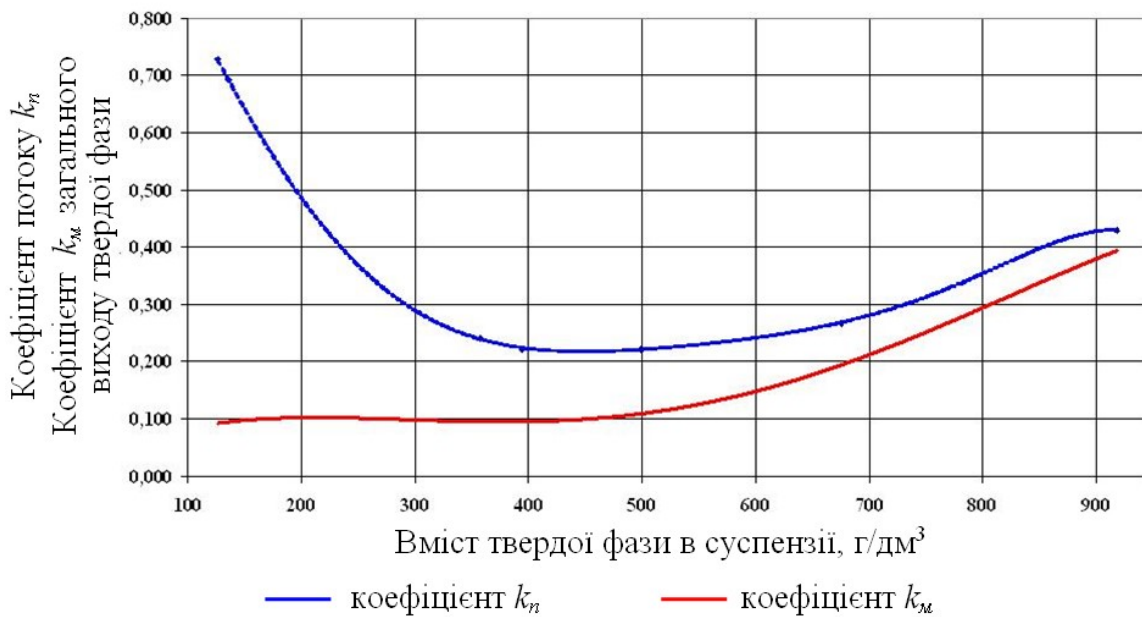


Рисунок 3.2 – Вплив концентрації твердої фази завантаження на коефіцієнти  $k_n$  і  $k_m$



