

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

Металургії

(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

другий магістерський

(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз та вдосконалення технології  
автоматизованого виробництва доксетів

Виконав: студент 2 курсу, групи 2.1369-ММ-3

спеціальності 136 "Металургія"  
(код і назва спеціальності)

спеціалізації 136.02 "Металургія кольорових металів"  
(код і назва спеціалізації)

освітньої програми \_\_\_\_\_  
(назва освітньої програми)

К.О. Тумаков  
(ініціали та прізвище)

Керівник доцента кафедри металургії к.т.н. Карпенко Г.В.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(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 136.02 "Металургія кольорових металів"  
(код та назва)  
Освітня програма 136 "Металургія"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Киритенко О.Р.  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ року

ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Гулякову Костянтину Олександровичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Аналіз та вдосконалення технології автотермічного випалювання докситів

керівник роботи Карпенко Галина Володимирівна к.т.н.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ року № \_\_\_\_\_

2 Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_

3 Вихідні дані до роботи Сировина доза глиноземного виробництва випалювання докситів автотермічним методом

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, аналітичний огляд експериментальних даних, характеристика сировини, перелік умов випалювання докситів

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Мета завдання, наукова новизна та практична цінність роботи, виробничого глинозему (світ), термічне активування докситів, параметри тиску, одержання

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналіз благодійності та соціальної відповідальності. Дослідження можливостей переходу ген. та інженерно-технічних служб до логістичної праці (експерт. конс.	Карпенко Г.В. к.т.ч.	02.09.20	02.09.20
	Карпенко Г.В. к.т.ч.	01.10.20	01.10.20
	Карпенко Г.В. к.т.ч.	13.10.20	13.10.20
	Карпенко Г.В. к.т.ч.	27.10.20	27.10.20

7 Дата видачі завдання

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. формування мети та завдань роботи на етапі навчальної роботи	02.09. - 17.09.20	
2	Літературне оформлення проблем	18.09. - 30.09.20	
3	Роз. техніч. об'єкту з боку безпеки	01.10. - 12.10.20	
4	Розр. по ОТ	13.10. - 26.10.20	
5	Форму. переліку умов	27.10. - 07.11.20	
6	Формування переліку умов	08.11. - 10.11.20	
7	Оформлення графічного матеріалу	11.11. - 19.11.20	

Студент [підпис] К.О. Тумасян  
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) [підпис] Г.В. Карпенко  
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер [підпис] Р.М. Воляр  
(підпис) (ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Тумаков К.О. Аналіз та вдосконалення технології автоклавного вилуговування бокситів.

Кваліфікаційна робота магістра на здобуття вищої освіти за спеціальністю 136 «Металургія», науковий керівник Ю.В. Мосейко. Запорізький національний університет, Інженерний науково-навчальний інститут, кафедра металургії. Запоріжжя, 2020.

У роботі виконано комплекс досліджень, спрямованих на розробку і вдосконалення технології виробництва глинозему при автоклавному вилуговуванні бокситів. Знайдена можливість розширити економічні показники готових продуктів, а також показники хімічного вилучення кремнезему при гідрохімічній обробці матеріалів, знизити основні технологічні витрати на виробництво глинозему за рахунок застосування дешевшого палива – генераторного газу.

Підібрано параметри проведення процесу спалювання, на підставі яких запропоновано спосіб видобутку та використання синтез-газу, що полягає в проведенні незначної модернізації трубчастої обертової печі для випалу сировини.

Ключові слова: СИРОВИННА БАЗА, БОКСИТИ, ДІОКСИД КРЕМНІЮ, НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНА АГІТАЦІЯ, ТЕХНОЛОГІЯ ВИЛУГОВУВАННЯ, ОБЕЗКРЕМНЮВАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ

### ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА

1. Тумаков К.О. Аналіз та вдосконалення технології автоклавного вилуговування бокситів [Текст] / М.А. Шавруков // Матеріали XXV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ІННІ ЗНУ. Металургія як основа сучасної промисловості. Том І. 23-26 листопада 2020 р. - Запоріжжя: ЗНУ, 2020. - С.11.

## ANNOTATION

Tumakov K.O. Analysis and perfection of technology of the pressure leaching of bauxites.

Qualifying work of master's degree on the receipt of higher education after speciality a 136 «Metallurgy», scientific leader Yu.v. Moseyko. Zaporozhia national university, Engineering науково-навчальний institute, department of metallurgy. Zaporizhzhya, 2020.

The complex of researches, directed for development and perfection of technology of production of alumina at the pressure leaching of bauxites is in-process executed. Found possibility to extend the economic indicators of the prepared products, and also indexes of chemical exception of silica at гідрохімічний to treatment of materials, to reduce basic technological charges on the production of alumina due to application of more cheap fuel – generator gas.

Neat parameters of leadthrough of process incinerations, which the method of booty and use of gas of synthesis, which consists in the leadthrough of insignificant modernization of tubular circulating stove for firing of raw material, is offered on the basis of.

Keywords: SOURCE of raw materials, BAUXITS, SILOX, LOW TEMPERATURE AGITATION, TECHNOLOGY of LIXIVIATING, OBEZKREMNYUVANNYA, TECHNOLOGICAL INDEXES

## АННОТАЦИЯ

Тумаков К.О. Анализ и совершенствование технологии автоклавного выщелачивания бокситов.

Квалификационная работа магистра на получение высшего образования за специальностью 136 «Металлургия», научный руководитель Ю.В. Мосейко. Запорожский национальный университет, Инженерный научно-учебный институт, кафедра металлургии. Запорожье, 2020.

В работе выполнен комплекс исследований, направленных на разработку и совершенствование технологии производства глинозема при автоклавном выщелачивании бокситов. Найденная возможность расширить экономические показатели готовых продуктов, а также показатели химического исключения кремнезема при гідрохімічній обработке материалов, снизить основные технологические расходы на производство глинозема за счет применения более дешевого топлива – генераторного газа.

Подобрано параметры проведения процесса сжигания, на основании которых предложен способ добычи и использования газа синтеза, который заключается в проведении незначительной модернизации трубчатой оборотной печи для выпала сырья.

Ключевые слова: СЫРЬЕВАЯ БАЗА, БОКСИТЫ, ДИОКСИД КРЕМНИЯ,  
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ АГИТАЦИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ  
ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ, ОБЕЗКРЕМНЮВАННЯ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ  
ПОКАЗАТЕЛИ

## ЗМІСТ

СКРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ .....	8
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА СПОСОБІВ ЗДОБУТТЯ ГЛИНОЗЕМУ ....	
1.1 Світові запаси бокситової сировини і темпи зростання видобутку бокситів .....	12
1.2 Фізико-хімічні властивості глинозему .....	15
1.3 Кількісний і якісний аналіз сировини.....	24
1.4 Класифікація способів здобуття глинозему .....	29
Висновки по першому розділу.....	25
2 ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПЕРЕХОДУ НА ГЕНЕРАТОРНИЙ ГАЗ .....	26
2.1 Застосування процесу газифікації на металургійних виробництвах.....	26
2.2 Дослідження кінетики процесу термічної активації бокситу .....	31
2.3 Розрахунок процесу горіння і печі для термічної активації бокситів.....	35
Висновки до другого розділу .....	44
3 ОЦІНКА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ.....	45
3.1 Оцінка екологічних показників процесу термічної активації.....	45
3.2 Розрахунок економічного ефекту термічної активації при використанні генераторного газу.....	49
Висновки до третього розділу.....	54
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	55
4.1 Аналіз потенційно шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища бокситного виробництва.....	55
4.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища конвертерного виробництва .....	56
4.3 Заходи з електробезпеки .....	58
4.4 Техногенна безпека.....	59
4.5 Розрахунок повітряних завіс біля воріт цеху .....	60
Висновки до четвертого розділу.....	62
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	63
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ .....	66

РЕМ - растрова електронна мікроскопія;

РСМА - рентгеноспектральний мікроаналіз;

ГДК - гранично допустима концентрація;

КС - печі киплячого шару;

ГАСН - гідроалюмосілікат натрію  $\text{Na}_2\text{O} * \text{Al}_2\text{O}_3 * 1,7\text{SiO}_2 * n\text{H}_2\text{O}$ ;

ГКАК - гідрокарбоалюмінат кальцію;

ККД - коефіцієнт корисної дії;

$\mu_{\text{Si}}$  - кремнієвий модуль матеріалу;

$\varepsilon_{\text{SiO}_2}$  - витяг кремнезему в розчин ;

ПАТ - приватне акціонерне товариство;

ТШС - тверда шлакова суміш.

$X_S$  - кратність шлаку;

В - основність шлаку;

$L_S$  - коефіцієнт розподілу сірки в металі;

$n_S$  - ступінь десульфурації, %;

$T_{\text{роз.}}$  - температура розкладання, °С;

$T_{\text{ст}}$  - температура сталі на випуску, °С;

$C_p$  - теплоємність сталі, МДж/т;

$T$  - зміна температури, °С;

ШСТ - маса сталі, т;

$T_{\text{УЕ}}$  - витрата первинного умовного палива на вироблення електроенергії, т у.п.



*Актуальність теми.* Скорочення запасів високоякісної бокситової сировини призводять до необхідності залучення в технологічний процес низькоякісного алюмінійвмісної сировини. Боксити є полімінеральною гірською породою, процес переробки яких залежить від поведінки окремих мінералів. Склад бокситів може сильно варіюватися в залежності від родовища і повинен бути ретельно вивчений для раціонального використання вихідної сировини, визначення ступеня вскриваємості породи, що в свою чергу впливає на умови переробки бокситів за способом Байєра.

Залучення у виробництво глинозему низькоякісних алюмінійвмісних руд пов'язане з процесами рудопідготовки, багато в чому визначають подальші шляхи переробки такої сировини. На сьогоднішній день можна виділити 3 основні групи попереднього збагачення бокситів: механічні, фізико-хімічні (зокрема термічна обробка) і мікробіологічні.

Для лужних гідрометалургійних процесів діоксид кремнію є однією з найбільш небажаних домішок бокситового сировини. Найбільш поширений у всьому світі (до 90% переробки бокситів), спосіб Байєра, використовується для високоякісних бокситів з високими показниками кремнієвого модуля ( $\mu_{Si} > 7$ ). Для висококремністих бокситів застосовні способи спікання або комбіновані способи «Байєр-спікання», однак дані технології пов'язані не тільки з високими енерговитратами, а й підвищеними шкідливими викидами в атмосферу. Все це створює передумови для створення економічно ефективного способу переробки низькоякісної бокситової сировини.

*Мета і задачі роботи.* Експериментальні і теоретичні дослідження ефективності і доцільності застосування низькокалорійного палива в трубчастих обертових печах, використовуваних для термічної активації бокситового сировини при його переробці способом Байєра.

Задачі дослідження:

- Довести принципову можливість застосування низькокалорійного синтезу газу в промислових печах для таких процесів глиноземного виробництва, як: спікання шихти, кальцинація глинозему і вапняку, який

активує випал бокситу з позиції досягнення необхідного температурного режиму для зазначених процесів і відсутності зольного залишку при спалюванні газоподібного палива;

- Визначення такого важливого технологічного параметра як насипна щільність випаленого бокситу, що носить складний екстремальний характер;

- Охарактеризування змін, що відбуваються з бокситостворюючими мінералами, характерними для кожної зони печі: для зони сушки - випаровування зовнішньої вологи, для зони підігріву - видалення кристалогідратної вологи і початкове розкладання мінералів, таких як беміт і діаспор, для зони кальцинації - розкладання основних кремнійвмісних мінералів (каолініт, шамозит), окислення двовалентних форм заліза, що призводить до утворення інших сполук;

- Розрахунок температури процесу горіння палива за допомогою системи нелінійних рівнянь, що дозволяють скористатися методом послідовних наближень.

*Об'єкт дослідження.* Можливість застосування низькокалорійного палива в трубчастих обертових печах.

*Предмет дослідження.* Трубчасті обертові печі, використовувані для термічної активації бокситового сировини при його переробці способом Байєра.

*Методи дослідження.* Теоретичні та експериментальні методи досліджень і статистична обробка результатів.

*Наукова новизна одержаних результатів.* Запропонована інноваційна технологія передбачає розробку та застосування технологічних прийомів спалювання низькокалорійного палива в трубчастих обертових печах.

Для розрахунку температури процесу горіння палива, незалежно від його агрегатного стану була складена система нелінійних рівнянь, що володіють ознакою збіжності і дозволяють скористатися методом послідовних наближень, а при складанні видаткової частини теплового балансу використовувалися не таблиці середніх питомих теплоємностей ( $c$ ), а термодинамічні дані зміни

Грунтуючись на теорії комплексної роботи промислових печей, був розроблений цифровий алгоритм розрахунку трубчастої обертової печі для випалення низькоякісних бокситів, який дозволяє робити моделювання процесу термічної активації сировини за допомогою стандартних програмних пакетів (MS Excel).

*Практичне значення одержаних результатів.* Впровадження процесу газифікації дозволить використовувати цінну природну сировину (вугілля, мазут, природний газ) більш раціонально для проведення стадії термічної активації бокситів як безпосередньо на виробництві, так і на рудниках. При переводі печей на спалювання генераторного газу спостерігається зниження токсичності димових газів і відсутність твердих викидів в атмосферу.

*Особистий внесок дослідника.* Кваліфікаційна робота магістра є самостійною роботою автора, в якій узагальнені результати теоретичних і експериментальних досліджень, отриманих в ході виконання науково-дослідних робіт. Аналіз літературних даних, моделювання технології спалювання генераторного газу, теоретичні аспекти фізико-хімічних процесів цієї технології і узагальнення їх результатів.

*Апробація результатів роботи.* Основні положення і результати магістерської роботи доповідалися і обговорювалися на: XXV науково-технічній конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ІННІ ЗНУ. Том I (23-26 листопада 2020 р., м. Запоріжжя); доповіли на науковому семінарі кафедри ЕЕЕ Інженерного науково-навчального інституту Запорізького національного університету (2020 р., м. Запоріжжя).

*Публікації.* Основні результати роботи викладені в тезах XXV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗНУ.

*Структура та обсяг магістерської роботи.* Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання з 101 найменування, викладена на 76 сторінках машинописного тексту, включаючи 15 рисунків, 18 таблиць та 16 листів ілюстрованого матеріалу презентації.

# 1 АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА СПОСОБІВ ЗДОБУТТЯ <sup>12</sup> ГЛИНОЗЕМУ

## 1.1 Світові запаси бокситового сировини і темпи зростання видобутку бокситів

Світові запаси бокситів (виключаючи СРСР) до початку 1974 роки оцінювалися в 19 млрд т, у тому числі 5,2 млрд т достовірних, тобто розвіданих по промислових категоріях. Розміщення їх по континентах украй нерівномірно. Дві третини запасів бокситів зосереджено в Африці і Австралії, приблизно чверть - в Америці і Азії і порівняно невелика доля (7 %) - в Європі (Франція, Італія, Греція, Чорногорія, Угорщина). У 1975 році в Австралії було здобуто 21 млн т. бокситів, що склало на той час 31,5 % світового видобутку. Другою по масштабах добувною країною на капіталістичному світі була Ямайка, на долю якої в 1975 році доводилося 17,4 % світового видобутку бокситової сировини. У історичному аспекті можна виділити три етапи розвитку видобутку бокситів.

На першому етапі (1930-1935) основна частина бокситів добувалася в розвинених капіталістичних країнах (США, Франція, Італія).

На другому етапі (до сірок. 1960-х років) головними постачальниками бокситів стають країни Карібського басейну (Ямайка, Сурінам, Гайана).

На третьому етапі, починаючи з 1965 року, бурхливий розвиток видобутку бокситів відмічений в Австралії і Гвінейській республіці.

Практично весь товарний глинозем в світі виробляється з бокситів різних родовищ і різного мінералогічного складу. Основна маса бокситу, що переробляється, належить до категорії легко розкриваних гіббсітових бокситів. Частина належить до диаспор-бемитовим, трудновскриваемим. Такі боксити знаходяться в Китаї, Греції, Туреччині, Румунії, Угорщині і на Уралі, в Росії. Зразкове розташування світових запасів бокситів по континентах представлено на рисунку 1.1. Зразковий хімічний склад даних родовищ показаний в таблиці 1.1.



Рисунок 1.1 - Розташування світових запасів бокситів по континентах: О – осадочні; Δ - остаточні

Таблиця 1.1 - Хімічний склад бокситів різних родовищ

Країна	Вміст основних компонентів %							$\mu_{si}$	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>	CaO	п.п.п.	Ga 1000		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Австралія	43,7	3,6	16,4	1,9	—	21,3	6,0	12,1	Г иббсит + беміт
Індія	49,2	2,8	16,1	6,4	ОД	25,1	7,0	17,6	Г иббситовий
Китай	66,1	7,9	5,5	3,3	0,4	13,8	6,0	8,4	Діаспоровий
Ямайка	44,3	1,5	18,2	—	—	25,0	6,0	29,5	Г иббситовий
Росія	53,5	3,7	22,5	2,0	3,8	12,5	5,0	14,5	Діаспоровий
Урал	45,4	8,8	19,4	2,2	7,0	—	—	5,2	Діаспоровий
Тіхвін	45,4	15,9	13,4	0,3	1,3	15,0	5,0	2,9	Беміт + каолінит
Бразилія	49,4	4,5	14,6	1,4	0,3	24,0	5,0	11,0	Г иббситовий
Сурінам	54,5	3,8	8,7	2,6	—	26,0	8,0	14,2	Г иббситовий
Г реція	56,6	3,8	21,6	2,5	0,8	12,6	3,0	14,9	Діаспоровий
Казахстан	42,6	11,6	18,4	2,3	0,8	20,5	5,0	3,7	Гиббсит+ аолініт
Угорщина	53,1	4,8	18,8	2,8	—	19,5	3,0	ПД	Беміт + гиббсит
Румунія	63,7	3,6	9,7	—	—	—	3,0	17,7	Діаспоровий

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Гвінея	56,7	2,7	7,4	3,6	0,2	26,4	3,3	21,0	Гиббситовий
Югославія (до 1990г)	50,9	4,9	22,0	2,9	0,6	18,5	3,0	10,4	Бемітовий
Туреччина	57,4	7,0	18,1	—	—	12,0	4,0	8,2	Діаспоровий

До високоякісного різновиду сировини відносяться гиббситовые боксити Ямайки, Гвінеї, Індії і Сурінама, а також діаспоровые боксити Греції. До середнього рівня - боксити Бразилії, Австралії, Угорщини, Чорногорії.

Практично на всіх глиноземних заводах світу, за винятком російських підприємств і частини китайських заводів, для переробки бокситової сировини використовується одна і та ж технологічна схема, відповідна відомому способу Байера. У таблиці 1.2 показані виробничі потужності глиноземного виробництва, що діють і прогнозовані, в світі.

