

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”



АЛАА ФАЙЯД МАККІ

УДК 541.123.7.:661.321

**ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ПЕРЕРОБКИ
ШЛАМУ РОЗСОЛООЧИСТКИ
В ВИРОБНИЦТВІ КАЛЬЦИНОВАНОЇ СОДИ**

Спеціальність 05.17.08 – Процеси та обладнання хімічної технології

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків-2012

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано на кафедрі хімічної техніки та промислової екології
Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"
Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, м. Харків

Науковий керівник

доктор технічних наук, професор
Цейтлін Мусій Абрамович,
Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут",
професор кафедри хімічної техніки
та промислової екології

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Семенишин Євген Михайлович,
Національний університет "Львівська
політехніка", професор кафедри хімічної
інженерії

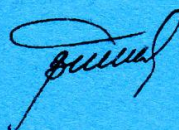
доктор технічних наук, доцент
Панасенко Володимир Олексійович,
Державний науково-дослідний
інститут основної хімії
(НДІОХІМ), м. Харків,
начальник відділу науково-технічної
інформації

Захист відбудеться **19 квітня 2012 р. о 14 годині**, на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д **64.050.05** Національного технічного університету "Харківський
політехнічний інститут" за адресою: вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного
університету "Харківський політехнічний інститут"

Автореферат розісланий «15» березня 2012 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.К. Тимченко

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано на кафедрі хімічної техніки та промислової екології Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, м. Харків

Науковий керівник

доктор технічних наук, професор
Цейтлін Мусій Абрамович,
Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут",
професор кафедри хімічної техніки
та промислової екології

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Семенишин Євген Михайлович,
Національний університет "Львівська
політехніка", професор кафедри хімічної
інженерії

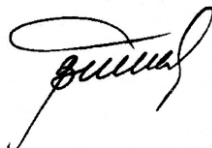
доктор технічних наук, доцент
Панасенко Володимир Олексійович,
Державний науково-дослідний
інститут основної хімії
(НДІОХІМ), м. Харків,
начальник науково-технічного відділу

Захист відбудеться **19 квітня 2012 р. о 14** годині, на засіданні спеціалізованої вченої ради Д **64.050.05** Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" за адресою: вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"

Автореферат розісланий «15» березня 2012 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.К. Тимченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На стадії розсолоочистки у виробництві кальцинованої соди утворюються тверді відходи. Відповідно до цього відомим на даний час перспективним напрямком досліджень щодо технологічних процесів утилізації і переробки шламів розсолоочистки вважається процес комплексної переробки шламу на ліквідні продукти: хімічно осаджений карбонат кальцію, оксид магнію і соляний розсіл NaCl. Хімічно осаджений карбонат кальцію і оксид магнію є дефіцитними продуктами. Існуючі технологічні процеси отримання вказаних сполук зі шламу розсолоочистки засновані на процесі карбонізації водної суспензії шламу і мають низку істотних недоліків. До них належать: досить високі показники енергоємності (температура підтримується нижче 20°C, а тиск в реакторі 0,3-0,6 МПа), низька ступень вилучання компонентів зі шламу (не більше 83%) і якість продуктів (чистота, дисперсність), багатостадійність процесу.

Тому, комплексне дослідження процесів, покладених в основу технології утилізації і переробки твердих відходів розсолоочистки, удосконалення технологічного процесу і за рахунок цього отримання якісних продуктів, які відповідають світовим стандартам і мають ринковий попит є актуальною науково-технічною задачею, яку вирішує дисертаційна робота.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота пов'язана з науково-дослідною тематикою кафедри хімічної техніки та промислової екології НТУ «ХПІ». Здобувач, як відповідальний виконавець проводив дослідження при виконанні науково-дослідного госпдоговора «Розробити рекомендації щодо вдосконалення технологічної схеми виробництва виварочної солі» (ВАТ «Кримський содовий завод» м. Красноперекопськ Кримської області), а також договорів про творчу співпрацю з Науково-дослідним і проектним інститутом основної хімії (НДІОХІМ, м. Харків).

Мета і задачі дослідження. Розробка конкурентоспроможного технологічного процесу та обладнання переробки шламу розсолоочистки у виробництві кальцинованої соди, та визначення закономірностей гетерогенних процесів, що покладені в основу комплексної переробки шламів в ліквідні хімічні продукти.

У відповідності до мети роботи поставлені такі завдання досліджень:

- систематизація науково-технічної літератури, патентної і технічної документації щодо технологічних процесів переробки і утилізації шламів розсолоочистки, апаратурному оформленні процесів переробки, процесів масопередачі і кристалізації в головних апаратах, фільтрування і промивки продуктових осадів;

- обґрунтувати перспективний технологічний процес переробки шламу на ліквідні продукти встановити більш вузькі стадії перспективного технологічного процесу, розробити програму досліджень;

- створити лабораторну і стендову установки для дослідження і уточнення параметрів процесів, обґрунтувати методи досліджень і розрахунку коефіцієнтів і параметрів, що визначають раціональні умови протікання процесу переробки шламу;

- дослідити механізм і кінетику, вплив гідродинамічних факторів на процес карбонізації у трьохфазній системі: шлам розсолоочистки – розчин NaCl + CaCl₂ – вуглекислий газ, встановити кінетичні параметри процесів хімічної взаємодії в системі і параметри процесів масопереносу в різноманітних конструкціях карбонізаторів, зробити вибір апарату для промислової реалізації процесу, створити математичний опис процесу у промисловому реакторі;

- дослідити ефективність фільтрування суспензії після процесу карбонізації і промивці осаду, запропонувати практичні рекомендації щодо вибору фільтраційного обладнання;
- розробити структурно-технологічну схему процесу переробки шламу розсолоочистки у ліквідні продукти.

Об'єктом досліджень є процеси кінетики, тепло масообміну та масопереносу в технології переробки шламу розсолоочистки.

Предметом досліджень є механізм і кінетика, впливу гідродинамічних факторів на процес карбонізації.

Методи дослідження. Теоретичні основи дисертації базуються на фундаментальних положеннях теорії масообміну між газом – рідиною і твердою речовиною, а також теоретичних основах розділення дисперсних систем. Для дослідження гідродинаміки і масообміну використано метод фізичного моделювання досліджуваних процесів в умовах лабораторних і стендових установок. Компоненти, що реагують в дослідній системі, аналізували з використанням стандартних об'ємних і масових методів хімічного аналізу. Обробку результатів усіх експериментів проводили з використанням комп'ютерної техніки і методів математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів - вирішено науково-технічну задачу комплексної переробки шламу розсолоочистки в виробництві кальцинованої соди з отриманням ліквідних продуктів шляхом дослідження і визначення масообмінних і гідродинамічних закономірностей на основних стадіях технологічного процесу переробки. При цьому отримані такі результати:

- вперше на базі результатів теоретичних досліджень і термодинамічних розрахунків запропоновано удосконалений механізм вилучення солей магнію з шламу розсолоочистки при одночасному утворенні і кристалізації карбонату кальцію під час обробки шламу розсолоочистки газом, що містить CO_2 (процес карбонізації);
- експериментально визначено основні кінетичні закономірності процесу карбонізації шламу розсолоочистки і визначено вплив гідродинамічної обстановки на кінетику і механізм процесу;
- теоретично і експериментально обґрунтовано вибір реактора-карбонізатора для реалізації процесу карбонізації процесу у вигляді колонного апарату з тарілками (насадками) типа «КРИМЗ» та підтверджено ефективність і переваги цього реактора при проведенні процесу в протivotоці суспензія-газ перед іншими типами реакторів;

Практичне значення одержаних результатів при виробництві соди полягає у розробці конкретних рекомендацій відносно переробки шламу розсолоочистки на ліквідні продукти. До результатів, які мають найбільше практичне значення, належать:

- розроблено апаратурно-технологічну схему процесу переробки шламу розсолоочистки, яка не тільки забезпечує отримання ліквідних продуктів, але і є безвідходною схемою;
- результати досліджень рекомендовано для практичної реалізації і прийняття для впровадження на содових заводах України (акт Науково-дослідного і проектного інституту основної хімії НДІОХІМ м. Харків) і Лівану, (акт фірми "Зайнун" г. Хермель Маали);
- результати досліджень впроваджено у навчальний процес кафедри хімічної техніки та промислової екології НТУ"ХП" у процесі підготовки студентів за спеціальністю 070801 –

екологія і охорона навколишнього середовища за освітньо-кваліфікаційними рівнями бакалавра, спеціаліста, магістра.