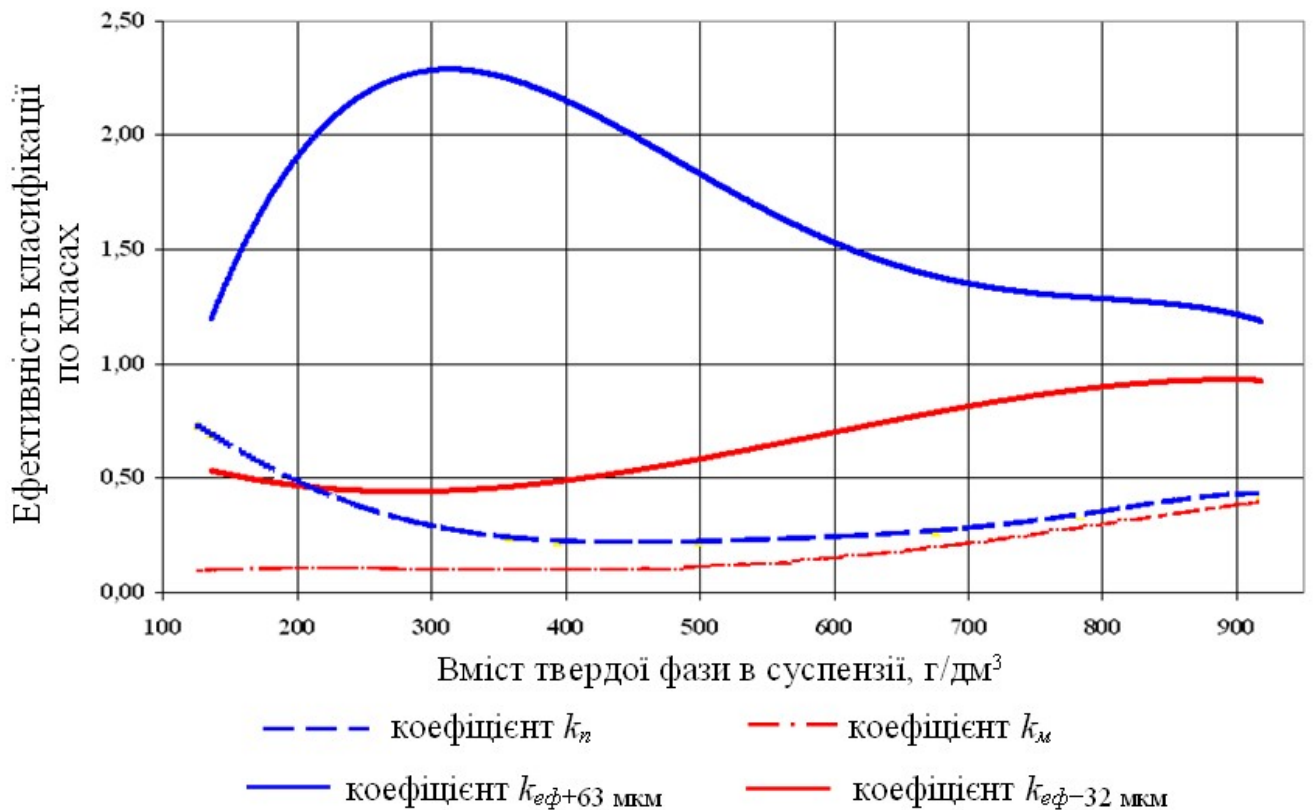


Рисунок 3.3 – Ефективність класифікації по класах +63 мкм і –32 мкм залежно від концентрації твердої фази завантаження

Найчастіше в технологічних розрахунках необхідно оперувати інформацією про масову частку певної фракції відкласифікованого продукту. Тому при розрахунках слід враховувати межу якісної зміни параметрів суспензії при збільшенні концентрації живлення по твердій фазі. Експериментально знайдені залежності для масового виходу в розвантаження по фракціям наведено на рис.3.4 і рис.3.5.

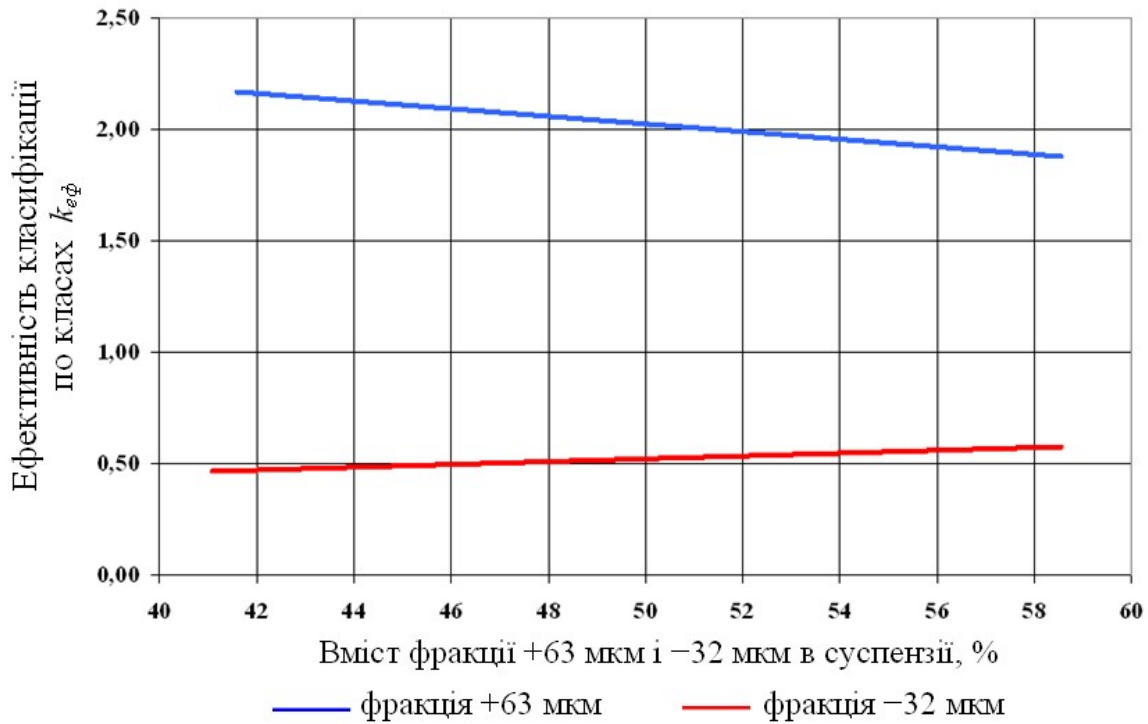


Рисунок 3.4 – Вплив крупності зерен в гідратних пульпах на ефективність класифікації

