

сушки. Для получения более полной информации о рациональных режимах сушки, использующей микроволновой нагрев, целесообразно установить изменение основных характеристик процесса по времени для одновременной микроволново-конвективной сушки и провести сопоставительный анализ результатов.

#### **Список использованной литературы**

1. Advances in Agricultural Science and Technology. Volume 1. Advances in Bioprocessing Engineering [Text] / Editors H. Yang, J. Tang. London: World Scientific, 2002. – 172p.
2. Календерьян, В. А. Кинетика микроволновой сушки сыпучего органического материала [Текст] / В.А. Календерьян, И.Л. Бошкова, Н.В. Волгушева // ИФЖ, 2006. – №3, Т.79. – С. 123-127.
3. Thostenson, E.T. Microwave processing: fundamentals and applications [Text] / E.T. Thostenson, T.W. Chou // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 1999. – Vol. 30, № 9. – P. 1055-1071..
4. Sundaran Gumasekaran. Grain drying using continuous and pulsed microwave energy [Текст] / Gumasekaran Sundaran // Drying Technology, 1990. – № 8(5). – P. 1039-1047..
5. Волгушева, Н. В. Кинетика сушки плотного слоя дисперсного материала (на примере гречихи) при различных способах подвода теплоты [Текст]: дисс... канд. техн. наук : 05.14.05 / Волгушева Н.В. – О., 2005. – 225 с.
6. Лыков, А.В. Теория сушки [Текст] / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 472с.

УДК 66.01.011

### **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ АБСОРБЦИОННОГО АППАРАТА ПРИ УЛАВЛИВАНИИ АММИАКА В ПРОИЗВОДСТВЕ КАЛЬЦИНИРОВАННОЙ СОДЫ**

**Моисеев В.Ф.**

*Кандидат технических наук,  
профессор Национального Технического Университета  
«Харьковский Политехнический Институт»,  
Украина, г. Харьков*

**Манойло Е.В.**

*Кандидат технических наук, доцент Национального Технического Университета  
«Харьковский Политехнический Институт»,  
Украина, г. Харьков*

**Грубник А.О.**

*Магистр Национального Технического Университета  
«Харьковский Политехнический Институт»,  
Украина, г. Харьков*

### **INTENSIFICATION OF ABSORPTION APPARATUS AT TRAPPING AMMONIA IN THE PRODUCTION OF SODA ASH**

**Moiseev V.**

*Candidate of Technical Sciences, National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Kharkov, Ukraine*

**Manoilo E.**

*Candidate of Technical Sciences,  
docent National Technical University  
«Kharkov Polytechnic Institute», Kharkov, Ukraine*

**Grubnik A.**

*Master National Technical University  
«Kharkov Polytechnic Institute», Kharkov, Ukraine*

### **Анотація**

Висвітлено головні задачі та проблеми роботи апаратів для очистки газових викидів у технології виробництва кальцинованої соди. Визначено основні джерела викидів амміаку у виробництві кальцинованої соди та недоліки існуючих промислових апаратів. Показано необхідність створення принципово нових компактних та високоефективних вихрових абсорберів, що забезпечують інтенсифікацію процесів абсорбції газів та вирішення екологічних проблем.

### **Аннотация**

Освещены главные задачи и проблемы работы аппаратов для очистки газовых выбросов в технологии производства кальцинированной соды. Определены основные источники выбросов аммиака в производстве кальцинированной соды и недостатки существующих промышленных аппаратов. Показана необходимость создания принципиально новых компактных и высокоэффективных вихревых абсорберов, обеспечивающих интенсификацию процессов абсорбции газов и решение экологических проблем.

### **Abstract**

Analysis and intensification of washer gas colonies work in the production of soda ash. Highlights major challenges and problems of apparatus for the purification of gas emissions in the technology of production of soda ash. Are determined the main sources of ammonia emissions from the production of soda ash and disadvantages of existing industrial units. Are shown the necessity of creation of fundamentally new compact and high-performance Vortex absorbers providing intensification of the processes of absorption of gases and addressing environmental problem.

**Ключові слова:** кальцинована сода, абсорбція, вихровий абсорбер, барботажний принцип, масообмінний апарат, газові викиди.

**Ключевые слова:** кальцинированная сода, абсорбция, вихревой абсорбер, барботажный принцип, массообменный аппарат, газовые выбросы.