## 1.2 Фізико-хімічні властивості глинозему

Останні десятиліття у зв'язку з впровадженням нових типів електролізерів (з обпаленими анодами і верхнім токоподводом) потужністю до 500 кА,

Таблиця 1.2 - Виробництво глинозему в світі по трьом рівням потужності

Місце в рейтингу, проектна потужність	Країна-виробник глинозему	Потужність, млн т/год			Кількість глиноземних заводів в країні, шт.
		проектна	виробництво, що діє, в 2000 р.	Прогнозуєме виробництво до 2010 р.	
1	2	3	4	5	6
1	Австралія	14,550	14,071	18,370	6
2	Індія	7,410	2,020	8,760	10
3	США	6,975	4,191	6,100	7
4	Китай	4,940	4,680	7,580	8
5	Ямайка	4,450	3,324	6,600	5
6	Бразилія	3,670	3,190	5,390	5
7	Росія	2,950	2,856	3,256	6
8	Венесуела	2,500	2,000	3,000	1
9	Сурінам	1,700	1,100	1,700	1
10	Греція	1,450	0,640	1,900	2
11	Ірландія	1,400	1,400	1,500	1

1	2	3	4	5	6
12	Україна	1,314	1,314	1,750	2
13	Германія	1,276	1,276	1,276	3
14	Канада	1,200	1,250	1,400	1
15	Казахстан	1,200	1,100	1,500	1
16	Іспанія	1,100	1,000	1,300	1
17	Італія	0,950	0,555	1,000	1
18	Японія	0,925	0,688	0,925	3
19	Угорщина	0,920	0,590	0,590	3
20	Індонезія	0,900	0	0,900	1
21-33	Всі інші країни	4,835	2,633	5,715	17
	Загальна	66,615	49,878	80,062	84

підвищенням рівня автоматизації процесу електролізу, міри очищення газів, що відходять, різко зросли вимоги до фізичних і мінералогічних характеристик глинозему. Зараз у нас в країні і за кордоном існує ділення глинозему по його фізичних властивостях на борошністий, піщаний і недообпалений (див. таблиці. 1.3).

Таблиця 1.3 - Фізичні властивості глинозему

Властивості	Борошністий	Піщаний	Недообпалений
Кількість фракцій -45 мкм %	20-50	<10	10-20
Середній розмір часток, мкм.	40-50	80-100	50-80
Кут природного укусу, град	>45	30-35	30^Ю
Питома поверхня, м <sup>2</sup> /г	<5 (30-70)	>35 (60-80)	35
Абсолютна щільність, г/см <sup>3</sup>	3,9	Min 3,7	Max 3,7
Насипна щільність, г/см <sup>3</sup>	<0,75	>0,85	>0,85

Щільність характеризує міру прожарення глинозему. Кут природного укусу і насипна маса - здібність глинозему до утворення хорошого теплоізоляційного шару на кірці електроліту.

Швидкість розчинення є найбільш значимим показником якості глинозему. Промисловий досвід показує, що вузький діапазон часток глинозему +45-100 мкм із зрушенням великої ближче до 100 мкм і вмісту  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> не більше 10 % (останнє  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) забезпечують хорошу змочуваність і задовільну швидкість розчинення глинозему в електроліті. Дуже дрібний глинозем

порошить при транспортуванні і завантаженні в електролізну ванну; дуже крупний глинозем повільно розчиняється в електроліті, осідає на дні ванни і утворює осідання-коржі.

Крім усього іншого, існує ДСТУ на глинозем, по якому товарний глинозем повинен мати мінімальний вміст шкідливих домішок:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ , оскільки усе більш електропозитивні метали виділятимуться на катоді в першу чергу, знижуючи якості отриманого металу. Домішки лужних металів розкладають криолит-глиноземний розплав по реакції  $3\text{K}_2\text{O} + 2\text{AlF}_3 = 6\text{KF} + \text{Al}_2\text{O}_3$ , де  $\text{AlF}_3$  є найбільш дорогою складовою криоліту. При розкладанні  $\text{AlF}_3$  міняється також криолитове відношення у ванні, що наводить надалі до зміни теплоємності електроліту і температури його плавлення. Шкідливою домішкою є вода (п. п. п.) в  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , яка в розплаві диссоціює, і  $\text{H}_2$  виділяється на катоді замість  $\text{Al}$ , при цьому зменшується вихід по струму. Крім того,  $\text{H}_2\text{O}$  взаємодіє з фтористими солями, внаслідок чого виходить фтористий водень ( $\text{HF}$ ) - дуже леткий і шкідливий для здоров'я і довкілля газ.

У Росії на більшості вітчизняних глиноземних заводів глинозем по хімічному складу відповідає сучасним вимогам. По физико-минералогическим характеристиках його можна віднести до глинозему борошністого типу. Американські заводи отримують і застосовують лише пісочний глинозем. Європейські і японські заводи застосовують борошністий, частково пісочний і недообпалений глинозем.

### **1.3 Кількісний і якісний аналіз сировини**

У зв'язку з розширенням сировинної бази глиноземної промисловості за рахунок використання низькоякісної сировини стає актуальною проблема його кількісного і якісного мінералогічного аналізу. Це викликано ще і тим, що речовий склад руди навіть одного родовища відрізняється за змістом основних мінералів і домішкових з'єднань. Для правильної технологічної оцінки такої сировини необхідний физико-хімічний аналіз не лише вихідних продуктів, але і



хімічних сполук, що утворюються в результаті взаємодії їх з лужними розчинами алюмінатів.

На підставі отриманих даних і раніше вивчених закономірностей можна скласти детальну картину поведінки всіх мінералів сировини на різних стадіях технологічного процесу, що дозволяє з'ясувати причини втрат коштовних компонентів і знайти дороги підвищення ефективності їх витягання.

#### 1.4 Класифікація способів здобуття глинозему

В даний час глинозем виробляється на основі гідро-, піро- і пірогідрометалургійних методів. Вибір того або іншого методу визначається фізико-хімічними властивостями алюмовмісних мінералів і домішок, що містяться в бокситі. Нижче на рисунку 1.2 приведені дані зміни розчинності основних оксидів, що містяться в бокситовій сировині, залежно від рН середовища.

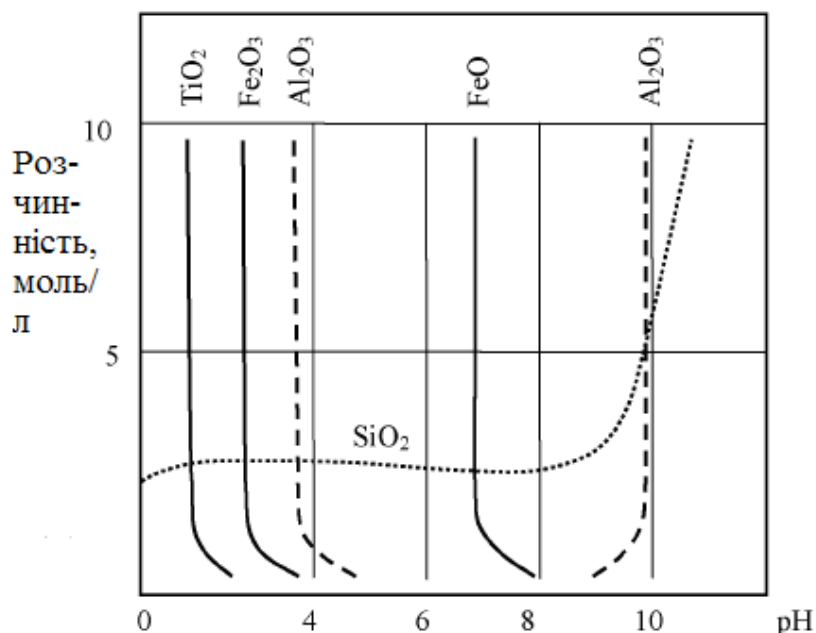


Рисунок 1.2 – Розчинність оксидів деяких металів залежно від рН середовища

З приведених даних виходить, що оксид алюмінію розчинимо як в кислих, так і в лужних розчинах, що пояснюється його амфотерними властивостями і високою спорідненістю до кисню;  $\text{SiO}_2$  - переважно розчинимо в лужних розчинах;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - в кислих. Таким чином, спосіб переробки алюмінієвої руди визначається вмістом основних домішок в ній. В разі наявності великої кількості залізовмісних мінералів в руді, найбільш ефективними вважаються лужні способи, при яких оксид заліза є баластній складовій, оскільки не переходить в розчин, а залишається в червоному шламі. В даний час у всьому світі застосовують лише лужні, пиро- і гідрометалургійні способи виробництва глинозему.

Якщо окрім заліза в руді присутній в достатній кількості і кремній, то можуть використовуватися способи, при яких кремнезем зв'язується в малорозчинні з'єднання. До таких способів відносяться пиро- гідрометалургійні (спікання). Кремній зв'язується в малорозчинне з'єднання -  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ .

У зв'язку з нерентабельністю лужних методів переробки висококремнистої алюмінієвої сировини (каоліну, глини і ін.) із-за великого матеріального потоку, великої витрати вапняку і соди увага дослідників була направлена на розробку кислотних способів. У цих способах досягається перекид алюмінію до складу відповідної алюмінієвої солі з подальшою її термічною обробкою і здобуттям оксиду алюмінію.

Лужні способи здобуття глинозему залежно від якості сировини, що переробляється, підрозділяються на три групи:

I. Гідрометалургійні способи або гідрохімічні:

- 1) спосіб Байера (Миколаївський глиноземний завод);
- 2) гідрохімічний - спосіб Понамарєва-Сажіна; 3) спосіб хімічного збагачення сировини;

II. Пірометалургічні способи:

- 1) спосіб спікання бокситів на основі 2- і 3-компонентної шихти;
- 2) спосіб спікання червоних шламів на основі 3- і 4компонентній шихти;
- 3) спосіб спікання нефелінів;

- 4) спікання бесщелочного алюмосилікатного сировини на основі здобуття спеков, що саморассыпающихся;
- 5) попередня термічна обробка сировини (бокситів, алунітів).

### III. Комбіновані способи:

- 1) спосіб Байер-спікання (паралельний варіант) (Богословський і Уральський алюмінієві заводи);
- 2) спосіб Байер- спікання (послідовний варіант) (Павлодарський глиноземний завод);
- 3) Байер-гідрохімічні способи.

На рисунках 1.3 - 1.7 представлені ряд технологічних схем основних способів здобуття глинозему з різних видів сировини.

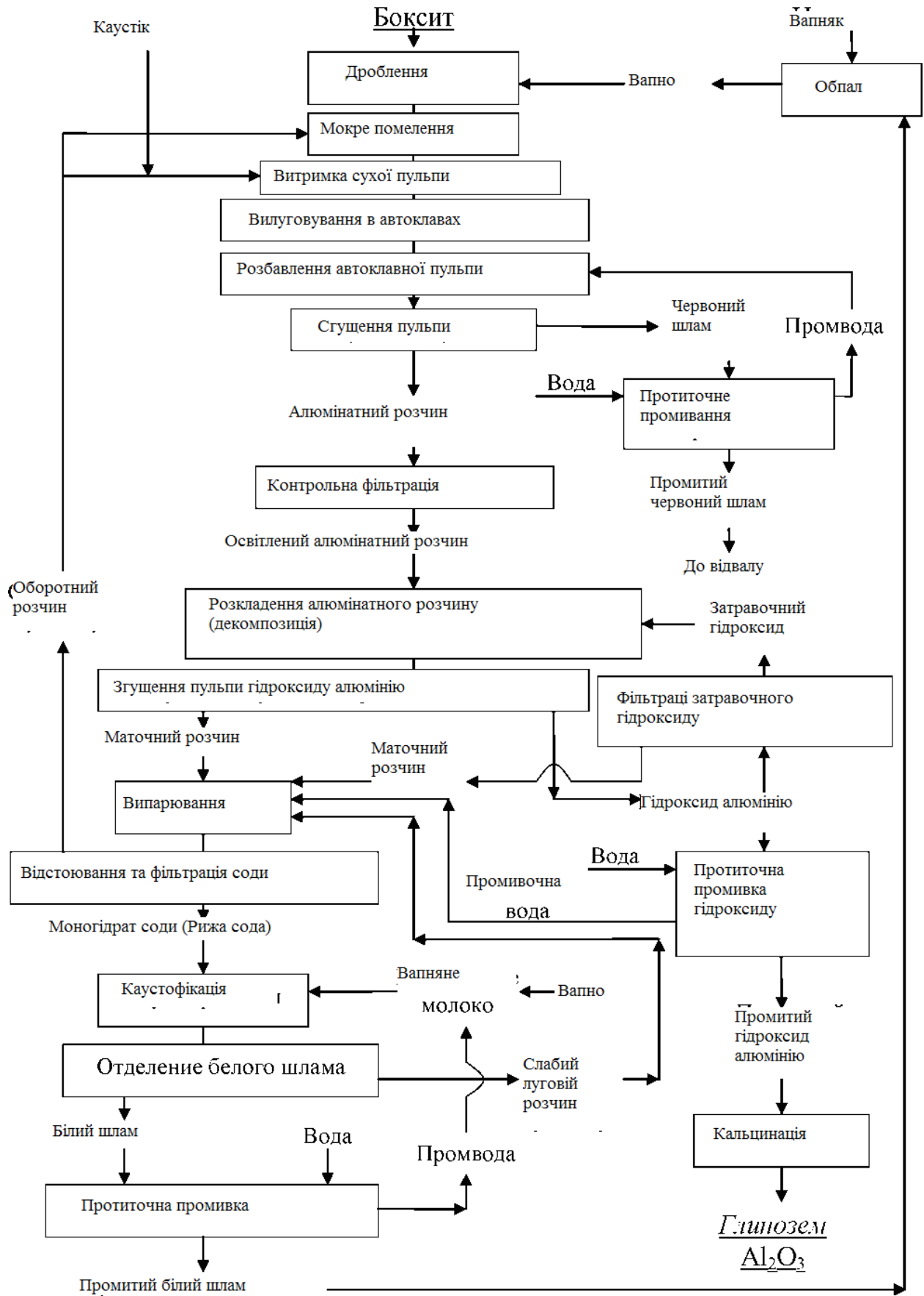


Рисунок 1.3 – Технологічна схема виробництва глинозему з бокситів за способом Байера

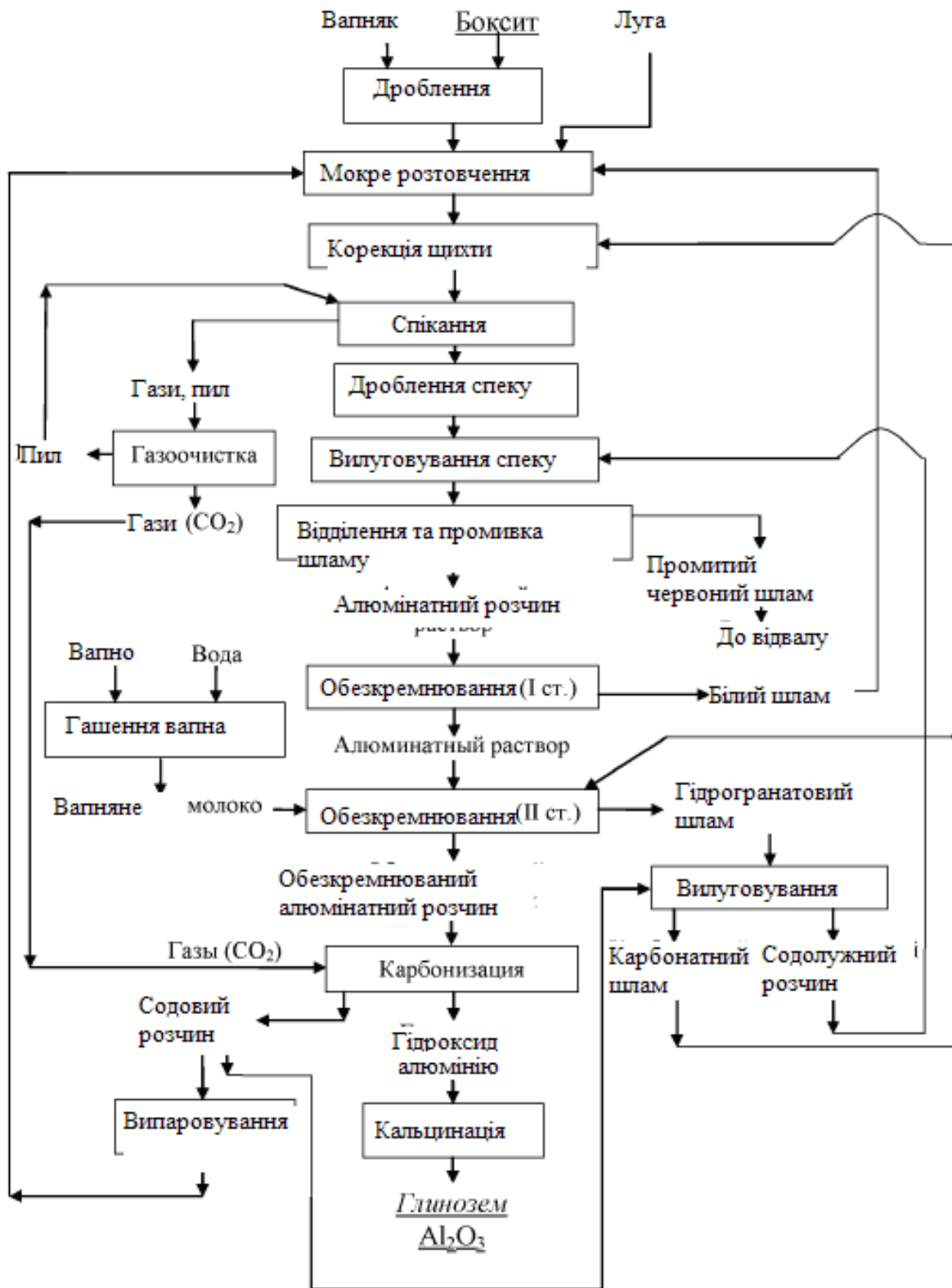


Рисунок 1.4 – Технологічна схема виробництва глинозему з бокситів за способом спікання

