

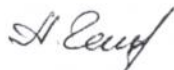
На правах рукопису

Гаресв Альберт Тазетдінович

**АПАРАТУРНЕ ОФОРМЛЕННЯ КОНТАКТНОГО
ОХОЛОДЖЕННЯ ГАЗІВ СОДОВОГО ВИРОБНИЦТВА**

05.17.08 – процеси, машини та апарати хімічних та
нафтопереробних виробництв

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня канди-
дата технічних наук



Харків – 1997

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Харківському науково-дослідному інституті основної хімії (НДІОХІМ).

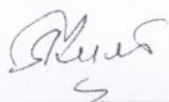
Науковий керівник:	кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Цейтлін Мусій Абрамович
Науковий консультант:	доктор економічних наук Іванілов Олександр Семенович
Офіційні опоненти:	доктор технічних наук Перцев Леонід Петрович кандидат технічних наук, доцент Кошельник Вадим Михайлович
Провідна організація:	Український науково-дослідний інститут хімічного машинобудування (УкрНДІХімМаш), м.Харків.

Захист відбудеться: 15 мая 1997 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 02.09.09 у Харківському державному політехнічному університеті (310002, м. Харків, МСП, вул. Фрунзе, 21).

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківського державного політехнічного університету.

Автореферат розісланий 11 асереля 1997 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

 Якименко Г.Я.

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00753552 (R)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи Кальцінована сода продовжує займати одне з провідних місць серед продуктів хімічної промисловості як України, так і Росії, незважаючи на загальний економічний спад. За більш ніж сторічну історію технологія сучасного, аміачного способу виробництва досить добре відпрацьована і є запорукою його подальшого використання. Щодо апаратури, то попри ряд модернізацій, вона залишається традиційно важкою та громіздкою. Особливо це стосується стадій охолодження газових та рідинних потоків. Циркулюючи у схемі виробництва аміак та діоксид вуглецю багаторазово переходять з газової фази у рідку та назад, що супроводжується дуже значними тепловими ефектами. Тому, майже всі основні апарати мають великі теплообмінні поверхні, що перевищують 1000 м² на один апарат. Велика кількість холодильників газу та рідини мають специфічну конструкцію, яку в содовому виробництві називають бочечною. У цих перехресноточних апаратах корпуси та теплообмінні поверхні виготовлені з чавуну. Останнє зумовлює низьку експлуатаційну надійність та інтенсивність теплообміну, великі габарити та металоемкість. Наприклад, на стадії охолодження газу кальцінації зараз застосовуються чавунні бочечні холодильники, які мають поверхню охолодження завбільшки 1500 м² та 52 м заввишки.

Зважаючи на зростання вартості металу та необхідність заміни фізично зношеного обладнання содових виробництв на апарати сучасної конструкції, розробка високоінтенсивних газових холодильників уявляється дуже актуальною.

Об'єкт досліджень Процес контактного охолодження газів содового виробництва, сегментні контактні устрої та апарати контактного охолодження газів, а саме контактний холодильник компримованого газу із ситчатими тарілками та контактний холодильник газу кальцінації.

Мета роботи Розробка нових для содової промисловості принципів охолодження газів на основі раціонального вибору типів холодильників з урахуванням технологічних особливостей стадій виробництва, розробка математичних моделей процесів охолодження, теоретичних основ розрахунків та на цій підставі рекомендацій з проектування нової холодної апаратури.

Методи дослідження В роботі застосовувалися методи фізичного та математичного моделювання досліджуваних процесів. Під час дослідження фізичних моделей хімічні аналізи виконувались із застосуванням об'ємних, вагових методів, фізико-хімічного аналізу, а саме, по-

тенціометричного титрування та інших. Математичне моделювання виконувалось за допомогою ЕОМ. Обробка результатів досліджень проводилась із застосуванням методів математичної статистики.

Наукова новизна полягає у тому, що:

- вперше в широкому діапазоні швидкостей досліджені та описані гідродинамічні режими, що утворюються на сегментних контактних елементах;
- досліджена в широкому діапазоні швидкостей залежність гідравлічного опору сегментних контактних елементів від конструктивних та гідродинамічних параметрів;
- вивчена залежність інтенсивності масовіддачі в газовій фазі на сегментних контактних елементах від конструктивних та гідродинамічних факторів;
- розроблено метод математичного моделювання контактного охолодження газів, що містять вологу, який базується на описі процесів переносу теплоти та маси як єдиного процесу переносу ентальпії;
- розроблена математична модель процесу охолодження газів содового виробництва за умов, коли усі компоненти газу конденсуються або розчиняються у конденсаті.

Практична цінність Розроблено методи моделювання процесів охолодження газів, що дають змогу робити проектні розрахунки холодильників, визначаючи кількість контактних ступенів та гідравлічний опір апарату.

Спроектовано контактні холодильники газів содового виробництва, а саме холодильники компримованого газу та газу кальцінації. Ці апарати відрізняються від існуючих значно меншою вагою та витратою охолоджуючої води.

