

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
мокрого розмелювання бокситів."

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1369-МКМ-З
спеціальності 136 "Металургія"
(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

освітньої програми "Металургія катодних металів"
(назва освітньої програми)

Д. М. Личко
(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, доцент, к. т. н. Месгерекко Т. М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

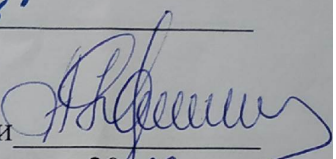
Рецензент проф., с. н. с., д. т. н. Пруцьков Д. В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

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 
« 10 » жовтня 2020 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Личко Денис Михайлович
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи (проєкту) "Аналіз та вдосконалення технології мокрого розмелювання бокситів."
- керівник роботи Нестеренко Тетяна Михайлівна, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом ЗНУ від « 09 » жовтня 2020 року № 1586 - С
- Строк подання студентом роботи 30 листопада 2020 р.
- Вихідні дані до роботи Гвінейські боксити "Kinzig" і "Dian - Dian".
- 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.
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Аналітична частина - 5 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 Т. М., доцент	<i>ТМ</i> 10.10.2020	<i>ТМ</i> 14.10.2020
2	Нестеренко Т. М., доцент	<i>ТМ</i> 10.10.2020	<i>ТМ</i> 30.10.2020
3	Нестеренко Т. М., доцент	<i>ТМ</i> 10.10.2020	<i>ТМ</i> 30.10.2020
4	Нестеренко Т. М., доцент	<i>ТМ</i> 10.10.2020	<i>ТМ</i> 21.11.2020
5	Нестеренко Т. М., доцент	<i>ТМ</i> 10.10.2020	<i>ТМ</i> 27.11.2020

7 Дата видачі завдання 10 жовтня 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Срок виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	12.10.2020	Виконано
2	Аналітична частина	20.10.2020	Виконано
3	Методика дослідження	26.10.2020	Виконано
4	Дослідницька частина	14.11.2020	Виконано
5	Окорока праці та технічного безпеки	19.11.2020	Виконано
6	Екологічна частина	23.11.2020	Виконано
7	Графічна частина	30.11.2020	Виконано

Студент *А* Д. М. Липко
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) *ТМ* Т. М. Нестеренко
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер *В* Р. М. Волеп та _____ прізвище)
(підпис) (ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 61 с., 17 табл., 4 рис., 27 джерел.

БОКСИТ, ЗДАТНІСТЬ ДО РОЗМЕЛЮВАННЯ, КУЛЬОВИЙ МЛИН, ЛУЖНО-АЛЮМІНАТНИЙ РОЗЧИН, ПРОДУКТИВНІСТЬ.

Об'єкт дослідження: процес мокрого розмелювання бокситів в виробництві глинозему.

Предмет дослідження: вплив технологічних умов мокрого розмелювання бокситів на здатність до розмелювання бокситів різних типів.

Мета роботи: дослідити особливості та вибрати напрями вдосконалення технології мокрого розмелювання бокситів в виробництві глинозему.

Методика дослідження: лабораторного дослідження розмелювання бокситів, 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: розроблено дешевий, експресний метод лабораторного визначення здатності бокситу до розмелювання, що дозволяє вже на стадії вивчення ринку спрогнозувати поведінку даного бокситу в технологічному циклі. Визначено оптимальні умови розмелювання гвінейських бокситів: оборотний розчин з температурою 60-65 °С, відношенням Р:Т = 1,5:1, стандартне кульове завантаження зазвичай становить 55 т куль діаметром 100 мм, швидкість обертання млина дорівнює 12 хв⁻¹. Рекомендовано для гібситових бокситів використовувати високу температуру розмелювання, щоб використовувати такий резерв, як хімічне диспергування бокситу.

Проведеними дослідженнями підтверджено, що підвищення якості кульового завантаження млинів дозволить знизити тривалість непродуктивної («холостої») роботи кульових млинів ділянки мокрого розмелювання шляхом усунення їх перевантаження, знизити витрату електроенергії на розмелювання бокситів.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	6
1 Аналітична частина.....	8
1.1 Аналіз сучасного стану алюмінієвої промисловості. Обсяги видобутку бокситів у світі.....	8
1.2 Способи виробництва глинозему.....	10
1.3 Виробництво глинозему способом Байєра.....	11
1.4 Характеристика бокситів.....	16
2 Методика дослідження.....	19
2.1 Характеристики вихідних матеріалів і обладнання.....	19
2.2 Методика лабораторного дослідження розмелювання бокситів.....	19
2.3 Методика визначення масової концентрації оксиду алюмінію в алюмінатних, обігових розчинах, пульпах глиноземного виробництва.....	21
2.4 Методика гравіметричного визначення вмісту твердої фази в алюмінатних розчинах та пульпі.....	23
2.5 Визначення гранулометричного складу глинозему та гідроксиду алюмінію методом лазерної дифракції.....	24
2.6 Методика визначення концентрації загального лугу.....	26
2.7 Методика визначення концентрації каустичного лугу.....	26
3 Дослідницька частина.....	28
3.1 Про вплив показників розмелювання бокситів на питому продуктивність млинів	28
3.2 Дослідження впливу складу і температури розмелюючого середовища, часу розмелювання бокситів на продуктивність млинів.....	29
3.3 Дослідження впливу генезису бокситу на його здатність до розмелювання.....	33

3.4 Дослідження впливу складу і температури оборотного розчину на продуктивність мокрого розмелювання бокситів.....	34
3.5 Заходи для підвищення продуктивності млинів ділянки мокрого розмелювання бокситів	36
4 Охорона праці та техногенна безпека.....	39
4.1 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих чинників, що впливають на дослідника в металургійній лабораторії.....	39
4.2 Заходи з поліпшення умов праці.....	41
4.3 Виробнича санітарія.....	43
5 Економічна частина.....	46
5.1 Організація виконання науково-дослідницької роботи.....	46
5.1.1 Планування етапів науково-дослідницької роботи.....	46
5.1.2 Визначення трудомісткості виконання НДР.....	47
5.1.3 Визначення числа виконавців НДР.....	48
5.1.4 Розрахунок тривалості етапів НДР.....	48
5.1.5 Побудова стрічкового графіка проведення науково-дослідної роботи.....	49
5.2 Розрахунок кошторису витрат на проведення дослідження.....	51
5.2.1 Розрахунок витрат на основні матеріали.....	51
5.2.2 Розрахунок витрат на амортизацію обладнання.....	51
5.2.3 Розрахунок витрат на електроенергію.....	52
5.2.4 Розрахунок заробітної плати й відрахувань.....	53
5.2.5 Накладні витрати.....	56
5.2.6 Зведений кошторис витрат на проведення науково-дослідної роботи.....	56
Загальні висновки.....	58
Перелік джерел посилання.....	59

ВСТУП

Стадія розмелювання бокситів займає важливе місце в технологічній схемі виробництва глинозему за способом Байера. Так, питома витрата електроенергії на розмелювання бокситів на ряді глиноземних заводів досягає 20 % від загальних енерговитрат на випуск 1 т товарного глинозему.

Для кожного виду сировини відхилення від оптимальних параметрів розмелювання може викликати технологічні ускладнення на інших ділянках виробництва глинозему. Так, загрублене розмелювання в ряді випадків викликає погіршення роботи насосів, недовилучення глинозему з великих частинок бокситу, накопичення пісків в устаткуванні (великі придонні осади) і погіршення роботи згущувачів і промивачів. Переподрібнення бокситу може істотно позначитися на підвищенні вмісту заліза в алюмінатном розчині і збільшенні питомої витрати лугу за рахунок взаємодії з високодисперсним кварцом.

Тому важливим завданням для глиноземних підприємств є дослідження технологічних особливостей розмелювання таких бокситів та накопичення досвід щодо пристосування існуючого обладнання ділянки розмелювання до бокситів, що мають різну твердість, крихкість, різну здатність до хімічного диспергування та ін.

Виконання в лабораторних умовах моделювання процесу розмелювання дозволяє отримати досить достовірну інформацію щодо поведінки бокситів під час розмелювання без проведення дорогих промислових випробувань.

Таке моделювання дозволяє за короткий термін перевірити придатність того або іншого бокситу до переробки в умовах ділянки розмелювання на конкретному глиноземному підприємстві. Для глиноземних заводів, що працюють в умовах «відкритого рудника», правильний вибір сировини дозволяє уникати серйозних технологічних ускладнень або зниження потужності підприємства.