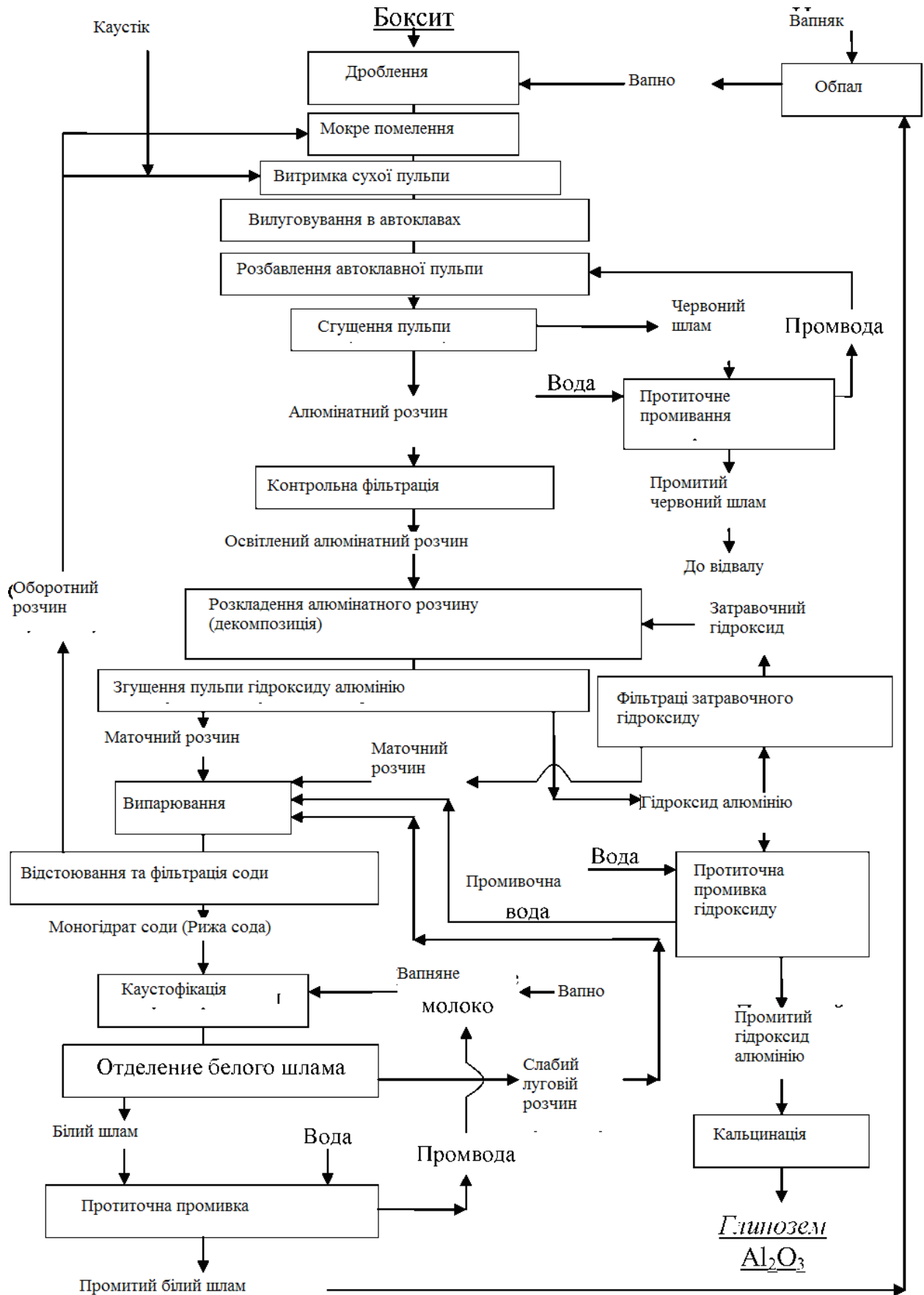


Рисунок 1.5 – Технологічна схема виробництва глинозему за способом Байер-спікання (послідовний варіант) з поверненням пилу на спікання

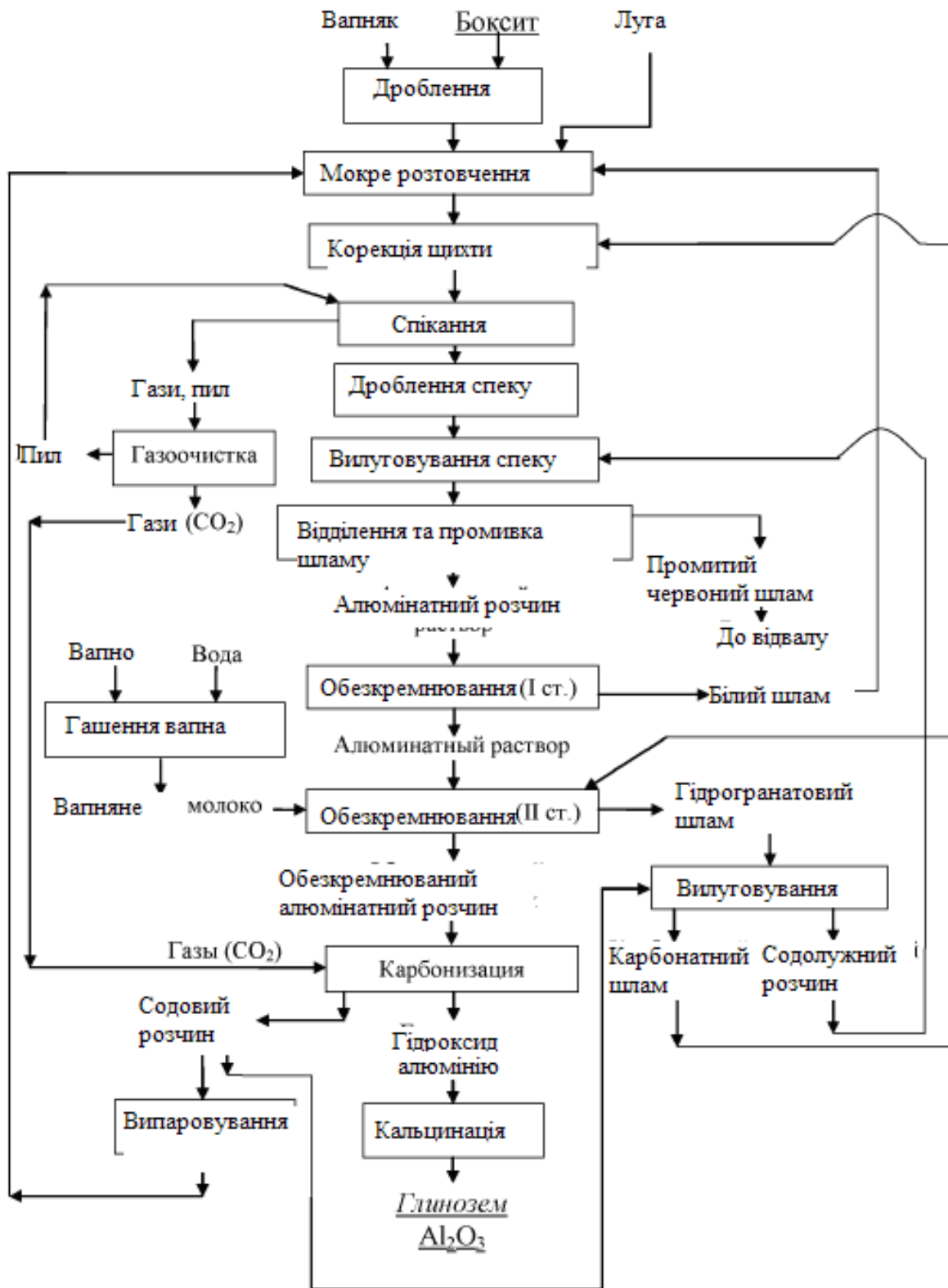


Рисунок 1.6 – Технологічна схема виробництва глинозему за способом Байер-спікання (паралельний варіант)

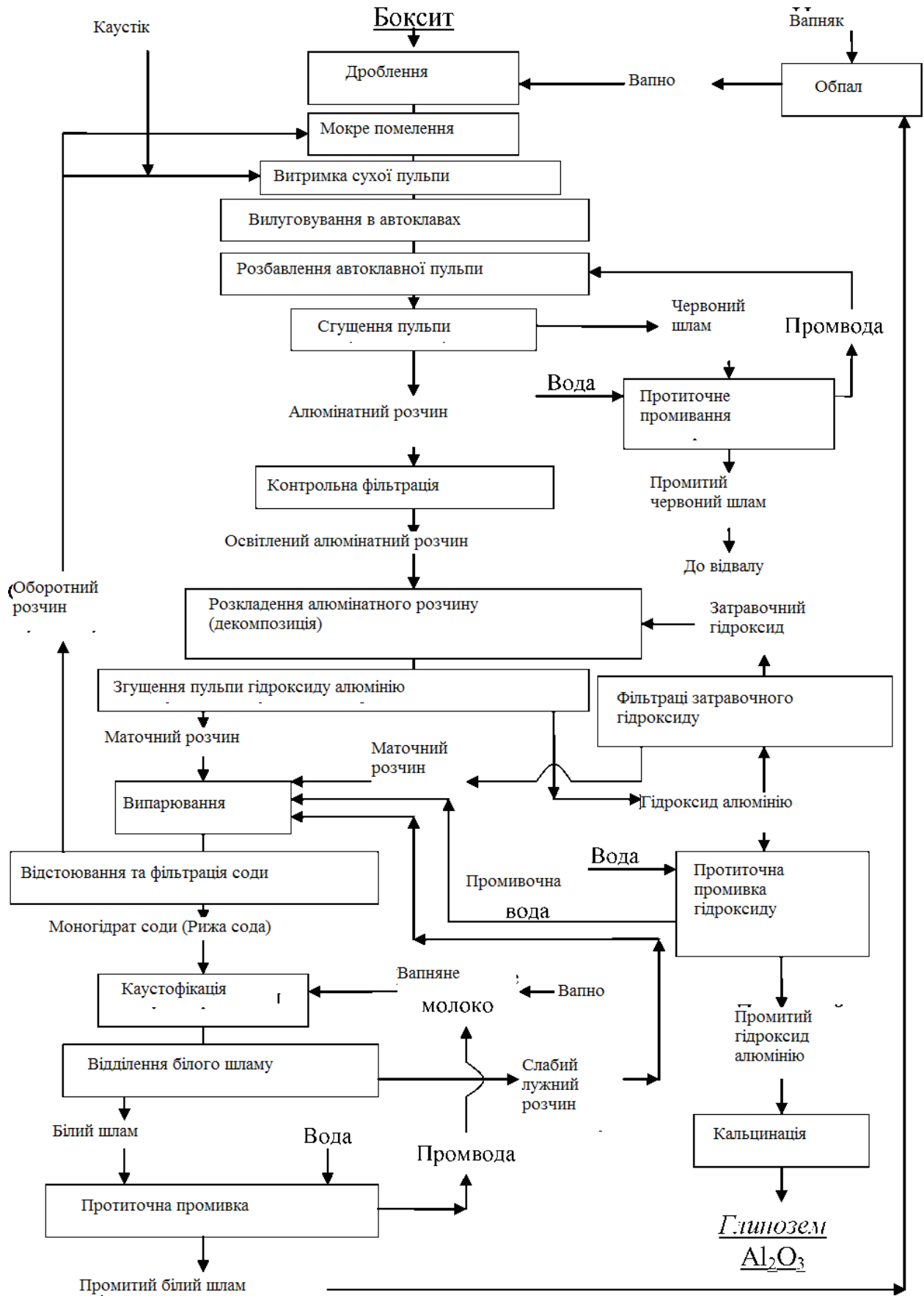


Рисунок 1.7 – Технологічна схема виробництва глинозему за способом нефелінів з вапняком



Аналіз мінерально-сировинної бази бокситів, їх якості і способів кондиціонування показав:

а) Скорочення запасів високоякісної бокситової сировини призводять до необхідності залучення в технологічний процес низькоякісного алюмінійвмісної сировини.

б) Боксити є полімінеральною гірською породою, процес переробки яких залежить від поведінки окремих мінералів. Склад бокситів може сильно варіюватися в залежності від родовища і повинен бути ретельно вивчений для раціонального використання вихідної сировини, визначення ступеня вскриваємості породи, що в свою чергу впливає на умови переробки бокситів за способом Байєра.

в) Залучення у виробництво глинозему низькоякісних алюмінійвмісних руд пов'язане з процесами рудопідготовки, багато в чому визначають подальші шляхи переробки такої сировини. На сьогоднішній день можна виділити 3 основні групи попереднього збагачення бокситів: механічні, фізико-хімічні (зокрема термічна обробка) і мікробіологічні.

г) Для лужних гідрометалургійних процесів діоксид кремнію є однією з найбільш небажаних домішок бокситового сировини. Найбільш поширений у всьому світі (до 90% переробки бокситів), спосіб Байєра, використовується для високоякісних бокситів з високими показниками кремнієвого модуля ( $\mu_{Si} > 7$ ). Для висококремнистих бокситів застосовні способи спікання або комбіновані способи «Байєр-спікання», однак дані технології пов'язані не тільки з високими енерговитратами, а й підвищеними шкідливими викидами в атмосферу. Все це створює передумови для створення економічно ефективного способу переробки низькоякісної бокситової сировини.

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ПЕРЕХОДУ НА ГЕНЕРАТОРНИЙ ГАЗ

### 2.1 Застосування процесу газифікації на металургійних виробництвах

Беручи до уваги постійно зростаючу конкуренцію в сфері видобутку і виробництва глинозему і алюмінію, на сьогоднішній день стоїть питання не тільки вдосконалення технологій, але і зниження енерговитрат і собівартості виробленої продукції. Порівняльний аналіз по енергоспоживанню вітчизняних і зарубіжних заводів показав, що на російських підприємствах витрачається в 7 разів більше енергії [25]. В першу чергу, це пов'язано з якістю сировини, яке на відміну від зарубіжних родовищ, сильно різниться за якісними характеристиками. Однак, якщо ці обставини важко змінити, то процес модернізації технологічного процесу може виявитися досить ефективним способом для зниження капітальних витрат на виробництво. Одним з цікавих напрямків у сфері модернізації глиноземного виробництва є заміна традиційного палива, використовуваного для випалу, термічної активації, процесів спікання. Вибір найбільш раціонального енергоносія дозволить вирішити кілька завдань одночасно: зменшення матеріалоемності, раціональне використання різних видів палив (вугілля, мазуту, природного газу). Даній тематиці присвячено багато науково-дослідних робіт, зокрема в одній з них [54] пропонується в якості технологічного палива використовувати модифіковане буре вугілля з додаванням важких нафтових залишків, які в свою чергу, не є товарним продуктом, а в більшій мірі відносяться до відходів. Це дозволяє збільшити теплоту згоряння при рівних значеннях зольності і вмісту летких речовин.

Глобально процес модернізації обладнання на діючому виробництві завжди пов'язаний з капітальними вкладеннями на стадії ініціації технології, а також з тривалим терміном "прогону", що в свою чергу впливає на економічні показники. Якщо ж розглядати процес поліпшення технології з точки зору застосування більш дешевого палива, то процес модернізації може бути менш

відчутним як для виробництва, так і для керівного складу в цілому, та як відчутний економічний ефект може бути досягнутий за рахунок зміни не всього технологічного ланцюга, а лише окремої її частини.

Одним з провідних напрямків в даній області є застосування дешевого малозольного бурого вугілля в якості палива. Оціночні дані такого впровадження говорять про те, що дане нововведення призводить до зниження частки палива при розрахунку собівартості готової продукції, проте використання твердого палива пов'язано з деякими технологічними особливостями. Зокрема, слід враховувати вплив золи, що утворилася в процесі горіння, на технологічний процес. Крім того, питання транспортування твердого палива для заповнення складів пов'язаний зі значними витратами підприємства.

Перспективним напрямком не тільки в галузі металургії, але розвитку нових енергоресурсів є газифікація вугілля. Одним з основних переваг процесу газифікації є порівняно малий негативний вплив на екологічну обстановку, в результаті утворення меншої кількості шкідливих хімічних сполук, що викидаються в атмосферу, що призводить до зниження витрат на шляху газоочисного обладнання. Також, при використанні генераторного газу в технологічному процесі виключаються операції золовидалення.

Склад і калорійність газу залежить від виду вихідного твердого палива і характеристик окислювача. Так, наприклад, в якості вихідної сировини для газифікації можуть бути використане буре вугілля Кансько-Ачинського басейну, що володіє низькою теплотворною здатністю (14,7-15,9 МДж/кг), високою вологістю (близько 30% і вище) і вмістом летких (близько 45%).

Виділяють 2 основні групи використання бурого вугілля: застосування «облагороженого» бурого вугілля і так зване «пряме» його використання після відповідної підготовки, аналогічної підготовці кам'яного вугілля [87, 93]. Глобально технологія сучасного виробництва стикається з такими проблемами:

1. Для генераторного газу - доцільність його застосування в порівнянні з природним газом, технологічне оформлення і питання транспортування до споживача.

2. Для рідкого або твердого палива - надмірна матеріаломісткість обладнання, обмежені запаси, питання найбільш раціонального використання сировини.

Застосування генераторного газу відомо світу вже давно. Ще в середині ХХ століття генераторний газ був одним з основних джерел енергії [41]. Однак з розвитком технологій видобутку і використання природного газу, використання генераторного газу втратило свою актуальність. Дедалі більшого поширення набули стереотипи про досить високі початкові інвестиційні витрати, що роблять негативний вплив на економічну ефективність проекту, крім цього сюди входять витрати на підготовку вихідної сировини, його газифікацію, подальше очищення газу. Незважаючи на зазначені недоліки, сучасне ставлення до питань газифікації дещо змінилося.

Застосування низькокалорійного генераторного газу в якості палива на сьогоднішній день не набуло широкого поширення, в першу чергу через велику металоємність, і як наслідок капіталомісткість обладнання, малої продуктивності пристроїв, складності контролю за процесом вироблення і подальшого розподілу газу споживачам. Однак дана ситуація починає змінюватися. За останні роки світові виробники досягли вражаючих результатів у сфері газогенерації і висловили ідею серійного виробництва обладнання в широкому потужністному діапазоні. З 2014 року спостерігається тенденція щодо зниження вартості такого обладнання, тим самим лідери даної області намагаються довести досягнення позитивного економічного ефекту при використанні процесу газифікації в народному господарстві, тим самим привернути увагу промисловців.

Очевидним плюсом застосування генераторного газу є перш за все дешевизна біомаси (як основного джерела для газифікації на відміну від рідких видів палива), однак дана технологія дозволяє вирішити ряд суміжних питань: утилізацію деревних відходів, відходів сільськогосподарських виробництв, бурого вугілля, гуми та ін. Крім того, для районів, які не мають доступу до природного газу, газифікація є найбільш раціональним економічно ефективним способом отримання енергії [48].

У зв'язку з постійним розвитком технологій і промисловості, світове споживання енергії має тенденцію постійного збільшення. В таких умовах, широкого поширення набуло газоподібне паливо, а саме природний газ, що відрізняється порівняно низькою собівартістю видобутку [17]. Навіть з огляду на транспортування такого палива до споживача, його собівартість залишається конкурентоспроможною щодо застосування рідкого і твердого видів палива. Крім того, використання природного газу має позитивний технологічний ефект, а саме підвищені значення ККД для установок, можливість застосування спрощеного типу автоматизованій контролю, економічність в обслуговуванні обладнання, відсутність операцій золовидалення, менше в порівнянні з іншими видами палива кількість шкідливих викидів. Незважаючи на безліч переваг, запаси природного газу все ж обмежені, крім того така сировина є цінною не лише для енергетичної, а й для хімічної промисловості в якості об'єкта синтезу широкого спектру сполук. Таким чином, якщо говорити про перспективи розвитку виробництва, підвищення його ефективності, поліпшення екологічності, питання розвитку нових альтернативних джерел і технологій отримання енергії займає лідируючі позиції.