Реалізація та впровадження результатів роботи:

- холодильника газу кальцінації впроваджено у технічний проект та буде застосовано під час реконструкції цеху кальцінації другого виробництва Стерлітамацького АТВТ «Сода»;
- спроектовано та впроваджено у відділенні компресії першого виробництва Стерлітамацького АТВТ «Сода» контактний холодильник газу компресії.

Апробація роботи Основні положення та результати дисертації доповідалися та обговорювалися на засіданнях науково-технічної ради НДЮХІМ (м. Харків), технічної ради АТВТ «Сода» (м. Стерлітамак), V науково-методичній конференції «Людина та навколишнє середовище:

проблеми безперервної екологічної освіти в вузах", м. Одеса 16 - 18 вересня 1996 р.

Публікації Основний зміст роботи опубліковано у 5 друкованих працях.

Структура та обсяг роботи Робота складається з вступу, п'яти глав, висновків, списку цитованої літератури, який нараховує 130 назв та додатків. Дисертація викладена на 140 сторінках, містить 18 малюнків та 8 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *першій* главі наведено аналітичний огляд літератури з питань застосування контактних теплообмінників для охолодження газів у різних галузях техніки.

Показано, що ці апарати набули достатнього поширення у ряді галузей промисловості. Їх перевагою є висока інтенсивність процесів теплообміну та відносно малі габарити. У содовому виробництві контактні апарати поки що застосовуються тільки для охолодження газу вапнякових печей та й те лише тому, що при цьому забезпечується очистка газу від пилу. Зроблено висновок, що на стадіях охолодження газів компресії та кальцінації заміна поверхневих холодильників на контактні раціональна з технологічних міркувань та може виявитися економічно ефективною.

Аналіз літератури довів, що на стадії кальцінації, де необхідно забезпечити низький гідравлічний опір, доречно застосування сегментних контактних устроїв. На стадії компресії, де важливим фактором є малі габарити, виправдано застосування перехресноточних ситчатих тарілок.

З'ясувалось, що незважаючи на відносну поширеність сегментних контактних устроїв (наприклад, у процесах конденсації) відсутні надійні відомості з їх гідродинамічних та масообмінних властивостей у широкому діапазоні швидкостей газу. Крім того, з'ясувалось, що відомі методи розрахунку контактних теплообмінників розвинуті стосовно до системи вода - повітря, не можуть бути застосовані до апаратів содового виробництва тому, що газорідинні системи в цих апаратах мають суттєво інший склад.

Друга глава містить методики проведення експериментів та результати дослідження гідродинамічних характеристик та масопередачі на сегментних контактних елементах.

Беручи до уваги специфіку газо-рідинних систем содового виробництва, де суттєвими є тільки процеси конденсації пари і абсорбції аміаку та визначаючим опором масопередачі є опір у газовій фазі, експеримент проводився на модельній системі вода - вологе повітря з перевіркою точності

отриманих даних на пілотних апаратах, працюючих на заводських рідинах та газах.

Під час досліджень вивчався вплив конструкції сегмента, а саме: міжтарілочної відстані, кількості перфорацій на полотнищі тарілки, висоти зливного поріжка, а також витрат газу та рідини на гідравлічний опір тарілок та коефіцієнт масопередачі під час конденсації водяної пари.

Досліджувані тарілки уявляли собою сталеві сегменти, які перекривали 60 % перерізу стенду. Сегменти було перфоровано отворами діаметром 20 мм. Випробовувались два типи сегментів: з часткою площі сегментів зайнятої отворами 4,3 та 2,2 %. Сегменти мали зливний поріг, який можна було встановлювати в два положення по висоті – 20 та 40 мм. Це дозволяло регулювати розподіл зливу рідини через поріг та у отвори.

Для гідравлічного опору незрошуваних сегментних тарілок отримано наступне рівняння:

$$\Delta P_{\text{сух}} = 1,63 w^2, (\text{Па}) \quad (1)$$

де w – швидкість газу віднесена до повного перерізу апарату, м/с.

Вивчення залежності опору зрошуваних сегментних тарілок від швидкості газу дозволило виявити існування двох режимів, що відрізняються ступенем взаємодії газу та рідини: перший режим – нестурбованих струменів та другий – розпилювання струменів.

Як показали результати досліджень, гідравлічний опір зрошуваних тарілок практично не залежить від кількості перфорацій на сегменті. Це означає, що гідравлічний опір сегмента у першому режимі зумовлений наявністю рідинної завіси, стікаючої із зливного поріжка. У другому режимі, з утворенням однорідної газо-рідинної суміші, відсутність впливу кількості перфорацій стає очевидною.

Вплив щільності зрошення на гідравлічний опір зрошуваних тарілок у першому режимі відсутній, тому що а ні кількість, а ні розмір струменів не змінюється, а отже не змінюються умови течії газу (не змінюється профіль каналу, яким тече газ).

У другому режимі щільність зрошення чинить помітний, хоча й не дуже значний, вплив на гідравлічний опір тарілки. Оскільки шар піни не утворюється, цей вплив може бути пояснений зміною щільності газорідинного потоку за рахунок попадання до нього бризок, а, відповідно, й втрат напору на місцевих опорах.