Мета роботи – дослідити особливості та вибрати напрями вдосконалення технології мокрого розмелювання бокситів в виробництві глинозему.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати вплив типу бокситу на його здатність до розмелювання.
2. Розробити експресний метод лабораторного визначення здатності бокситу до розмелювання.
3. Дослідити особливості та вибрати технологічні умови мокрого розмелювання гвінейських бокситів Кендія і Діан-Діан.

Об'єкт дослідження – процес мокрого розмелювання бокситів в виробництві глинозему.

Предмет дослідження – вплив технологічних умов мокрого розмелювання бокситів на здатність до розмелювання бокситів різних типів.

Наукова новизна:

1. Розроблений метод лабораторного визначення здатності бокситу до розмелювання є дешевим, експресним і дозволяє вже на стадії вивчення ринку спрогнозувати поведінку даного бокситу в технологічному циклі.
2. Для гібситових бокситів доцільно використовувати високу температуру розмелювання, оскільки це дозволяє використовувати такий резерв, як хімічне диспергування бокситу.

Практичне значення:

1. Експериментальним дослідженням визначено оптимальні умови розмелювання гвінейських бокситів: оборотний розчин з температурою 60-65 °С, відношенням Р:Т = 1,5:1, стандартне кульове завантаження зазвичай становить 55 т куль діаметром 100 мм, швидкість обертання млина дорівнює 12 хв⁻¹.
2. Підвищення якості кульового завантаження млинів дозволить знизити тривалість непродуктивної («холостої») роботи кульових млинів ділянки мокрого розмелювання шляхом усунення їх перевантаження, знизити витрату електроенергії на розмелювання бокситів.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз сучасного стану алюмінієвої промисловості. Обсяги видобутку бокситів у світі

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.

По повідомленню «International Aluminium Institute», світові складські запаси металу в продуцентів алюмінію збільшилися до кінця липня 2017 р. приблизно до 2,6 млн. т. з 2,5 млн. в кінці 2016 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. в кінці 2018 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 личать 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/р., із них 22 заводи з продуктивністю

більше 1 млн. т глинозему за рік (табл.1.1).

Таблиця 1.1 – Перелік країн світу, які видобувають боксити, та обсяги видобутку бокситів у 2014 р. [1]

Місце країни за обсягом видобутку	Країна	Обсяг видобутку, т
1	 Австралія	81 000 000
2	 Китай	47 000 000
3	 Бразилія	32 500 000
4	 Гвінея	19 300 000
5	 Індія	19 000 000
6	 Ямайка	9 800 000
7	 Казахстан	5 500 000
8	 Росія	5 300 000
9	 Сурінам	2 700 000
10	 Венесуела	2 200 000
11	 Греція	2 100 000
12	 Гайана	1 800 000
13	 В'єтнам	1 000 000
14	 Індонезія	500 000
Світовий видобуток		234 000 000

Глиноземні заводи – великотонажні енергоємні виробництва. На одну тунну 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.

1.2 Способи виробництва глинозему

Глинозем одержують у промисловості різними способами в залежності від складу і властивостей вихідної сировини. Ці способи можна підрозділити на лужні, кислотні і комбіновані кислотно-лужні. В даний час практично весь глинозем одержують лужними способами – гідрохімічними, термічними і комбінованими.

Найбільш широке застосування знайшов у промисловості лужний гідрохімічний спосіб Байєра. Способом Байєра переробляють високоякісні боксити з низьким вмістом кремнезему. Боксит обробляють лужним розчином. При цьому утворюється розчинний у воді алюмінат натрію. З розчину алюмінату натрію після відділення його від нерозчинних сполук (заліза, кремнію й ін.) виділяють гідроксид алюмінію. Лужний гідрохімічний спосіб застосовується також для переробки відновленої алунітової руди.

До термічних відносяться наступні способи виробництва глинозему: лужне спікання, безлужне спікання, відновна плавка. За способом лужного спікання глинозем з алюмінієвої руди переводять у лужний алюмінат спіканням руди з необхідними добавками. Одержаний твердий алюмінат далі переводять у розчин. При безлужному спіканні глинозем з алюмінієвої руди переводять в алюмінат кальцію. Одержаний алюмокальцієвий спек переробляють на глинозем. Відновна плавка заснована на відновленні в електропечі або доменній печі оксидів заліза і частини інших оксидів руди з одержанням феросиліцію або чавуну (побічний продукт) і шлаку, у який переходить оксид алюмінію у вигляді алюмінату кальцію. Зі шлаку потім одержують глинозем. Термічні способи виробництва глинозему розроблені стосовно до будь-яких видів сировини.

Комбінований лужний спосіб виробництва глинозему може бути здійснений за двома схемами – паралельною і послідовною. Паралельна схема звичайно передбачає переробку бокситів двох типів: високоякісних – способом Байєра і гіршої якості – способом лужного спікання. Таке поєднання двох схем в одному виробництві дозволяє поліпшити його техніко-економічні показники. Послідовна схема розроблена для переробки низькоякісних бокситів, з яких спочатку частина глинозему видобувається способом Байєра, а потім шлам, що залишився, переробляється способом лужного спікання.

У кислотних способах обробкою алюмінієвої руди кислотою (сірчаною, соляною, азотною) одержують розчин алюмінієвої солі, з якої виділяють глинозем. Комбіновані кислотно-лужні способи містять у собі дві гілки – кислотну і лужну. У кислотній гілці одержують «сирий» оксид алюмінію, тобто глинозем, забруднений домішками. «Сирий» оксид переробляють на чистий глинозем лужним способом.

Кислотні і комбіновані кислотно-лужні способи мають істотні недоліки і в даний час практично не застосовуються.

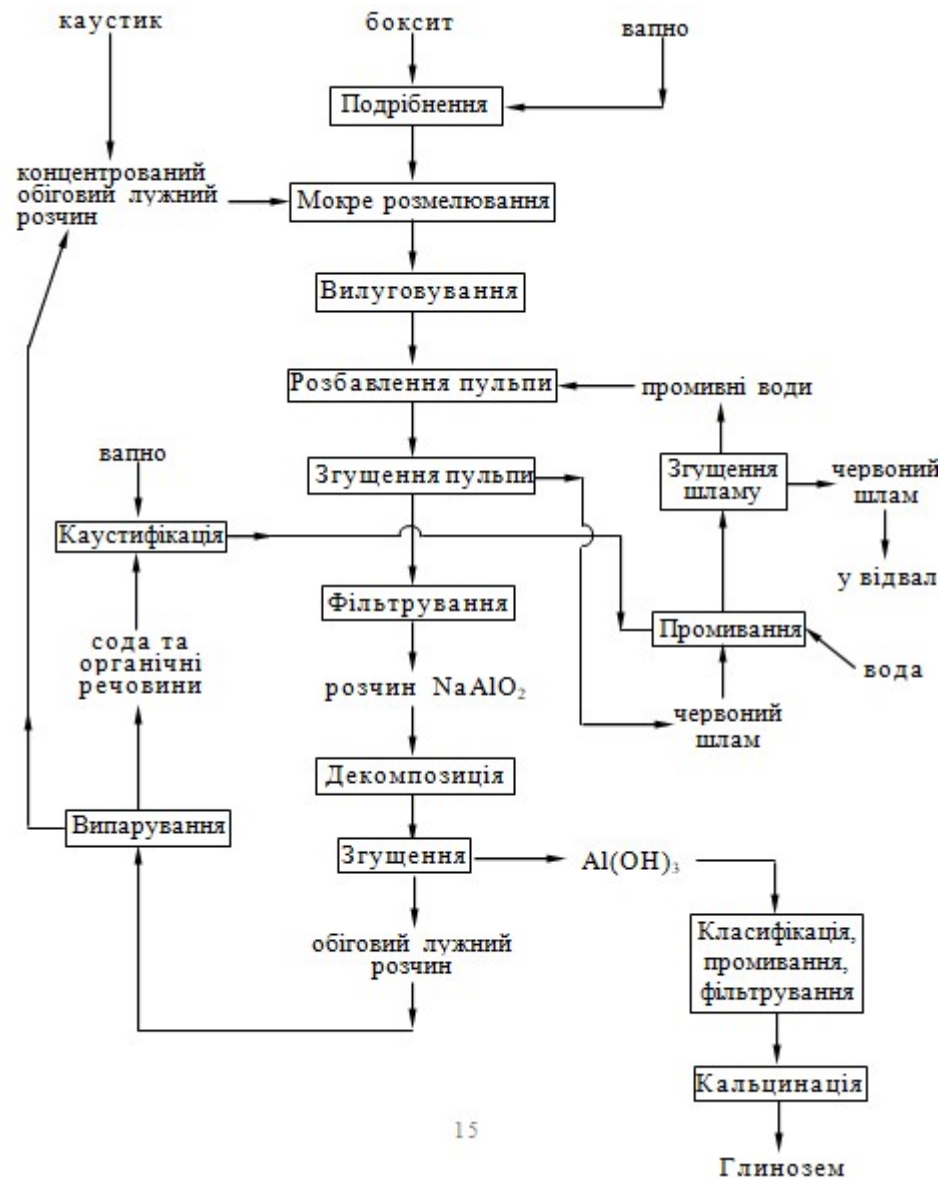
1.3 Виробництво глинозему способом Байєра

Переробка бокситів за способом Байєра (рис. 1.1) являє собою замкнутий цикл, в основі якого лежить оборотна хімічна реакція:



Попередньо подрібнений боксит (не більш 10% крупністю понад 110 мкм) піддають вилуговуванню протягом 1–2 год обіговим лужним розчином з каустичним модулем $a_k = 3,5$. Для гібситових бокситів, які легко розкладаються, 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 входить беміт або діаспор, необхідні більш жорсткі умови вилуговування: вилуговування в автоклавах при температурі 230

°C, концентрація обігового розчину 300 г/л Na_2O , добавка вапна 3–5 % від маси бокситу.