В якості вихідної сировини для процесу газифікації, як вже було описано вище, можуть бути використані різноманітні матеріали, серед яких присутні і шкідливі, небезпечні компоненти (наприклад, гума, пластикові відходи), але після деякої підготовки їх застосування в даному процесі стає можливим. Також, існує можливість одночасного використання різних видів вихідної сировини при так званій змішаній завантаженості реактора, або створення комбінованого палива, що призводить до значного зниження собівартості і економічно виправдано заміщенню природного газу. Згідно з наведеними даними розрахункова економія від такого впровадження становить близько 50% [17].

Калорійності генераторного газу (залежить від типу вихідної сировини, становить приблизно  $7 \text{ МДж/м}^3$ ), як відомо, поступається показникам природного газу ( $32\text{-}33 \text{ МДж/м}^3$ ), однак з огляду на необхідну кількість окислювача для створення газоповітряної суміші (при спалюванні природного

газу потрібно 9 частин повітря, а при спалюванні генераторного близько 2 частин), виходить, що калорійність газоповітряних сумішей приблизно рівні і відповідно можуть бути взаємозамінні.

Гідравлічні режими роботи установок, що працюють на генераторному і природному газі збігаються, а сумарний обсяг продуктів згоряння залишається практично незмінним. Однак варто враховувати факт низькокалорійності генераторного газу, який відіб'ється в кількості пальників, еквівалентних необхідній теплоті згоряння для процесу.

Для роботи газогенераторів важливим параметром є технологія подачі дуття, яка багато в чому визначає екологічні показники процесу. Якщо фронт горіння зміщується по ходу дуття, то зона піролізу знаходиться за зоною горіння, таким чином, газ забруднюється продуктами терморозкладання, а токсичні речовини, сажа і смолисті речовини надходять в атмосферу. При дотриманні принципу «противотока», а саме коли фронт горіння зміщується назустріч дуттю, продукти піролізу потрапляють в зону горіння, де повністю розкладаються на  $H_2$ , CO,  $CO_2$  і  $H_2O$ .

Таким чином, використання генераторного газу здатне забезпечити гідну конкуруючу базу для альтернативних, традиційних видів палива. Його застосування пов'язане не тільки з поліпшенням екологічних показників на виробництвах, а й найбільш раціональним використанням природних палив, розвитком технології газифікації. Особливе значення при проектуванні процесів з використанням низькокалорійного палива має створення печей попередньої термічної обробки на рудниках, що призведе до зниження транспортних витрат, за рахунок видалення вологи і газів з вихідної сировини. З огляду на відносно невисоку теплотворну здатність генераторного газу ( $4,2$ – $6,7$  МДж/м<sup>3</sup>), необхідно було вивчити процес його горіння в умовах проведення стадії термічної активації низькоякісного алюмінійвмісної сировини при його переробці за способом «Термохімія-Байер».

У зв'язку з поставленим завданням за визначенням можливості переходу на генераторний газ в трубчастих обертових печах, використовуваних для проведення стадії термічної активації в способі «термохімія-Байер»

необхідно було провести розрахунки питомої витрати сировини і палива, оптимальних розмірів і параметрів агрегату, а саме кута нахилу, швидкості обертання, швидкості газового потоку. Також, важливими параметрами є температура і час перебування випалюємого бокситу, які залежать від технологічного режиму і визначають розміри апарату [32].

В першу чергу необхідно було визначити температурний режим процесу термічної активації низькоякісного бокситу, для чого були зроблені лабораторні дослідження з випалювання розглянутого матеріалу в муфельній печі. Також, був проведений повний гранулометрический аналіз вихідного бокситу, після чого були підготовлені кілька наважок з пропорційним складом, що дозволило встановити залежність насипної щільності бокситу від температури випалу і визначити необхідні для моделювання печі технологічні параметри. Експериментальні дослідження з визначення насипної щільності проводилися через відсутність виробничих даних.

## **2.2 Дослідження кінетики процесу термічної активації бокситу**

Експериментальні дослідження по термічній активації проводились на низькоякісних боксити Вежа-Вориквінское родовища Середнього Тимана розміром 7 мм. Фракційний склад по крупності вихідного бокситу виконувався на аналізаторі ситовому ударному АС-200У (РОТАП) (НПК «Механобр-Техніка») (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 -Аналізатор ситової ударний АС-200У (РОТАП)

Навішування бокситу містилася на верхнє сито і включався електромагнітний привід. Після закінчення певного часу зважувалася маса кожного класу крупності і визначався його вихід (таблиця 2.1). Графічне зображення результатів представлено на рисунку 2.2.

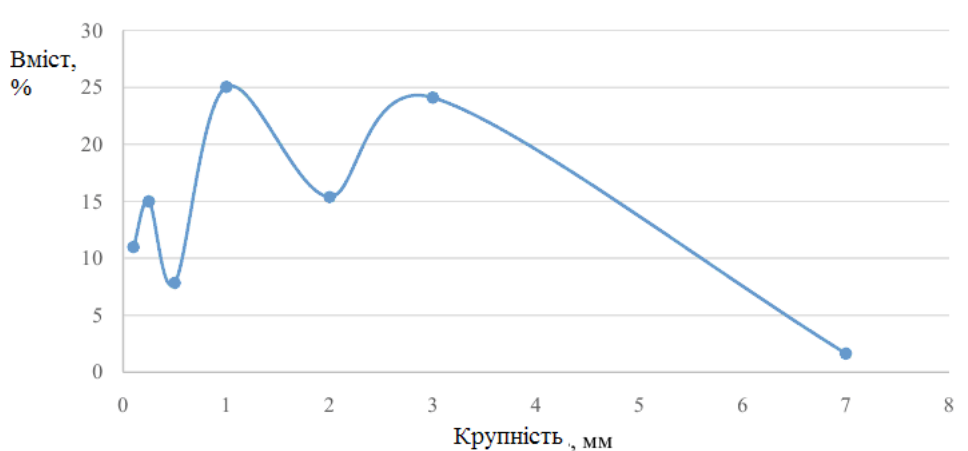


Рисунок 4.2 - Фракційний склад вихідного бокситу

Проміжні результати показали, що в бокситі присутня значна кількість частинок, що володіють значущістю більше 3 мм. Для подальшого вивчення процесу зразки вихідного бокситу були піддані подрібненню до крупності 1 мм.

Таблиця 2.1-Фракційний склад вихідного бокситу

Розмір часток мм	-0,25	+0,25-0,50	+ 0,50-1	+1-2	+2-3	+3-7	+7	Σ
Вихід класу, %	11,0	15,0	7,8	25,0	15,4	24,1	1,6	100

Хімічний склад досліджуваного бокситу був визначений за допомогою растрової електронної мікроскопії та рентгеноспектрального мікроаналізу (РЕМ і РСМА) (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 - Хімічний склад досліджуваних зразків бокситів Вежа-Вориквінское родовища

месторождения							
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	TiO <sub>2</sub>	CaO	ППП	μ <sub>Si</sub>
42,1	13,54	21,04	2,4	2,27	0,34	13,17	3,11



Зразки бокситу в пропорційному процентному співвідношенні з від вихідного, подрібнювалися в агатовій ступці до крупності -1 мм, після чого піддавалися випалу на нікелевому піддоні в муфельній печі (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 - Термічна активація бокситу на нікелевому піддоні

Контроль і регулювання температурного режиму в муфельній печі здійснювали за допомогою хромель-алюмелевого термоелектричного перетворювача, з підключеним до нього переносним потенціометром. Робота потенціометра заснована на компенсаційному методі вимірювання термоелектрорухомої сили, при цьому немає струмового навантаження в ланцюзі ТЕП, що дозволяє виключити падіння напруги в ланцюзі і виключити похибки при вимірюванні температури. З метою більш точної підтримки температурного режиму в муфельній печі подача напруги на її нагрівальний елемент здійснювалася регулятором напруги РНО.

Після досягнення певної температури випалу аж до 1000 °С зразки витягалися з простору печі, охолоджувалися і використовувалися для визначення насипної щільності. Значення насипної щільності визначається за допомогою приладу волюмометрії (рисунок 2.4).

Відповідно до стандарту [18], згідно з яким обпалений при певній температурі матеріал прокидається через сито (розмір комірки 1 мм) з висоти 10 см в металевий циліндр, відомого обсягу. Надлишки матеріалу знімаються з циліндра плоскою шайбою, і насипна щільність визначається по відношенню

маси до займаному їй обсягом (рисунок 2.5). Результати експериментів і розрахунків зведені в таблиці 2.3



Рисунок 2.4 - Вимірювання насипної щільності обпаленого бокситу на волюмометрії



Рисунок 2.5 - Порядок визначення насипної щільності матеріалу

Таблиця 2.3 – Насипна щільність бокситу при різній температурі випалу

$t, ^\circ\text{C}$	25	85	100	230	320	400	450	500	600	700	826	900	1000
$\rho, \text{т/м}^3$	1,36	1,36	1,36	1,36	1,33	1,31	1,31	1,31	1,26	1,26	1,27	1,27	1,31

Графічна функціональна залежність зміни насипної щільності бокситу, обпаленої при різній температурі, представлена на рисунку 2.6.

Згідно з графіком, збільшення температури, починаючи з  $100^\circ\text{C}$ , сприяє зменшенню показника насипної щільності досліджуваного бокситу. Це пояснюється випаровуванням зовнішньої вологи, що входить до складу бокситу. Після досягнення  $230\text{-}320^\circ\text{C}$ , спостерігається тимчасова сталість насипної щільності за рахунок повністю віддаленої зовнішньої вологи і недостатньою температурою для початку структурних перетворень в мінералах, що входять до складу бокситу. Потім при температурах  $320\text{-}600^\circ\text{C}$

відбувається поступова зміна структури мінералів: розкладання беміту і діаспору, до настання рівноваги. Подальше збільшення температури призводить до зростання насипної щільності матеріалу. Переходячи через поріг в 700 ° С, в структурі мінералів бокситу відбуваються зміни, а саме: окислення двохвалентної форми заліза, розкладання сполук заліза і каолініту, що призводять до утворення інших сполук. Крім цього, висока температура проковує руйнування більш міцних структур групи шамозітов.

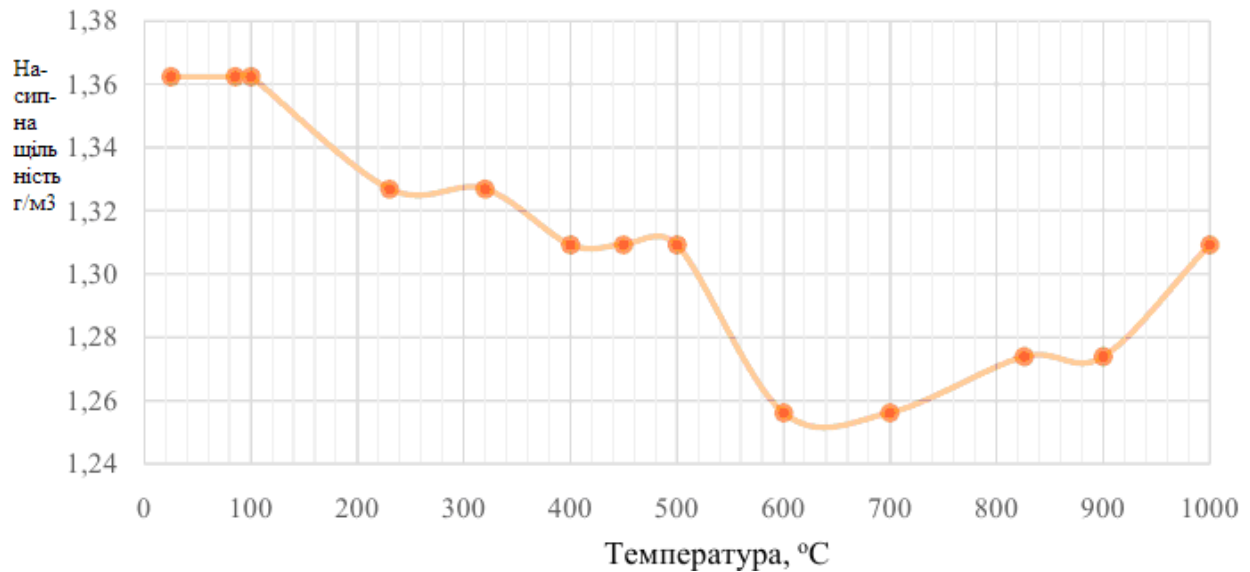


Рисунок 2.6 – Динаміка зміни насипної щільності по мірі росту температури випалу

### 2.3 Розрахунок процесу горіння і печі для термічної активації бокситів

При вивченні процесу термічної активації слід враховувати безліч факторів, які на підставі вихідних положень комплексної теорії роботи металургійних печей Д. А. Діомідовського, складаються не менше ніж з п'яти процесів: технологічний, енергетичний, теплообмінний, аеромеханічний і механічний.

Таким чином, для розгляду процесу термічної активації бокситів в трубчастих обертових печах спочатку були визначені основні технологічні особливості використовуваного для випалу матеріалу (технологічний процес). При випалюванні з шихти в активований продукт переходять всі компоненти, крім  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ , які повністю йдуть в газу (аеродинамічний і теплообмінний

процеси). В процесі термічної активації бокситу оксид заліза (II) окислюється до оксиду заліза (III). Як було зазначено раніше, при підвищенні температури каолінит зазнає деякі структурні перетворення: створення метакаолініта, з подальшим перетворенням його в термодинамічно стійкий мулліт, а також отримання гамма модифікації  $Al_2O_3$  і аморфний  $SiO_2$ .

У глиноземній промисловості для проведення таких пірометалургійних процесів як спікання і кальцинація використовуються два типи печей. Це добре себе зарекомендували і мають широке застосування трубчасті обертові печі і більш прогресивні, але менш поширені печі киплячого шару (КС) для кальцинації глинозему. Для термічної активації найбільш підходящими є трубчасті обертові печі. За аналогією з розрахунком розмірів печі спікання або кальцинації визначальними є такі величини:

*1) Попередній розрахунок вуглецевого палива.*

При розрахунку процесу горіння палива слід враховувати наступні показники: кількість повітря, що надходить на горіння, склад і кількість газоподібних продуктів, які виникають, теплотворність палива, температура горіння. Як правило, розрахунок ведеться або на 1 кг твердого та рідкого палива, або на  $1\text{ м}^3$  газоподібного робочого палива. Найбільш швидко, але з меншою точністю можна виконати розрахунки графічним методом. Більш точним є аналітичний метод, але дуже часто виконуваний без урахування спільного протікання реакцій дисоціації діоксиду вуглецю і пари води. Для обліку спільного протікання даних реакцій академіком Н.С. Курнаковим був запропонований графоаналітичний метод, який є найбільш точним, але на жаль, важко реалізований з використанням програми MSExcel. Нами була поставлена і виконана задача аналітичного рішення системи нелінійних рівнянь, які не мали спочатку ознаки збіжності.

Для моделювання процесів горіння в трубчастій обертовій печі був обраний генераторний газ, отриманий зі сланцю, наступного складу, %<sub>об.</sub> (таблиця 2.4).

Приймаємо вологість робочого палива  $W = 10\text{ г/м}^3$  та перераховуємо на склад вологого газу в % за обсягом (таблиця 2.5).

Таблиця 2.4 - Склад сухого генераторного газу

Компонент	H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Σ
Состав сухого г. газа, % об.	8,2	7,6	15	0,8	1,1	63,1	2,5	0,3	0,2	0,2	0,4	0,3	0,3	100

Таблиця 2.5 - Склад робочого палива

Компонент	H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Σ
Склад вологого газу, % об.	8,1	7,5	14,8	0,8	1,1	62,3	2,5	0,3	0,2	0,2	0,4	0,3	0,3	1,2	100

При спалюванні газоподібного палива, коефіцієнт надлишку повітря, як правило, приймається в межах 1,05-1,10 [21]. Для наведених нижче розрахунків коефіцієнт надлишку повітря був узятий  $\alpha = 1,05$ . Основні розрахункові параметри процесу горіння зведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 - Параметри процесу горіння

Характеристика	Значення
Теплотворна здатність $Q_n^p$ , МДж/м <sup>3</sup>	4,44
Коефіцієнт надлишку повітря, $\alpha$	1,05
Теоретична кількість повітря $L_{теор.}$ , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	1,05
Кількість газоподібних продуктів горіння $V_g$ , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	1,98
Склад продуктів горіння, в об. дол. ∴	
CO <sub>2</sub>	0,151- (1-x)
CO	0,151x
H <sub>2</sub> O	0,106- (1-y)
H <sub>2</sub>	0,106y
O <sub>2</sub>	0,076x+0,053y+0,0053
N <sub>2</sub>	0,733
SO <sub>2</sub>	0,004
Примітка - x і y - коефіцієнти дисоціації відповідно CO <sub>2</sub> і H <sub>2</sub> O.	

З огляду на те, що калориметрична температура горіння практично недосяжна через витрати теплової енергії, що йде на часткову дисоціацію продуктів горіння, слід розрахувати теоретичну температуру або температуру продуктів згоряння палива при частковій дисоціації діоксиду вуглецю і водяної пари [44]. Для визначення теоретичної температури процесу горіння, необхідно враховувати, що в продуктах згоряння присутні не тільки  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ , а й  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ . При цьому повинна встановитися рівновага (рисунок 2.7):

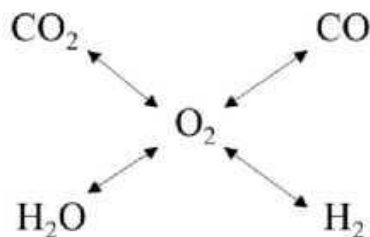


Рисунок 2.7 – Динамічна рівновага між основними частинами

Отже, при вирішенні задачі необхідно взяти до уваги наявність трьох невідомих: температури, ступеня дисоціації діоксиду вуглецю і пари води, яким відповідають три рівняння (2.1):

$$\begin{cases} Q_{\text{н}}^{\text{p}} = t \cdot \sum V_i \cdot C_i \\ \lg K_1 = f_1 \cdot (t) \\ \lg K_2 = f_2 \cdot (t) \end{cases} \quad (2.1)$$

Вирішення цієї системи може бути досягнуто графо-аналітично способом, запропонованим Н.С. Курнаковим. Переймаючись різними значеннями коефіцієнта дисоціації, визначають яка відповідає певному значенню коефіцієнта дисоціації температуру продуктів згоряння. За отриманими точкам будують криву в координатах ступінь дисоціації - температура. Потім, задаючись значеннями температур, визначають з рівняння рівноваги значення коефіцієнтів дисоціації. Перетин двох кривих дає значення температури та ступеня дисоціації, що задовольняють системі рівнянь. [26, 52, 77].