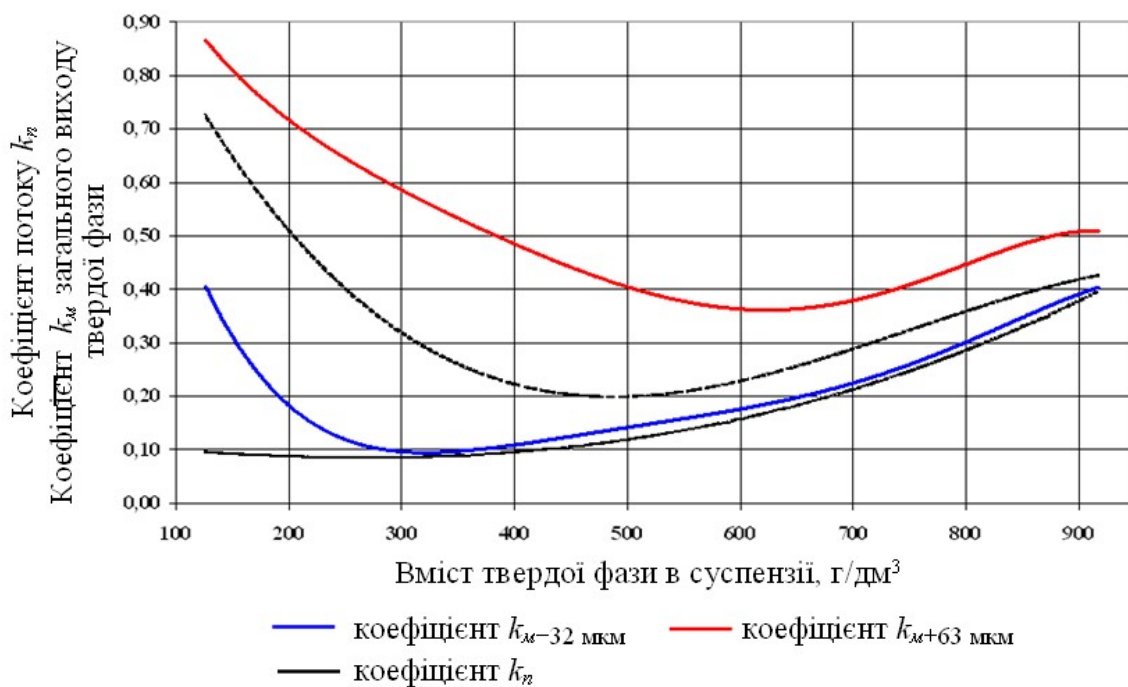


Рисунок 3.5 – Ефективність класифікації по класах +63 мкм і -32 мкм залежно від концентрації твердої фази завантаження

Представлені експериментальні залежності отримані для гідрату з кулястою формою кристала. Критична концентрація структуроутворення буде залежати в загальному випадку від форми кристалів. Величина критичної концентрації зменшується при переході від часток ізометричної форми до анізометричної. Сепараційні характеристики апарату будуть залежати від режиму роботи, що визначається властивостями суспензії. При оцінці сепараційних характеристик апарату слід враховувати, в якому з трьох режимів він працює: режим сепарації розведеної суспензії, режим з переважною сепарацією у внутрішньому висхідному потоці і утворенням значно структурованого зовнішнього шару або режим роботи на структурованій суспензії у внутрішньому і зовнішньому потоці гідроциклону.

Досліджено зонтоподібні та канатоподібні режими розвантаження гідроциклону; визначена можливість виникнення просторових структур в гідратних пульпах глиноземного виробництва; параметри класифікації у гідратних пульпах можна регулювати як вмістом твердої фази у пульпі, що надходить у гідроциклон, так і уявленнями про межевий розмір зерен твердої фази. Найкращі результати гідрокласифікації у гідроциклонах досягаються під час обробки матеріалів, що містять невелику кількість зерен розмірами 32-63 мкм. Можливість поетапної заміни існуючих класифікаторів на гідроциклонні установки в діючого виробництва дозволить вивільнювати до 50-60 % виробничих площ ділянки гідрокласифікації.