**Keywords:** soda ash, absorption, vortex absorber, bubble principle, mass transfer apparatus, gas emissions.

У виробництві кальцинованої соди утворюється значна кількість відходів, що викидаються у навколишнє середовище [1-3]. Головними джерелами газових викидів виробництва кальцинованої соди є процеси енергозабезпечення та процеси випалу вапняку. Після карбонізації амонізованого розсолу не досягаються санітарні норми очистки газових викидів від аміаку.

Однак, у технології виробництва кальцинованої соди, окрім проблем екології, великі капітальні витрати на обладнання. Висока матеріаломісткість обладнання в технології виробництва кальцинованої соди в теперішній час стримує та зменшує подальші темпи інтенсифікації виробництва соди.

Основним та головним принципом роботи діючих масообмінних апаратів у виробництві кальцинованої соди є барботажний принцип. Основним матеріалом для виготовлення апаратів є чавун.

Загальна матеріаломісткість колонного обладнання виробництва соди досягає більш ніж десяти тисяч тонн із-за великого числа ступенів з теплообмінними поверхнями та великого діаметру апаратів.

Проблема створення сучасних компактних апаратів для виробництва кальцинованої соди є актуальною як в основній технології виробництва, так і в технології очистки газових викидів від аміаку [4]. Необхідно відзначити, що за конструкцією ступені барботажних апаратів виконані однаковими, як для абсорбції газів низької концентрації, так і для газів високої концентрації, хоча вимоги по бризкоунесенню для тих та інших відрізняються в десятки разів.

У виробництві кальцинованої соди, після процесу карбонізації, газова фаза прямує в перший, а потім в другий промивач газів. Газовий потік після другого промивача газів

проходить через бризкоуловлювач та викидається в атмосферу. Охолодження газів з одночасною абсорбцією частини діоксиду вуглецю відбувається в першому промивачі газів колонн-1. У другому багатоступеневому промивачі аміак уловлюється розсолем до залишкової концентрації 0,1-0,2 г/м<sup>3</sup>. У цьому газовому викиді в атмосферу концентрація оксиду вуглецю досягає 2 г/м<sup>3</sup>. Очистка газового потоку від оксиду вуглецю, сумірного по токсичності з аміаком, взагалі не здійснюється. Із літератури відомо, що очистку газу від оксиду вуглецю можна здійснити на різноманітних каталізаторах [5]. Однак ефективність будь-якого відомого каталізатора для очистки газів від оксиду вуглецю в умовах виробництва соди швидко знижується, а на каталізаторі утворюються солі, що зменшує ефективність роботи каталізатору. У зв'язку з цим промивач газів колонн-2 є перспективним та повинен забезпечувати виконання ряду жорстких вимог не тільки по ефективності абсорбції аміаку, але й по максимальній ліквідації бризкоунесення рідкої фази. Окрім того, у складі потоку відхідних газів після другого промивача газів колонн знаходяться оксиди азоту з концентрацією 0,15-0,25 г/м<sup>3</sup>, що перевищує допустиму концентрацію газового викиду.

Потрібні принципово нові підходи до проектування високопродуктивних компактних апаратів, які повинні базуватися на закономірностях статистики та кінетики процесів абсорбції.

При роботі абсорберів утворюються стічні води, в яких вуглеводні, уловлений пил та фенол складають основну частину токсичності.

Очистка газового потоку від усіх компонентів є складною науково-технічною проблемою, яка має важливе економічне та екологічне значення. В діючих виробництвах газовий потік після печей випалу вапняку очищується тільки водою. Витрата води досягає 17 тис. м<sup>3</sup>/доб. Зазвичай рециркулювати по воді немає. Очистка стічних вод здійснюється в фільтрах, що заповнені кварцовим піском. У весінній період концентрація нафтопродуктів в потоці стічних вод різко збільшується. Останнє пояснюється тим, що в весінній період кокс та вапняк мокрі. Тому горіння коксу в печі випалу вапняку погіршується. Навесні в точці скидання стічних вод концентрація фенолу збільшується до 50 раз.

Окрім бризків амонізованої рідини та газоподібного аміаку з газовим потоком в ПГКЛ-2 надходять залишки діоксиду вуглецю, оксид вуглецю, вуглеводні, сірководень та оксиди азоту.