Проілюструємо пропонований нами аналітичний метод розрахунку теоретичної температури горіння [79]:





Віднімаючи з реакції (2.3) реакцію (2.2) отримуємо:



Константи рівноваги реакцій (2.2) і (2.4) рівні:

$$K_1 = \frac{(CO_2)^2}{(CO)^2 \cdot (O_2)} = \frac{(1-x)^2 \cdot (1+0,5CO_2 \cdot x + 0,5H_2O \cdot y)}{x^2 \cdot (0,5CO_2 \cdot x + 0,5H_2O \cdot y + O_2)} \quad (2.5)$$

$$K_3 = \frac{(CO) \cdot (H_2O)}{(CO_2) \cdot (H_2)} = \frac{x \cdot (1-y)}{(1-x) \cdot y} \rightarrow y = \frac{x}{K_3 \cdot (1-x) + x} \quad (2.6)$$

де  $x$ ,  $y$  - відповідно до ступеня дисоціації  $CO_2$  та парів  $H_2O$

Введемо нову величину ( $z$ ) і складемо систему рівнянь, що володіє ознакою збіжності, для вирішення якої скористаємося методом послідовних наближень (формули (2.7)).

1. Приймаємо значення  $x_1$  і знаходимо

$$y_1 = \frac{x_1}{K_3 \cdot (1-x_1) + x_1}$$

2. Обчислюємо

$$z_1 = \frac{(1+0,5CO_2 \cdot x + 0,5H_2O \cdot y)}{(0,5CO_2 \cdot x + 0,5H_2O \cdot y + O_2)}$$

але так як

$$z_1 = \frac{K_1 \cdot x^2}{(1-x)^2},$$

то

(2.7)

$$x_2 = \frac{-z_1 \pm \sqrt{K_1 \cdot z_1}}{(K_1 - z_1)}$$

і так далі до заданого значення  $[\pm \Delta x] = x_n - x_{n-1}$ .

Шукану теоретичну температуру процесу горіння при даній тепломісткості можна знайти за формулою (2.8), скориставшись для цього значеннями середніх теплоємностей газів для різних температурних інтервалів, наведених у вигляді таблиць в довідковій температурі:

$$t = \frac{i_0}{\sum \bar{C}_i \cdot V_i} \quad (2.8)$$

Нами запропоновано скористатися наведеною нижче формулою (2.9):

$$t = \frac{i_0}{\sum V_i \left( a_i + \frac{1}{2} b_i (T + 273) + \frac{c_i}{273T} \right)}, \quad (2.9)$$

де  $i_0$  - тепломісткість продуктів горіння, кДж/м<sup>3</sup>;

$V_i$  - об'ємна доля продуктів сгоряння або його парціальний тиск;

$c_{i(\text{газа})} = a_i + \frac{1}{2} b_i (T + 273) + \frac{c_i}{273T}$  - середня теплоємність продуктів

сгоряння в інтервалі температур від 273 К до Т К, в кДж/(м<sup>3</sup> К);

$a_i, b_i, c_i$  - коефіцієнти з довідника термодинамічних величин.

Таким чином, запропонований алгоритм знаходження теоретичної температури процесу горіння зводиться до чисто аналітичного рішення, що



Визначення теоретичної температури процесу горіння, одержуваної в результаті спалювання генераторного газу показала можливість проведення термічної активації в способі «Термохимия-Байер».

Беручи дані заводської практики для діючих трубчастих обертових печей для отримання бокситового спека, як найбільш близький для досліджуваного процесу, було визначено попередню витрату генераторного газу, який для термічної активації 100 кг бокситу склав 84,5 м<sup>3</sup>.

### 2) Діаметр печі

Вибір діаметра трубчастої обертової печі пов'язаний з аеромеханічний процесом, який впливає як на теплообмін в печі, так і на технологічні параметри термічної активації бокситів. При прийнятому порівняно невисокому пилеунос 20% швидкість газів в печі повинна бути помірною, тому приймаємо її рівною 5 м / сек. Діаметр визначаємо за формулою (4.10):

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{V_t}{\omega_t}}, \text{ м} \quad (2.10)$$

де  $V_i$  - середній об'єм газів в печі, м<sup>3</sup>/с;

$\omega_i$  - швидкість газів в печі, м/с.

Згідно з розрахунками діаметр склав 2,43 м. Для подальших обчислень з проектування трубчастої печі взяли  $D = 2,5$  м, що відповідає конструкційним особливостям.

Зовнішній діаметр, з огляду на товщину футерування, що складається з 250 мм шамотної цегли, 30 мм теплоізоляції і 20 мм кожуха складе (формула (2.11)):

$$D_{\text{Нар}} = 2,5 + 0,25 \cdot 2 + 0,03 \cdot 2 + 0,02 \cdot 2 = 3,1 \text{ м.} \quad (2.11)$$

### 3) Довжина печі

Розрахунок довжини трубчастої обертової печі обумовлений тими фізико-хімічними процесами, що визначають роботу апарату по зонам: сушіння

З огляду на те, що для кожної з перерахованих зон характерні певні процеси, то при розрахунках враховуються такі параметри:

- теплоспоживання матеріалу  $q$ , ккал/т;
- склад газової фази при протіканні технологічного процесу з урахуванням горіння палива;
- коефіцієнт заповнення печі матеріалом;
- швидкість видалення вологи;
- умови теплообміну.

Сумарна довжина печі розраховується з умов теплообміну по зонам і перевіряється потім за часом перебування матеріалу в печі. Розрахунок довжини печі ведеться з урахуванням зазначених параметрів.

**Отримані технологічні параметри і тепловий баланс печі.** Отримані технологічні параметри печі дозволили скласти тепловий баланс процесу термічної активації бокситу в трубчастій обертовій печі (таблиця 2.7) і перевірити достовірність прийнятої витрати генераторного газу.

Таблиця 2.7 - Статті приходу і витрати тепла в трубчастій обертовій печі, що працює на генераторному газі

Прихід тепла					Витрата тепла				
№	Статті приходу тепла	ккал	МДж	%	№	Статті витрати тепла	ккал	МДж	%
1	Тепло від горіння палива	89746	376,04	94,1	1	Фізичне тепло обпален.бокситу	46108	193,19	48,4
2	Фізичне тепло шихти	1880	7,88	2,0	2	Фізичне тепло пилу	4129	17,30	4,3
3	Фізичне теплоповітря	549	2,30	0,6	3	Теплоендотермічних процесів	18830	78,90	9,8
4	Фізичне тепло палива	545	2,28	0,6	4	Тепло відход. газів	17448	73,1	18,3
5	Тепло екзотермічних процесів	2616	10,96	2,7	5	Втрати в зовнішнє середовище	8955	37,52	9,4
					6	Нев'язка балансу	135	0,57	0,1
Разом		95335	399,45	100	Разом		95335	399,45	100

При порівнянні статей надходжень і витрат, нев'язка балансу склала:

У таблиці 2.8 зведені технічні показники трубчастої обертової печі для термічної активації бокситів.

Таблиця 2.8 – Технічні показники трубчастої обертової печі для термічної активації бокситів.

Внутрішній діаметр печі, м	2,5
Зовнішній діаметр печі, м	3,1
Довжина печі, м	46
Кут нахилу барабану, град.	2
Число обертів барабану в хвилину	0,8
Виробництво печі по бокситу, т/добу	300
Витрата палива (умовного), м <sup>3</sup> /годину	253500
Температура газів, що відходять, °С	250
Температура термоактивованого бокситу на виході з печі, °С	800
Вихід продуктів по відношенню до сухого бокситу, % випаленого бокситу	87,1
пилу	24,96

Креслення трубчастої обертової печі для термічної активації бокситу з виділеними зонами і характерними для цих зон температурами твердої та газової фаз наведена на рисунку 2.8.

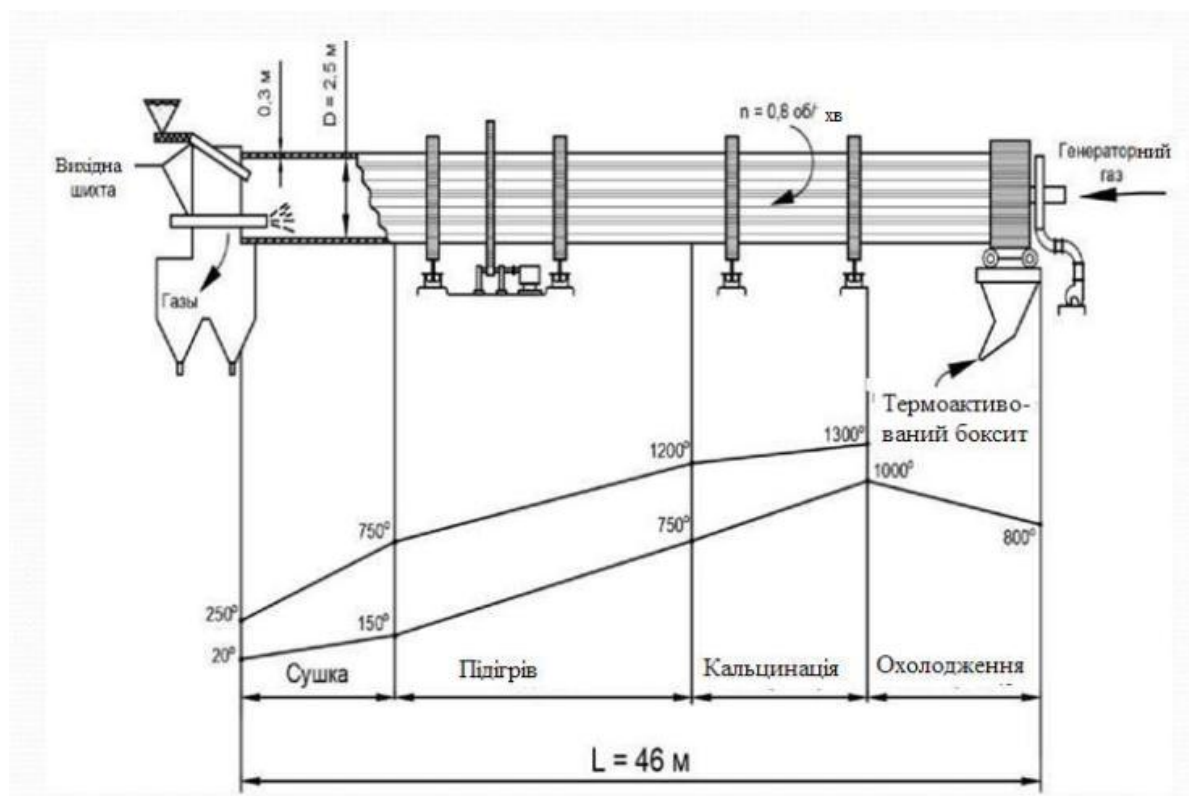


Рисунок 2.8- Креслення трубчастої обертової печі для термоактивації бокситів

1. Доведено принципову можливість застосування низькокалорійного синтез-газу в промислових печах для таких процесів глиноземного виробництва, як: спікання шихти, кальцинація глинозему і вапняку, який активує випал бокситу з позиції досягнення необхідного температурного режиму для зазначених процесів і відсутності зольного залишку при спалюванні газоподібного палива.

2. Зміна такого важливого технологічного параметра як насипна щільність пекучого бокситу носить складний екстремальний характер, який можна пояснити змінами, що відбуваються з боксітообразуючими мінералами, характерними для кожної зони печі: для зони сушки-випаровування зовнішньої вологи, для зони підігріву - видалення кристаллогидратної вологи і початкова розкладання мінералів, таких як беміт і діаспор, для зони кальцинації - розкладання основних кремнійвмісних мінералів (каолініт, шамозит), окислення двовалентних форм заліза, що призводить до утворення інших сполук.

3. Для розрахунку температури процесу горіння палива, незалежно від його агрегатного стану була складена система нелінійних рівнянь, що володіють ознакою збіжності і дозволяють скористатися методом послідовних наближень, а при складанні видаткової частини теплового балансу використовувалися не таблиці середніх питомих теплоємностей ( $c$ ), а термодинамічні дані зміни теплоємності в залежності від температури  $c_p = f(T)$ :

$$\bar{c}_i = \frac{\Delta H_T^0}{T_2 - T_1} = a_i + \frac{1}{2} \cdot b_i (T_2 - T_1) + c_i \cdot \frac{1}{T_2 \cdot T_1}$$

4. Грунтуючись на теорії комплексної роботи промислових печей, запропонованої вперше Дмитром Олександровичем Діомідовським, було розроблено аналітичний алгоритм розрахунку трубчастої обертової печі для випалення низькоякісних бокситів, який дозволяє робити моделювання процесу термічної активації сировини за допомогою стандартних програмних пакетів (MSExcel).

### 3 ОЦІНКА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

#### 3.1 Оцінка екологічних показників процесу термічної активації

Еволюція використання палива в печах для спікання бокситів відбувалася в наступному порядку: спочатку застосовувалося вугілля, попередньо подрібнене до пилоподібного стану, потім з розвитком нафтопереробної промисловості з'явилася можливість використання мазуту як палива, в даний час особлива увага приділяється процесу газифікації країни і використання природного газу для промислових потреб.

Для трубчастих обертових печей, що працювали на пиловугільному паливі пірометричний коефіцієнт знаходився в діапазоні 65-80%, перехід на природний газ дозволив збільшити цей показник до 85%. Таким чином, заміна традиційного палива на газоподібне підвищує ефективність роботи теплового агрегату.

Говорячи про газоподібне паливо, найчастіше мається на увазі природний газ, однак в умовах відсутності подачі газу, його вибір є недоцільним. У роботі, що проводиться об'єктом дослідження був генераторний газ або синтез - газ (див. розділ 2), так як теоретично даний вид палива вважається екологічно чистим (таблиця 3.1) [83].

Таблиця 3.1 - Склад димових газів при спалюванні різних видів палива

Вид палива	Питомі показники виділення шкідливих речовин, кг/т, кг/тис.м <sup>3</sup>			
	тверді частинки	Оксид сірки	Оксид вуглецю	Оксид азоту
Вугілля донецькі	67,6	50,4	49,0	2,21
Кузнецькі	53,6	7,2	51,3	2,23
Карагандинські	75,2	14,4	43,9	1,97
Воркутинські	67,2	14,4	45,5	2,17
Підмосковні	70,4	48,6	25,8	0,95
Торф	32,6	1,8	24,0	1,25
Дрова	21,2	-	30,1	0,78
Мазут високосірчистий	6,0	54,9	37,7	2,46
Мазут малосірчистих	5,6	5,9	37,7	2,57
Пічне побутове паливо	6,0	56,8	37,7	2,61
Газ	-	-	12,9	2,16

Запропоноване газоподібне паливо виходить в результаті процесу газифікації твердих матеріалів (в нашому випадку сланцю) в газогенераторі.

Генераторний газ складається з таких горючих газів як: CO; H<sub>2</sub> і C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>, інертних газів, серед яких переважають CO<sub>2</sub> і N<sub>2</sub>, також до складу входять пари води і невелика кількість твердих частинок. Теплотворна здатність і жаропродуктивність генераторного газу залежить від виду вихідної сировини і типу дуття, і відрізняються невисокими значеннями щодо традиційних видів палив (3,6 - 10,7 МДж/кг) [22]. Таким чином, відносно низькі температури горіння генераторних газів забезпечують зниження вмісту оксидів азоту в продуктах згоряння.

З точки зору охорони навколишнього середовища застосування технології газифікації з отриманням синтез - газу носить порівняно малий характер негативного впливу на екологічну обстановку, так як вихідна сировина і продукти реакцій знаходяться у відносно низькотемпературних зонах (окислення і відновлення), де до термічного розкладання піддаються поліциклічні ароматичні вуглеводні, включаючи діоксини. Крім того, при спалюванні синтез - газу утворюється менша кількість димових газів, які відповідно вимагають менших витрат на очистку. А 100% конверсія вуглецю відповідає мінімальному недопалу палива.

Склад обраного генераторного газу наводиться в розділі 2 магістерської роботи. При роботі печей на генераторному газі шкідливі викиди від печі виробляються в тих же кількостях, що й від природного газу - CO і NO<sub>x</sub>, але їх концентрації нижче, паливо спалюється без залишку. Розрахунок викидів забруднюючих речовин (SO<sub>2</sub> і NO<sub>x</sub>) проводився відповідно до методиками [8, 51].

*Розрахунок викидів забруднюючих речовин*

$$B_{ycm} = V \rho = 10560 \cdot 1,259 = 13300 \text{ кг/год} = 13,3 \text{ т/год} = 3694 \text{ г/с} \quad (3.1)$$

Річний коефіцієнт навантаження визначається за формулою (3.2)

$$K = \tau / 8760 = 5928 / 8760 = 0,67 \quad (3.2)$$

де  $\tau$  - час роботи печі, годин/рік.

Витрата палива за рік визначається за формулою (3.3)

$$B = B_{уст} 3600 \tau = 13,3 \cdot 5928 = 78800 \text{ т/рік} \quad (3.3)$$

За технологічними розрахунками утворюється 1,71 кг сірчистого ангідриду на годину. Звідси кількість викидів сірчистого ангідриду  $M_{so_2}$  (г/с) буде:

$$M_{so_2} = 1,71 \cdot 1000 / 3600 = 0,48 \text{ г/с}$$

Валова кількість викидів сірчистого ангідриду  $M_{so_2}$  (т/рік) (формула (3.4)):

$$M_{so_2} = 0,48 \cdot 3600 \cdot 5928 \cdot 10^{-6} = 10 \text{ т/рік} \quad (3.4)$$

Масова концентрація сірчистого ангідриду  $C_{so_2}$  (г/м<sup>3</sup>) у вихідних газах

$$C_{so_2} = \frac{10^3 \cdot M_i}{B_{уст} \cdot V_z \cdot (1 - \frac{q_4}{100})} = \frac{10^3 \cdot 0,48}{3694 \cdot 6,46 \cdot (1 - 0,07)} = 0,022 \text{ мг/м}^3 \quad (3.5)$$

де  $V_z$  - об'єм газів, що відходять при спалюванні 1 м<sup>3</sup> палива в печі.

Гранично допустима концентрація (ГДК) сірчистого ангідриду в повітрі населених пунктів становить 0,05 мг/м<sup>3</sup> (середньодобова), в повітрі робочої зони 10 мг/м<sup>3</sup> [8]. Таким чином, отримане значення викидів сірчистого ангідриду не перевищує ГДК.