Математична обробка даних з гідравлічного опору зрошуваних сегментних тарілок проводилась нами за допомогою ЕОМ. Замість звичайного методу регресійного аналізу було застосовано метод нелінійного оцінювання, як такий, що дає більш високу точність у всьому діапазоні вимірів. Спочатку, були отримані окремі рівняння для кожного гідродинамічного режиму. Далі всі дані для обох режимів були оброблені

разом з отриманням одного узагальнюючого рівняння, яке наведено нижче.

$$\Delta P = 21,46 w^{2,85} u^{0,21}, \text{ (Па)} \quad (2)$$

де u – щільність зрошення, м/с.

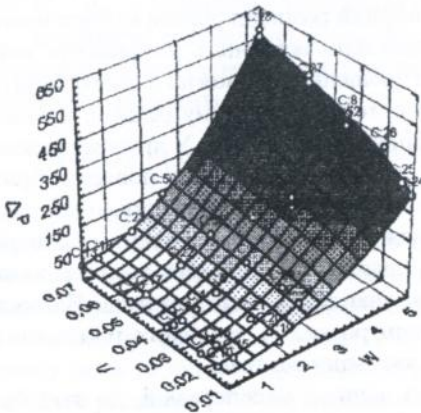
Залишкове середнеквадратичне відхилення розрахунків за рівнянням (2) значень становить 11,4 Па у діапазоні $0,3 < w < 5,8$ м/с та $0,01 < u < 0,07$ м/с.

З'ясувалось, що узагальнююче рівняння несуттєво відрізняється від окремих точністю. Це дозволяє рекомендувати його для інженерних розрахунків. На графіку мал. 1 наведено отриману залежність у графічній формі (поверхня – розрахунок, точки – дослід).

Узагальнююче рівняння зручніше двох різних, тому що за задовільної точності дозволяє уникнути процедури вибору рівняння за швидкістю газу. Треба зазначити, що для практичного впровадження необхідно віддати перевагу другому режиму як більш інтенсивному. Тому його і було обрано для промислового апарату. Виходячи з цього у математичній моделі обмежились наступним рівнянням для другого режиму, яке забезпечує залишкове середнеквадратичне відхилення 8,2 Па у діапазонах швидкостей газу від 2,5 до 5,4 м/с та щільності зрошення від 0,01 до 0,07 м/с:

$$\Delta P = 42,96 w^{2,11} u^{0,34}; \text{ (Па)} \quad (3)$$

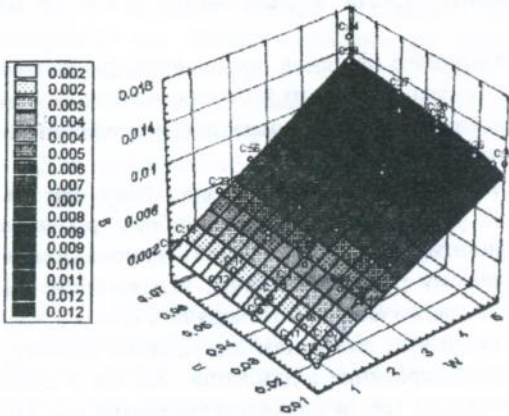
□	33.996
▨	66.923
▩	99.851
▧	132.778
▦	165.705
▥	198.633
▤	231.560
▣	264.488
▢	297.415
□	330.343
■	363.270
▟	396.197
▞	429.125
▝	462.052
▜	494.980
▛	527.907



Мал. 1. Залежність гідравлічного опору зрошувальної сегментної тарілки від швидкості газу та щільності зрошування.

Під час досліджень масообмінних характеристик спочатку було виявлено характер зв'язку рушійної сили процесу конденсації, тобто різниці парціального тиску пари у повітрі та рівноважного тиску над водою, та його швидкості. Як з'ясувалось, цю залежність із задовільною точністю можна прийняти за лінійну.

Досліди також показали, що висота зливного поріжка не впливає на коефіцієнт масопередачі в жодному з режимів, а кількість перфорацій помітно впливає лише при малих щільностях зрошення у першому режимі. З цього можна зробити висновок, що основна кількість пари конденсується на завісі, що стікає з переливу. Якби це було не так, сегмент першого типорозміру мав би забезпечувати у двічі більшу інтенсивність масо-



Мал. 2. Залежність коефіцієнту масопередачі від швидкості газу та щільності зрошення

обміну, чим сегмент другого типорозміру (внаслідок у двічі більшої кількості струй, а тому і поверхні контакту газу з рідиною). У другому режимі, тобто при швидкостях газу більше 1,5 м/с, конструкція сегменту не впливає на масообмінні процеси. Таким чином, кількість перфорацій в сегменті можна довести до мінімуму, зумовленим лише тим,

щоб на сегменті не накопичувався мул. Висота зливного поріжка має вибиратися з огляду на рівномірний розподіл рідини вздовж нього.