Аналіз закономірностей процесу карбонізації показує, що висока концентрація аміаку в газовому потоці, що виходить із колони карбонізації неминуча. Звісно, такий газ потрібно ефективно очищувати.

Для прискорення абсорбції аміаку потрібні апарати, які забезпечують максимальне значення коефіцієнту дифузії та мінімальну товщину плівки, як газу, так і рідини. Тому для інтенсифікації процесу абсорбції аміаку розсолем необхідна підвищена турбулізація газової фази та швидке оновлення поверхні контакту фаз.

У зв'язку з цим перспективними є контактні пристрої з підвищеною швидкістю газового потоку та підвищеним ступенем оновлення площі повної поверхні контакту фаз. До таких пристроїв відносяться пристрої вихрового типу [6].

В традиційних апаратах коефіцієнт масопередачі, віднесений до одиниці поверхні контакту фаз в насадних колонах найменший порівняно з іншими апаратами та знаходиться в межах величин, які визначаються для плівкової колони [7]. Виключення складають насадні колони, які працюють у режимі «заклинання». Однак, на практиці із-за великого гідравлічного опору насадної колони в режимі «захлинання» такий спосіб інтенсифікації не використовується.

Високий ступінь оновлення поверхні та високий ступінь турбулізації рідини та газу в вихрових пристроях, приводить до того, що коефіцієнт корисної дії вихрових пристроїв, як по газовій так і по рідкій фазі знаходиться в межах 90-99 %. Окрім того, найважливішою перевагою вихрових пристроїв є мінімальне бризкоунесення, що дозволяє

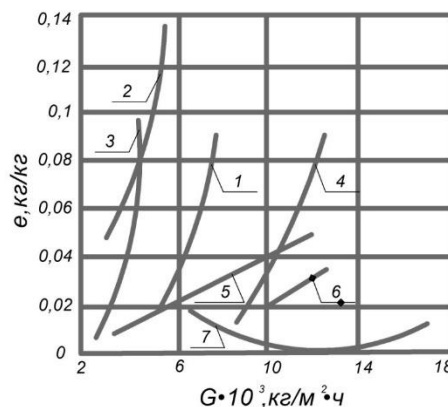
проводити процеси абсорбції при відносно малому навантаженні апарату по рідкій фазі. При абсорбції легкорозчинних газів вихровий апарат є працездатним при  $L/Q$  навіть менше ніж 0,001. Насадні колони стають працездатними лише при величині  $L/Q$  більше 1,0. Тому в насадних колонах для забезпечення необхідного відношення  $L/Q$  застосовується примусова циркуляція рідини.

На виробництвах кальцинованої соди абсорбцію аміаку ведуть розсолем, потік якого значний. Наприклад, у другий промивач газів при витраті газів порядку 10 тыс. м<sup>3</sup>/год подають розсіл з потоком до 100 т/год. При цьому відношенні  $L/Q$  досягає 8. У таких умовах на практиці застосовують тільки тарілчасті барботажні апарати. При збільшенні витрати газу робота барботажних апаратів зазвичай супроводжується різким збільшенням бризкоунесення рідини, а значить й витратою аміаку з рідиною.

Допустима концентрація аміаку у газовому потоці, який викидається, разом із бризкоунесенням складає 0,05 г/м<sup>3</sup>. Необхідно відмітити, що бризкоунесення після барботажного ступеня контакту фаз по даним літератури вважається нормальним, якщо воно досягає 10 % від кількості рідини, яка входить на ступень[8]. Десять процентів від 100 т/год розсолу складає величину 10 т/год. Очевидно, що таке бризкоунесення недопустимо. Тому для скорочення бризкоунесення барботажні ступені контакту фаз в умовах виробництва соди мають в 2-3 рази збільшену висоту зони сепарації. Висота кожного робочого ступеню контакту фаз досягає 1,3 м. Останнє призводить до збільшення загальної висоти та загальної матеріаломісткості апаратів. Слід відмітити, що сучасні вихрові апарати дозволяють скоротити бризкоунесення рідини в сотні раз, що видно з рис. 1.