Розрахункова кількість оксиду азоту  $M_{NOx}$  (г / с) (формула (3.6))

$$M_{NOx} = B \cdot K_{NO_2} \left(1 - \frac{q_4}{100}\right) \cdot \beta_1 \cdot (1 - \varepsilon \cdot r) \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot \varepsilon_2 \cdot \left(1 - \eta_{аз} \cdot \frac{n_0}{n_k}\right) \cdot k_n, \quad (3.6)$$

де  $B$  - витрата умовного палива на годину,

$K_{NO_2}$  - коефіцієнт, що характеризує вихід оксидів азоту:

$$\left( K_{NO_2} = 7,5 \cdot \frac{D_\phi}{50 + D_n} = 7,5 \cdot \frac{500}{50 + 500} = 6,82 \right);$$

$q_4$  - втрати тепла від механічної неповноти згоряння палива, 0,27%;

$\beta_1$  - коефіцієнт, що враховує вплив на вихід оксиду азоту якості палива, що спалюється, дорівнює 1;

$\beta_2$  - коефіцієнт, що враховує конструкцію пальників, для вихрових дорівнює 1;

$\beta_3$  - коефіцієнт, що враховує вид шлаковидалення, при твердому дорівнює 1;

$\varepsilon_2$  - коефіцієнт, що характеризує зменшення викидів оксидів азоту при подачі частини повітря крім основних пальників за умови збереження надлишку повітря, дорівнює 1;

$r$  - ступінь рециркуляції димових газів, дорівнює 0;

$\eta_{аз}$  - частка оксиду азоту, вловлюється в азотоочістній установці;

$n_0$  і  $n_k$  - тривалість роботи азотоочістної установки, годин/рік;

$k_n$  - коефіцієнт перерахунку.

$$M_{NO_x} = 1,6 \cdot 6,82 \cdot (1 - 0,07/100) \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,278 = 3,03 \text{ г/с}$$

Валова кількість викидів оксиду азоту  $M_{NO_x}$  (г/с) розраховується за формулою (3.7):

$$M_{NO_x} = 3,033600592810^{-6} = 64,7 \text{ м/г} \quad (3.7)$$

Масова концентрація оксиду азоту  $C_{NO_x}$  (г/м<sup>3</sup>) у вихідних газах визначається по формулою (3.8):

$$C_{NO_x} = \frac{10^3 \cdot M_i}{B_{уст} \cdot V_z \cdot (1 - 0,07)} = \frac{10^3 \cdot 3,03}{3694 \cdot 6,46 \cdot (1 - 0,07)} = 0,13 \text{ мг/м}^3 \quad (5.8)$$

Гранично допустима концентрація (ГДК) оксиду (діоксиду) азоту в повітрі населених пунктів складає 0,085 (0,6) мг/м<sup>3</sup>, в повітрі робочої зони 5,0



(2,0) мг/м<sup>3</sup> [7]. Таким чином, кількість які виникають сполук азоту не перевищує ГДК робочої зони.

### 3.2 Розрахунок економічного ефекту термічної активації при використанні генераторного газу

У даній роботі розглядається можливість застосування альтернативного виду палива, а саме генераторного газу. Для оцінки економічної ефективності переходу на генераторний газ був проведений порівняльний аналіз техніко-економічних показників шляхом зіставлення:

- Генераторний газ - пиловугільне паливо;
- Генераторний газ - мазут;
- Генераторний газ - природний газ;
- Генераторний газ - термоактивації бокситу на руднику.

#### 1. Генераторний газ - вугільний пил.

Для проведення розрахунків необхідно була задатися наступними вихідними даними (таблиця 3.2):

Таблиця 3.2 - Вихідні дані

Ціна вугільного пилу (з ПДВ та доставкою по ж/д шляхам)	3,35 руб / кг
Ціна генераторного газу (з ПДВ)	0,5 руб / м <sup>3</sup>
Теплотворна здатність пиловугільного палива	21,8 МДж / кг
Теплотворна здатність генераторного газу	4,45 МДж / м <sup>3</sup>
ККД печі при роботі на пиловугільного палива	85%
ККД печі при роботі на генераторному газі	90%
Продуктивність печі по обпаленому бокситу	300 т / добу
Споживання вугільного пилу	1750 кг / год
Споживання генераторного газу	10560 м <sup>3</sup> / год
Середньогодинна споживання електроенергії при роботі печі	206 кВт
Кількість робочих днів	310
Час роботи печі	7440 год / рік
Вартість 1 кВт-год (з ПДВ)	3,9 руб.

За наявними даними зробимо розрахунок витрат на два види палива (без урахування прокладки газопроводу і будівництва газогенераторів на руднику):

$$Z_{n,y.} = 1750-7440-3,35 + 206-7440 \cdot 3,9 = 49594 \text{ тис. руб/рік}$$

$$Z_{z.z.} = 10560-7440-0,5 + 206-7440 \cdot 3,9 = 45260 \text{ тис. руб/рік}$$

Прибуток за рахунок використання генераторного газу складе:

$$\Delta E = Z_{n,y.} - Z_{z.z.} = 49594 - 45260 = 4334 \text{ тис. руб/рік}$$

Якщо говорити про транспортування генераторного газу до пункту переробки бокситу, то передбачувані розрахунки на будівництво газопроводу при наступних технологічних умовах складуть (таблиця 3.3):

Таблиця 3.3 - Дані для розрахунку будівництва газопроводу

Витрата генераторного газу	10560 м <sup>3</sup> / год		
Надмірний тиск	20 атм		
Температура газу	20 ° С		
Максимально допустима швидкість газу в газопроводі високого тиску	25 м / с		
Розрахунковий діаметр газопроводу	88 мм		
Кошторисна вартість будівництва 1 км трубопроводу (газ, вода) зі сталі при діаметрі 88 мм	Вартість земляних робіт, руб	270000	
	Вартість зварювально-монтажних робіт, руб	760000	
	Вартість труб, руб	370000	
	Вартість матеріалів деталей, руб	15000	
	Загальна вартість будівництва, руб	<b>1415000</b>	

Загальна вартість 1 км газопровідної труби, діаметром 88 мм, склала 1,415 млн. Рублів. і при розташуванні газогенератора в 100 км від рудника можна розрахувати окупність будівництва при 100% -ної віддачі отриманого прибутку при переході від пилувугільного палива до генераторного газу складе:

$$B = 1415100 / 4334 = 33 \text{ роки}$$

Аналогічно було зроблено розрахунок ефективності застосування генераторного газу замість мазуту при наступних вихідних даних (таблиця 3.4)

Таблиця 3.4 - Вихідні дані

Ціна мазуту (з ПДВ та доставкою)	12 руб / кг
Ціна генераторного газу (з ПДВ)	0,5 руб / м <sup>3</sup>
Теплотворна здатність мазуту	38 МДж / кг
Теплотворна здатність генераторного газу	4,45 МДж / м <sup>3</sup>
ККД печі при роботі на мазуті	80%
ККД печі при роботі на генераторному газі	90%
Продуктивність печі по обпаленому бокситу	300 т / добу
Споживання мазуту	1180 кг / год
Споживання генераторного газу	10560 м <sup>3</sup> / год
Середньогодинна споживання електроенергії при роботі печі	206 кВт
Кількість робочих днів	310
Час роботи печі	7440 год / рік
Вартість 1 кВт-год (з ПДВ)	3,9 руб.

$$Z_{\text{мазута}} = 1180 \cdot 7440 \cdot 12 + 206 \cdot 7440 \cdot 3,9 = 111320 \text{ тис. руб/рік}$$

$$Z_{\text{гг}} = 10560 \cdot 7440 \cdot 0,5 + 206 \cdot 7440 \cdot 3,9 = 45260 \text{ тис.}$$

Прибуток за рахунок використання генераторного газу складе:

$$\Delta E = Z_{\text{мазута}} - Z_{\text{гг}} = 111320 - 45260 = 66000 \text{ тис. руб/рік}$$

Як було розраховано раніше вартість будівництва трубопроводу, протяжністю 100 км, склала 141,5 млн. Рублів. Окупність даної заміни станеться через:

$$B = 1415100 / 66000 = 2,1 \text{ роки}$$

Вихідні дані для порівняння газоподібних палив (таблиця 3.5):

Таблиця 3.5 - Вихідні дані

Ціна природного газу (з ПДВ) г	7 руб / к
Ціна генераторного газу (з ПДВ)	0,5 руб / м <sup>3</sup>
Теплотворна здатність природного газу	36 Мдж / кг
Теплотворна здатність генераторного газу	4,45 МДж / м <sup>3</sup>
ККД печі при роботі на газі	90%
Продуктивність печі по обпаленому бокситу	300 т / добу
Споживання природного газу	1250 м <sup>3</sup> / год
Споживання генераторного газу	10560 м <sup>3</sup> / год
Середньогодинна споживання електроенергії при роботі печі	206 кВт
Кількість робочих днів	310
Час роботи печі	7440 год / рік
Вартість 1 кВт-год (з ПДВ)	3,9 руб.

$$Z_{np.g.} = 1250 \cdot 7440 \cdot 7 + 206 \cdot 7440 \cdot 3,9 = 71070 \text{ тис. руб/год}$$

$$Z_{zg} = 10560 \cdot 7440 \cdot 0,5 + 206 \cdot 7440 \cdot 3,9 = 45260 \text{ тис. руб/год}$$

При рівних витратах на будівництво трубопроводів економічна ефективність при використанні генераторного газу складе:

$$\Delta E = Z_{np.g.} - Z_{zg} = 71070 - 45260 = 25810 \text{ тис руб / рік}$$

#### 4. Термічна активація бокситу на руднику.

При термічній активації бокситу на руднику на ряду з такими позитивними моментами як зниження транспортних витрат, що досягають 25% (для гіббситових бокситів) і усунення змерзаємості, не можна не згадати і про таку негативну сторону як втрата діоксиду вуглецю, що йде в пропонуваній технології способу «Термохімія- Байер» на карбонізацію в процесі регенерації кремнелужних розчинів. Зробимо оцінку економічної ефективності проведення

процесу термічної активації бокситу на руднику перед відправкою на глиноземний завод.

Транспортні витрати обпаленого бокситу і вихідного при наступних вихідних даних складуть (таблиця 3.6).

Таблиця 3.6 - Транспортні витрати на обпалений і вихідний бокситу

Вид транспорту	по залізничних коліях в вагонах (думпкарах)
Вантажопідйомність одного вагона (думпкарах)	70 т
Маса матеріалу в одному вагоні	68 т
Очікувана відстань від рудника до комбінату	4000 км
Ціна перевезення 1 вагона	420 тис. руб
Локомотив електровоз	ВЛ-85
Максимальне число вагонів	60
Максимальна вага матеріалу при повному складі поїзда	4080 т
Кількість видобутого бокситу	333,3 т / добу
Кількість обпаленого бокситу в добу	261,3 т / добу

Неважко розрахувати, що кількість вагонів для перевезення сирової бокситу, що переробляється на глиноземному підприємстві протягом доби, складе:

$$N = M_{\text{сирового бокс.}} / m_{\text{вагона}} = 333,3 / 68 = 5 \text{ вагонів}$$

Витрати в грошовому еквіваленті відповідно за добу і за місяць будуть рівні:

$$Z_{\text{сирового бокс.}} = 5 \cdot 420 = 2100 \text{ тис. руб/добу} = 63000 \text{ тис. руб/місяць}$$

Навпаки, під час перевезення обпаленого бокситу потрібно на один вагон менше перевезення необпаленого бокситу, що відправляється кожні 10 днів одним поїздом буде потрібно:

$$N = M_{\text{випал. бокс.}} / m_{\text{вагона}} = 261,3 / 68 = 4 \text{ вагони}$$

У грошовому еквіваленті це дорівнюватиме:

$$Z_{\text{випал. бокс.}} = 4 \cdot 420 = 1680 \text{ тис. руб/добу} = 50400 \text{ тис. руб/місяць}$$

Таким чином, взявши за основу 30-денний термін можна визначити економічний ефект від перевезення обпаленого бокситу:

$$\Delta E = Z_{\text{сырога бокс.}} - Z_{\text{обож. б}} = 63000 - 50400 = 12600 \text{ тис. руб./місяць}$$

Отримане значення прибутку доцільно розподілити на будівництво трубчастої обертової печі для випалення бокситів на руднику з урахуванням особливостей передбачуваного палива.

### **Висновки по третьому розділі**

1. В даний час найбільш поширеними видами палива в трубчастих печах, що використовуються для спікання бокситових і нефелінових шихт є мазут або природний газ. Використання мазуту характеризується високою вартістю і негативним впливом на навколишнє середовище, а природного газу є проблематичним для комбінатів, що не володіють доступом до вузлів його розподілу.

2. Застосування більш екологічного, такого як генераторний газ, для стадії випалу бокситів при отриманні глинозему за способом «Термохімія-Байер», крім виконання необхідних технологічних умов проведення процесу, не призведе до значних витрат по реконструкції печі. Крім цього, впровадження процесу газифікації дозволить використовувати цінну природну сировину (вугілля, мазут, природний газ) більш раціонально.

3. Проведені розрахунки показали, що використання генераторного газу в трубчастих обертових печах для проведення стадії термічної активації бокситів як безпосередньо на виробництві, так і на рудниках, з метою їх попередньої обробки перед транспортуванням на комбінат, мають позитивні економічні ефекти, а термін окупності досить малий.

4. При переводі печей на спалювання генераторного газу спостерігається зниження токсичності димових газів і відсутність твердих викидів в атмосферу.

### 3.1 Аналіз потенційно шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища виробництва

Умови праці в глиноземному цеху характеризуються вираженістю на багатьох робочих місцях таких чинників виробничого середовища, як підвищена температура повітря, інфрачервоне й ультрафіолетове випромінювання, забруднення повітря токсичними речовинами й пилом, утворення електричних і магнітних полів. Виконання ряду операцій пов'язане з важкою фізичною працею, а на автоматизованих ділянках - з обслуговуванням пультів керування. Є ділянки, де утворюється інтенсивний шум. У цехах, особливо в перехідний і зимовий періоди року, робітники піддаються дії великих температурних перепадів, сильних потоків гарячого й холодного повітря.

Температура в пічному відділенні глиноземного цеху в теплий період року може перевищувати зовнішню температуру на 15°C і більш при припустимому перепаді 5°C. У холодний період року температура на робочих місцях нижче нормованої. У холодний період року відносно низька температура повітря, перепади температури в поєднанні з інтенсивним опроміненням і протягами можуть сприяти простудним захворюванням [32].

Запиленість повітря в зоні обслуговування може досягати значних величин. У пилі містяться оксиди хрому, марганцю, кремнію, нікелю. Крім того в повітрі містяться сірчистий ангідрид, оксиди азоту й вуглецю.

Джерелом шуму є рухомі технологічні гази при подачі їх у комунікації, рухомі крани, транспортери, залізнодорожні состави, рубання футерування печей та ін. Рівні шуму на робочих місцях досягають 98 дБА.

В атмосферу цеху виділяється велика кількість шкідливих речовин: ангідрид хромовий - в 3,6 разів перевищує нормативне значення; оксид марганцю - в 4 рази; діоксид сірки - в 3,75 рази.

У таблиці 4.1. наведена оцінка факторів виробничого і трудового процесу працівника глиноземного цеху.

Згідно таблиці 4.1 умови й характер праці відносяться до III класу 3 ступеня. Робоче місце має 7 чинники I ступеня й 4 чинника II ступеня, 4 чинники III ступеня. За показниками слід вважати умови роботи особливо шкідливими й особливо важкими.

#### **4.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища глиноземного виробництва**

Групою заходів, направлених на оздоровлення умов праці є заходи по зниженню температури повітря й інтенсивності теплового випромінювання в робочій зоні. Основне місце належить вентиляції. Найбільш ефективна аерація.

Для нормалізації мікрокліматичних умов у кабінах кранів, пультів керування, тобто на робочих місцях операторів гарячих цехів, де вимоги до підтримки мікроклімату особливо великі, використовується кондиціонування повітря. У кабіні машиніста крану передбачається установка автономного кондиціонера крану. У холодний період року передбачається установка повітряних завіс біля воріт конвертерного цеху.

До індивідуальних засобів захисту в нагріваючому мікрокліматі відноситься спецодяг. Її захисна роль зводиться до зменшення зовнішнього теплового навантаження, яку може істотно перевищувати внутрішню, особливо при дії на людину інтенсивного теплового випромінювання.

Спецодяг виготовляється з матеріалів з низькою теплопровідністю й що максимально відображають теплові промені (льон, бавовняна тканина). При роботі з розплавленим металом необхідно застосовувати захисні маски для очей.

У глиноземному цеху застосовують комбіноване освітлення.

Для освітлення приміщень передбачають газорозрядні лампи низького й високого тиску В разі неможливості й техніко-економічної недоцільності вживання газорозрядних джерел світла допускається використання ламп розжарювання.



Таблиця 4.1 - Оцінка факторів виробничого й трудового процесу

№	Фактори виробничого середовища та трудового	Нормативне значення (ГДК, ПДУ)	Фактичне значення	III клас Шкідливі й небезпечні умови й			Тривалість дії фактора за зміну, %
				I ст.	II ст.	III ст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup> :					-	100
	1 клас: хром	0,01	0,036				
	нікель	0,05	0,125		3,6р		
	марганець	0,05	0,2		2,5р		
	бенз(а)пирен	0,00015	0,00026		4р		
2 клас: мідь 3-4 клас: СО	1,0 20,0 10,0	1,15 80 37,5	1,7р 1,15р 4р				
802	5,0	29,5	3,75р	5,9р			
2	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м <sup>3</sup>	4,0	143	-	-	35,8р	
3	Вібрація (загальна й локальна), дБ	-	-	-	-	-	
4	Шум, дБА	80	98	-	-	18	80
5	Інфразвук, дБ	-	-	-	-	-	
6	Ультразвук, дБ	-	-	-	-	-	
7	Мікроклімат - температура повітря, °С:						
	теплий період		41				
	холодний період		10	3	-	15	
	- швидкість руху повітря, м/с:						
	теплий період	0,2-0,6	0,8	1,6р	-	-	
холодний період	0,4	0,8	2р				
- відносна вологість виробництва:							
теплий період	75	50					
холодний період	75	55	-	-	-		
- інфрачервоне випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>	140	3500	-	-	3500	90	

Опалювання будівлі конвертерного цеху має значення не лише для створення потрібної температури в приміщеннях, але й для збереження будівлі, оскільки погано опалювальні будівлі схильні до вогкості, що викликає їх руйнування.

Для захисту робітників від дії шкідливих хімічних речовин та пилу в

глиноземному цеху передбачені наступні заходи: аспіраційні установки й витяжні зонти від джерел викидів шкідливих речовин.

Звукоізоляція - один з найбільш поширених і ефективних методів зниження виробничого шуму. За допомогою звукоізолюючих перешкод можна знизити рівень шуму на 30-40 дБА. Ефективними звукоізолюючими матеріалами є метали, бетон, дерево та ін.

Засоби індивідуального захисту від шуму підрозділяються на протишумові навушники, протишумові вкладиші, протишумові шоломи й каски [35, с. 116-118].

При умові дотримання працівниками наведених рекомендацій та вимог техніки безпеки можливо уникнути до 90% виробничих травм та скоротити число аварій.