На графіку мал. 2 наведена залежність коефіцієнта масообміну від швидкості газу та щільності зрошення. Як можна з нього бачити при швидкостях газу менш ніж 1 м/с, тобто у першому режимі, щільність зрошення суттєво не впливає на коефіцієнт масовіддачі. У другому режимі цей вплив трохи помітний, та, певне, визначається зміною поверхні бризок, виважених у газовому потоці, із зміною щільності зрошення.

З графіку мал. 2 також видно, що коефіцієнт масопередачі визначається, головним чином, швидкістю газу. На графіку важко виділити ділянки, відповідні до двох, знайдених нами режимів. На нашу думку, це викликано достатньо великим розкидом дослідних точок, що не дозволяє виявити злами графіка під час зміни режимів.

Математична обробка даних з масопередачі, до якої було залучено увесь масив значень не розрізняючи режимів, дозволила отримати наступне рівняння, яке забезпечує залишкове середньоквадратичне відхилення 12 % у інтервалі швидкості газу від 0,3 до 3,5 м/с та щільності зрошення від 0,01 до 0,07 м/с:

$$\beta = 3,78 \cdot 10^{-3} \cdot w^{0,93} u^{0,12}, \quad (4)$$

де β – коефіцієнт масопредачі, $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$

Результати дослідів, що описані у другій главі, стали за основу для проектних розрахунків холодильника газу кальцінації содового виробництва.

У третій главі описана розробка та реалізація математичних моделей процесів охолодження газів. Розроблено дві моделі. Одна – для процесу охолодження газів, які містять один компонент (водяну пару), що конденсується, та інші, що не конденсуються (повітря). Інша – для газів, усі компоненти котрих можуть конденсуватися або абсорбуватися рідиною (аміак, водяна пара, діоксид вуглецю).

Математичні моделі контактних холодильників газів, де має місце випаровування рідини, яка контактує з гарячим газом (наприклад, газом сушильних установок), звичайно базуються на системі із двох диференціальних рівнянь, одне з яких описує тепло-, а інше масопереніс:

$$G c_g dt_g = \alpha_g (t_i - t_g) dS \quad (5)$$

$$G dx = \beta_g (x_i - x_g) dS \quad (6)$$

де G – масова витрата газу, $\text{кг}/\text{с}$; c_g – теплоємність газу, $\text{кДж}/\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$; t_i, t_g – температури поверхні розділу газ – рідина та основної маси газу, відповідно, $^\circ\text{C}$; S – поверхня контакту фаз, м^2 ; x_i, x_g – вологовміст газу, рівноважного з рідиною на поверхні розділу фаз та основної маси газу, відповідно, $\text{кг}/\text{кг}$; α_g – коефіцієнт тепловіддачі зі сторони газової фази, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$; β_g – коефіцієнт масовіддачі зі сторони газової фази, $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$.

При цьому швидкість переносу теплоти до рідини з урахуванням теплоти конденсації становить:

$$L c_l dt_l = [\alpha_g (t_g - t_l) + r \beta_g (x_g - x_i)] dS \quad (7)$$

де r – теплота пароутворення, $\text{кДж}/\text{кг}$.

Зважаючи на те, що t_i та x_i невідомі та до того ж функціонально залежать одне від одного, до рішення необхідно підключати рівняння тепловіддачі у рідкій фазі, що значно ускладнює модель.

Аналіз показав, що розрахунки можуть бути значно спрощені, якщо процеси переносу маси та теплоти представити як єдиний процес переносу ентальпії. Для цього рівняння (7) було переписано наступним чином:

$$L c_l dt_l = \beta_g [c_g (t_g - t_l) \alpha_g / \beta_g c_g + r (x_g - x_i)] dS \quad (8)$$

Відношення $\alpha_g / \beta_g c_g$ у формулі (8) носить назву психрометричного коефіцієнта та для систем типу вода – повітря та близької – вода – димові гази звичайно приймається таким, що дорівнює одиниці. Беручи це до уваги, (8) можна переписати слідуючим чином:

$$L c_l dt_l = \beta_g [(c_g t_g + r x_g) - (c_g t_l + r x_l)] dS \quad (9)$$

Зважаючи на те, що ентальпія вологого повітря $I_g = c_g t_g + r x_g$ та баланс енергії $L c_l dt_l = G c_g dt_g$, з (9) з'ясовується, що швидкість обміну теплою між рідиною та газом пропорційна із коефіцієнтом пропорційності, дорівнюючим β_g – різниці ентальпій основної маси газу та газу, що є у рівновазі з охолоджуючою рідиною. Тобто:

$$G dI_g / dS = \beta_g (I_g - I_l) \quad (10)$$

Таким чином, спрощення моделі було досягнуто за рахунок заміни системи рівнянь (5), (6) одним рівнянням (10). Це, однак, не відкидає невизначенності, щодо температури газу та рідини на поверхні розділу фаз та, відповідно, рівноважної ентальпії газу. Тому, було запропоновано загальну рушійну силу переносу енергії поміж газом та рідиною обчислювати у одиницях ентальпії, як суму окремих рушійних сил у газовій та рідкій фазах.

$$I^* - I_g = (I_l - I_g) + (I^* - I_l) \quad (11)$$

де I^* – ентальпія газу, що є у рівновазі з основною масою охолоджуючої води, кДж / кг.