*Висновки.* Параметри класифікації гідратних пульпах можна регулювати як вмістом твердої фази у пульпі, що надходить у гідроциклон, так і уявленнями про межевий розмір зерен твердої фази.

Найкращі результати гідрокласифікації у гідроциклонах досягаються під час обробки матеріалів, що містять невелику кількість зерен розмірами 32-63 мкм.

Можливість поетапної заміни існуючих класифікаторів на гідроциклонні установки в діючому виробництві дозволить вивільнювати до 50-60 % виробничих площ ділянки гідрокласифікації.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

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

Під час роботи в приміщенні металургійної лабораторії на людину можуть негативно впливати такі небезпечні та шкідливі виробничі чинники за ГОСТ 12.0.003-74 [16]: а) небезпека ураження електричним струмом; б) підвищена або знижена температура повітря; в) надмірна запиленість і загазованість повітря; г) підвищена або знижена вологість повітря; д) підвищений рівень тепловиділення; е) небезпека отруєння парами хімічних речовин; є) недостатня освітленість робочого місця.

При роботі в металургійній лабораторії [17,18] слід важати, що всі хімічні речовини в тому чи іншому ступеню є отруйними. За ступенем впливу на організм шкідливі речовини поділяють на чотири класи безпеки. При роботі з хімічними речовинами слід запобігти можливості їх проникнення в організм людини через легені, шкіру та рот.

Робота з скляним посудом є також небезпечним чинником. Нещасні випадків при роботі зі склом, а саме 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.

Основними шкідливими чинниками в приміщенні металургійній лабораторії [19] є отруєння хімічними речовинами та їх сполуками в разі аварії та небезпека ураження електричним струмом.

Металургійна лабораторія є приміщенням легкої категорії (виконуються легкі фізичні роботи), тому повинні дотримуватися такі вимоги:

- оптимальна температура повітря – 22 °С (допустима – 20–24 °С);
- оптимальна відносна вологість повітря – 40–60 % (допустима – не більше 75 %);

– швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с.

Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів та карта умов праці для робочого місця дослідника щодо гідрокласифікації пульпи, що утворюється в виробництві глинозему, надано в табл. 4.1 [20-24].

Таблиця 4.1 – Оцінка чинників виробничого та трудового процесу

№	Чинники виробничого середовища і процесу праці	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі і небезпечні умови			Тривалість дії чинників за зміну, %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup> 2 клас безпеки: луг	0,5	0,1	–	–	–	30
	3-4 клас безпеки: оксид заліза	6,0	4,0	–	–	–	30
2	Неіонізуючі випромінювання: - діапазон промислової частоти, кВ/м	20	10	–	–	–	35
3	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря, °С	21-25	22	–	6	–	100
	- швидкість руху повітря, м/с	до 0,2	0,1	–	–	–	90
	- відносна вологість повітря, %	до 75	60	–	–	–	100
4	Категорія важкості і напруженість праці	Категорія праці – легка, категорія напруженості праці – мало напружена					

Таким чином, проведений аналіз шкідливих і небезпечних факторів дозволяє зробити висновок, що умови праці в металургійній лабораторії під час дослідження гідрокласифікації пульпи, що утворюється в виробництві глинозему, 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

Для поліпшення умов праці та очищення повітря металургійну лабораторію потрібно обладнати загальнообмінною примусовою вентиляцією, а місця можливого накопичення шкідливих хімічних речовин – витяжними шафами.

Всі роботи з хімічними газоподібними речовинами, а також леткими рідинами або тими, які димлять слід проводити тільки у витяжних шафах. Під тягою слід розмістити також сушильні шафи, в яких проводять сушіння речовин від органічних розчинників. Для створення достатнього освітлення витяжні шафи повинні бути обладнано світильниками у вибухобезпечному виконанні. Штепсельні розетки і вимикачі повинні бути розташовано поза витяжною шафою. Постійно діюча вентиляція повинна забезпечувати п'ятиразовий повітрообмін.

Для створення безпечної роботи зі скляним посудом і приладами слід переконатися у цілісності посуду (повинно бути без тріщин і інших ушкоджень), не класти на край столу, краї стола забезпечити захисною смугою, щоб зачіпливий ліктями чи рукавами халату скляний посуд не перекинувся. При складанні приладів не слід застосовувати великих зусиль. Нагрівати на електроплитці потрібно тільки термостійкі склянки і колби, простеживши попередньо, щоб зовнішня поверхня судини була сухою.