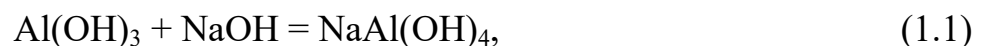


15

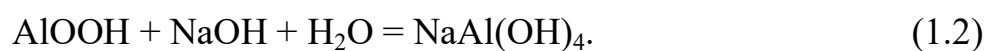
Рисунок 1.1 – Технологічна схема виробництва глинозему способом Байєра

При вилуговуванні бокситів обіговими розчинами протікають наступні хімічні реакції:

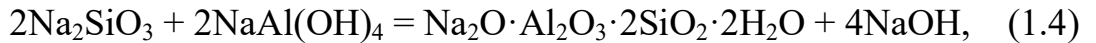
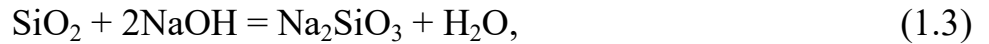
а) для гібситу:



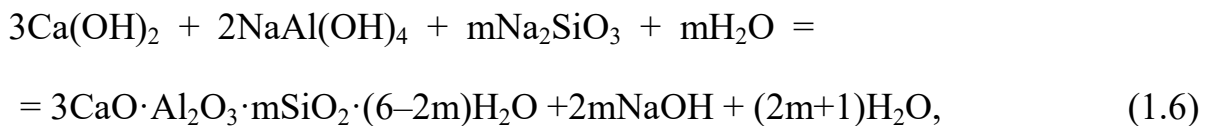
б) для беміту (діаспора):



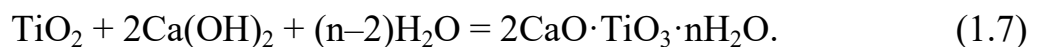
Крім основних реакцій (1.1) і (1.2) паралельно протікають і інші, обумовлені наявністю розчинних домішок у бокситі та що визивають у підсумку втрати алюмінію і лугу у вигляді гідроалюмосилікату натрію (ГАСН):



У зв'язку з тим, що вилуговування бокситів, які важко розкладаються, протікає в присутності вапна (3–5% від маси бокситу), частина кремнезему зв'язується в гідрогранат, зменшуючи втрати лугу з червоним шламом:



інші домішки, взаємодіючи з вапном, також утворюють нерозчинні сполуки:



На швидкість і ступінь вилуговування глинозему з бокситу впливають наступні фактори: 1) температура вилуговування; 2) концентрація лугу; 3) каустичні модулі обігового й алюмінатного розчинів; 4) дрібність помелу; 5) швидкість перемішування пульпи; 6) добавка вапна.

Процес вилуговування бокситу при низьких температурах протікає в кінетичній області. При високих температурах (вище 200 °С) залежність швидкості від температури виражена значно слабкіше, оскільки вирішальне значення мають дифузійні фактори.

Теоретичний вихід оксиду алюмінію при вилуговуванні бокситу – хімічний вихід, що був би досягнутий, якби втрати Al_2O_3 з червоним шламом точно відповідали утворенню ГАСН, %:

$$\eta_{\text{Al}_2\text{O}_3, T} = 100 - 85 \cdot \frac{s}{a} = 100 - \frac{85}{\mu_{\text{Si}}}. \quad (1.8)$$

Одержаний алюмінатний розчин відокремлюють від нерозчинного

залишку (червоного шламу) і піддають його декомпозиції – гідролітичному розкладанню в присутності великої кількості затравки гідроксиду алюмінію, отриманого в попередньому циклі. Хімізм процесу декомпозиції в присутності затравки представлений реакцією:



Процес декомпозиції проводиться в політермічному режимі зі зміною температури від 65 до 55 °С при затравочному відношенні (відношенні по масі кількості Al_2O_3 у затравці до кількості Al_2O_3 в алюмінатному розчині при декомпозиції) рівному 3,0 протягом 50–72 годин. Концентровані алюмінатні розчини (300 г/л Na_2O) до декомпозиції (перед процесом згущення червоного шламу) розбавляють промивними водами, а відносно слабкі розчини надходять на декомпозицію без розведення.

Ефективність процесу декомпозиції оцінюється величиною виходу глинозему:

$$\eta_{\text{Al}_2\text{O}_3} = \left(1 - \frac{\alpha_{\text{ал}}}{\alpha_{\text{об}}}\right) \cdot 100, \quad (1.10)$$

де $\eta_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ – вихід глинозему при декомпозиції, %;

$\alpha_{\text{ал}}$ – каустичний модуль алюмінатного розчину;

$\alpha_{\text{об}}$ – каустичний модуль обігового розчину.

Одержаний гідроксид алюмінію відокремлюють від маточного розчину, промивають, а потім поділяють на дві частини – затравочний і продукційний гідроксид. Затравочний гідроксид алюмінію направляється на декомпозицію нової порції алюмінатного розчину як затравка.

Повноту протікання процесів вилуговування і декомпозиції оцінюють за величиною показника ефективності обігу $E_{\text{об}}$, тобто кількості Al_2O_3 (г/л), що витягається з бокситу активним лугом:

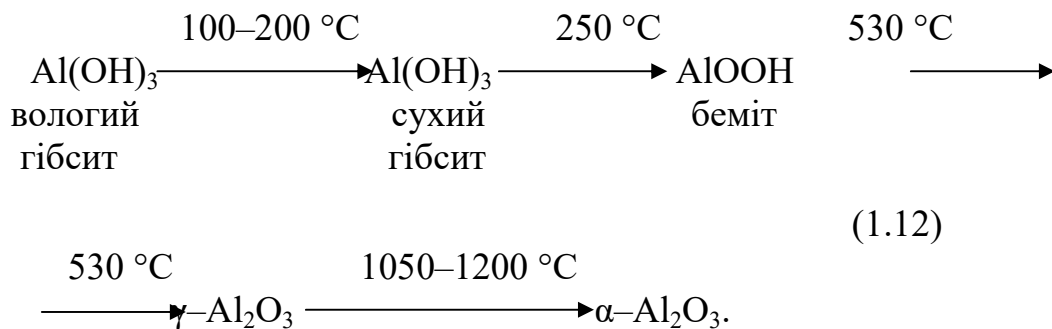
$$E_{\text{об}} = n \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{\text{ал}}} - \frac{1}{\alpha_{\text{об}}}\right) \cdot \frac{102}{62} = n \cdot \left(\frac{1}{\alpha_{\text{ал}}} - \frac{1}{\alpha_{\text{об}}}\right) \cdot 1,645, \quad (1.11)$$

де n – вміст каустичного лугу Na_2O_k у вихідному розчині, г/л;

102 і 62 – молекулярні маси Al_2O_3 і Na_2O відповідно.

Маточний розчин піддають випарюванню з метою збільшення концентрації каустичного лугу для наступного вилуговування.

Продукційний гідроксид після промивання піддають кальцинації – прожарюванню при температурі 1050–1200 °С. У ході кальцинації з вихідним гідроксидом алюмінію відбуваються наступні перетворення:



В результаті одержують глинозем, що складається на 5–25 % з $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ і 95–75% $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, що цілком відповідає вимогам, висунутим до металургійного глинозему.