### **4.3 Заходи з електробезпеки**

З врахуванням середовища у виробничих приміщеннях глиноземного цеху його можна віднести до особливо небезпечних приміщень по поразці електричним струмом. В цеху присутні наступні чинники: підвищена, температура повітря, струмопровідні підлоги, можливість одночасного дотику до металевих конструкцій електричного устаткування й металевих конструкцій, сполучених із землею.

Для забезпечення надійної й безпечної роботи електроустановок справний стан ізоляції є одним з головних умов. У глиноземному цеху присутнє захисне занулення, як засіб захисту від поразки електричним струмом.

Для живлення електроустаткування використовуваного в глиноземному цеху застосовується напруга не більше 380 В. По технологічних вимогах вибираємо трифазну чотирьохдротову мережу з ізольованою нейтраллю. Така мережа безпечніша за умови дотику до фазного дроту в період нормального режиму роботи мережі.

В електроустановках напругою вище 1000В передбачають заходи, що унеможливають дотик або небезпечне наближення до частин, що проводять

#### 4.4 Техногенна безпека

В основних відділеннях глиноземного цеху перебуває рідкий метал, негорючі речовини й матеріали в гарячому, розпеченому й розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, іскор. Дані відділення належать до категорії Г пожежної небезпеки.

Згідно вимог протипожежних норм, будинок глиноземного цеху виконано із залізобетону, має сталеві ферми й балки.

Відповідно до кількості поверхонь (один) і площею одного поверху будинку (16560,8 м<sup>2</sup>) по СНіП 2.09.02-85 і ДБН В 1.1-7-2002 визначаємо необхідну вогнестійкість будинку - II.

Для виробництв категорії Г передбачається вогнестійкість будинків I і II, межа вогнестійкості становить 0,75 год.

По необхідній межі вогнестійкості, а також по нормах визначаємо найменшу товщину основних будівельних конструкцій будинків:

- залізобетонні колони 200х200 мм;
- навісні бетонні панелі 500 мм;
- сталеві ферми й балки 200 мм;
- залізобетонні плити перекриття 100 мм.

Згідно міжнародного стандарту КО № 3941-77, клас пожеж -(E). Для забезпечення первинного пожежогасіння відповідно до фактичної площі конвертерного цеху ухвалюються наступні засоби пожежогасіння:

- на кожні 1800 м<sup>2</sup> площі цеху необхідний один вуглекислотний вогнегасник ємністю 5 л;
- ХІМІЧНІ пінні вогнегасники ОХП-10 2 шт на кожні 1800 м<sup>2</sup>. Усі кабельні й інші електротехнічні приміщення обладнано автоматичною пожежною пінною сигналізацією. Приймальні станції цієї сигналізації зазвичай встановлюють на пультах керування печами або в чергового, у машинному залі [34, с. 8385].

У глиноземному цеху передбачена установка пожежної сигналізації, яка

призначена для автоматичного виявлення й видачі сигналів про пожежу, включення апаратури аварійної сигналізації, формування управлінських сигналів для системи сповіщення про пожежу, відключення вентиляції технологічних блокувань [36, с. 204]..

#### 4.5 Розрахунок повітряних завіс біля воріт цеху

Основне устаткування глиноземного цеху працює при високих температурах. Тому при проектуванні таких цехів важливе значення має питання організації аерації робочих місць. Одним із рішень поставленої задачі є установка повітряних завіс біля воріт цеху.

Кількість повітря, що подається в сопла завіси, за відсутності в приміщенні механічного припливу і витягу або при їх балансі, кг/с:

$$G_{зав} = 1,42q\mu_{пр}F_{пр}\sqrt{\Delta P \rho_{см}}, \quad (3.1)$$

де  $q=G_{зав}/G_{пр}$  – відношення витрати повітря, що подається вентилятором в сопла завіси до витраті повітря, що проходить через отвір;

$\mu_{пр}$  – коефіцієнт витрати;

$F_{пр}$  – площа отвору, що відкривається, м<sup>2</sup>;

$\Delta P$  – різниця тисків повітря зовні та усередині приміщень на рівні отвору, обладнаного завісою, Па;

$\rho_{см}$  – густина суміші повітря завіси та зовнішнього повітря при температурі в районі воріт, кг/м<sup>3</sup>.

Для завіс з горизонтальною подачею повітря приймаємо  $\mu_{пр}=0,3$ ;  $q=0,7$ , отже, розрахункова різниця тисків складе:

$$\Delta P = h \cdot (\rho_n - \rho_v) \cdot g = 3,5 \cdot (1,293 - 1,181) \cdot 9,81 = 3,845 \text{ Па}, \quad (3.2)$$

де  $h$  – відстань по вертикалі від центру отвору до нейтральної зони (приймаємо рівною 3,5), м;

$\rho_n$ ,  $\rho_v$  – щільність повітря (1,293 і 1,181 відповідно) зовнішнього та в приміщенні, кг/м<sup>3</sup>.

Тоді:

$$G_{зав} = 1,42 \cdot 0,7 \cdot 0,3 \cdot 70 \cdot \sqrt{3,845 \cdot 1,237} = 45,524 \text{ кг/с} \quad (3.3)$$

Температура повітря що подається в сопла завіси є регламентованою та визначається за формулою:

$$t_{зав} = \frac{t_{см} - t_n}{q(1 - \frac{Q'}{Q_{зав}})} + t_n = \frac{15 - 0}{0,7(1 - 0,2)} + 0 = 26,786^\circ \text{C} \quad (3.4)$$

де:  $t_{см}$  – температура суміші повітря, що проходить через отвір ( $150^\circ\text{C}$ );  
 $t_n$  – зовнішня температура ( $^\circ\text{C}$ ).

Теплова потужність калориферів повітряної завіси визначається за класичною формулою:

$$Q_{зав} = G_{зав} \cdot (t_{зав} - t_{поч}) = 45,524 \cdot (26 - 15) = 500,764 \quad (3.5)$$

де  $t_{поч} = t_{см} = 150^\circ\text{C}$ .

Ширіна щілини є нормативною величиною і розраховується та визначається із співвідношення:

$$b = F_{пр} / (2\bar{F}_{пр} \cdot H_{щ}) = 70 / (2 \cdot 30 \cdot 7) = 0,17 \text{ м} \quad (3.6)$$

де  $F_{пр}$  – площа отвору, рівна  $70 \text{ м}^2$ ;

$\bar{F}_{пр}$  – приймаємо рівним 30;

$H_{щ}$  – висота воріт, рівна 7 м.

Швидкість виходу повітря з щілини також є нормативним показником та визначається за формулою:

$$V_{щ} = \frac{G_{зав}}{n \cdot b_{щ} \cdot H_{щ} \cdot \rho_{зав}} = \frac{45,524}{1 \cdot 0,17 \cdot 7 \cdot 1,237} = 30,926 \text{ м/с} \quad (3.7)$$

де  $n$  – число роздаючих повітроводів, що дорівнює 1;

$\rho_{зав}$  – щільність повітря що подається в завісі, приймаємо  $1,237 \text{ кг/м}^3$ .

### **Висновки до четвертого розділу**

Проаналізовано потенційно шкідливі і небезпечні чинники виробничого середовища глиноземного виробництва, зокрема: підвищена температура повітря, інфрачервоне й ультрафіолетове випромінювання, забруднення повітря токсичними речовинами й пилом, утворення електричних і магнітних полів, інтенсивний шум. Таким чином, розроблено заходи захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища глиноземного виробництва: з електробезпеки та техногенної безпеки.

Проведено розрахунок повітряних завіс біля воріт цеху, що вирішило питання організації аерації робочих місць.

Проведені експериментальні і теоретичні дослідження показали ефективність і доцільність застосування низькокалорійного палива в трубчастих обертових печах, використовуваних для термічної активації бокситового сировини при його переробці способом «Термохімія-Байер», а також ефективність проведення двухстадійної регенерації оборотних кремнелужних розчинів і їх подальшого використання в технологічному процесі. Основні наукові положення роботи і наведені технічні розробки сприяють подальшому розвитку наукових основ теорії і технології глиноземного виробництва, а отримані результати можуть бути рекомендовані при проведенні науково - дослідних і проектних робіт, не тільки стосовно до переробки низькоякісного бокситового сировини способом «Термохімія-Байер», але і до процесів сушки, випалення, спікання будь - якої алюмосилікатної сировини.

В результаті проведеного дослідження можна зробити ряд висновків:

1. Аналіз мінерально-сировинної бази бокситів, їх якості і способів кондиціонування показав:

а) Скорочення запасів високоякісної бокситової сировини призводять до необхідності залучення в технологічний процес низькоякісного алюмінійвмісної сировини.

б) Боксити є полімінеральною гірською породою, процес переробки яких залежить від поведінки окремих мінералів. Склад бокситів може сильно варіюватися в залежності від родовища і повинен бути ретельно вивчений для раціонального використання вихідної сировини, визначення ступеня вскриваємості породи, що в свою чергу впливає на умови переробки бокситів за способом Байєра.

в) Залучення у виробництво глинозему низькоякісних алюмінійвмісних руд пов'язане з процесами рудопідготовки, багато в чому визначають подальші шляхи переробки такої сировини. На сьогоднішній день можна виділити 3

основні групи попереднього збагачення бокситів: механічні, фізико-хімічні (зокрема термічна обробка) і мікробіологічні.

г) Для лужних гідрометалургійних процесів діоксид кремнію є однією з найбільш небажаних домішок бокситового сировини. Найбільш поширений у всьому світі (до 90% переробки бокситів), спосіб Байєра, використовується для високоякісних бокситів з високими показниками кремнієвого модуля ( $\mu_{Si} > 7$ ). Для висококремнистих бокситів застосовні способи спікання або комбіновані способи «Байєр-спікання», однак дані технології пов'язані не тільки з високими енерговитратами, а й підвищеними шкідливими викидами в атмосферу. Все це створює передумови для створення економічно ефективного способу переробки низькоякісної бокситової сировини.

2. Вивчення можливості переходу в процесі термічної активації на низькокалорійне паливо було підтверджено в розрахунках і відображено в наступних положеннях:

а) Доведено принципову можливість застосування низькокалорійного синтезу газу в промислових печах для таких процесів глиноземного виробництва, як: спікання шихти, кальцинація глинозему і вапняку, який активує випал бокситу з позиції досягнення необхідного температурного режиму для зазначених процесів і відсутності зольного залишку при спалюванні газоподібного палива.

б) Зміна такого важливого технологічного параметра як насипна щільність випаленого бокситу носить складний екстремальний характер, який можна пояснити змінами, що відбуваються з бокситостворюючими мінералами, характерними для кожної зони печі: для зони сушки - випаровування зовнішньої вологи, для зони підігріву - видалення кристалогідратної вологи і початкове розкладання мінералів, таких як беміт і діаспор, для зони кальцинації - розкладання основних кремнійвмісних мінералів (каолінит, шамозит), окислення двовалентних форм заліза, що призводить до утворення інших сполук.

в) Для розрахунку температури процесу горіння палива, незалежно від його агрегатного стану була складена система нелінійних рівнянь, що



володіють ознакою збіжності і дозволяють скористатися методом послідовних наближень, а при складанні видаткової частини теплового балансу використовувалися не таблиці середніх питомих теплоємностей ( $c$ ), а термодинамічні дані зміни теплоємності залежно від температури  $c_p = f(T)$ .

г) Грунтуючись на теорії комплексної роботи промислових печей, запропонованої вперше Дмитром Олександровичем Діомідовським, був розроблений цифровий алгоритм розрахунку трубчастої обертової печі для випалення низькоякісних бокситів, який дозволяє робити моделювання процесу термічної активації сировини за допомогою стандартних програмних пакетів (MS Excel).

3. Аналіз технічних рішень і перспектив розвитку в інтенсифікації процесу переробки низькоякісного алюмінійвмісної сировини способом «термохімія-Байєр» показав:

а) В даний час найбільш поширеними видами палива в трубчастих печах, що використовуються для спікання бокситових і нефелінових шихт є мазут або природний газ. Використання мазуту характеризується високою вартістю і негативним впливом на навколишнє середовище, а природного газу є проблематичним для комбінатів, що не володіють доступом до вузлів його розподілу.

б) Застосування більш екологічного, такого як генераторний газ, для стадії випалу бокситів при отриманні глинозему за способом Байєра, крім виконання необхідних технологічних умов проведення процесу, не призведе до значних витрат по реконструкції печі. Крім цього, впровадження процесу газифікації дозволить використовувати цінну природну сировину (вугілля, мазут, природний газ) більш раціонально.

в) Проведені розрахунки показали, що використання генераторного газу в трубчастих обертових печах для проведення стадії термічної активації бокситів як безпосередньо на виробництві, так і на рудниках, з метою їх попередньої обробки перед транспортуванням на комбінат, мають позитивні економічні ефекти, а термін окупності досить малий.

г) При переводі печей на спалювання генераторного газу спостерігається зниження токсичності димових газів і відсутність твердих викидів в атмосферу.

1. Авторское свидетельство №574915 СССР, кл.С01В7/06 Способ получения глинозема из боксита Н.И. Еремин, А.Н. Наумчик, О.А. Дубовиков и др . -№ 2350342/02. - Заявл.22.04.76.
2. Авторское свидетельство №1340033 СССР. Способ получения глинозема из боксита /О.А. Дубовиков, А.Н. Наумчик, Г.И. Швачко; опубл. 22.05.1987.
3. Авторское свидетельство №1503223 СССР. Способ переработки на глинозем высокосидеритизированных бокситов / А.Н. Наумчик, О.А. Дубовиков, Э.Э. Яскеляйнен, А.А. Майер, И.Н. Кравцова, Г.И. Швачко ; опубл. 22.04.1989.
4. Авторское свидетельство №479731 СССР, МКИ<sup>3</sup> С 01 F 7/06. Способ получения глинозема / Н.З. Насыров, Х.Н. Нурмагамбетов (СССР). Опубл. 1975. Бюл. № 29.
5. Авторское свидетельство №704018 СССР. Способ получения глинозема из боксита / Н.И. Еремин, А.Н. Наумчик, О.А. Дубовиков; опубл. 21.08.1979.
6. Авторское свидетельство №816077 СССР. Способ переработки моногидратных бокситов на глинозем / А.Н. Наумчик, О.А. Дубовиков, Н.И. Еремин, Г.Ф. Митрофанова, Г.И. Швачко; опубл. 21.11.1980.
7. Аварийно- химически опасные вещества. Оксиды азота - [Электронный ресурс]. - 2019. - Режим доступа: <https://umc.kirov.ru/materials/ahov/okisazot.htm>
8. Аварийно- химически опасные вещества. Сернистый ангидрид - [Электронный ресурс]. - 2019. - Режим доступа: [https://umc.kirov.ru/materials/ahov/sern\\_angid.htm](https://umc.kirov.ru/materials/ahov/sern_angid.htm)
9. Авдохин, В.М. Основы обогащения полезных ископаемых: учебное пособие для студентов вузов. / В.М. Авдохин. - Т.1. Обогащительные процессы. - М.: Горн.кн. -2018. - 418 с.
10. Андреев, П.И.Обжиг-магнитное обогащение гематит-бемитовыхбоксито / П.И. Андреев, Р.А. Шавло // Цветные металлы, -1973. - № 7. - С. 92-93.
11. Арсентьев, В.А. Исследование технологии обогащения каолинов с использованием гидротермального модифицирования / В.А Арсентьев, А.М.

12. Афанасьева Р.Ф. Обогащение шамозит-бемитовых бокситов Висловского и Вежаю-Ворыквинского месторождения / Р.Ф. Афанасьева, А.А. Григорьева // Тр. Механообр. - 1974. - № 139. С. 8-13.
13. Бричкин, В. Н. Повышение качества боксита путем селективного измельчения /Н. Бричкин, В.В. Васильев, Е.А. Нагорная, А. М. Гуменюк // Обогащение руд. - 2017. - №3. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.rudmet.m/catalog/journals/2/1630/showall>
14. Бричкин, В.Н. Процессы массовой кристаллизации из растворов в производстве глинозема: монография / В.Н. Бричкин, В.М. Сизяков // СПГГИ им. Г.В. Плеханова, Санкт- Петербург. - 2005. - 134 с.
15. Будина, Е.В. О прогнозировании рынка цветных металлов / Е.В. Будина // Решетневские чтения: Материалы «19-й Международной научно-технической конференции, посвященной 55- летию Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетникова». - Красноярск: Красноярск, 2015, Ч.2. - С. 28-30.
16. Будон, С. В. Технология обогащения железистых песков АО «Алюминий Казахстана» / С. В., Будон, А. Т. Ибрагимов, С. А. Твердохлебов, В. В. Медведев // Обогащение руд. - 2011. - №4. - С. 8-11.
17. Буянтуев, С.Л. Экономическая оценка перевода твердотопливного отопительного котла на сжигание генераторного газа / С.Л. Буянтуев, С.Ю. Шишулькин, И.В. Старинский, А.С. Кондратенко, А.Б. Хмелев, Э.Ц. Базарсадаев // Вестник Бурятского государственного университета. Химия. Физика. - 2015. - С.144-148.
18. ГОСТ 19440-94 «Порошки металлические Определение насыпной плотности. Часть 1. Метод с использованием воронки. Часть 2. Метод волюмометра Скотта». [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://aquagroup.ru/normdocs/4842>
19. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2013 году» [Электронный ресурс]. -2014. - Режим доступа: <http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/914/Report2014.pdf>

20. Гришин, Н.Н. Переработка кианитового концентрата из руды Кейвского месторождения для получения глинозема / Н.Н. Гришин, А.Г. Иванова А.Г. // Труды 14-й Всероссийской конференции с международным участием «Ферсмановская научная сессия», посвященной 100-летию со дня рождения академика АН СССР А.В. Сидорова и д.г.-м.н. И.В.Белькова. - Апатиты: Геол. инст.КНЦ РАН, 2017. - С. 223-226.
21. Диомидовский, Д.А. Metallургические печи цветной металлургии: учебное пособие / Д.А. Диомидовский // М.: Металлургия. - 1970. - 704 с.
22. Диомидовский, Д.А. Расчеты пиропроцессов и печей цветной металлургии / Д.А. Диомидовский, Л.М. Шалыгин, А.А. Гальнбек, И.А. Южанинов // М.: Государственное научнотехническое издательство по цветной металлургии. - 1963. - 459 с.
23. Дубовиков, О. А. Использование обжига при переработке сидеритизированных бокситов / О.А. Дубовиков, Е. Е. Андреев, Н. В. Николаева // Обогащение руд. - 2012. - №1. - С. 3-7.
24. Дубовиков, О. А. Исследование процесса термохимического обогащения бокситов Среднего Тимана / О. А. Дубовиков, В. Н. Бричкин, Н. В. Николаева, А. О. Ромашев // Обогащение руд. - 2014. - №4. - С. 14-18.
25. Дубовиков, О.А. Направления и перспективы использования низкосортного технологического топлива в производстве глинозема / О.А. Дубовиков, В.Н. Бричкин // Записки Горного института. - 2016. - Т.220. - С. 587-594.
26. Дубовиков, О.А. Переход на низкокачественное углеводородное топливо в процессе получения глинозема из бокситов / О.А. Дубовиков, Д.А. Логинов, А.Д. Тихонова (Рис) // Горная книга» (ГИАБ, специальный выпуск 5-2, 2017 - С. 214-230
27. Дубовиков, О.А. Реализация сверхнасыщенных планов при поиске минерализующих примесей / О.А. Дубовиков, Е.В. Калюкина // Сборник трудов 16 Международной научной конференции: «Математические методы в технике и технологиях», РГАСХМ. Ростов на Дону, 2003. - Т. 8. Секция 12. - С. 136-137.