Тоді:

$$G dI_g = L dI_l = L c_l dt_l = k (I^* - I_g) dS \quad (12)$$

причому:

$$1/k = 1/\beta_g + (I^* - I_l) / \alpha_l (t_l - t_l) \quad (13)$$

У роботі показано, що коефіцієнт передачі ентальпії – k з рівнянь (12) та (13) пов'язаний із коефіцієнтом масопередачі β , що застосовувався для обробки експериментальних даних у другій главі, простим співвідношенням:

$$k = \beta P_0 / 0,622 \quad (14)$$

де P_0 – загальний тиск газу, Па.

Під час розробки алгоритму розрахунку математичної моделі холодильника газу було прийнято до уваги, що наступні обставини можуть суттєво ускладнювати обчислення: по-перше, рівняння (12) є нелінійним

(нелінійність визначається залежністю ентальпії від температури) та його потрібно розв'язувати чисельними методами; по-друге, оскільки холодильник газів є протиточним апаратом, одна частина вихідних даних задана на вході газу, а інша на протилежному кінці апарату – на вході рідини. Для спрощення алгоритму вдалися до припущень, що є звичайними для математичного моделювання апаратів із східчастим контактом фаз, а саме: про лінійність рівноважної кривої на протязі одного східця контакту та про ідеальне перемішування рідини на ньому. Це дозволило замінити диференціальне рівняння процесу на систему алгебраїчних рівнянь. Зокрема, припущення про лінійність рівноважної кривої дозволяє інтегрувати рівняння (12):

$$I_{g,j} = [(I_{g,j-1} - I_j^*) / \exp(k S / G)] + I_j^* \quad (15)$$

де j – номер тарілки (східця)

Система рівнянь розв'язувалась методом ітерацій. При цьому з технологічних, балансових або інших міркувань назначали величини параметрів рідини та газу на вході до апарату. Виконували потарілочний розрахунок апарату від першої тарілки, рахуючи знизу, до останньої. Отримані у розрахунку параметри рідини та газу порівнювали з заданими на вході рідини до апарату та, якщо розходження розрахованих та заданих параметрів виявлялося більше заданого, вихідні дані коректували та розрахунок повторювали. Процедура повторювалась автоматично, доки розрахунок та завдання не співпадали із заданою точністю.

Розроблений алгоритм було застосовано для розрахунку холодильника газу компресії. Результати цього розрахунку наведені у таблиці:

Таблиця. Результати розрахунку холодильника газу компресії.

Номер тарілки	Тепловміст газу, кДж/кг	Температура рідини, °С	Температура газу, °С	Влаговміст, кг/кг
1	169,3	61,9	68	0,0396
2	84,7	40,1	48	0,0148
3	45,8	26,0	32	0,0062
Кількість сконденсованої води, кг/год				386

Математична модель контактного холодильника газу кальцінації має відрізнятися від вищеписаної, так як усі компоненти газу можуть у цьому апараті конденсуватися або розчинятися у охолоджуючій рідині. Оскільки процес охолодження у цьому разі стає аналогічним процесу, який протікає у абсорбері содового виробництва, нами були застосовані відомі структура моделі та основні розрахункові залежності, що розроблені для абсорбера, але із суттєвими доповненнями, які стосувалися особливостей роботи мо-

дельованого апарату, а саме: були змінені кінетичні коефіцієнти у рівняннях переносу, модулі покрокового розрахунку, в котрих на кожному кроці замість елементу висоти поверхні абсорбції розраховувався контактний східець.

Нижче наведено рівняння для розрахунку кінетичних коефіцієнтів у математичній моделі холодильника:

$$K_a = 10^{-9,257 - 410/T} P_{b,l} \quad (16)$$

$$K_g = \beta = 3,78 \cdot 10^{-3} w^{0,93} u^{0,12} \quad (17)$$

де T – температура абсорбенту, К; $P_{b,l}$ – рівноважний тиск аміаку над охолоджуючим розчином, Па.

Математичну модель було застасовано для розрахунку кількості контактних елементів та розподілу концентрацій у холодильнику газу кальцінації, що проектувався. На мал. 3 наведено розподіл температур та концентрацій аміаку по висоті холодильника, що побудований по результатам розрахунку (суцільні лінії). Звертає на себе увагу не очевидна на перший погляд особливість розподілу концентрацій аміаку по висоті, а саме, що максимум концентрації NH_3 досягається не на нижній, а на одній з проміжних тарілок.

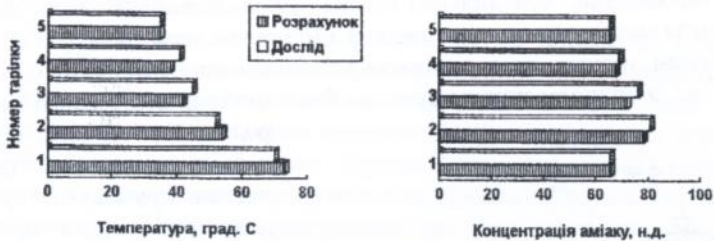
У **четвертій** главі наведено результати фізичного моделювання холодильників газу кальцінації та компресії, та випробування дослідно-промислового апарату для охолодження газу компресії.