Найважливішим показником, що характеризує в цілому процес виробництва глинозему, є товарний вихід η_T – відношення кількості оксиду алюмінію (Al_2O_3), видобутого в глинозем m_1 до його кількості у вихідній сировині (бокситі) m_2 , %:

$$\eta_T = \frac{m_1}{m_2} \cdot 100, \quad (1.13)$$

де m_1 – кількість Al_2O_3 , видобутого в глинозем, кг;

m_2 – кількість Al_2O_3 , введеного з бокситом, кг.

Чим вище товарний вихід, тим менше втрати Al_2O_3 по окремих переділах і, отже, повніше використовується вихідна сировина.

1.4 Характеристика бокситів

Вміст алюмінію в земній корі складає 8,13 %. За даними академіка А.Е. Ферсмана, у природі нараховується близько 250 мінералів алюмінію, причому понад 40 % з них відносяться до алюмосилікатів [2-9].

У таблиці 1.2 приведені деякі мінерали алюмінію, що найбільш часто зустрічаються в природі.

До основних алюмінієвих руд відносяться боксити, нефеліни, алуніти, каоліни (глини) і кіаніти, а також відходи збагачення, золи і шлаки металургійного виробництва.

Таблиця 1.2 – Алюмінійвмісні мінерали [10,11]

Мінерал	Хімічна формула
Корунд	$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$
Діаспор, беміт	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ або AlOOH
Гібсит (гідраргіліт)	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ або $\text{Al}(\text{OH})_3$
Кіаніт, андалузит, дистен, силіманіт	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$
Каолініт	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Гідрослюда (мусковіт),	$\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Слюда	$\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$
Алуніт	$\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{Al}(\text{OH})_3$
Нефелін	$(\text{Na},\text{K})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$
Лейцит	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$
Ортоклаз, польовий шпат	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$
Альбіт	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$

Боксити – найважливіша алюмінієва руда. Вони є складною гірською породою, що містить оксиди і гідроксиди Al, Fe, Si і Ti. Як домішки постійно присутні карбонати Ca і Mg, гідросилікати (хлорити), сульфідні і сульфатні (у першу чергу Fe) і органічні сполуки (гуміни і бітуми).

Мінералогічний склад бокситів дуже складний. У них установлена наявність близько 100 мінералів, однак породотвірну роль грають діаспор, беміт, гідраргіліт, кальцит, сидерит, гематит, гетит, пірит і деякі інші. Мономінеральні бокситові руди відносно рідкі, набагато частіше зустрічаються руди змішаного типу (гібсит-бемітові або беміт-діаспорові).

У залежності від мінералогічної форми гідроксиду алюмінію, який знаходиться у бокситі, розрізняють боксити [7-9]:

- моногідратні (бемітові, діаспорові);
- тригідратні (гідраргілітові)
- змішані (беміто-гідраргілітові, беміто-діаспорові);
- безводні або маловодні (корундові) боксити.

Для оцінки якості бокситів використовують:

- силіційний модуль μ_{Si} – відношення вмісту Al_2O_3 до SiO_2 по масі:

$$\mu_{Si} = \frac{a}{s},$$

де a , s – вміст оксидів алюмінію та кремнію у бокситі, %.

Чим модуль вище, тим краще боксит.

- «розкривання» бокситу – легкість витягання з нього глинозему, що в першу чергу визначається мінералогічною формою гідроксиду алюмінію, який знаходиться в бокситі;

- комплексний показник якості B розраховується за формулою, %:

$$B = a - 2 \cdot s.$$

За походженням (генезисом) боксити поділяються на дві основні групи:

- залишкові (латеритові) – утворилися внаслідок вивітрювання алюмосилікатів, характеризуються перевагою гібситових рудних тіл з високим модулем, невеликою глибиною залягання (відкритий спосіб видобутку);

- осадові – складаються з декількох шарів, що розрізняються за значенням модуля, за формою глиноземвмісних сполук, найчастіше у вигляді важкорозкриваного діаспора, характерний підземний видобуток, механічне збагачення утруднене.

На здатність бокситу подрібнюватися впливають його міцність, щільність, твердість, пластичність, здатність деформуватися та інші властивості. Складніше подрібнюються боксити, у складі яких є діаспор, легше подрібнюються бемітові та гібситові боксити.

Чим нижча реакційна здатність гідроксиду алюмінію бокситу, чим менша його пористість, тим більш високий ступінь подрібнення потрібний. Пористі гібситові боксити, які легко розкриваються, не потребують глибокого розмелювання.

Тверді боксити подрібнюють за дві стадії, м'які – за одну або дві стадії на молоткових дробарках. Боксити з тропічних стран подрібнюють за одну стадію у кульових млинах. Для кожного типу бокситу експериментальним шляхом визначають оптимальні умови розмелювання, порушення яких може спричинити технологічні порушення на наступних ділянках. На мокрому розмелюванні одночасно з бокситом подають оборотний розчин, також у млини додають вапняне молоко. Витрату оборотного розчину для кожного млина задають залежно від його продуктивності за бокситом.

Розмелювання бокситу на більш великі за розміром частинки приводить до неповного вилучення глинозему, погіршує умови роботи і перевантажує млини. Переподрібнення бокситу може приводити до збільшення витрати луку внаслідок взаємодії з високодисперсним кварцом і підвищенню вмісту заліза у розчинах.

Збільшенню продуктивності млинів під час мокрого розмелювання сприяє вдосконалення процесу кульового завантаження млинів.

Висновки. Тверді боксити подрібнюють за дві стадії, м'які – за одну або дві стадії на молоткових дробарках. Боксити з тропічних стран подрібнюють за одну стадію у кульових млинах. Для кожного типу бокситу експериментальним шляхом визначають оптимальні умови розмелювання, порушення яких може спричинити технологічні порушення на наступних ділянках.

Завдання експериментального дослідження:

1. Розробити експресний метод лабораторного визначення здатності бокситу до розмелювання.

2. Дослідити особливості та вибрати технологічні умови мокрого розмелювання гвінейських бокситів Кендія і Діан-Діан.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Характеристики вихідних матеріалів і обладнання

Для лабораторного дослідження подрібнюваності та визначення розмелюваності гвінейських бокситів Kindia та Dian-Dian готували проби, які склалися з фракцій в заданому співвідношенні (табл.2.1).

Таблиця 2.1 – Гранулометричний склад досліджуваної проби бокситу

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/дм³: 204,6 Na₂O_{тир}; 21,4 Na₂O_{кб}; 183,2 Na₂O_{ку}; 97,4 Al₂O₃; 0,38 SiO₂. Каустичний модуль $\alpha_k = 3,09$; силіційний модуль $\mu_{Si} = 256$.

Для дослідів використовували лабораторний млин діаметром 125x167 мм, об'ємом 3 дм³. У млин завантажували 5 куль діаметром 35 мм і масою 1,4 кг та 10 куль діаметром 20 мм і масою 0,4 кг.

2.2 Методика лабораторного дослідження розмелювання бокситів

Дослідження з порівняльної подрібнюваності бокситів проводили у відкритому циклі мокрим способом на лабораторному млині діаметром 125x167 мм, об'ємом 3 дм³.

Використовували синтетичний лужно-алюмінатний розчин, в який вводили частину води для зволоження бокситу. Вихідний склад розчину був наступним, г/дм³: 204,6 Na₂O_{тітр}; 21,4 Na₂O_{кб}; 183,2 Na₂O_{ку}; 97,4 Al₂O₃; 0,38 SiO₂. Каустичний модуль $\alpha_k = 3,09$; силіційний модуль $\mu_{Si} = 256$.

У ряді випадків досліди проводили з водою, що дозволило оцінити внесок хімічного диспергування в подрібнюваність бокситу.

Швидкість обертання барабана n (хв⁻¹) на валках розраховували виходячи з найвигіднішого числа обертів для млина даного діаметра за формулою [4]:

$$n = 32/\sqrt{D}, \quad (2.1)$$

де D – діаметр млина, м.

У нашому випадку розрахункова оптимальна швидкість обертання барабана млина становила 90,5 хв⁻¹.

Наважка бокситу становила у всіх дослідах 400 г (або 10 % від обсягу млина) і була на 20 % менше норми, яка розраховується за формулою:

$$P = 0,12 \cdot j \cdot V, \quad (2.2)$$

де P – наважка вихідного матеріалу, кг;

j – насипна щільність, кг/дм³;

V – об'єм млина, дм³;

0,12 – частка об'єму млина, яку займає матеріал, частка од.

Усереднену насипну щільність бокситів визначали в кожному конкретному випадку.

Співвідношення Р:Т маси сухого бокситу до суми розчину і власної вологи бокситу змінювали від 1:1 до 3:1 (за масою).