28. Дубовиков, О.А. Регенерация кремнещелочных растворов в способе термохимия- Байер / О.А. Дубовиков, А.Д. Рис // Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов: мат-лы VII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. - Иркутск : Изд-во ИРННТУ, 2017. - С. 34-36.
29. Дубовиков, О.А. Регенерация оборотного щелочного раствора при химическом кондиционировании бокситов / О.А. Дубовиков, Е.В. Сизякова, Н.В. Николаева, А.И. Снегурова // Записки Горного Института. - 2013. - Т 202. - С.20-26.
30. Дубовиков, О.А. Теория и практика способа термохимия-Байер / О.А. Дубовиков, Д.А. Логинов, А.Д. Тихонова (Рис) // ГИАБ, Специальный выпуск 60-1. - 2015. - С. 97-98.
31. Дубовиков, О.А. Термохимическое кондиционирование состава низкокачественных бокситов и их переработка щелочными способами, дис. док. тех. наук: 05.16.02./ Дубовиков Олег Александрович. - СПб. - 2012. - 320 с.
32. Еремин, Н.И. Процессы и аппараты глиноземного производства: учебное пособие / Н.И. Еремин // М.: Металлургия. - 1980. -188 с.
33. Зеликман, А.Н. Теория гидрометаллургических процессов: учеб. пособие для вузов / А.Н. Зеликман, Г.М Вольдман // М.: Интернет Инжиниринг. - 2003. - 4-е изд., перераб. и доп. - 464 с.
34. Иванов, А.И. Комплексная переработка бокситов / А.И. Иванов, Г.Н. Кожевников, Ф.Г. Ситдилов, Л.П. Иванова. - Екатеринбург: УрО РАН, 2003. - 183 с.
35. Инженерный справочник [Электронный ресурс]. - 2019. Режим доступа: <http://for-engineer.info/14/podgotovka-boksita.html>
36. Информационный портал NedraDV [Электронный ресурс]. - 2017. Режим доступа: [https://nedradv.m/mmeral/msb/?id\\_obj=ca79a46078f5785d6a24f2c3830cf2cb](https://nedradv.m/mmeral/msb/?id_obj=ca79a46078f5785d6a24f2c3830cf2cb)
37. Исаков, А.Е. Усовершенствование технологии получения глинозема высших марок песочного типа и новых попутных продуктов комплексной при переработке нефелинов: автореф.дис.канд.тех.наук.:05.16.02/ Александр

38. Исследование процессов кондиционирования бокситов Среднего Тимана химическими методами: отчет о НИР / Руководитель Еремин Н.И. - Л.: ВАМИ, 1979. - 55 с.
39. Калинина, А.М. О полиморфизме и термических превращениях окиси алюминия / А.М. Калинина // Материалы Всесоюзного совещания по химии и технологии глинозема. - Новосибирск. - 1960. - С. 5-14.
40. Козлов, А. В. Продукты выщелачивания в бактериальной системе «порода- культура» при биохимической деградации силикатными бактериями диатомита, цеолита и бентонита./ А. В. Козлов, А. Х. Куликова, И. П. Уромова // Изв. Самар. науч. центра РАН. - 2017. -19, № 2, ч. 2. - С. 281-288.
41. Копытов, В.В. Газификация конденсированных топлив: ретроспективный обзор, современное состояние дел и перспективы развития / В.В. Копытов //М.: Инфра-Инженерия. - 2012. - 504 с.
42. Котова, О. Б. Радиационно-термическое модифицирование железистых бокситов в процессах их переработки / О. Б. Котова, И. Н. Размыслов, В. И. Ростовцев, В. И. Силаев // Обогащение руд. - 2016. - №4. - С. 16-22.
43. Лайнер, А.И. Производство глинозема: учебное пособие / А.И. Лайнер, Н.И. Еремин, Ю.А. Лайнер, И.З. Певзнер // М.: Металлургия. - 1978.- 2-е изд. - 344 с.
44. Линчевский, В.П. Топливо и его сжигание / В.П. Линчевский // М.: Metallurgizdat. - 1959.- 400 с.
45. Логинов, Д.А. Разработка технологии кондиционирования низкокачественных бокситов для их переработки способом Байера: дис.канд. тех. наук: 05.16.02 / Логинов Денис Александрович. - СПб, 2016. - 183 с.
46. Логинова, И.В. Производство глинозема и экономические расчеты в цветной металлургии: учеб. пособие / И.В. Логинова, А.А. Шопперт, Д.А. Рогожников, А.В. Кырчиков//Екатеринбург: Изд-во УМЦ УПИ, 2016 - 254 с.
47. Логинова, И.В. Способ комплексной переработки высококремнистых бокситов / И.В. Логинова, А.И. Лоскутова // ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина». -

48. Лямин, В.А. Газификация древесины / В.А. Лямин // М.: Лесная промышленность/ -1967. - 262 с.
49. Манвелян, М.Г. Обескремнивание щелочных алюминатных растворов / М.Г. Манвелян, А.А. Ханамирова // Изд-во АН Армянской ССр Ереван. -1973. - 300 с.
50. Медведев, А.С. Карбонизационное выщелачивание скандия из красного шлама с применением предварительной газации пульпы углекислым газом / А.С. Медведев, С.С. Киров, Р.Т. Хайруллина, А.Г. Сусс // Цветные металлы. - 2016. - №6. - С. 67-73.
51. Методика определения валовых выбросов оксидов азота в атмосферу от котельных установок ТЭО (РД34.02-305-98). - [Электронный ресурс]. - 2019. - Режим доступа: <https://msd.com.ua/osnovy-sovremennoj-maloi-energetiki/metodika-opredeleniya-valovyh-vybrosov-oksidov-azota-v-atmosferu-ot-kotelnyx-ustanovok-teo-rd34-02-305-98/>
52. Морачевский, А.Г. Академик Николай Семенович Курнаков и его научная школа / А.Г. Морачевский // СПб:Изд-во Политехнического ун-та. - 2010. - 98 с.
53. Наумчик, А.Н. Производство глинозема из низкокачественного сырья: учебное пособие / А.Н. Наумчик, О.А. Дубовиков // Л: Изд. ЛГИ. -1987. - 99 с.
54. Нифонтов, Ю.А. Модифицирование технологического топлива при производстве глинозема/ НифонтовЮ.А., ЛазареваВ.В.// Обогащение руд. - 2018. - № 5. - С.29-32
55. Пат. РФ RU № 2256615 МПК C01F 7/06, C01F 7/38. Способ переработки бокситов / Л.Н. Сынкова, М.Г. Еремина, О.И. Михайлова // [Электронный ресурс]. - 2019. - Режим доступа: <http://www.freepatent.ru/images/patents/212/2256615/patent-2256615.pdf>
56. Патент 1171888 ФРГ. Способ обескремнивания кремнистых бокситов /Заявитель и патентообладатель фирма «ФЕБ Хемише Фабрик Гейрихшаль». - 1960.
57. Патент 1248038 Франция. Способ и устройство для производства

- безводного глинозема / Заявитель и патентообладатель фирма «Южин». -1964.
58. Патент 920185 ФРГ Способ удаления кремнезема из бокситов / Заявитель и патентообладатель фирма «Ферайнигте Алюминиум Веерке А.Г.». -1958.
59. Патент 942144 ФРГ. Способ предварительной обработки низкосортных бокситов / Заявитель и патентообладатель фирма «Ферайнигте Алюминиум Веерке А.Г.». -1959.
60. Патент 97901 Чехословакия. Удаление двуокиси кремния из обожженных бокситов натриевым щелоком / Заявитель и патентообладатель П. Клан. - 1961.
61. Патент RU № 2613983, МПК C01B7/08, C0137/04, C22B3/04 «Способ получения глинозема из хромсодержащих бокситов» / О.А. Дубовиков, Д.А. Логинов, А.Д. Тихонова (Рис), А.А. Шайдулина // Опубликовано 22.03.2017 г. Бюл. №9
62. Певзнер, И.З. Обескремнивание алюминатных растворов / И.З. Певзнер, Н.А. Макаров // М.: Металлургия. -1974. - 113 с.
63. Римкевич, В.С. Комплексная переработка нефелиновых концентратов гидрохимическим методом / В.С. Римкевич, А. А Пушкин, О.В. Чурушова // Горн. инф.-анал. бюл. - 2016. - №8. - С. 346-359.
64. Римкевич, В.С. Разработка фторидного гидрохимического метода обогащения каолиновых концентратов / В.С. Римкевич, Т.Ю. Еранская, М.А. Леонтьев, И.В. Гиренко // Фундаментальные исследования. - 2014. - №9, ч.9. - С. 2023-2027.
65. Рис, А.Д. Поведение бокситовых концентратов на стадии выщелачивания по способу Байера / А.Д. Рис, О.А. Дубовиков, А.В. Сундуров // Вестник Иркутского Государственного Технического Университета. - 2019.- Т.23 № 2. - С. 395-403.
66. Рыбаков, В.В. Повышение качества боксита промывкой / В.В. Рыбаков // Обогащение руд. - 1972. - № 4 (100). - С. 11-15.
67. Садыралиева, У.Ж. Химическое обогащение нефелиновых сиенитов Сандыкского месторождения Республики Кыргызстан / У.Ж. Садыралиева, Е.А. Тастанов, Н.К. Ахмадиева, Г.С. Рузахунова и др. // Комплекс. испол. мин.сырья. - 2015. -№1. - С.3-8



68. Сборник статей под общ. ред. канд. техн. наук М. Г. Лейтейзен и Г. А. Панаско. Теория и практика обескремнивания алюминатных растворов / М.: [б. и.], - 1971. - 119 с.
69. Сизяков, В.М. Исследование возможности применения нефелино-известняковых шихт взамен боксита / В.М. Сизяков, В.Ю. Важин, Е.В. Сизякова // *Металлург.* - 2015. - №11. - С. 125-129.
70. Сизяков, В.М. Разработка стабилизационных режимов получения песочного глинозема при комплексной переработке нефелинов / В.М. Сизяков, А.Е. Исаков // *СПб.:ВАМИ.* - 2000.- С.40-48.
71. Сизяков, В.М. Роль термической активации при получении глинозема из низкокачественных бокситов / В.М.Сизяков, О.А. Дубовиков А.Д. Рис, А.В. Сундуров // *Вестник Иркутского Государственного Технического Университета.* -2019.- Т.23 № 5, - С. 1032-1041.
72. Сизяков, В.М. Теория и практика термохимического обогащения низкокачественных бокситов / В.М Сизяков, О.А. Дубовиков, Д.А. Логинов // *Обогащение руд.* - 2014. - №5. - С.10-17
73. Сизяков, В.М. Технология сверхглубокого обескремнивания с дробной дозировкой гидрокарбоалюмината кальция / В.М. Сизяков, Е.С. Кононенко, С.Н. Макров// *Записки Горного Института.* - 2013. - Т.202. - С.31-34.
74. Сизяков, В.М. Подготовка бокситов для изучения возможности переработки красных шламов для использования в черной металлургии / В.М. Сизяков, О.А. Дубовиков, Н.В. Николаева и др // *Цветные металлы.* - 2013.- №2. - С. 57-62.
75. Синьков, Л.С. Минералого-технологические исследования Северо-Онежских бокситов с целью повышения комплексности их использования: автореф. дис. канд. тех. наук: 05.16.03 / Синьков Леонид Сергеевич. - СПб. - 1997. - 21 с.
76. Состояние и использование минерально-сырьевых ресурсов Российской [Электронный ресурс]. - 2012. Режим доступа: [http://www.rudmet.ru/media/docs/3\\_08\\_al.pdf](http://www.rudmet.ru/media/docs/3_08_al.pdf)
77. Старк, Б.В. Расчеты по теории металлургических процессов / Б.В. Старк //

- М.; Л.: ОНТИ. Глав. ред. лит-ры по черной металлургии. -1936. -Ч.2. - С. 152-174.
78. Суворов, С.А. Исследование сырьевой базы для изготовления алюмосиликатных дискретных материалов: Докл. / С.А. Суворов, О.С. Кузнецова, А.В. Сакулин, В.В. Скурихин // Сборник докладов международной конференции огнеупорщиков и металлургов. -Москва: Нов. огнеупоры, 2015, № 3. - С. 22-23.
79. Сундуров, А.В. Риск-ориентированный подход при первичной переработке и подготовке нефти / А.В. Сундуров, О.А. Дубовиков, А.Д. Рис, А.А. Бойцова // ГИАБ, специальный выпуск. -2019. - №7. - С.507-518.
80. Фаворская, Л.В. О возможности выделения хромсодержащих минералов из Северо-Онежских бокситов путем магнитной сепарации / Л.В. Фаворская, А.Н. Наумчик // Известия вузов. Цветная металлургия. - 1984. - № 3. - С.53-56.
81. Федоров, С.Н. Расширение спектра использования кианитовых руд / С.Н. Федоров, в. Ю. Бажин // Актуальные проблемы технических наук: Сборник статей Международной научно-практической конференции. - Уфа, 2014. - С.65-66.
82. Федяев, Ф.Ф. К вопросу обогатимости гидраргиллитовых бокситов по гравитационно-магнитной схеме УПИ / Ф.Ф. Федяев, В.М. Корус, С.И. Кузнецов и др. // Известия вузов. Цветная металлургия, -1974.-№4.- 16-22.
83. Хрусталеv, Б.М. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / Б. М. Хрусталеv / - М.: Изд-во АСВ.- 2005. -576 с.
84. Цыпин, Е.Ф. Обогащение в стадиях рудоподготовки / Е.Ф. Цыпин// Екатеринбург: Изд-во УГГУ. - 2015. - 303 с.
85. Anich, I. Программа развития технологии производства глинозема / I. Anich, T. Bagshaw, N. Margolis, M. Skillingberg // LightMetals. - 2002. - P.155
86. Bergaya, F. Handbook of clay science. 2<sup>nd</sup> edition. / F. Bergaya, Lagaly G. // Amsterdam: Elsevier. - 2013. - 274 p.
87. Bratton, R. Evaluation of a novel fin coal dry cleaning process at Greenfields Coal Company/ R. Bratton, G. Luttrell, H. Kasindorf, G. McGraw, R. Robbins //

International Journal of Coal Preparation and Utilization. - 2010. - №30, P.145-153.

88. Dubovikov, O. A. Thermochemical activation of hydrated aluminosilicates and its importance for alumina production / V.N. Brichkin, O.A. Dubovikov, A.D. Ris, A.V. Sundurov // Non-ferrous Metals. - 2018. - P. 10-15.

89. Gasafi, E. The Processing of High Quartz Bauxite / E. Gasafi, A. Scarsella, V. Hartman, W. Schmidt. // Proceedings of the symposia sponsored by the TMS Aluminum Committee at the TMS 2013 Annual Meeting & Exhibition, San Antonio, Texas, USA March 3-7, Light metals. - 2013. P. 217-221.

90. Ghauri, A.M. Attachment of acidophilic bacteria to solid surfaces: the significance of species and strain variations / M. Afzal Ghauri, N. Okibe, D. Barrie Johnson // Hydrometallurgy. - 2007. - №85. - P.72-80

91. Jiang, T. Thermal behaviors of kaolinite-diasporic bauxite and desilication from it by roasting-alkali leaching processing / T. Jiang, G. Li, Z. Huang, X. Fan, G. Qiu // 131st TMS Annual Meeting; Seattle, WA; United States; 17 February 2002 through 21 February 2002. - Light Metals: Proceedings of Sessions, TMS Annual Meeting, Warrendale, Pennsylvania. - 2002. - P. 89-94.

92. Niu, Y. Cultivation of silicate bacteria and bioleaching of silicon from bauxite/ Y. Niu, G. Qiu, J. Zhou, W. Qin // Non-ferrous Metals. - 2004.-№14. - №2. C. 280-285

93. Park, S.W. Effects of pyrolysis temperature on changes in fuel characteristics of biomass char / S.W. Park, C.-H. Jang // Energy. - 2012. - Vol. 39.- P.187-195.

94. Qiu, G. Activation and removal of silicon in kaolinite by thermochemical process / G. Qiu, T. Jiang, G. Li, X. Fan, Z. Huang // Scandinavian Journal of Metallurgy. - 2004. - Vol. 33. - Issue 2. - P. 121-128.

95. Ris, A.D. Resource saving and energy efficient technology thermochemistry- Bayer» for the processing of low -grade bauxites / A.D. Ris, O.A. Dubovikov // TU Bergakademie Freiberg Scientific Reports on Resource Issues., IUR. Vol. 1. 2018. - P. 235-243

96. Scarsella, A. Переработка алюмосиликатов с целью получения глинозема / A. Scarsella, T. Rothenfluh // Сборник тезисов докладов 8-ого Международного конгресса «Цветные металлы и минералы -2016», включая 12 Конференцию

«Алюминий Сибири», 12 Конференцию «Золото Сибири», 10 Конференцию «Металлургия цветных и редких металлов». Красноярск, 2016. - С. 46.

97. Shemi, A. Extraction of alumina from coal fly ash using leach-sinter-acid leach technique / A. Shemi, S. Ndlovu, V. Sibanda, L. D.vanDyk // Hydrometallurgy. -2015. - №157. - P. 348-355.

98. Wang, Y. Mineralogical and thermal characteristics of low-grade Jinlong bauxite sourced from Guangxi Province, China / Y. Wang, S. Xing, Y. Zhang, Z. Li // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. - 2015. - P. 917-927.

99. Xiao, J. Separation of aluminum and silica from coal gangue by elevated temperature acid leaching for the preparation of alumina and S<sup>^</sup>/ J. Xiao, L.Fachuang, Q. Zhong, H.Bao, B. Wang et al// Hydrometallurgy, 2015. - P. 118-124.

100. Zhonglin, Y. Progress in Research and Development of Alumina Production Technology for Low Grade Bauxite in China / Y. Zhonglin, W. Guobao , Z. Liqiang, L. Xiaotao // Travaux 46, proceedings of 35th International ICSOBA Conference, Hamburg, Germany, 2 - 5 October, 2017.

101. Zimu, Z. Economic Analysis of Producing Alumina with Low-Grade Bauxite (Red Mud) by Calcification-Carbonization Method / Z. Zimu, W. Shuchan, Z. Qiuyue // Light Metals. - 2014. - P. 165-168.