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



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

Перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які трапляються при проведенні дослідження особливостей гідрокласифікації надано в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Перелік небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Найменування шкідливого виробничого фактору	Параметр (норма)	Значення параметра на робочому місці	Характер дії на організм людини	Засоби захисту
Електричний струм	0,01А	Опір заземлення 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: Електрична піч опору, муфільна електропіч.            Заходи запобігання: Корпуси печей мають бути надійно заземленими.            Строго стежити за станом електроізоляції і заземлення устаткування.            Всі поверхні устаткування мають бути чистими і сухими.</p>				

Для захисту і попередження шкідливої дії хімічних речовин слід застосовувати засоби індивідуального захисту (халат, нарукавники, рукавиці гумові, рукавиці бавовняні, захисні окуляри), виконувати правила гігієни і працювати під витяжною шафою.

### 4.3 Виробнича санітарія

Мікроклімат визначається сукупністю фізичних параметрів повітряного середовища, таких як температура, швидкість руху, вологість і барометричний тиск повітря, температура поверхонь, що оточують людину, та інтенсивність

інфрачервоного випромінювання. Кількість тепла, що утворюється в організмі людини, залежить від фізичних навантажень, а рівень тепловіддачі – від мікрокліматичних умов, переважно температури повітря.

Згідно з категорії виконуваних робіт, важкості та характеристикою приміщення стосовно надлишку тепловипромінювання, з урахуванням періоду року встановлюють значення показників мікроклімату, базуючись на вимогах санітарних норм зведених в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Нормовані величини температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт	Температура, °C					Відносна вологість, %		Швидкість руху, м/с	
		Оптимальна	Допустима				Оптимальна	Допустима на робочих місцях постійних і непостійних, не більш	Оптимальна	Допустима на робочих місцях постійних і непостійних
			верхня межа		нижня межа					
			на робочих місцях							
постійних	непостійних	постійних	непостійних							
Холодний	Легка	21-23	24	25	20	17	40-60	75	0,1	не більше 0
Теплий	Легка	22-24	28	30	21	19	40-60	60 (при 27 °C)	0,2	0,1-0,3

Освітлення виробничих приміщень. Вплив світла спостерігається на функцію зору та на діяльність організму в цілому (посилюється обмін речовин, збільшується поглинання кисню і виділення вуглекислого газу). Недостатня або надмірна освітленість, нерівномірність освітлення в полі зору втомлює очі, призводить до зниження продуктивності праці; при цьому зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків. Надмірна яскравість джерел світла може спричинити головний біль, різь в очах, розлад гостроти зору; світлові відблиски – тимчасове засліплення.

Залежно від джерела світла виробниче освітлення може бути природним, штучним і суміщеним, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним [23]. 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.

Таблиця 4.4 – Нормовані значення природного освітлення для виробничих процесів за СНіП І-4-79

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкту для розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Коефіцієнт природного освітлення $e_n$ , %	
			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 за СНіП ІІ-4-79

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

Вентиляція є сукупністю заходів і пристроїв, необхідних для забезпечення заданої якості повітряного середовища в робочих приміщеннях. В умовах виробництва вентиляція може бути: природна та механічна (за способом переміщення повітря), місцева та загальна (за формою організації повітрообміну). Вентиляційні установки можуть бути витяжними, що призначені для видалення повітря, та припливними, які здійснюють подачу повітря [22].

Повітрообмін при природній вентиляції відбувається за рахунок різниці температур, а отже, і питомої маси повітря всередині виробничого приміщення

і поза ним. Природна вентиляція виробничих приміщень може бути неорганізованою (провітрювання) і організованою (аерація). На відміну від природної механічна дозволяє виробляти попередню обробку припливного повітря (зволоження, нагрів або охолодження і очищення). Загальна вентиляція застосовується коли шкідливі речовини, надлишкове тепло і волога виділяються розосереджено по всьому робочому приміщенню і видалити їх за допомогою місцевих відсмоктувань технічно не можливо, а також в тих випадках, коли необхідно розбавити до ГДК залишки повітря, що не видаляється місцевими відсмоктуваннями. Рециркуляція повітря в системах припливно-витяжної вентиляції застосовується в холодну і перехідну пору року. При рециркуляції частина повітря, що видаляється з приміщення після відповідного очищення від шкідливих речовин, знову прямує в приміщення.