Температура розмелювання регулювалася і становила $62,0 \pm 0,5$ °С і $92,0 \pm 0,5$ °С. Досліди проводили на валках з обігрівом. Точність регулювання температури становила $\pm 2,5$ °С.

Нагрівання було організовано в такий спосіб: окремо нагрівався млин з кулями і бокситом в валках, що обігріваються, але без обертання, і окремо нагрівався розчин. Після термостатування розчин додавався в млин, який

закривали і включали валки. Після закінчення процесу млин відразу ж знімався з валків і проводилася подальша обробка матеріалу.

У всіх дослідах використовували 5 куль діаметром 35 мм і масою 1,4 кг і 10 куль діаметром 20 мм і масою 0,4 кг. Кульове завантаження становило 25 % від об'єму млина.

При роботі на твердих діаспорових бокситах зазвичай рекомендується проводити завантаження млина кулями в межах 30-40 %. Відносно невелика завантаження була пов'язана з бажанням отримати більш розтягнуту криву розмелюваності для м'яких гібситових бокситів.

Для вивчення кінетики подрібнення бокситів тривалість перебування матеріалу в млині змінювали від 2,5 хв до 60 хв.

Після подрібнення матеріали вивантажували з млина і визначали співвідношення Р:Т, хімічний склад рідкої і твердих фаз, на підставі чого розраховували величину вилуговування бокситу при розмелюванні. Потім матеріал промивали гарячою водою і піддавали ситовому аналізу. За результатами аналізу з урахуванням відмитого дрібного класу розраховували гранулометричний склад кінцевого продукту, отриманого при різній тривалості подрібнення.

Прийняті умови дозволяють в достатній мірі об'єктивно визначити відносну подрібнюваність бокситу при різних умовах розмелювання.

2.3 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 [14].

Об'єм технологічного розчину (V_a) поміщають в мірну колбу місткістю 100 см³ (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 2.1. Аліквотну частину (V_p) розбавленого розчину поміщають в конічну колбу місткістю 250 см^3 , розбавляють дистильованою водою до 100 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 Al_2O_3 в технологічному розчині, г/дм^3	Об'єм технологічного розчину (V_a), см^3	Загальний об'єм розведення (V), см^3	Аліквотна частина розведеного розчину (V_p), см^3	Об'єм трилона Б, що додається до аналізованого розчину, 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 (0,2н), 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 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 (0,2н) до переходу забарвлення розчину з жовтого в рожевий.

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

$$X = \frac{(V_1 - K_1 * V_2) * T * V * 1000}{V_a * V_p}, \quad (2.3)$$

де X – вміст оксиду алюмінію в технологічному розчині, г/дм^3 ;

V_1 – об'єм розчину трилона Б (0,2н), см^3 ;

V_2 – об'єм розчину цинку оцетокислого (0,2н), витрачений на титрування, см^3 ;

T – титр розчину цинку оцетокислого (0,2 н.), виражений в г/см³ оксиду алюмінію;

V_a – об'єм технологічного розчину, відібраний для визначення, см³;

V_p – аліквотна частина розведеного розчину, см³;

V – загальний об'єм розведення технологічного розчину, см³;

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

2.4 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 відділенні 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. Відбирають аліквоту 100 см³ 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/дм³ і більше відбирають аліквоту 50 см³. 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 дм³ 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/дм³, визначають за формулою:

$$X = \frac{m_2 - m_1}{V} * 1000, \text{ г/дм}^3, \quad (2.4)$$

де X – вміст твердої фази, г/дм³;

m_1 – маса фільтра, г;

m_2 – маса залишку з фільтром, г;

V – об'єм аліквоти, відібраної на аналіз, см³;

Вміст твердої фази пульпи в масових частках, %, визначають за формулою [14]:

$$X = \frac{m_2 - m_1}{m_4 - m_3} * 100, \% \quad (2.5)$$

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.

2.5 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±5) °С.

- Відносна вологість атмосферного повітря – до 80 % при температурі (20±5) °С.
- Напруга струму (220±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 навіски 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 лазера частинками матеріалу проби. Результати розрахунку виводять на екран монітора та заносять у архів методики у вигляді графіка інтегрального розподілу. Вихід фракції більш 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:

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

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

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

Δ – похибка аналізу, г/см³.

2.6 Методика визначення концентрації загального 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 – 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 лугу розрахувати за формулою:

$$C_{Na_2O_{заг}} = \frac{V_T \cdot V_P \cdot K}{A_1 \cdot A_2}, \quad (2.7)$$

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.

2.7 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:

$$C_{Na_2O_k} = \frac{V_T \cdot V_P \cdot K}{A_1 \cdot A_2}, \quad (2.8)$$

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.

3 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

3.1 Про вплив показників розмелювання бокситів на питому продуктивність млинів

Стадія розмелювання бокситів займає важливе місце в технологічній схемі виробництва глинозему за способом Байера. Так, питома витрата електроенергії на розмелювання бокситів на ряді глиноземних заводів досягає 20 % від загальних енерговитрат на випуск 1 т товарного глинозему.

Для кожного виду сировини відхилення від оптимальних параметрів розмелювання може викликати технологічні ускладнення на інших ділянках виробництва глинозему. Так, загрублене розмелювання в ряді випадків викликає погіршення роботи насосів, недовилучення глинозему з великих частинок бокситу, накопичення пісків в устаткуванні (великі придонні осади) і погіршення роботи згущувачів і промивачів. Переподрібнення бокситу може істотно позначитися на підвищенні вмісту заліза в алюмінатном розчині і збільшенні питомої витрати лугу за рахунок взаємодії з високодисперсним кварцом.

Тому важливим завданням для глиноземних підприємств є дослідження технологічних особливостей розмелювання таких бокситів та накопичення досвід щодо пристосування існуючого обладнання ділянки розмелювання до бокситів, що мають різну твердість, крихкість, різну здатність до хімічного диспергування та ін.

Виконання в лабораторних умовах моделювання процесу розмелювання дозволяє отримати досить достовірну інформацію щодо поведінки бокситів під час розмелювання без проведення дорогих промислових випробувань.

Таке моделювання дозволяє за короткий термін перевірити придатність того або іншого бокситу до переробки в умовах ділянки розмелювання на конкретному глиноземному підприємстві. Для глиноземних заводів, що

працюють в умовах «відкритого рудника», правильний вибір сировини дозволяє уникати серйозних технологічних ускладнень або зниження потужності підприємства.

3.2 Дослідження впливу складу і температури розмелюючого середовища, часу розмелювання бокситів на продуктивність млинів

Під час підготовки до лабораторного дослідження щодо визначення розмелюваності гвінейських бокситів Kindia та Dian-Dian готували пробу, що складається з фракцій в заданому співвідношенні, %: 10,0 % фракції -63 мкм; 5,0 % +63-100 мкм; 5,0% +100-200 мкм; 5,0 % +200-315 мкм; 5,0 % +315-500 мкм; 5,0 % +500-800 мкм; 10,0 % +800-1600 мкм; 10,0 % +1600-2000 мкм; 10,0 % +2000-2500 мкм; 35,0 % +2500-6000 мкм.

Дослідження з порівняльної подрібнюваності гвінейських бокситів проводили у відкритому циклі мокрим способом на лабораторному млині діаметром 125x167 мм, об'ємом 3 дм³.

Використовували синтетичний лужно-алюмінатний розчин, в який вводили частину води для зволоження бокситу. Вихідний склад розчину був наступним, г/дм³: 204,6 Na₂O_{тітр}; 21,4 Na₂O_{кб}; 183,2 Na₂O_{кв}; 97,4 Al₂O₃; 0,38 SiO₂. Каустичний модуль $\alpha_k = 3,09$; силіційний модуль $\mu_{Si} = 256$.

У ряді випадків досліди проводили з водою, що дозволило оцінити внесок хімічного диспергування в подрібнюваність бокситу.

Швидкість обертання барабана n (хв⁻¹) на валках розраховували виходячи з найвигіднішого числа обертів для млина даного діаметра за формулою [4]:

$$n = 32/\sqrt{D}, \quad (3.1)$$

де D – діаметр млина, м.

У нашому випадку розрахункова оптимальна швидкість обертання барабана млина становила 90,5 хв⁻¹.

У всіх дослідах як наважку зважували 400 г бокситу певного типу (або 10 % від об'єму млина), яка була на 20 % менша норми, що розраховується за формулою:

$$P = 0,12 \cdot j \cdot V, \quad (3.2)$$

де P – маса наважки вихідного матеріалу, кг;

j – насипна щільність, кг/дм³;

V – об'єм млина, дм³;

0,12 – частка об'єму млина, яку займає матеріал, частка од.