Випробування моделі супутника холодильника газу кальцінації (ХГК) проводилися в цеху АДК–2 Стерлітамацького АТВТ “Сода” з метою перевірки адекватності математичної моделі апарату та відробки конструкції та технологічного режиму у виробничих умовах на реальних технологічних рідинах та газах.

Отримані на моделі супутника розподіли температур та концентрацій по висоті апарату зіставлено із розрахунковим на мал. 3 (експеримент – точки). Як видно з малюнку, експериментальні значення температури газу та рідини на виході з апарату виявились трохи меншими за розраховані, проте, у цілому, тенденцію змінення параметрів процесу модель відбиває досить точно.

Досліди підтвердили наявність максимуму концентрацій аміаку на другій або третій тарільці, рахуючи знизу. Помічений ефект можна пояснити тим, що абсорбція аміаку з газу кальцінації, яка має місце у зоні низьких температур у верхній частині апарату, змінюється десорбцією, коли холодоагент опускається в низ апарату, де контактує з гарячим газом, бага-

тим на водяну пару. В результаті, зони максимуму швидкостей конденсації водяної пари та абсорбції аміаку виявляються просторово розділеними.



Мал. 3. Розподіл температур та концентрацій за висотою холодильника

Ця особливість роботи холодильника наптовхує на думку відводити залишковий конденсат не з загальної маси холодоагенту, що циркулює, а з другої або третьої тарілки, де він максимально збагачений аміаком. Як показали досліді на пілотній установці, це дозволяє суттєво знизити вміст аміаку у газі, що виходить з холодильника, та полегшити роботу промивача газу кальцінації. У цьому разі останній може бути виконаний з меншою кількістю контактних ступенів.

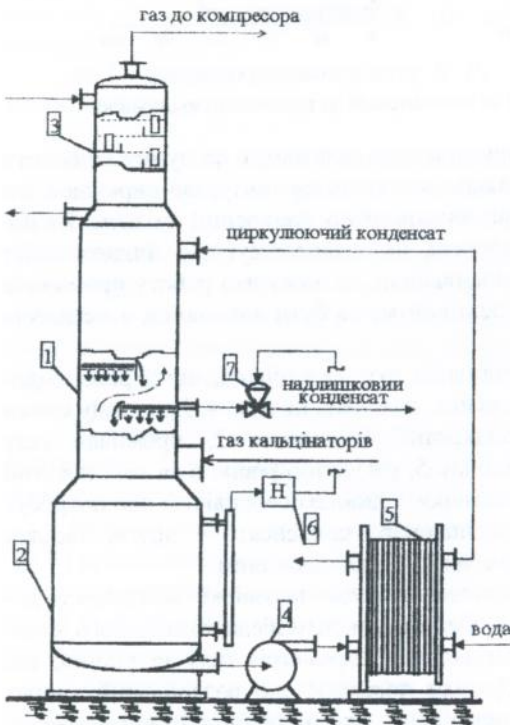
Технологічна схема охолодження газу кальцінації, що її рекомендовано для промислового впровадження, наведена на мал. 4. До складу схеми входять холодильник газу кальцінації 1, сміксть 2, промивач газу кальцінації 3, насос 4, теплообмінник 5, регулятор рівню 6 та регулюючий клапан 7. Її робота очевидна з малюнку. Єдиною особливістю, що потребує коментаря, є те, що відбір залишкового конденсату з другої тарілки потрібно вести за рівнем у баку сбірникові холодоагента.

Спеціальні досліді проводилися з метою перевірки можливості досягнення регламентних норм по температурі газу після контактного холодильника газу кальцінації та визначення параметрів газу та рідини, що відповідають цьому режиму. Досліді показали, що розроблений апарат забезпечує охолодження газу кальцінації, яке відповідає вимогам регламенту.

Результати роботи, що описані у цій дисертації, було покладено в основу проекту дослідно-промислового холодильника газу кальцінації потужністю 1000 т соди на добу (у содовій промисловості прийнято вимірювати продуктивність апаратів у одиницях кінцевої продукції, що виробляється за їх участю).

Під час розробки конструкції холодильника компримованих газів (так у содовому виробництві називають стиснутий до 0,4 МПа газ, отриманий у печах випалювання вапняка, який застосовують для карбонізації амонізованого розсолу) було знайдено, що перехреснотічні ситчаті тарілки найкращим чином відповідають технологічним умовам. Апарат-супутник

з такими тарілками був випробуваний в цеху компресії першого виробництва соди Стерлітамацького АТБТ "Сода". Метою цих випробувань була перевірка конструкції апарату та впливу нової технології охолодження на процес карбонізації. Холодильник уявляв собою колонний апарат діаметром 0,6 м та мав чотири ситчасті тарілки з отворами діаметром 0,03 м. Були випробувані тарілки двох типорозмірів: із вільним перерізом 0,077 та 0,106 м²/м². У міжтарілочному просторі були зроблені вертикальні перегородки, що ділили тарілки навпіл та мали у нижній частині прямокутну прорізь для проходження прогазованої рідини з одної половини тарілки на іншу. Така конструкція забезпечувала крапцю за звичайні ситчасті тарілки структуру потоку рідини.