Апарат повинен мати волокнисті фільтри та декілька ступенів вихрових пристроїв, верхня з яких повинна бути бризко уловлювачем, а декілька нижніх вихрових пристроїв повинні забезпечити абсорбцію аміаку. Для повного уловлювання аміаку мінімальне число теоретичних ступенів контакту фаз рівно трьом. У діючих барботажних апаратах число ступенів контакту фаз рівно восьми.

Слід відмітити, що волокнисті фільтри також призначені не тільки для ефективного уловлювання бризків рідини, але й для уловлювання туману. Відомо, що при високій концентрації аміаку (після промивача газів колон-2) газовий потік, який викидається із безбарвного перетворюється в сизий із-за викиду аерозолів.



**Рис. 1.** Залежність бризкоунесення від витрати газу для різноманітних апаратів: 1 – клапанна тарілка; 2 – струменева; 3 – барботажна; 4 – сітчаста тарілка без відбійника; 5 – сітчаста тарілка з відбійником; 6 – провальна; 7 – тарілка з вихровим контактним елементом розпилювального типу, де  $e$ , кг/кг – відносне бризкоунесення,  $G \cdot 10^3$ , кг/м<sup>2</sup>·ч – масова швидкість газу в перерізі апарату

При високій концентрації аміаку в газі над розсолем може відбуватися пересичення газової фази аміаком вище критичної величини.

Необхідно застосовувати допоміжний проміжний бризкоуловлювач між першим та другим ступенем.

Є ще одна специфічна особливість роботи другого промивача газів. Вона пояснюється тим, що в початковому газі окрім парів аміаку міститься велика кількість рідини, яка утворюється в результаті конденсації парів води й в результаті бризкоунесення рідини із першого промивача газів. Рідина представляє собою амонізований розсіл. Кількість цієї рідини порівнянна з кількістю аміаку в газі. У промислових умовах для уловлювання рідини, яка знаходиться в газоході, повинні бути передбачені необхідні бризкоуловлювачі. Однак на практиці їх зазвичай немає та передбачені лише патрубки зливу рідини із газоходу. Тому значна кількість рідини уноситься газовим потоком по газовому колектору й попадає на дно другого промивача.

В промислових умовах потрібно зменшувати бризкоунесення із першого промивача газів. Для цього потрібно створювати спеціальні допоміжні пристрої або спеціальні бризкоуловлювачі. При цьому виникають труднощі, які полягають в тому, що елементи бризкоуловлювачів швидко заростають солями. Очевидно, що здійснювати найпростіше ефективне уловлювання рідини доцільно в даній частині промивача газів колон-2, створюючи спеціальну конструкцію нижньої частини апарату. Тому в нижній частині промивача газів колон-2 повинно бути використано поле відцентрових сил, яке забезпечує сепарацію фаз з одночасним зрошенням газового потоку розсолем.

Особливе значення в роботі вихрового промивача газів колон-2 може відкрити поділ потоку рідкої фази. Традиційно вся рідка фаза подається на верхній ступінь контакту фаз промивача газів колон-2. Після чого рідина перетікає вниз з тарілки на тарілку. Однак специфіка роботи промивача газів потребує поділу потоку вхідної рідини мінімум на два потоки: верхній (на верхній ступінь контакту фаз) та нижній (в днище апарату). Якщо говорити про вихрові апарати, то верхній потік рідини в свою чергу доцільно поділити на дві частини з вводом рідини на два ступені контакту фаз. При цьому з кожного ступеню вихрового апарату рідина може бути виведена із апарату. Це забезпечить мінімум гідравлічного опору вихрового апарату та максимум пропускної здатності апарату по рідкій фазі.

Зазвичай у промисловій практиці для абсорбції аміаку у викидах застосовуються барботажи кувалочкові тарілки. Газовий потік входить в апарат знизу та виходить із апарату зверху. Усі вісім барботажних ступенів контакту фаз по конструкції однакові. Барботажи кувалочки виконані знімними. Вони встановлюються на тарілках зверху над газовими патрубками. Кожен барботажний кувалочок внутрішніми ребрами притискається до газового патрубка за допомогою шпильки та гайки.

Слід відмітити, що в літературних джерелах мало приділено уваги опису бризкоунесення та його впливу на показники роботи апарату. Загальноприйнята величина допустимого бризкоунесення між ступенями в барботажних апаратах рівна 10 % від надходячої на тарілку рідини.