Усереднену насипну щільність бокситів визначали в кожному конкретному випадку, наприклад для гвінейського бокситу родовища Кіндія вона становила близько $1,4 \pm 0,05$ т/м³. Співвідношення Р:Т маси сухого бокситу до суми розчину і власної вологи бокситу становила від 1:1 до 3:1 (за масою). Температура розмелювання регулювалася і становила $62,0 \pm 0,5$ °С і $92,0 \pm 0,5$ °С. Досліди проводили на валках з обігрівом. Точність регулювання температури становила $\pm 2,5$ °С.

Нагрівання було організовано в такий спосіб: окремо нагрівався млин з кулями і бокситом в валках, що обігріваються, але без обертання, і окремо нагрівався розчин. Після термостатування розчин додавався в млин, який закривали і включали валки. Після закінчення процесу млин відразу ж знімався з валків і проводилася подальша обробка матеріалу.

У всіх дослідах використовували 5 куль діаметром 35 мм і масою 1,4 кг і 10 куль діаметром 20 мм і масою 0,4 кг. Кульове завантаження становило 25 % від об'єму млина.

При роботі на твердих діаспорових бокситах зазвичай рекомендується проводити завантаження млина кулями в межах 30-40 %. Відносно невелика завантаження була пов'язана з бажанням отримати більш розтягнуту криву розмелюваності для м'яких гіббситових бокситів.

Для вивчення кінетики подрібнення бокситів тривалість перебування матеріалу в млині змінювали від 2,5 хв до 60 хв.

Після подрібнення матеріали вивантажували з млина і визначали співвідношення Р:Т, хімічний склад рідкої і твердих фаз, на підставі чого розраховували величину вилуговування бокситу при розмелюванні. Потім матеріал промивали гарячою водою і піддавали ситовому аналізу. За результатами аналізу з урахуванням відмитого дрібного класу розраховували гранулометричний склад кінцевого продукту, отриманого при різній тривалості подрібнення.

Прийняті умови дозволили в достатній мірі об'єктивно порівняти різні типи бокситів та визначити відносну подрібнюваність бокситу при різних умовах розмелювання.

В лабораторних умовах досліджено різні типи бокситів, які переробляються на ВАТ «МГЗ» і для яких були спеціально отримані промислові показники роботи млинів мокрого розмелювання при різних режимах (величина кульової завантаження, різні співвідношення Р:Т, співвідношення великих і дрібних куль та ін.).

Так, була досліджена здатність до розмелювання бокситів Гвінеї (Kindia, Sangaredy), Бразилії (Trombetas), Сьєрра-Леоне (Gondama, Mokañji), Австралії (Weipa, Gove), Ямайки (Lydford, St. Ann) та ін., що переробляються в промислових умовах на підприємстві. Це дозволило знайти перехідні коефіцієнти від лабораторних даних до промислових показників, а також оцінити вплив змінення будь-якого іншого параметра на продуктивність роботи млина.

На рис.3.1 показано вплив на продуктивність розмелювання складу розмелювального середовища і його температури.

Заміна води на лужно-алюмінатний розчин, а також підвищення температури розмелювання з 62 °С до 92 °С істотно впливають на продуктивність млина по готовому класу -63 мкм.

Розмелювання гібситових бокситу на лужно-алюмінатних розчинах при високій температурі дозволяє істотно підвищити продуктивність млина по

готовому класу в перші моменти за рахунок хімічного диспергування. Однак в подальшому напрацювання готового класу істотно знижується. Ця обставина вимагає вирішення даного питання шляхом збільшення циркуляційних навантажень на кульовий млин або створення більш ефективних способів відокремлення готового матеріалу.

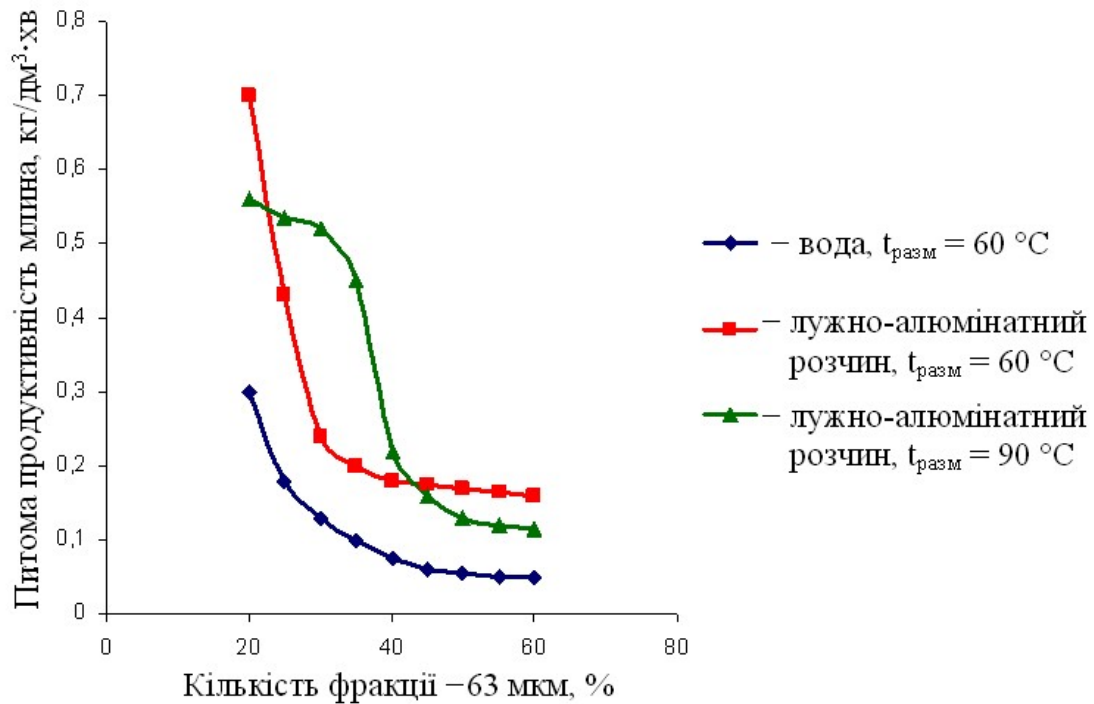


Рисунок 3.1 – Питома продуктивність млина за класом -63 мкм при розмелюванні гвінейського бокситу (Kindia) залежно від складу і температури розмелюючого середовища та часу розмелювання

На підприємстві ця проблема була вирішена шляхом заміни гідроциклонов на дугові гуркоти власної конструкції. Після їх заміни відбулося зниження витрат електроенергії на розмелювання, скоротився проскок в готову пульпу великих часток бокситу, що істотно поліпшило роботу мембранних насосів високого тиску.

3.3 Дослідження впливу генезису бокситу на його здатність до розмелювання

Вплив генезису бокситу на питому продуктивність млина за класом –63 мкм при розмелюванні за температури розчину 60 °С показано на рис.3.2. Так, індійський боксит з штату Гуджарат, що утворюється в умовах пустельного клімату, має істотно гірші розмелювальні характеристики в порівнянні з гвінейськими бокситами Kindia і Діан-Діан, що утворюються в умовах вологих тропіків.

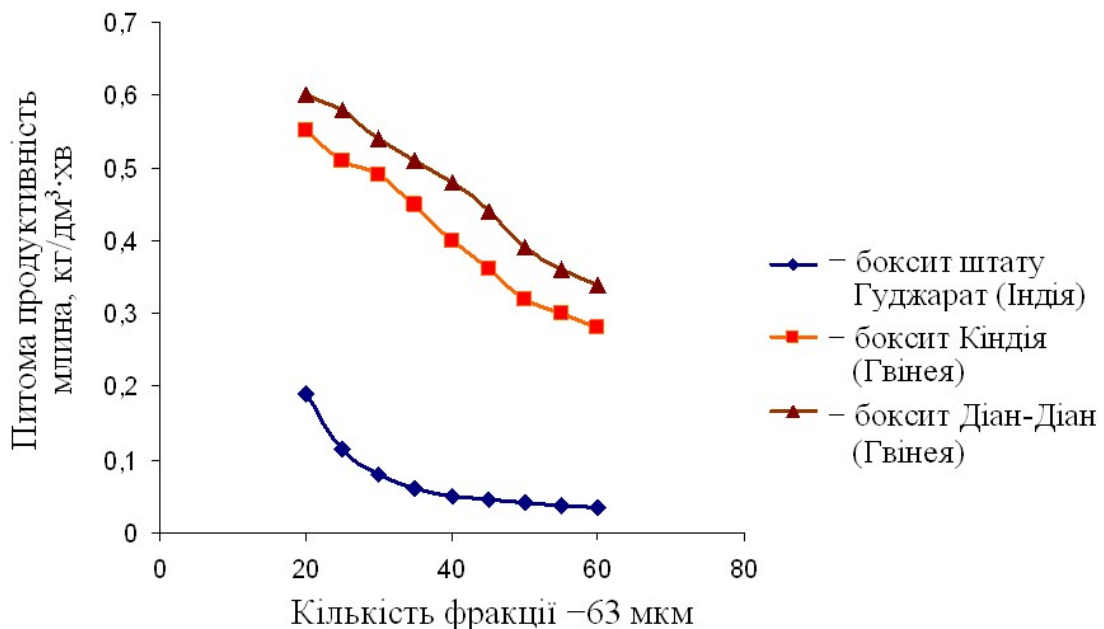


Рисунок 3.2 – Питома продуктивність млина за класом –63 мкм при розмелюванні бокситів різного генезису