Мал. 4. Рекомендована технологічна схема охолодження газу кальцинації

промисловий апарат продуктивністю по газу 18000 м³/год. Холодильник виконано у вигляді колонного апарату діаметром 1,4 м, висотою 5,4 м. Він має 3 контактні елементи зі зменшуючимся по ходу газу вільним перерізом.

Результати випробувань показали, що прямий контакт поміж газом та рідиною дозволяє ефективно проводити процес теплообміну з отриман-

Як показали результати досліджень, інтенсивність теплопередачі визначається, головним чином, швидкістю газу. Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до площі тарілки, пропорційен швидкості газу у ступені 1,3. Вплив щільності зрошення є мало помітним і це дозволяє проводити охолодження при малих витратах охолоджуючої води.

За результатами випробувань моделі супутника холодильника газу компресії було розроблено проект, виготовлено та впроваджено у цеху компресії дослідно

ням стабільної регламентної температури газу, яка не залежить від часу роботи апарату. Витрата охолоджуючої води при такому способі знижується до 1,5 – 3,0 м³/т соди проти 15 – 16 м³/т соди у звичайних кожухотрубчатих холодильників.

У п'ятій главі викладено організаційні та економічні аспекти розробки контактних холодильників для виробництва кальцінованої соди.

Орієнтація вітчизняної економіки на різноманітність форм власності та підприємницької діяльності створює важливі передумови становлення та розвитку ринкових відносин. Керівний персонал содових підприємств, так само як і інші товаровиробники, має пристосовуватись до нових умов хозяйнування. Швидше адаптуватись до них допомагає застосування принципів маркетингу, набувши значного поширення у світовій практиці.

Концепція маркетингу, що її запропоновано у дисертації, відрізняється від інших тим, що: 1) підприємство бачить свою задачу у задоволенні потреб певної групи споживачів; 2) підприємство усвідомлює, що задоволення цих споживачів потребує цілого ряду маркетингових досліджень для їх виявлення; 3) маркетингова діяльність підприємства постійно контролюється та аналізується; 4) підприємство має бути впевнено, що його діяльність по задоволенню попиту призводить до повторних купівель продукції та забезпечує сприятливу громадську думку.

Під час планування збільшення обсягів випуску продукції мають враховуватись наступні фактори: наявність матеріальних ресурсів; стан технічної бази виробництва та можливість оновлення та реконструкції обладнання; наявність трудових та фінансових ресурсів.

Застосування нових, більш продуктивних засобів виробництва - основа зростання конкурентоспроможності содового виробництва на світовому ринку. Тому у дисертації і запропонована та економічно обгрунтована заміна на содових підприємствах фізично зношених та морально застарілих бочечних холодильників на апарати контактного типу, які дозволяють підвищити питому продуктивність з 137 до 584 кг соди на год з 1 м³ об'єму апарату, тобто більш ніж у 4 рази.

Розрахунки корисного економічного ефекту впровадження контактного холодильника газу кальцінації показали, що він становить 1,547 млн. грн. А строк окупності апарату – 2,85 року.

ВИСНОВКИ

1. Контактні теплообмінники є високоефективними апаратами, що широко застосовуються у багатьох галузях виробництва. Однак у содовому виробництві до цього часу вони не набули достатнього поширення.

2. Досліджена гідродинаміка однофазної та двофазної течії газового та рідинного потоків по сегментним контактним устроєм. Встановлена на-

явність двох режимів течії: нестурбованих струменів (перший режим) та розпилювання струменів (другий режим).

3. Досліджена залежність гідравлічного опору незрошуваних та зрошуваних сегментних тарілок від швидкості газу, щільності зрошення та геометрії контактного елемента. Отримані рівняння для розрахунку цих величин.

4. Досліджена залежність коефіцієнта масопередачі від швидкості газу, щільності зрошення та геометрії контактної устрії. Отримано рівняння для розрахунку коефіцієнта масопередачі.

5. Розроблена математична модель процесу переносу ентальпії при охолодженні газу, тільки один компонент якого конденсується. За допомогою моделі розраховано процес охолодження газу компресії.

6. Розроблена математична модель охолодження газу, усі компоненти якого конденсуються або розчиняються охолоджуючою рідиною. Модель адаптовано до умов охолодження газу кальцінації.

7. У промислових умовах на пілотній установці виконано дослідження охолодження газу компресії. Доведено, що прямий контакт між газом та рідиною дозволяє ефективно проводити процес теплообміну та отримувати регламентну температуру газу.

8. На відміну від трубчатих холодильників, що забруднюються твердими осадами, апарат прямого контакту здатний забезпечувати стабільну температуру охолодженого газу протягом тривалого часу.