Висновки. Проведений аналіз шкідливих і небезпечних факторів в металургійній лабораторії дозволяє зробити висновок, що умови праці під час дослідження гідрокласифікації пульпи, що утворюється в виробництві глинозему, характеризуються наявністю нешкідливих виробничих чинників, які не призводять до зростання захворюваності з втратою працездатності та проявом початкових ознак професійної патології.

## 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 [26,27].

У проведенні дослідження щодо гідрокласифікації пульпи у виробництві глинозему можна виділити наступні етапи, наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Етапи НДР з дослідження гідрокласифікації пульпи, що утворюється в виробництві глинозему

Номер етапу	Етап НДР	Зміст етапу
1	Літературний огляд і постановка задачі	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 гідрокласифікації пульпи у виробництві глинозему
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 [27]:

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

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.



Таблиця 5.3 – Стрічковий графік проведення науково-дослідної роботи

Етапи	Трудомісткість, чол. днів	Кількість виконавців, чол.	Тривалість етапів, днів	Виконання робіт у робочі дні																												
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
1	8	1	8	■	■	■	■	■	■	■	■	■																				
2	7	2	4					■	■	■	■	■																				
3	24	4	6												■	■	■	■	■	■	■	■										
4	9	2	5																			■	■	■	■	■						
5	3	1	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.

$$S_{ТЗ} = \frac{187,00 \cdot 2}{100} = 3,74 \text{ грн.},$$

де 187,00 – сума витрат на основні матеріали, грн.

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

Таблиця 5.4 – Розрахунок вартості матеріалів по НДР

Найменування матеріалів	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за кг, грн	Усього витрат, грн
Гідроксид алюмінію	кг	50,0	2,78	139,00
Технічна вода	м <sup>3</sup>	0,10	480,00	40,09
Транспортно-заготівельні витрати				3,74
Разом				190,74

### 5.2.2 Розрахунок витрат на амортизацію обладнання

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

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

де  $\alpha_{амi}$  – 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.

### 5.2.3 Розрахунок витрат на електроенергію

Вартість електроенергії  $S_e$  витраченої на проведення дослідження визначають за формулою:

Таблиця 5.5 – Витрати на амортизацію обладнання

Найменування обладнання	Кількість одиниць	Ціна за одиницю, грн.	Норма амортизації, %	Тривалість використання, год.	Усього, грн.
Персональний комп'ютер	1	26000	15	144	280,80
Гідроциклон лабораторний	1	17000	15	20	25,50
Разом					306,30

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

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 2,40 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.
Персональний комп'ютер	1	0,5	144	2,40	172,80
Гідроциклон лабораторний	1	1,2	20	2,40	57,60
Разом					230,40

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	10000	15	7142,86
Лаборант	1	7400	6	2114,29
Старший науковий співробітник	1	15000	6	4285,71
Разом				13542,86

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 провідного інженера  $Z_{\text{осн}}^{\text{і-к}}$ :

$$Z_{\text{осн}}^{\text{і-к}} = \frac{10000}{21} \cdot 15 = 7142,86 \text{ грн.}$$

Заробітна плата лаборанта-технолога  $Z_{\text{осн}}^{\text{л-т}}$ :

$$Z_{\text{осн}}^{\text{л-т}} = \frac{7400}{21} \cdot 6 = 2114,29 \text{ грн.}$$

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

$$З_{\text{осн}}^{\text{с.н.с.}} = \frac{15000}{21} \cdot 6 = 4285,71 \text{ грн.}$$

Премія  $З_{\text{пр}}$  становить 20 % від основної заробітної плати і розраховується за формулою:

$$З_{\text{пр}} = \frac{З_{\text{осн}} \cdot 20}{100}. \quad (5.7)$$

Премія виконавців НДР:

$$З_{\text{пр}}^{i-k} = \frac{7142,86 \cdot 20}{100} = 1428,57 \text{ грн.};$$

$$З_{\text{пр}}^{\text{л-т}} = \frac{2114,29 \cdot 20}{100} = 422,86 \text{ грн.};$$

$$З_{\text{пр}}^{\text{с.н.с.}} = \frac{4285,71 \cdot 20}{100} = 857,14 \text{ грн.}$$

Загальна заробітна плата виконавців НДР розраховується по формулі:

$$З_{\text{заг}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{пр}} + З_{\text{дод}}, \quad (5.8)$$