При цьому специфічною особливістю гуджаратських бокситів є їх висока пластичність. В результаті цього шматки бокситу не розколюються, а стісуються в основному за рахунок ділянок пластичного гібситу. В результаті утворюється досить велика кількість збагачених тонкокристалічним і скритокристалічним гематитом частинок. На істотне поліпшення розмелюваності гуджаратських бокситів також впливає підвищення

температури розмелювання до 90-95 °С. За рахунок підвищення температури розмелювання за перші 10 хвилин перебування бокситу в млині вилучення глинозему підвищується з 6 % до 26-30 %. При цьому розчиняються переважно тонкі частинки гібситу. Видалення значної кількості готового класу частинок позитивно позначається на загальній продуктивності розмелювання.

3.4 Дослідження впливу складу і температури оборотного розчину на продуктивність мокрого розмелювання бокситів

За досвідом роботи ВАТ «Миколаївський глиноземний завод» на бокситах з усіх регіонів світу встановлено, що проектні схеми і технологічні режими на більшості ділянок можна поліпшити, якщо враховувати особливості конкретної сировини. Зокрема, це відноситься до мокрого розмелювання бокситу.

За проектом на сировинні млини діаметром 3,00x6,25 м подається оборотний розчин з температурою 60-65 °С, відношенням Р:Т = 1,5:1, стандартне кульове завантаження зазвичай становить 55 т куль діаметром 100 мм, швидкість обертання млина дорівнює 12 хв⁻¹. Млин завантажують 100 % бокситом з розміром шматків 100 мм. Паспортна пульпа по проекту має наступний гранулометричний склад: +315 мкм не більше 5 %, -63 мкм не менше 60 %. Всі ці параметри були розраховані на проектний боксит з родовища Кіндія (Гвінея). Однак дані параметри не є оптимальними для інших бокситів. Так, переробка бокситів Ямайки, Індії, Венесуели показала, що робота на цих режимах призводить до подорожчання кінцевої продукції.

Гвінейська боксити на 80-90 % є тонкодисперсними і складаються з частинок з розміром -10 мкм [7]. Наявність великих частинок пов'язано в основному з кальцитом і залізо-марганцевими конкреціями. Тому для даного бокситу є важливішою операція розпускання тонкодисперсних частинок при одночасному відмиванні кальцитів від частинок бокситу. Цього можна

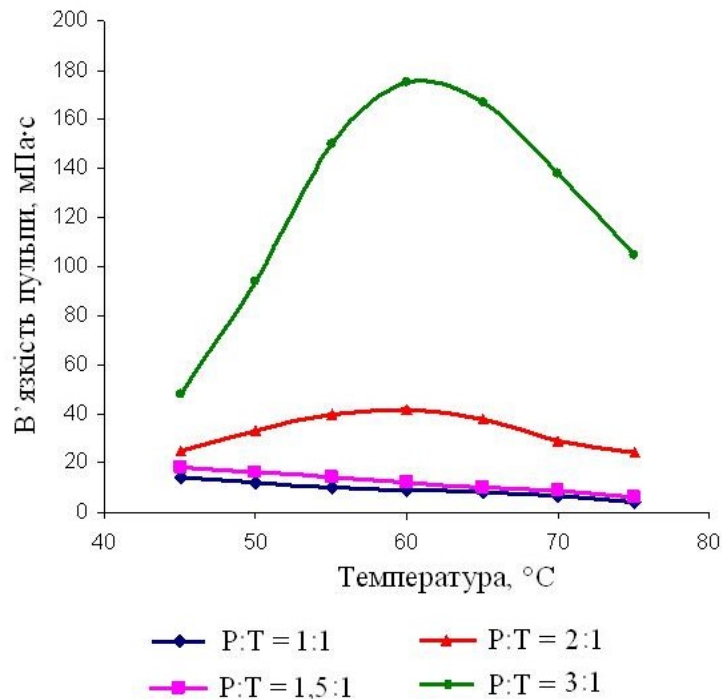


Рисунок 3.3 – Вплив температури і співвідношення Р:Т на в'язкість пульп гвінейського бокситу

допомогтися за рахунок істотного зниження кульового завантаження, яке дозволяє не розмелювати кальцит. Непереподрібнений кальцит може успішно відділятися на дугових грохотах і виводитися з процесу до його попадання в автоклави, де він при взаємодії з каустичним лугом розкладається. Однак спроба застосувати цей технологічний захід на практиці виявила проблему високої в'язкості одержуваних пульп (рис.3.3).

При роботі на гібситових бокситах доцільний відхід від малоефективних гідроциклонов на дугові гуркоти, які дозволяють знизити циркуляційні навантаження на млини при отриманні пульпи більш однорідною за складом.

3.5 Заходи для підвищення продуктивності млинів ділянки мокрого розмелювання бокситів

Боксит надходить на ділянку мокрого розмелювання по тракту стрічкових конвеєрів. Пересувними реверсивними конвеєрами боксит завантажується у витратні бункери млинів, з яких пластинчастими живильниками боксит подається на стрічкові конвеєри млинів, безперервно зважується і завантажується в млини. Для кожного млина встановлено по одному бункеру, живильнику і конвеєру, обладнаному автоматичними вагами. Виконавчий механізм вагів автоматично підтримує задану продуктивність млина шляхом змінення швидкості руху стрічки живильника за допомогою частотно-перетворювальної установки [7]. Продуктивність млина за бокситом задається залежно від кількості густої пульпи у відповідних баках.

Одночасно з бокситом у млин подається оборотний розчин для оптимального подрібнення і приготування густої бокситової пульпи. Витрата оборотного розчину для кожного млина задається залежно від його продуктивності за бокситом. Розрахунок дозування оборотного розчину на 1 т бокситу виконується для отримання густої сирої пульпи зі встановленими параметрами та для підтримання заданого співвідношення між рідкою і твердою фазами пульпи на виході з млина. Визначене співвідношення між заданою витратою оборотного розчину і бокситу підтримується автоматично.

З млина пульпа надходить в конусний бак, в який також подається частина оборотного розчину і корегувальна пульпа. З конусного бака густа бокситова пульпа насосом подається на дуговий грохот для класифікації. Пульпа, що пройшла через сито дугового грохота, по трубопроводу самопливом надходить у бак густої пульпи ділянки вилуговування. Піски, що не пройшли через сито дугового грохота, по трубопроводу повертаються в млин на подрібнення. Одним із заходів, що сприяють збільшенню

продуктивності млинів ділянки мокрого розмелювання, є вдосконалення процесу кульового завантаження млинів.

Конструкція колосникових решіток віброгрохота кульосортування не дозволяє видалити некондиційні (поколені, деформовані, діаметром менше 50 мм) кулі через утворення заторів, змішування продукційних і некондиційних куль. Неякісне кульове завантаження млинів призводить до їхнього перевантаження, збільшення циркуляційного навантаження, зниження продуктивності млинів [13-15].

Для усунення перевантаження млинів кріпильні і опорні елементи колосникових решіток віброгрохота кульосортування слід виконувати так, щоб забезпечити можливість регулювання кута нахилу колосникових решіток, та відновити працездатність шибера, який регулює кількість куль, що виходить з бункера на віброгрохот.

Таким чином, підвищення якості кульового завантаження млинів дозволить знизити тривалість непродуктивної («холостої») роботи кульових млинів ділянки мокрого розмелювання шляхом усунення їх перевантаження, знизити витрату електроенергії на розмелювання бокситів.

Висновки.

1. Розроблений метод лабораторного визначення здатності бокситу до розмелювання є дешевим, експресним і дозволяє вже на стадії вивчення ринку спрогнозувати поведінку даного бокситу в технологічному циклі.