Особистий внесок здобувача полягає у плануванні експерименту, проведенні аналітичних та експериментальних досліджень, моделюванні технологічних процесів, аналізі, обробці, й узагальненні отриманих результатів, формулюванні висновків, підготовці матеріалів до публікації, розробці рекомендацій для впровадження нових технологій у виробництво. Здобувачем самостійно виконано експериментальну частину роботи, проведено математичну обробку отриманих результатів, за допомогою статистичного і регресійного аналізу. Постановка мети і задач досліджень, аналіз отриманих даних, виконано разом з науковим керівником. Особистий внесок здобувача підтверджується поданими документами і науковими публікаціями.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались, обговорювались і були ухвалені на: XVI і XVII Міжнародних науково-практичних конференціях "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я", (Харків, 2008, 2009pp); XVI Міжнародній науково-практичній конференції "Гідроаеромеханіка в інженерній практиці", (Чернівці, 2009 р.); I-му Міжнародному конгресі "Захист навколишнього середовища, енергоощадність, збалансоване природокористування", (Львів, 2009 р.); III-й Університетській науково-практичній студентській конференції магістрів Національного технічного університету "ХП", (Харків, 2009 р.); на наукових семінарах кафедри хімічної техніки та промислової екології в НТУ "ХП" в 2008-2010 роках.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 9 робіт, у тому числі 4 статті у наукових фахових виданнях України, патент України на корисну модель.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновку, списку літератури, додатків. Повний обсяг дисертації становить 143 сторінок; з них 12 таблиць за текстом, 6 таблиць на окремих сторінках, 26 рисунків за текстом, 2 рисунки на окремих сторінках, списку використаних літературних джерел з 155 найменувань на 12 сторінках, додатки на 6 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами та темами, визначено об'єкт, предмет, мету і завдання, показано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача, апробацію результатів дисертації і стисло наведено основні її положення.

У **першому розділі** наведено аналітичний огляд науково-технічної літератури за темою дисертації. Прораналізовані дані щодо фізико-хімічних основ отримання шламу розсолоочистки в аміачно-содовому виробництві, його властивостей, хімічного складу. Систематизовані технологічні методи вилучення складових компонентів зі шламу у вигляді відокремлених продуктів, взаємозв'язок "склад-властивість-процес", вплив різноманітних факторів на гетерогенний процес вилучення компонентів і якість цих компонентів. Визначені методи і технології світової практики щодо зменшення екологічного тиску виробництва кальцинованої соди на навколишнє природне середовище.

У **другому розділі** наведена характеристику досліджуваних процесів і методику проведення експериментальних досліджень. Наведено характеристику шламу розсолоочистки та реагентів, що використані при проведенні досліджень. Наведено послідовність проведення основних етапів досліджень, схеми лабораторних установок для проведення експериментів по

карбонізації і параметри, що контролюються під час проведених експериментів. Для реалізації процесу, що досліджується, у промислово-дослідних умовах використовуються реактори з контактною поверхнею фаз, яка утворюється під час руху фаз. Виходячи з цього, для проведення досліджень були вибрані тарілчасті колони і апарати із зовнішнім уводом енергії. Обрано як об'єкт дослідження колону, яка мала контактні елементи у виді насадки «КРИМЗ». В якості другого апарату вибрано абсорбер з турбінною мішалкою, яка утворює радіальний потік змішаної з газом суспензії.

Результати дослідження процесу абсорбції (масопередачі) у трьохфазному псевдозрідженому шарі, який утворюється у вибраних реакторах, оброблялися з використанням рівнянь, одержаних на основі теорії ізотропної турбулентності Колмогорова. В розділі наведено рівняння для визначення величини міжфазної поверхні, коефіцієнтів масовіддачі і тепловіддачі; також наведено методику дослідження і визначення констант фільтрування прокарбонізованої суспензії, які необхідні для вибору типу фільтра.

У третьому розділі наведено розрахунки рівноваги в системі $\text{Mg}(\text{OH})_2\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O-NaCl}$, результати дослідження закономірностей здобуття розчинів бікарбонату магнію в результаті процесу карбонізації шламу розсолоочистки, а також результати дослідження процесу карбонізації суспензії шламу розсолоочистки з уведенням в шлам концентрованого розчину CaCl_2 . Після обробки даних було встановлено, що ізотерми рівноваги в системах $\text{Mg}(\text{OH})_2\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O-NaCl}$, $\text{Mg}(\text{OH})_2\text{-CaCO}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O-NaCl}$ суттєво не відрізняються від ізотерм $\text{MgO-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$. Залежність тиску CO_2 над рівноважною системою від вмісту $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ (у перерахунку на MgCO_3) в рідинній фазі і температурі описується залежністю:

$$P_{\text{CO}_2} = 10^{n \lg X + \lg b} = 10^{\frac{d_0 + d_1 T + d_3 \lg X}{1 + d_2 T}}, \quad (1)$$

де X – концентрація $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ перерахована на MgCO_3 , кг/кг; b , n – коефіцієнти, залежні від температури: $\lg b = \frac{d_0 + d_1 T}{1 + d_2 T}$; $n = \frac{d_3}{1 + d_2 T}$, де d_0 , d_1 , d_2 , d_3 – коефіцієнти апроксимації поліному.

Розрахунок методом найменших квадратів коефіцієнтів d_i дав такі значення: $d_0 = 0,8883$; $d_1 = 0,01873$; $d_2 = 1,4531$; $d_3 = 0,0232$.

Результати розрахунку P_{CO_2} для системи $\text{MgO-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ при тиску 0,6 МПа в порівнянні з достовірними даними науково-технічної літератури дають середньо квадратичну похибку 0,027 МПа, при коефіцієнті варіації 4,5%. Це свідчить про достовірність залежності (1). Таким чином, було показано, що поведінка системи, що досліджується (суспензії шламу розсолоочистки) при карбонізації аналогічна добре дослідженій системі $\text{MgO-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$. Проведено розрахунки рівноважного тиску CO_2 в системі, що досліджується, в залежності від концентрації $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ і температури. Встановлено, що при концентрації $\text{Mg}(\text{OH})_2 = 1-1,2\%$ вихід бікарбонату магнію може бути досягнутим 90% при температурах нижче 22-25°C і тиску $\text{CO}_2 - P_{\text{абс}} \leq 0,15$ МПа.

Далі в розділі наведено експериментальні дані щодо кінетики карбонізації суспензії шламу розсолоочистки в лабораторних умовах при тиску газу в реакторі 0,1 МПа і концентрації CO_2 в газі 100 і 38% в залежності від температури (20, 30, 35°C) і швидкості подачі газу в реактор (0,008; 0,0108; 0,016; 0,0216 м/с). Наведені в розділі результати досліджень щодо зміни

концентрації $Mg(HCO_3)_2$ від впливу концентрації CO_2 в газі і температури процесу показали, що незалежно від концентрації CO_2 і температури рівноважна концентрація $Mg(HCO_3)_2$ в суспензії становить біля $7,8 \text{ г/дм}^3$, а в прокарбонізованій суспензії концентрація $Mg(HCO_3)_2$ досягає $14,8 \dots 16 \text{ г/дм}^3$. Тобто величина пересичення прокарбонізованої суспензії по $Mg(HCO_3)_2$ досягає близько 90 %, і ступінь переходу MgO у розчин досягає 80-85 %. Після досягнення вказаного значення ступеня пересичення при подальшому веденні процесу карбонізації концентрація $Mg(HCO_3)_2$ в розчині різко зменшується. Це обумовлено взаємодією розчиненого $Mg(HCO_3)_2$ з непрореагованим $Mg(OH)_2$ і, можливо, протіканням процесу карбонізації на поверхні твердих часток.