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

$$З_{\text{заг}} = 13542,86 + 1625,14 = 15168,00 \text{ грн.}$$

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

$$З_{\text{нар}}^{\text{ФОП}} = \frac{З_{\text{заг}} \cdot 37,5}{100}. \quad (5.9)$$

$$З_{\text{нар}}^{\text{ФОП}} = \frac{15168,00 \cdot 37,5}{100} = 5688,00 \text{ грн.}$$

З них:

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

$$З_{\text{нар}}^{\text{ФДСС}} = \frac{З_{\text{заг}} \cdot 2,5}{100}. \quad (5.10)$$

$$З_{\text{нар}}^{\text{ФДСС}} = \frac{15168,00 \cdot 2,5}{100} = 379,20 \text{ грн.};$$

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

$$З_{\text{нар}}^{\text{ПФ}} = \frac{З_{\text{заг}} \cdot 32,0}{100}. \quad (5.11)$$

$$З_{\text{нар}}^{\text{ПФ}} = \frac{15168,00 \cdot 32,0}{100} = 4853,76 \text{ грн.};$$

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

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

$$З_{\text{нар}}^{\text{ФБ}} = \frac{15168,00 \cdot 1,5}{100} = 227,52 \text{ грн.};$$

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

$$З_{\text{нар}}^{\text{ФНВ}} = \frac{З_{\text{заг}} \cdot 1,5}{100}. \quad (5.13)$$

$$З_{\text{нар}}^{\text{ФНВ}} = \frac{15168,00 \cdot 1,5}{100} = 227,52 \text{ грн.}$$

### 5.2.5 Накладні витрати

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

$$Н_{\text{в}} = \frac{З_{\text{заг}} \cdot 40}{100}. \quad (5.14)$$

$$Н_{\text{в}} = \frac{15168,00 \cdot 40}{100} = 6067,20 \text{ грн.}$$

### 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	190,74	0,69
2. Основна заробітна плата	13542,86	48,98
3. Додаткова заробітна плата	1625,14	5,88
4. Нарахування на фонд оплати праці (37,5 %):	5688,00	20,57
– на держ. соцстрах (2,5 %)	379,20	1,37
– пенсійний фонд (32 %)	4853,76	17,55
– у фонд безробіття (1,5 %)	227,52	0,82
– у фонд соц. страхування від нещасного випадку (1,5 %)	227,52	0,83
5. Амортизаційні відрахування	306,30	1,11
6. Витрати на електроенергію	230,40	0,83
7. Накладні витрати	6067,20	21,94
Разом	27650,64	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 27650,64 грн.



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Дослідженням зонтоподібного та канатоподібного режимів розвантаження гідроциклона визначена можливість виникнення просторових структур в гідратних пульпах глиноземного виробництва.

2. Параметри класифікації гідратних пульп можна регулювати як вмістом твердої фази у пульпі, що надходить у гідроциклон, так і ув'язаннями про межевий розмір зерен твердої фази.

3. Найкращі результати гідрокласифікації у гідроциклонах досягаються під час обробки матеріалів, що містять невелику кількість зерен розмірами 32-63 мкм.

4. Можливість поетапної заміни існуючих класифікаторів на гідроциклонні установки в діючому виробництві дозволить вивільнювати до 50-60 % виробничих площ ділянки гідрокласифікації.

5. Проведений аналіз шкідливих і небезпечних факторів в металургійній лабораторії дозволяє зробити висновок, що умови праці під час дослідження гідрокласифікації пульпи, що утворюється в виробництві глинозему, характеризуються наявністю нешкідливих виробничих чинників, які не призводять до зростання захворюваності з втратою працездатності та проявом початкових ознак професійної патології.