2. Для гібситових бокситів доцільно використовувати високу температуру розмелювання, оскільки це дозволяє використовувати такий резерв, як хімічне диспергування бокситу.

3. Експериментальним дослідженням визначено оптимальні умови розмелювання гвінейських бокситів: оборотний розчин з температурою 60-65 °С, відношенням Р:Т = 1,5:1, стандартне кульове завантаження зазвичай становить 55 т куль діаметром 100 мм, швидкість обертання млина дорівнює 12 хв^{-1} .

4. Підвищення якості кульового завантаження млинів дозволить знизити тривалість непродуктивної («холостої») роботи кульових млинів ділянки мокрого розмелювання шляхом усунення їх перевантаження, знизити витрату електроенергії на розмелювання бокситів.

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 [18]: 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 [19] слід важати, що всі хімічні речовини в тому чи іншому ступеню є отруйними. За ступенем впливу на організм шкідливі речовини поділяються 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 [17] 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 мокрого розмелювання бокситів надано в табл. 4.1 [17-23].

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 ³ 2 клас безпеки: їдкий натр	0,5	0,2	–	–	–	30
	3-4 клас безпеки: гідрат	6,0	2,7	–	–	–	30
	вапно гашене	6,0	0,3	–	–	–	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 мокрого розмелювання бокситів 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 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 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 розмелювання, 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					
			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 [24]. 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	Підрозряд 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 [21].

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 мокрого розмелювання бокситів 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 мокрого розмелювання бокситів можна виділити наступні етапи, наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Етапи НДР з дослідження мокрого розмелювання гвінейських бокситів Kindia та Dian-Dian

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 мокрого розмелювання бокситів
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 [26]:

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

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.

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
Боксит	кг	10,0	1000,00	10000,00
Лужно-алюмінатний розчин	м ³	0,05	570,00	28,50
Технічна вода	м ³	0,05	450,00	22,50
Разом				10051,00

5.2.2 Розрахунок витрат на амортизацію обладнання

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

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

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

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

$T_{\text{др}}$ – 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.	Усього, грн.
Лабораторний млин	1	17000	15	20	25,50
Віскозиметр	1	10000	15	4	3,00
Хімічний посуд		1200	30	20	3,60
Разом					32,10

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_{bi} – 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.

Таблиця 5.6 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Кількість одиниць	Потужність, кВт	Число годин використання, година	Тариф за 1кВт-год, грн.	Усього витрат, грн.
Лабораторний млин	1	15,1	20	2,40	724,80
Віскозиметр	1	0,2	4	2,40	1,92
Разом					726,72

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 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	13200	15	9428,57
Лаборант	1	9000	6	2571,43
Старший науковий співробітник	1	18000	6	5142,86
Разом				17142,86

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 $Z_{\text{осн}}^{\text{і-к}}$:

$$Z_{\text{осн}}^{\text{і-к}} = \frac{13200}{21} \cdot 15 = 9428,57 \text{ грн.}$$

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

$$Z_{\text{осн}}^{\text{л-т}} = \frac{9000}{21} \cdot 6 = 2571,43 \text{ грн.}$$

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

$$Z_{\text{осн}}^{\text{с.н.с.}} = \frac{18000}{21} \cdot 6 = 5142,86 \text{ грн.}$$

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

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

Премія виконавців НДР:

$$Z_{\text{пр}}^{\text{і-к}} = \frac{9428,57 \cdot 20}{100} = 1885,71 \text{ грн.};$$

$$Z_{\text{пр}}^{\text{л-т}} = \frac{2571,43 \cdot 20}{100} = 514,29 \text{ грн.};$$

$$Z_{\text{пр}}^{\text{с.н.с.}} = \frac{5142,86 \cdot 20}{100} = 1028,57 \text{ грн.}$$

Загальна заробітна плата виконавців НДР розраховується по формулі:

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

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

$$Z_{\text{заг}} = 17142,86 + 2057,14 = 19200,00 \text{ грн.}$$

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

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

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ФОП}} = \frac{19200,00 \cdot 37,5}{100} = 7200,00 \text{ грн.}$$

З них:

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

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

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ФДСС}} = \frac{19200,00 \cdot 2,5}{100} = 480,00 \text{ грн.};$$

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

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

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ПФ}} = \frac{19200,00 \cdot 32,0}{100} = 6144,00 \text{ грн.};$$

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

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

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ФБ}} = \frac{19200,00 \cdot 1,5}{100} = 288,00 \text{ грн.};$$

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

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

$$Z_{\text{нар}}^{\text{ФНВ}} = \frac{19200,00 \cdot 1,5}{100} = 288,00 \text{ грн.}$$

5.2.5 Накладні витрати

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

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

$$H_{\text{в}} = \frac{19200,00 \cdot 40}{100} = 7680,00 \text{ грн.}$$

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	10051,00	22,39
2. Основна заробітна плата	17142,86	38,19
3. Додаткова заробітна плата	2057,14	4,58
4. Нарахування на фонд оплати праці (37,5 %):	7200,00	16,04
– на держ. соцстрах (2,5 %)	480,00	1,07
– пенсійний фонд (32 %)	6144,00	13,69
– у фонд безробіття (1,5 %)	288,00	0,64
– у фонд соц. страхування від нещасного випадку (1,5 %)	288,00	0,64
5. Амортизаційні відрахування	32,10	0,07
6. Витрати на електроенергію	726,72	1,62
7. Накладні витрати	7680,00	17,11
Разом	44889,82	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 44889,82 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблений метод лабораторного визначення здатності бокситу до розмелювання є дешевим, експресним і дозволяє вже на стадії вивчення ринку спрогнозувати поведінку даного бокситу в технологічному циклі.

2. Для гібситових бокситів доцільно використовувати високу температуру розмелювання, оскільки це дозволяє використовувати такий резерв, як хімічне диспергування бокситу.

3. Експериментальним дослідженням визначено оптимальні умови розмелювання гвінейських бокситів: оборотний розчин з температурою 60-65 °С, відношенням Р:Т = 1,5:1, стандартне кульове завантаження зазвичай становить 55 т куль діаметром 100 мм, швидкість обертання млина дорівнює 12 хв^{-1} .

4. Підвищення якості кульового завантаження млинів дозволить знизити тривалість непродуктивної («холостої») роботи кульових млинів ділянки мокрого розмелювання шляхом усунення їх перевантаження, знизити витрату електроенергії на розмелювання бокситів.

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

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 44889,82 грн.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Bauxite and Alumina Statistics and Information : National Minerals Information Center. URL : https://www.usgs.gov/centers/nmic/bauxite-and-alumina-statistics-and-information?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con (дата звернення 14.09.2020).
2. Насекан Ю. П. Виробництво глинозему : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. 190 с.
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. Metallurgy легких металлов : учебник. Москва : Интермет Инжиниринг, 2005. 416 с. URL: <http://www.twirpx.com/file/65688/> (дата звернення: 14.09.2020).
5. Metallurgy 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. Бенеславский С. И. Минералогия бокситов. Москва : Наука, 1974. 168 с.
9. Абрамов В. Я., Стельмакова Г. Д., Николаев И. В. Физико-химические основы комплексной переработки алюминиевого сырья (щелочные способы). Москва : Metallurgy, 1985. 288 с.
10. Троицкий И.А., Железнов В.А. Metallurgy алюминия. Москва:Metallurgy,1977. 392 с.
11. Беляев А.И. Metallurgy легких металлов. Москва:Metallurgy, 1970. 368 с.
12. Гопиенко Г. Н., Заварницкая Т. А., Пашкевич Л. А. Влияние различных минерализаторов на образование $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ из гидраргиллита и бемита. *Цветные металлы*. 2000. №4. С. 43-46.

13. Личко Д. М., Нестеренко Т. М. Аналіз та вдосконалення технології мокрого розмелювання бокситів. *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. 7.
14. 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.
15. Личко Д.М., Нестеренко Т.М. Заходи для підвищення продуктивності млинів ділянки мокрого розмелювання бокситів. *Металургія як основа сучасної промисловості* : матеріали XXIV наук.-техн. конф. студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів, м.Запоріжжя, 26-29 лист. 2019 р. Запоріжжя : ІІ ЗНУ, 2019. С. 29–30.
16. Волков В. С., Пелькис П. С. Справочник физико-химических характеристик различных веществ. Киев : Наукова думка, 1987. С.73–87.
17. Краткий справочник физико-химических величин : справочник / Н. М. Барон и др. ; под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой. Ленинград : Химия, 1998. 232 с.
18. 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.
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.