В результаті цих процесів утворюється тригідрокарбонат магнію (ТГКМ) - $MgCO_3 \cdot 3H_2O$, який інтенсифікує розклад $Mg(HCO_3)_2$. Вищевизначена рівноважна концентрація, а також пересичення системи корелюється з розрахунками згідно моделі (1). Інтенсивність процесу карбонізації і швидкість утворення $Mg(HCO_3)_2$ залежать від температури, швидкості газового потоку в реакторі і активності твердої фази суспензії шламу (питомої поверхні). Так встановлено, що за інших рівних умов (активність, швидкість газу, тиск) з підвищенням температури величина пересичення по $Mg(HCO_3)_2$ досягається за менший період часу. При температурі 20°C , швидкості газу $0,001 \text{ м/с}$, $S=20 \text{ м}^2/\text{г}$ цей період складає 6000 с , при 30°C – 2000 с , при $35-40^\circ\text{C}$ – 1500 с , тобто процес інтенсифікується підвищенням температури від 20°C до 40°C в 3-4 рази. Але, як свідчать експериментальні дані, після досягнення концентрації $Mg(HCO_3)_2$, яка відповідає пересиченню при подальшому проведенні процесу падіння концентрації до рівноважного значення проходить при температурах $30,35,40^\circ\text{C}$ за 1000 с , а при температурі 20°C інтенсивність падіння в 2-3 рази менше.

Таким чином, за температур вище 20°C інтенсивність утворення $MgCO_3 \cdot 3H_2O$ різко зростає і ступінь вилучення сполук з шламу різко зменшується з 85 % до 40-50 %. Це фактично обмежує температурні умови в реакторі карбонізації і ємкостях для зберігання розчину $Mg(HCO_3)_2$ після його відділення від твердої фази. Враховуючи поставлене завдання в роботі, останнє не дозволяє його вирішувати позитивно. Крім впливу температури на процес карбонізації визначальним є вплив питомої витрати газу в реактор.

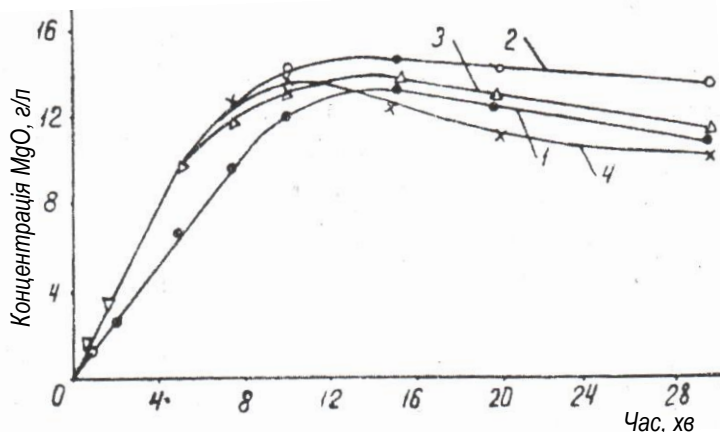


Рис.1. Вплив швидкості газу на перехід сполук Mg в розчин ($T=30^\circ\text{C}$, $P_{\text{абс}}=0,1 \text{ МПа}$, $C_T=1,6\% \text{ MgO}$, $C_{CO_2}=40\%$, швидкість газу м/с : 1 - $0,008$; 2 - $0,0108$; 3 - $0,016$; 4 - $0,0216$)

На рис.1 наведено графік впливу швидкості газу на перехід в розчин сполук магнію. Аналіз наведених даних на рис.1 свідчать про те, що інтенсивність карбонізації при підвищенні питомої витрати газу суттєво зростає. Так, за 480 с при швидкостях газу $W>0,016 \text{ м/с}$ досягнуто 90 % виходу бікарбонату магнію і розклад розчину не спостерігається близько 300 с , тобто досягається більш стале пересичення розчину по $Mg(HCO_3)_2$.

Таким чином, досягнення максимального пересичення розчину

бікарбонату магнію при тиску 0,1 МПа залежить від концентрації CO_2 в газі, властивостей твердої фази і швидкості подачі газу в реактор. Обробкою експериментальних даних показано, що кінетика процесу карбонізації від ступеню перетворювання 0,05 до 0,75 задовільно описується рівнянням

$$1 - \sqrt[3]{1 - X} = K_1 \cdot \tau^{1/2}, \quad (2)$$

де X – ступень перетворювання $\text{Mg}(\text{OH})_2$ в $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ в долях одиниці по часу τ .

Енергія активації, яку розраховано з температурної залежності K_1 , складає 17,9 кДж/моль і свідчить про лімітування процесу дифузії. При проведенні карбонізації з активною твердою фазою енергія активації процесу складає 42,1 кДж/моль. Це свідчить про те, що в останньому випадку хід процесу карбонізації зміщується з дифузійної області у перехідну. Статистична обробка результатів експерименту і відомих даних довели, що константа K_1 , знаходиться у лінійній залежності від температури ($T^\circ\text{C}$), концентрації $\text{Mg}(\text{OH})_2$ у суспензії (MgO г/дм³), концентрації діоксиду вуглецю в газі (CO_2 , %), швидкості газового потоку (W , дм³/с) і загального тиску в системі (P , МПа)

$$K_1 = 2,4 \cdot 10^{-3} T - 7,9 \cdot 10^{-7} \text{MgO} + 580,6 \cdot 10^{-6} P + 3,6 \cdot 10^{-4} \text{CO}_2 + 2,77 \cdot 10^{-3} W - 16,55 \cdot 10^{-3}. \quad (3)$$

Остаточна похибка рівняння (3) складає $32,95 \cdot 10^{-4}$.

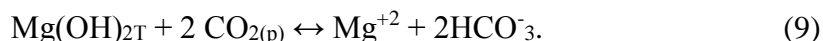
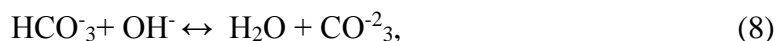
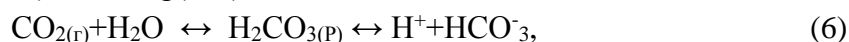
Залежність ступеню переходу $\text{Mg}(\text{OH})_2$ в розчин в залежності від найбільш впливових технологічних факторів має вигляд

$$X = 35,9 \cdot 10^{-2} + 88,58 \cdot 10^{-4} W + 16,72 \cdot 10^{-4} \text{CO}_2 - \\ - 2,5 \cdot 10^{-3} \text{MgO} - 61,39 \cdot 10^{-4} T + 21,33 \cdot 10^{-3} + 18,23 \cdot 10^{-4} S_{\text{уд}}. \quad (4)$$

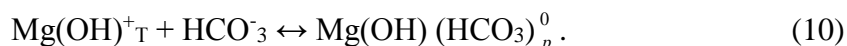
Остаточна похибка рівняння (4) складає $9,89 \cdot 10^{-2}$.

Аналіз рівнянь (2) і (4) доводить, що з перелічених факторів на процес карбонізації $\text{Mg}(\text{OH})_2$ найбільший вплив мають температура (T) і ступінь диспергування газу в суспензії, яка визначається величиною (W). Таким чином, процес карбонізації протікає у дифузійній області, лімітується масопередачею, швидкість якої пропорційна швидкості газу (W).