6. В результаті проведення науково-дослідної роботи в організаційній частині 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 27650,64 грн.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Насекан Ю. П. Виробництво глинозему : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 190 с.
2. Исаева Л. А., Поляков П. В. Текучесть глинозема с различными физико-химическими свойствами. *Цветные металлы*. 1996. № 11. С.29-32.
3. Иванов А. И., Насекан Ю. П., Иванова Л. П. Технология производства глинозема : монография. Запорожье : ЗГИА, 2005 . 262 с.
4. Москвитин В. И., Николаев И. В., Фомин Б. А. Металлургия легких металлов : учебник. Москва : Интермет Инжиниринг, 2005. 416 с. URL: [http:// www.twirpx.com/file/65688/](http://www.twirpx.com/file/65688/) (дата звернення: 14.09.2020).
5. Металлургия алюминия : учеб. пособие / Ю. В. Борисоглебский и др. Новосибирск : Наука, 1999. 438 с. URL: <http://ebooks.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi12/0009536.djvu> (дата звернення: 14.09.2020).
6. Иванов А. И. Производство глинозема. Николаев : НГЗ, 1998. 140 с.
7. Иванов А. И., Кириченко Р. И., Кожевников Г. Н., Полещук А. А. Бокситы – комплексное сырье. Запорожье : Лана-друк, 2005. 220 с.
8. Абрамов В. Я., Стельмакова Г. Д., Николаев И. В. Физико-химические основы комплексной переработки алюминиевого сырья (щелочные способы). Москва : Металлургия, 1985. 288 с.
9. ТИ 84:2014. Производство глинозема на Николаевском глиноземном заводе : Технологическая инструкция ООО «Николаевский глиноземный завод» / В. В. Красноярский, В. В. Жмурков. [Чинна від 2014-03-01]. Николаев : ООО «НГЗ», 2014. 43 с.
10. Троицкий И.А., Железнов В.А. Металлургия алюминия. Москва:Металлургия,1977. 392 с.
11. Беляев А.И. Металлургия легких металлов. Москва:Металлургия, 1970. 368 с.
12. Гопиенко Г. Н., Заварницкая Т. А., Пашкевич Л. А. Влияние различных минерализаторов на образование  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> из гидраргиллита и бемита. *Цветные металлы*. 2000. №4. С. 43-46.
13. Живиця І.В., Нестеренко Т.М. Аналіз та вдосконалення технології гідрокласифікації розбавленої вареної пульпи у виробництві глинозему. *Металургія як основа сучасної промисловості* : матеріали XXV наук.-техн. конф. студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів, м.Запоріжжя, 24-27 лист. 2020 р. Запоріжжя : ІННІ ЗНУ, 2020. С. 6.

14. Нестеренко Т. М. Металургія легких металів : метод. вказівки до лабораторних занять по розділу “Металургія первинних легких металів”. Запоріжжя : ЗДІА, 2006. 60 с.
15. Живиця І.В., Нестеренко Т.М. Застосування установки гідрокласифікації розбавленої вареної пульпи у виробництві глинозему. *Металургія як основа сучасної промисловості* : матеріали ХХІV наук.-техн. конф. студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів, м.Запоріжжя, 26-29 лист. 2019 р. Запоріжжя : ІІ ЗНУ, 2019. С. 28.
16. ГОСТ 12.0.003-74 (СТ СЭВ 790-77). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация : нормативный документ. [Чинний від 2008-03-15]. Москва : Гос. ком. СССР по стандартам, 1980. 4 с.
17. Волков В. С., Пелькис П. С. Справочник физико-химических характеристик различных веществ. Киев : Наукова думка, 1987. С.73–87.
18. Краткий справочник физико-химических величин : справочник / Н. М. Барон и др. ; под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой. Ленинград : Химия, 1998. 232 с.
19. Захаров Л. Н. Техника безопасности в химических лабораториях. 2-е изд., перераб. Ленинград : Химия, 1991. 336 с.
20. Охорона праці : навч. посіб. / Я. І. Бедрій та ін. Львів : Афіша , 1997. 258 с.
21. Гандзюк М. П., Желібо Е. П., Халимовський М. О. Основи охорони праці : підручник. Київ : Каравела, 2005. 393 с.
22. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник. Львів : Афіша, 2002. 318 с.
23. Кожемякін Г. Б., Рижков В. Г., Белоконь К. В. Охорона праці та техногенна безпека : метод. вказівки до виконання розділу магістерських робіт. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 48 с.
24. Правила устройства электроустановок. Москва : Энергоиздат, 1982. 89 с.
25. НПАОП 40.1-1.32-01 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. Київ : Держгірпромнагляд України, 2001. 17 с.
26. Тюріна Н. М., Ведерніков М. Д., Капінос Г. І. Економіка промислового підприємства : підручник. Львів : Новий Світ-2000, 2008. 311 с.
27. Іващенко О. М. Методичні рекомендації до виконання організаційно-економічної частини дипломного проекту : метод. вказівки. Запоріжжя : ЗДІА, 2004. 31 с.