Для скорочення бризкоунесення рідини в основу нової конструкції промивача газів колон-2 може бути закладене застосування рукавних волокнистих голкопробивних поліпропіленових фільтрів.

Якщо піти шляхом заміни діючих барботажних елементів на маленькі вихрові елементи, то можна збільшити продуктивність апарату майже в 2 рази. Якщо прийняти на тарілці набір маленьких вихрових елементів та нового вихрового апарату, то можливо зменшити габаритні розміри апарату при збереженні або збільшенні продуктивності.

Специфічні умови абсорбції, характерні не тільки лише для технологічної лінії виробництва кальцинованої соди, але й для багатьох інших хімічних виробництв. Наші дослідження також можна використати в інших виробництвах. Наприклад, в умовах виробництва сірчаної кислоти навантаження абсорберів по величині  $L/Q$  також знаходиться в межах 6-10.

Абсорбери триоксиду сірки, абсорбери парів води, абсорбери для промивки газів у

виробництві сірчаної кислоти також відрізняються великою матеріаломісткістю. Загальна матеріаломісткість насадних абсорберів для виробництва сірчаної кислоти на деяких заводах досягає 1,5-2 тис. т.

Задачі скорочення бризкоунесення сірчаної кислоти, інтенсифікації процесів абсорбції газів у виробництвах йоду та бромів співпадають з проблемою інтенсифікації процесу абсорбції аміаку в технології виробництва кальцинованої соди, хоча конструкції апаратів згаданих виробництв різні.

Приведені дані вказують на недоліки та неможливість подальшої інтенсифікації традиційних абсорберів. Тому достоїнствами розробки вихрових апаратів для абсорбції по експлуатаційним витратам буде застосування протитечійного та перехресного способу контактування фаз.

Наші дослідження є продовженням раніше виконаних робіт [8]. Була розроблена нова конструкція вихрового абсорбера, на яку подано документи на отримання патенту України та створюється установка для проведення експериментальних досліджень.

У результаті проведених досліджень обґрунтована необхідність підвищення ефективності процесу абсорбції за рахунок використання розробленої авторами конструкції вихрового апарату.

Показано, що можливо збільшити продуктивність вихрових апаратів та зменшити їх габаритні розміри.

Новий вихровий апарат дозволить скоротити енергетичні затрати на процес очистки і таким чином знизити вартість очистки.

#### Література

1. В.М. Титов Основные направления модернизации тепло- и массообменных аппаратов содового производства с целью защиты окружающей среды// В.М. Титов, Г.А. Ткач, В.П. Шапоров, А.В. Колосов - Химреактор-11. Реакторы для процессов защиты окружающей среды. XI Всесоюзная конференция по химическим реакторам.-Алушта, 1992.-12 с.

2. В.М. Титов Разработка теоретических основ технологии и оборудования производства кальцинированной соды с целью создания малоотходного производства: Автореферат диссертации доктора технических наук/ В.М. Титов -Харьков, 2001.-32 с.

3. М.Б. Зеликин Производство кальцинированной соды./ М.Б. Зеликин, Є.М. Миткевич, Є.С. Ненко и др. - М.: Госхимиздат, 1959.-422 с.

4. Р. Смит Основы интеграции тепловых процессов/ Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. Товажнянский и др.-Библиотека журнала «Интегральные технологии и энергосбережение».-Харьков: НТУ «ХПИ», 2000.-456 с.

5. Е.А. Трусова Состояние и перспектива каталитической очистки газовых выбросов (обзор)/ Е.А. Трусова, М.В. Цодиков, В.П. Сливинский и др.// Нефтехимия.-1995.-Т.35.-№1-С.3-24.

6. Н.А. Николаев Исследования и расчет ректификационных и абсорбционных аппаратов вихревого типа: Автореф. дис. докт. техн. наук/ Н.А. Николаев.- КХТИ-Казань, 1974.-33 с.

7. Интенсивные колонные аппараты для обработки газов жидкости/ Под ред. Э.Я. Тарата.-Л.: Химия, 1976.-100 с.

8. М.А. Цейтлин Расчет одновременной абсорбции аммиака и диоксида углерода в содовом производстве// М.А. Цейтлин, В.М. Фруммин.- Химическая промышленность.- 1984.-№7.-С.424-426.