На основі аналізу експериментальних даних встановлено, що процес характеризується наступними стадіями:



Кінцевою реакцією є

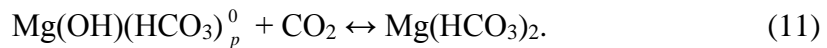


Останнє відповідає поглядам на пересичений розчин, як на ультра-мікро-гетерогенну систему, яка завжди містить субмікрозародки майбутнього кристалу, тобто асоціати $\text{Mg}(\text{OH})(\text{HCO}_3)^0$.

Таким чином, процес карбонізації $\text{Mg}(\text{OH})_2$, який протікає за схемою, що описується реакціями (6-11), закінчується утворенням асоціатів $\text{Mg}(\text{OH})(\text{HCO}_3)^0$. При забезпеченні відповідних значень P , T і W умови для росту асоціатів не сприятливі і утворюється пересичений розчин, який за цих умов – сталий. Відхилення параметрів P , T і W від значень, при яких

утворюється пересичений розчин, приводить до початку крис $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

Очевидно, що в результаті утворення нестабільних пересичених розчинів повністю вилучити з'єднання магнію з шламу розсолоочистки не можливо. Крім цього, очевидно, що відділений після процесу карбонізації від твердої фази розчин $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ при температурах $> 25^\circ\text{C}$ є нестабільним і для зберігання розчину потрібні значні енерговитрати. Для виключення впливу процесів утворення $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ і відповідно впливу температури на ступень вилучення MgO з твердої фази шламу, запропоновано в суспензію шламу, перед початком процесу карбонізації, вводити розчин CaCl_2 . При цьому процес проводити при параметрах P_{CO_2} і W , які відповідають таким для здобуття пересичених розчинів по $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. В цьому випадку асоціати $\text{Mg}(\text{OH})(\text{HCO}_3)_p^0$ в присутності CO_2 утворюють $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$



Одночасно $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ вступає в реакцію з CaCl_2 за рівнянням



Таким чином, пропонується вилучати солі магнію з шламу не у вигляді $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, а у вигляді MgCl_2 . Встановлено, що найбільш доцільно на 1 г-еквівалент $\text{Mg}(\text{OH})_2$ вводити 0,85-0,9 г-еквівалента CaCl_2 . Це забезпечить практично 100% період $\text{Mg}(\text{OH})_2$ в MgCl_2 і дозволить при переробці фільтрату здобути розсіл з відповідною концентрацією NaCl . Визначено, що реакція (12) не лімітує процес карбонізації в цілому, практично також нівелюється вплив активності твердої фази шламу на процес. Останнє пов'язано з тим, що за реакцією (12) постійно витрачається $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ і утворення $\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ виключено. Аналіз кінетики переходу $\text{Mg}(\text{OH})_2$ в розчин у вигляді MgCl_2 і складу не прореагованого твердого залишку шламу довів, що $\text{Mg}(\text{OH})_2$, який є в твердому залишку має ступінь карбонізації менше 3%. Останнє свідчить про те, що кінетика розчинення $\text{Mg}(\text{OH})_2$, або більш коректно дифузія іонів Mg^{+2} і OH^- в розчин не є стадією, що лімітує.

Визначено, що лімітуючою стадією є умови підтримання відповідної кількості іонів HCO_3^- в розчині, швидкість утворення яких залежить від інтенсивності диспергування CO_2 в об'ємі суспензії і концентрації CO_2 . Тому основним чинником, що впливає на процес, є швидкість газу W , що подається в реактор. При максимальній швидкості газу, що була досягнута в лабораторному реакторі $W=1,66$ м/с, було досліджено залежність зміни концентрації компонентів (Ca^{+2} ; Mg^{+2} ; $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$) у фільтраті від терміну процесу при $30-35^\circ\text{C}$. Результати досліджень наведені на рис. 2.

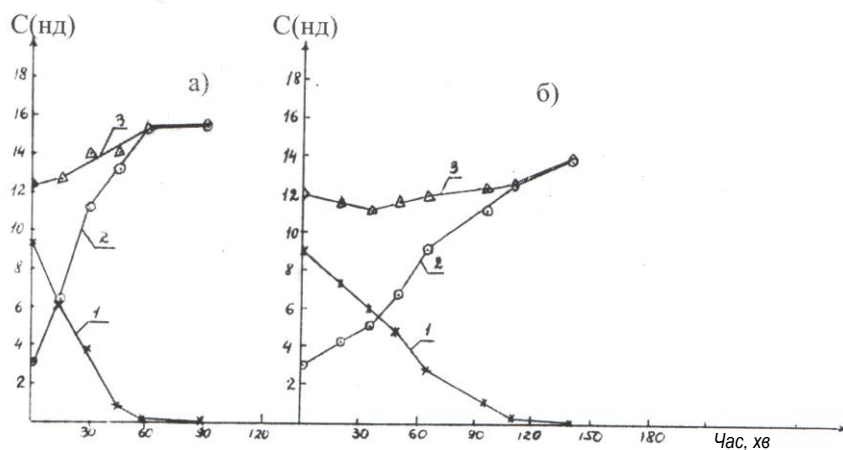


Рис. 2. Залежність зміни концентрацій компонентів в фільтраті [1 - Ca^{+2} ; 2 - Mg^{+2} ;

3 - ($\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$) від часу карбонізації шламу: а – 100% CO_2 ; б – 40% CO_2 ;

З експериментальних даних, що наведені на рис. 2 можна зробити висновок, що в досліджуваних умовах процес карбонізації доцільно вести до максимальної загальної лужності фільтрату за рахунок утворення $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, а не до відсутності в фільтраті іонів Ca^{+2} . За рахунок цього забезпечується зниження рН до 7,1 підвищується ступень вилучання магнію зі шламу до 99,5 % від загальної кількості $\text{Mg}(\text{OH})_2$ в шламі. Ефективність запропонованого способу переробки шламу розсолоочистки залежить не тільки від ефективності стадії карбонізації, але і від можливості ефективного розділення прокарбонізованого шламу від розчину ($\text{MgCl}_2 + \text{NaCl}$). Тому проведено дослідження процесу фільтрування прокарбонізованого шламу з визначенням констант фільтрування при $\Delta P = 250$ мм.рт.ст., а також умови промивання осаду від іонів Cl^- . Аналіз промитого осаду, висушеного при температурі 180-200°C до вологості 0,5 % мас у порівнянні з пунктами діючих вимог нормативної документації (НД) на хімічно осаджену крейду довів, що осад після карбонізації шламу, його виділення з суспензії і промивання, відповідає за нормативами хімічно промислових марок Б і В. Здобутий фільтрат – розчин солей NaCl і MgCl_2 переробляється при температурі 45-50°C з добавкою NaHCO_3 і надлишком 5% від необхідного по стехіометрії на основний карбонат магнію [$3\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$] і NaCl . Здобуту суспензію [$3\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$] також досліджували на здатність до фільтрування, як і попередню, а промитий осад піддали термообробці при 900°C. Здобутий продукт MgO і його характеристику порівнювали з показниками НД, що діє на магnezію палену. Встановлено, що здобутий продукт відповідає вимогам продукту 1 сорту. Здобутий фільтрат має концентрацію $\text{NaCl} \sim 310$ г/дм³ і відповідає вимогам до розсолу, що використовується у виробництві кальцинованої соди. Таким чином, лабораторні дослідження довели, що можна створити технологічний процес переробки шламу розсолоочистки на ліквідні продукти, при цьому апаратурно-технологічна схема процесу переробки буде безвідходною. Основним апаратом в апаратурно-технологічній схемі є реактор-карбонізатор, ефективність роботи якого визначає якість процесу і продукції. Тому вибір ефективного карбонізатора є однією з основних задач при реалізації вищезначеної схеми.

В четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень щодо вибору конструкції карбонізатора. Згідно теоретичних підстав для проведення процесу карбонізації у досліджуваній системі можуть бути використані апарати з контактною поверхнею, яка утворюється під час руху. Виходячи з цього, процес досліджувався в апаратах із зовнішнім уводом енергії – апарати з мішалками і колонних тарільчатих апаратах, що працюють під заливом. При цьому, конструкція карбонізатора повинна забезпечувати найменше продольне перемішування і найбільшу здатність щодо утримання газу.

Також конструкція тарілки повинна на кожному контакті забезпечити зміну напрямку вектора швидкості і тиску в колоні, і таким чином створювати на кожному контактному елементі інтенсивну турбулентну зону. Це різко збільшить коефіцієнт поперечного перемішування і зменшить коефіцієнт продольного перемішування, що забезпечить розвинену міжфазну поверхню між газом, рідиною і твердими частинками. Для реалізації останнього ефекту, в якості контактних тарілок, була вибрали, насадку ««КРИМЗ»». Схему елементів насадки наведено на рис. 3.

Насадка мала діаметр 0,25 м, товщину 0,002 м, отвори розміром 0,01×0,02 м, напрямні лопатки встановлені над отвором під кутом 30°. Лопатки на кожному контактному елементі встановлені з розгортанням по часовій, або проти часової стрілки, по черзі. Прохідний перетин тарілки – 43%. Тарілки по висоті колони закріплювались на відстані 0,25-0,6 м одна від одної. Зазор

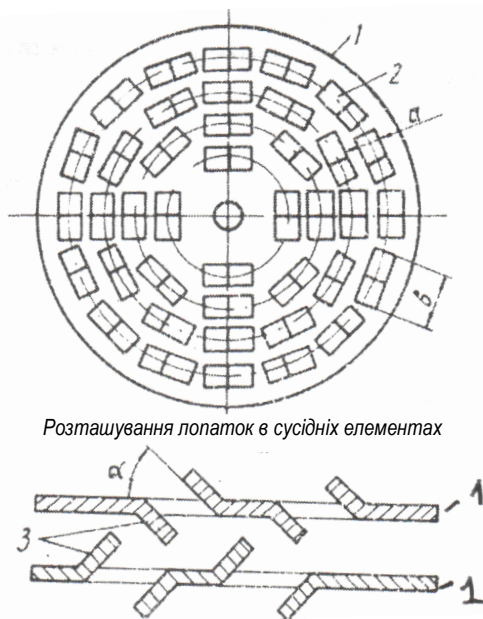


Рис. 3. Схема елементів насадки:

1- диск-тарілка; 2 – отвори;

3 – спрямовуючі лопатки

періодичний рух. Такий рух характеризується періодичною зміною вектора швидкості і тиску на контактному елементі, що забезпечує створення багатофазної розвинутої міжфазної поверхні і таким чином перерозподіляє введену кінетичну енергію, забезпечуючи періодичне створення екстремальних значень параметрів системи.

Принципову схему установки, на якій досліджувався процес, наведено на рис. 4. На установці, за умови вилучення з колони насадок «КРИМЗ», проведено дослідження щодо визначення ефективності процесу в карбонатних колонах, і впливу на процес пульсації газорідного стовпа в колоні.

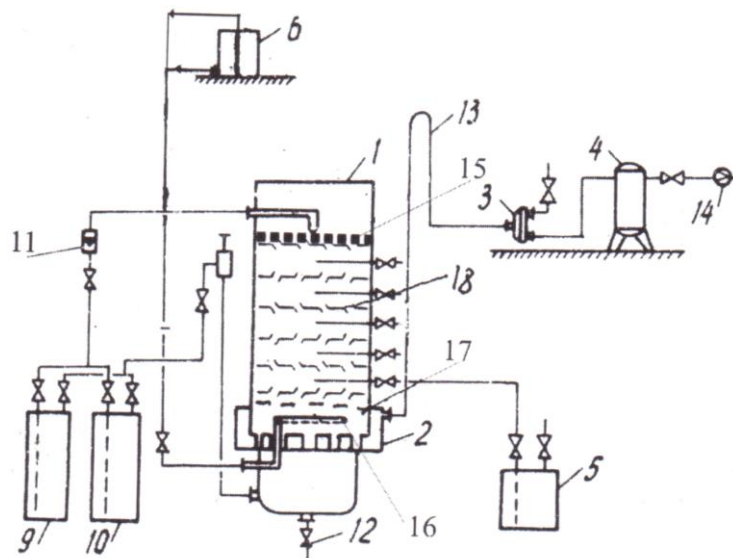


Рис. 4. Схема установки:

1 – колона, або апарат з мішалкою, 2 – пульсаційна камера, 3 – пульсатор, 4 – ресивер,
 5 – відбір проб, 6 – балони з CO_2 , повітрям, 7 – змішувач, 8 – штуцер, 9, 10 – ємкості для подачі і
 підготовки реагентів, 11 – регулятори витрати, 12 – зливний штуцер,
 13 – пульсопровід, 14 – діафрагма, 15 – розподільна тарілка, 16 – барботер, 17 – сіткова тарілка,
 18 – тарілка «КРИМЗ».

між утворюючою тарілкою і корпусом колони склав 0,075 м. Попередні експерименти довели, що вплив кожної наступної тарілки на напрямок вектора швидкості проявляється на відстані 70-75 % між тарілками. Поза цією зоною взаємним впливом тарілок, в першому наближенні, можна знехтувати. На ділянці поблизу тарілки, і відразу за нею, є зона інтенсивної турбулентності. В цій області число Re , розраховане по гідравлічному діаметру сопла тарілки і середній швидкості газового потоку при досліджуваних швидкостях газового потоку складало $2 \cdot 10^4$; $3,5 \cdot 10^4$; $4,7 \cdot 10^4$; $5,65 \cdot 10^4$, що підтверджує наявність інтенсивної турбулентності в зоні, яка розглядається.

Таким чином, в колоні з тарілками «КРИМЗ» реалізується розгінно-гальмовий рух потоків суспензії і газу, який можна вважати як

На рис. 5 наведені профілі діаметрів газових пухирів в реактор з мішалкою, в колоні з барботером, в колоні з барботером і пульсацією стовпу рідини 3 кол/с, в колоні з тарілками «КРИМЗ» і барботером, в колоні з пульсацією стовпа рідини 3 кол/с при різних швидкостях газу, тарілки «КРИМЗ» дозволяють більш інтенсивно диспергувати газ у суспензії і забезпечувати однорідні розміри газових пухирів в перетині реактора. Так Δd_s між центром реактора і стінкою не перевищує 0,002 м, в той же час, як в інших конструкціях ця величина перевищує 0,01 м.

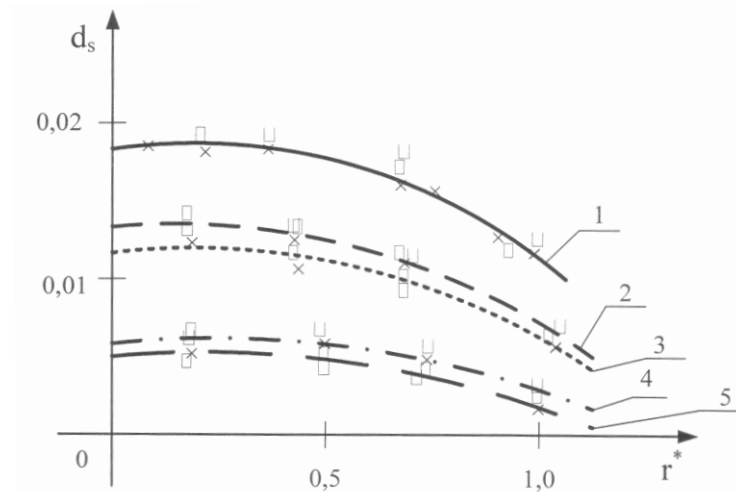


Рис. 5. Радіальні профілі діаметрів газових пухирів у різних реакторах.

1 – реактор з мішалкою $n=600$ об/хв; 2 – колона з барботером; 3 – колона з барботером і пульсацією стовпу рідини 3 кол/с; 4 – колона з тарілками «КРИМЗ» і барботером; 5 – колона з пульсацією стовпа рідини 3 кол/с ($\dot{U}_r - x - 0,031$; $0 - 0,0194$; $\square - 0,38$ м/с; $C_s - 247$ кг/м³; $\dot{U}_p - 0,0024$ дм³/с; $V_p/V_r = 0,02$)

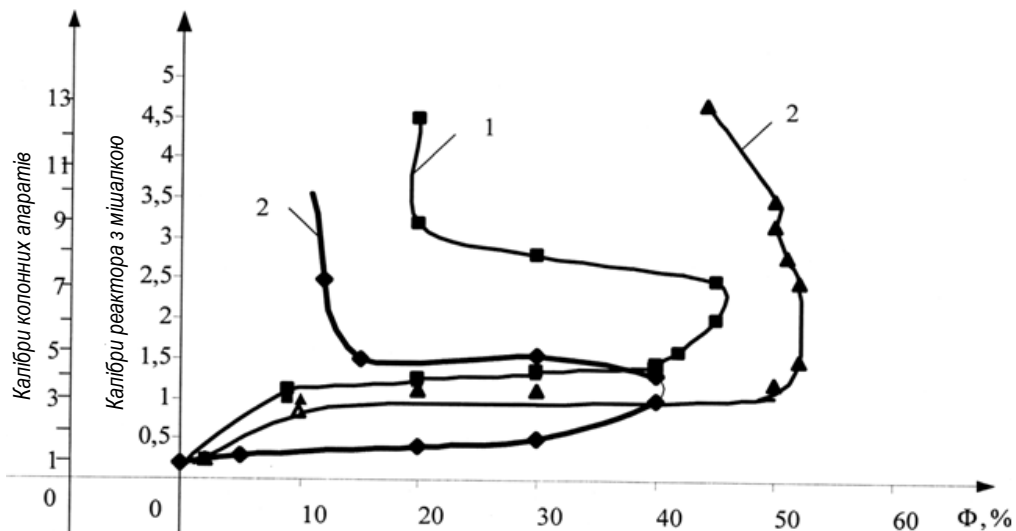


Рис. 6. Розподіл газотримання на висоті H карбонізаторів. Калібри-крапки замірів. Для реактора з мішалкою кількість калібрів визначається як H/D_p ; для колон, як $H/0,25$ м.

1 – колона з барботером і сітковою тарілкою над ним; 2 – колона з тарілками «КРИМЗ»; 3 – реактор з мішалкою. Для всіх карбонізаторів $\dot{U}_r - 0,25$ м/с, $C_s - 247$ кг/м³; $\dot{U}_p - 0,0024$ дм³/с; $V_p/V_r = 0,02$.

Аналіз даних, наведених на рис. 6, свідчить про те, що для всіх типів реакторів у нижній зоні під барботером величина газотримання (Φ) не перевищує 5-8 %. Найбільш ефективний

барбота́жний режим в реакторі з мішалкою (Кр.3) спостерігається в зоні обертання мішалки, барботера і відбивних перегородок. Вище цієї зони газотримання зменшується у 3 рази, що пов'язано з коалесценцією газових пухирів. Аналогічний характер графіків і у барбота́жній колоні (кр.1). Найбільш ефективний барбота́жний режим спостерігається на висоті 3-7 калібрів від барботера, вище величина газотримання зменшується до 18-20 %, що теж є наслідком коалесценції газових пухирів. Загальним для реакторів 1, 3 є те, що максимальне значення Φ не перевищує 40-42 %. В реакторі 2 (тарілки «КРИМЗ») газотримання над барботером досягає значень 50-52 % і підтримується практично по всій висоті колони на максимальному рівні. Після останньої тарілки газотримання починає зменшуватися. Такий характер зміни величини Φ в цьому випадку пов'язаний з особливостями конструкцій і специфікою руху потоків, які наведені раніш.

В розділі наведено результати досліджень з визначення питомої поверхні розділу фаз від величини лінійної швидкості газу у вільному перетині реакторів в зонах з максимальним газотриманням. Дослідження проведені для інтервалу швидкостей 0,1-0,3 м/с. Обробка експериментальних даних методом найменших квадратів дозволила здобути емпіричні залежності для величини питомої поверхні розділу фаз (α) у виді:

- барбота́жна колона $\alpha = 2,95 \cdot U_r^{0,71}$;
- колона з тарілками «КРИМЗ» $\alpha = 4,17 \cdot U_r^{0,74}$;
- реактор з мішалкою $\alpha = 1,95 \cdot U_r^{0,4}$.

Визначено залежність коефіцієнту продольного перемішування E_s твердої фази від лінійної швидкості газу. Однозначно було встановлено, що E_s в реакторі з тарілками «КРИМЗ» не перевищує 0,01 м/с, в той час, як в інших реакторах це значення досягає 0,025 м/с. Обробка здобутих експериментальних даних щодо зміни значення E_s проведено з використанням рівняння

$$P_e = A \left[\frac{F_{r_p}^a}{R_{l_r}} \right]^b + BR^c l_p, \quad (13)$$

$$\text{де } P_e = \frac{U_p H}{E_s}; \quad F_r = N^2 \frac{D_n}{g}; \quad F_r = \frac{U_r D_p}{g}; \quad R_e = \frac{U_r D_p \rho}{\mu}; \quad R_e = \frac{U_p D_p \rho}{\mu};$$

a, b, c – показники степеню; A, B – коефіцієнти, H – висота колони, м; D_n – діаметр мішалки, м; D_p – діаметр колони, м.

В результаті обробки експериментальних залежностей за рівнянням 13 здобуті наступні емпіричні залежності:

$$\text{для колон з тарілками «КРИМЗ» } P_e = 7,7 \left[\frac{F_{r_p}^a}{R_{l_r}} \right]^{0,098} + 0,01 R^{1,1} l_p \quad (14)$$

$$\text{для барбота́жної колони } P_e = 7,4 \left[\frac{F_{r_p}^a}{R_{l_r}} \right]^{0,115} + 0,019 R^{1,1} l_p \quad (15)$$

Відповідно здобутих вище результатів досліджень змінюється і коефіцієнти масовіддачі. Так, в інтервалах швидкості газу 0,02-0,25 м/с коефіцієнт масовіддачі k_{La} в колоні з тарілками

«КРИМЗ» досягає значень $0,025 \text{ с}^{-1}$, в той час в інших реакторах його значення не перевищує $0,014 \text{ с}^{-1}$. Здобуті експериментальні дані в колоні з тарілками ««КРИМЗ»» оброблені з використанням методу нелінійного регресійного аналізу знайдено емпіричне рівняння для розрахунку k_{La} у виді

$$\frac{k_{La}}{D_{CO_2}^{0,15}} = 28,0 U_r^{0,44} \cdot U_{po}^{0,42} \cdot D_{CO_2}^{0,15}, \quad (16)$$

де D_{CO_2} – коефіцієнт дифузії CO_2 в рідинній фазі.

Співвідношення (14) справедливе в наступних діапазонах: $0,02 \leq U_r (\text{м/с}) \leq 0,25$; $V_p/V_r \geq 0,02$; $100 \leq Re \leq 10000$.

В розділі 3 встановлено, що ступінь перетворення $Mg(OH)_2$ в $MgCl_2$ визначається значенням вище здобутих в цьому розділі параметрів, тому необхідно очікувати суттєву різницю цього показника на виході з реакторів.

Визначено, що ступінь вилучення сполук Mg зі шламу досягає 99,1 %, що в 1,2 рази більше порівняно з відомими технологіями.

Враховуючи вищенаведене, для реалізації процесу у промислових умовах необхідно рекомендувати колонний апарат з тарілками ««КРИМЗ»», або барботажну колону.

У п'ятому розділі наведено раціональну технологічну схему утилізації шламу розслоочистки в виробництві кальцинованої соди. Результати досліджень, які представлені в розділах 1-4, дозволили розробити апаратурно-технологічну схему процесу переробки суспензії шламу розслоочистки на ліквідні продукти.

Розроблена технологічна схема повністю замкнута і немає викидів у навколишнє середовище. Апаратурно-технологічна схема і результати дисертаційної роботи були схвалені і прийняті до впровадження в проекти при реконструкції содових виробництв в Україні і до промислового використання (стадія карбонізації) у виробництві гідроксиду магнію для отримання вогнетривів фірмою “Зайнун” (Ліван).

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу створення науково-обґрунтованого конкурентоспроможного технологічного процесу переробки шламу розслоочистки в виробництві кальцинованої соди на ліквідні продукти: хімічно-осаджену крейду, основний карбонат магнію, розсіл $NaCl$, придатний для виробництва соди.

Розроблений технологічний процес відрізняється від відомих технічних рішень високою селективністю, високим ступенем перетворення компонентів у цільові продукти, отриманням продуктів з якістю, яка відповідає сучасним вимогам, повною відсутністю відходів переробки. До основних результатів дисертаційної роботи треба віднести наступне:

1. Комплексний аналіз науково-технічних літературних джерел патентної документації щодо методів переробки і утилізації шламів, апаратурному оформленні процесів, а також їх теоретичним основам, дозволив створити наукове підґрунтя нового процесу утилізації шламу розслоочистки, вибрати і розробити основне обладнання для його реалізації.

2. Виявлено механізм процесів, що протікають в системах: шлам розслоочистки – дисперсійний осередок (розчин $NaCl$) – газ (який містить CO_2); шлам розслоочистки –

дисперсійний осередок (розчин $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$) - газ (який містить CO_2); вперше визначено кінетичні параметри процесів хімічної взаємодії в системах, лімітуючи стадії, а також основні параметри процесів масопереносу.

3. Проведено критичний аналіз здобутих результатів досліджень, обґрунтовано і запропоновано новий технологічний процес переробки шламу розсолоочистки з введенням в суспензію шламу перед процесом карбонізації CaCl_2 в кількості 0,85 г-еквіваленту CaCl_2 на 1 г-еквівалент $\text{Mg}(\text{OH})_2$, що дозволяє підвищити ступінь вилучення $\text{Mg}(\text{OH})_2$ з шламу до 99,9 %, нівелювати обмеження процесу за температурою, проводити процес за атмосферним тиском і здобувати чисті осади CaCO_3 .

4. Виконано дослідження, при яких в різних типах карбонізаторів для досліджуваних систем, визначено вплив гідродинаміки на кінетику і механізм процесу вилучення з'єднань магнію з шламу. Встановлено, що такі технологічні параметри процесу карбонізації, як час змішування, здатність до газоутворення, ступінь перетворення $\text{Mg}(\text{OH})_2$ залежать від факторів, що визначають геометрію реактора і відповідно модель потоків в ньому.

5. Використовуючи теорію ізотропної турбулентності Колмогорова для аналізу результатів досліджень, здобутих у карбонізаторах різної конструкції і геометрії, здобуто емпіричні залежності для визначення основних технологічних параметрів процесу.

6. Порівняння результатів досліджень процесу карбонізації шламу розсолоочистки в лабораторних умовах з результатами досліджень, здобутих в реакторах-карбонізаторах, встановлена ідентичність впливу основних факторів на інтенсивність процесу.

7. Визначено основні параметри процесу фільтрування прокарбонізованої суспензії і промивки осаду: константи фільтрування, витрати води на промивку, що дозволяє рекомендувати тип фільтрувального обладнання.

8. Розроблено апаратно-технологічну схему переробки шламу розсолоочистки за технологією, яка прийнята до впровадження в Україні та Лівані; результати дисертації впроваджено в навчальний процес кафедри хімічної техніки та промислової екології НТУ «ХП» при викладанні спеціальних дисциплін, курсовому та дипломному проектуванні.

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Макки А.Ф. О некоторых нерешенных проблемах в области производства и применения активного оксида и гидроксида магния / В.П. Шапоров, О.Э. Сердюков, А.Ф. Макки, Д.Д. Нечипоренко// Східно-європейський журнал передових технологій – Харків, видавн-во. Технологічний центр - 2008. - №6/4(36) – с 31-39.

Здобувач провів аналіз впливу якості різних видів сировини на процес отримання оксиду магнію і його фізико-хімічні властивості.

2. Макки А.Ф. Гидродинамический и массообменные исследования модели карбонизатора для обработки суспензии шлама рассолоочистки в производстве соды. / А.Ф. Макки, М.И. Васильев, Д.И. Нечипоренко, В.П. Шапоров// Інтегровані технології та енергозбереження – Харків вид-во НТУ «ХП» -2008. - №4-с.3-11.

Здобувач приймав участь у виконанні експериментальних робіт, особисто визначив залежність газотримання від типу карбонізатора і швидкості газу.

3. А.Ф. Макки. Один из возможных способ извлечения и производства оксида магния из шлама рассолоочистки содового производства / Шапоров В.П., Сердюков О.Э., Макки А.Ф. ,

Нечипоренко Д.И. // Вісник НТУ “ХПІ” Харків. – 2008.- №41 – с 100-110.

Здобувач особисто провів експериментальні дослідження на лабораторній установці і визначив основні параметри процесу.

4. Макки А.Ф. Закономерности процесса карбонизации суспензии гидроксида магния в абсорберах различной конструкции / Макки А.Ф. , Шапоров В.П. , Нечипоренко Д.И. , Подзолков А.С. // Інтегровані технології та енергозбереження – Харків вид-во НТУ «ХПІ» 2009. - №1- с.57-68.

Здобувач провів експериментальні дослідження і визначив найбільш ефективну конструкцію карбонізатора.

5. Поглинання CO₂ із газів розчинами углеамонійних солей: тези доповідей XVII Міжнародної науково-практичної конференції [Інформаційні технології і наука, техніка, освіта, здоров'я], (Харків 20-22 травня 2009 р)/ Мін-во освіти та науки України, Національний технічний університет Харківський політехнічний інститут Харків: НТУ “ХПІ”, 2009 – с 26.

Здобувачем досліджено кінетичні закономірності поглинання CO₂ в колонному абсорбері.

6. Модель карбонізатора у виробництві соди: доповідь XIV Міжнародної науково-практичної конференції [Гідромеханіка в інженерній практиці] (м. Київ-м. Чернівці, 19-21 травня 2009 р.)/ Міністерство освіти і науки України, Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут” - Київ-Чернівці НТУ «КПІ» ММІ, 2009.

Здобувачем визначено залежності щодо зміни газоутворення в абсорберах різної конструкції.

7. Очистка отходящих промышленных газов от CO₂ растворами углеаммонийных солей: тези доповіді I Міжнародного конгресу [Захист навколишнього середовища, енергоощадність, збалансоване природокористування] Львів, 28-29 травня 2009 р.

Здобувачем вивчено процес очистки відходящих газів від CO₂.

8. Фільтрація шламу розсолоочистки другої стадії у содовому виробництві: доповідь IV Університетської конференції [Магістранти до 125 річчя НТУ“ХПІ”] (Харків 23-25 березня 2010 р.)/Міністерство освіти і науки України, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут” – Харків: НТУ“ХПІ”, 2010. –с. 35.

Здобувачем визначені константи фільтрування шламу розсолоочистки.

9. Патент України на корисну модель № 65361, МПК⁵¹ B01J8/00. Карбонізаційна колона для здійснення складно-реакційного гетерогенного процесу / Макки А.Ф., Васильєв М.І., Пітак І.В., Моїсєєв В.Ф., Цейтлін М.А., Шапоров В.П.; заявник та власник патенту Макки А.Ф., Васильєв М.І., Пітак І.В., Моїсєєв В.Ф., Цейтлін М.А., Шапоров В.П. - № u201102687; заявлен. 09.03.2011; опубл. 12.12.2011 р., бюл. №23.

Здобувачем отримано підвищення продуктивності установки за рахунок нестационарного режиму масообміну й підвищення якості кристалів фази за рахунок забезпечення умов їхнього росту за дифузійним механізмом.

АНОТАЦІЇ

Алаа Файяд Макки. Процеси та обладнання переробки шламу розсолоочистки в виробництві кальцинованої соди. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – “Процеси та обладнання хімічної технології”, Харків, 2012.

Дисертаційну роботу присвячено створенню наукового підґрунтя процесу карбонізації

шламових відходів на стадії розсолоочистки содового виробництва з метою переробки шламів на ліквідні продукти для народного господарства і, таким чином, зменшення техногенного впливу содового виробництва на навколишнє середовище. Виявлено механізм процесу вилучення корисних компонентів зі шламу в процесі карбонізації, вплив гідродинаміки та масообміну на протікання процесу. Запропоновано новий спосіб і механізм процесу вилучення компонентів шляхом вводу в шлам розсолоочистки перед подачею на карбонізацію CaCl_2 у співвідношенні на 1 г-еквівалент $\text{Mg}(\text{OH})_2$, – 0,85÷0,9 г-еквівалента CaCl_2 , що дозволяє вилучати з шламу до 99,0% сполук магнію у виді розчину MgCl_2 . При цьому твердий осад представляє собою кондиційний CaCO_3 . Показано, що основним фактором інтенсифікації є швидкість утворення іонів HCO_3^- в розчині, яка визначається інтенсивністю диспергування CO_2 в об'ємі суспензії шламу і концентрації CO_2 . Відповідно, основним чинником, що впливає на ефективність процесу є швидкість газу, що подається в реактор-карбонізатор; конструкція контактних елементів карбонізатора (геометрія). Отримано графічні і імперічні залежності, які дають можливість визначити величину газоутримання, міжфазної поверхні, коефіцієнтів продольного перемішування і об'ємної масовіддачі від лінійної швидкості газу в реакторі і його геометрії. На основі цих даних для реалізації процесу вибрано колонний апарат з тарілками типу «КРИМЗ», в якому досягаються найбільший коефіцієнт масовіддачі і найменший коефіцієнт продольного перемішування. Запропоновано принципову апаратно-технологічну схему процесу переробки шламу на ліквідні продукти, яка прийнята для впровадження в Україні та Лівані.

Ключові слова: содове виробництво, процес перероблення відходів, масообмін, карбонізація, газовий пухир, реактор.

Алаа Файяд Макки. Процессы и оборудование переработки шлама рассолоочистки в производстве кальцинированной соды.– Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 – "Процессы и оборудование химической технологии", Харьков, 2012.

Диссертационная работа посвящена созданию научной основы процесса карбонизации шламов твердых отходов производства соды, которые образуются на стадии рассолоочистки с целью переработки этих отходов на ликвидные продукты по безотходной технологической схеме и, таким образом, уменьшения техногенного влияния содового производства на окружающую среду. Исследован механизм процесса извлечения полезных компонентов из шлама рассолоочистки в процессе карбонизации, влияние гидродинамики и массообмена на параметры процесса. Предложен новый способ и механизм извлечения компонентов из шлама рассолоочистки, путем ввода в шлам перед подачей на карбонизацию CaCl_2 в соотношении на 1 г-эквивалент $\text{Mg}(\text{OH})_2$, – 0,85÷0,9 г-эквивалента CaCl_2 , что обеспечивает извлечение из шлама до 99,9% соединений магния в виде раствора MgCl_2 . При этом твердый остаток представляет кондиционный продукт CaCO_3 . Показано, что основным фактором интенсификации является интенсивность образования ионов HCO_3^- в растворе, которая определяется интенсивностью диспергации CO_2 в объеме суспензии шлама и концентрации CO_2 в газе. Соответственно, основным фактором, который определяет эффективность процесса, есть скорость газа и конструкция контактных элементов реактора (геометрия). Получены графические и эмпирические зависимости для расчета газосодержания, межфазной поверхности, коэффициентов продольного перемешивания и объемной массоотдачей в зависимости от линейной скорости газа в реакторе и его геометрии. На

основе этих результатов для реализации процессов выбран колонный аппарат с тарелками типа «КРИМЗ», в котором достигается наибольший коэффициент массоотдачи и наименьший коэффициент продольного перемешивания. Предложена принципиальная аппаратно-технологическая схема процесса переработки шлама рассолоочиски на ликвидные продукты, которая принята и внедрена в Украине и Ливане.

Ключевые слова: содовое производство, процесс переработки отходов, массообмен, карбонизация, газовый пузырь, реактор.

Alaa Fayad Makki. Processes and equipment of processing sludge rassoloochistki in the production of soda ash. - manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.17.08 - "Processes and Equipment of Chemical Technology", Kharkov, 2012.

The thesis focused on the process of carbonization of sludge solid waste ash, which are formed at the stage rassoloochistki to recycling these wastes in liquid products of non-waste technology scheme and, thus, reduce the impact of man-made soda production on the environment. The process of extracting useful components from sludge rassoloochistki in the process of carbonization, hydrodynamic characteristics and mass transfer process parameters. A new method of extracting components from the sludge rassoloochistki by typing in the sludge before serving carbonation CaCl_2 a ratio of 1 g-equivalent of $\text{Mg}(\text{OH})_2$, – $0,85 \div 0,9$ g-equivalent CaCl_2 that provides the extraction of sludge to 99.9% of the compounds of magnesium in solution MgCl_2 . The solid residue is conditioned product CaCO_3 . It is shown that the main factor is the intensification of the intensity of formation of ions HCO_3^- in solution, which is determined by the intensity of CO_2 dispersion in the volume of the suspension of sludge and the concentration of CO_2 in the gas. Accordingly, the main factor that determines the efficiency of the process, there is the gas velocity and the construction of the contact elements of the reactor (geometry). A graphical and empirical relationships for calculating the amount of gas, the interfacial surface, the coefficients of longitudinal mixing and volume masootdachi depending on the linear velocity of gas in the reactor and its geometry. Based on these results, selected column apparatus with dishes such as KRIMZ, which achieved the highest mass transfer coefficient and the lowest coefficient of longitudinal mixing. A basic apparatus-technological scheme of processing of sludge rassoloochiski for liquid products, which is adopted and implemented.

Key words: soda production, the process of recycling, mass transfer, carbonation, gas bubble reactor.

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 0.9. Тир. 100 прим. Зам. № 092-12.
Підписано до друку 13.03.12. Папір офсетний.

Надруковано з макету замовника у СПД ФО Бровін О.В.
61022, м. Харків, майдан Свободи, 7, корп.1, к.19. Т. (057) 758-01-08, (066) 822-71-30
Свідоцтво про внесення суб'єкта до Державного реєстру
видавців та виготовників видавничої продукції серія ДК № 3587 від 23.09.09 р.

СТИЛЬ 
 **ИЗДАТ**
ТИПОГРАФІЯ