9. Розроблено та впроваджено в цеху компресії Стерлітамацького АТВТ "Сода" контактний холодильник газу компресії, що дозволяє знизити витрату охолоджуючої води з 15 – 16 до 1,5 – 3 м³/т соди.

10. Випробувано пілотну установку контактної охолодження газу кальцінації. Доведено можливість охолодження газу кальцінації у прямому контакті з хладоагентом.

11. Знайдено, що розподіл концентрацій аміаку по висоті холодильника газу кальцінації має максимум на другий або третій тарільці, рахуючи знизу. Зроблено вибір оптимальної точки відводу надлишкового конденсату.

12. За результатами дослідів розроблено проект дослідно-промислового апарату для охолодження газу кальцінації.

13. Виконано розрахунок економічної ефективності впровадження контактної холодильника газу кальцінації. Знайдено, що корисний економічний ефект створеного апарату дорівнює 1,547 млн. грн., а строк його окупності 2,85 року.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ ВИКЛАДЕНО У НА- СТУПНИХ ПУБЛІКАЦІЯХ

1. Цейтлин М.А., Гареев А.Т., Райко В.Ф. Исследование гидродинамических и массообменных характеристик сегментных контактных элементов. // Збірник наукових праць науково-методичної конференції: «Людина та навколишнє середовище: проблеми безперервної екологічної освіти в вузах». – Одесса, 16 – 18 вересня 1996 р. – Одесса: ОАХ. 1996 р.- с. 79 – 80.
2. Ткач Г.А., Цейтлин М.А., Гареев А.Т., Колосов А.В. Математическое моделирование процесса охлаждения газа в контактном холодильнике. // Збірник наукових праць науково-методичної конференції: «Людина та навколишнє середовище: проблеми безперервної екологічної освіти в вузах». – Одесса, 16 – 18 вересня 1996 р. – Одесса: ОАХ. 1996 р.- с. 78 – 79.
3. Цейтлин М.А., Райко В.Ф., Гареев А.Т. Контактное охлаждение компримированных газов. // В кн. Республиканский межведомственный научно-технический сборник «Энергетическое машиностроение 12*96». – Харьков. вып. 55, 1996 г. с. 85 – 87.
4. Цейтлин М.А., Гареев А.Т., Цейтлин Л.М. Математическое моделирование процесса контактного охлаждения газа, содержащего пар охлаждающей жидкости и неконденсирующиеся компоненты. // В кн. Экология и ресурсосбережение. Юбилейный сборник трудов кафедры ХТПЭ. – Харьков: ХГПУ, 1996, Т.2. – с. 46-52.
5. Цейтлин М.А., Гареев А.Т., Райко В.Ф. Физическое моделирование процессов охлаждения парогазожидкостных систем на сегментных контактных устройствах. // В кн. Экология и ресурсосбережение. Юбилейный сборник трудов кафедры ХТПЭ. – Харьков: ХГПУ, 1996, Т.2.– с. 21-33

Особистий внесок автора у роботах, що виконано у співавторстві полягає у розробці методик експерименту по дослідженню сегментних контактних пристроїв на лабораторних та пілотних установках, участі в проведенні та обробці результатів дослідів [1,3,5], а також у розробці алгоритмів розрахунку математичних моделей контактних холодильників компримованого газу та газу кальцінації[2,4].

Gareev A. T. Equipment setup for contact cooling of soda-ash production gases.

Dissertation seeking the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.17.18, processes, machines and apparatus of chemical and oil-treating production. Kharkov State Polytechnic University, Kharkov, 1997.

A dissertation in the form of manuscript and five printed scientific works are presented. They contain description and results of experimental research of segment contact devices in application to cooling of soda-ash production gases, as well as mathematical and physical simulation of gas cooling processes, for gases containing both condensing and non-condensing components. The results of the research have been tested at pilot and trial industrial settings. The results of the research led to development of apparatus for contact cooling of compression gases and calcination gases. The compression gas cooler is installed in compression section of Sterlitamak JSC "Soda". The technical project of calcination gas cooler has been developed.

Гареев А.Т. Аппаратурное оформление контактного охлаждения газов содового производства.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 – процессы, машины и аппараты химических и нефтеперерабатывающих производств. Харьковский государственный политехнический университет, Харьков, 1997г.

Защищается диссертация в виде рукописи и пять печатных научных работ, которые содержат описание и результаты экспериментальных исследований сегментных контактных устройств в применении к охлаждению газов содового производства, а также математического и физического моделирования процессов охлаждения газов, содержащих конденсирующиеся и неконденсирующиеся компоненты. Результаты исследований проверены на пилотных и опытно-промышленных установках. По результатам исследований разработаны аппараты контактного охлаждения газов компрессии и газов кальцинации. Холодильник газа компрессии внедрен в отделении компрессии Стерлитамакского АООТ "Сода". Разработан технический проект холодильника газа кальцинации.

Ключові слова: контактні устрої, охолодження газів, контактне охолодження, содове виробництво, гідравлічний опір, масообмін, математичне моделювання.

Підп. до друку 07.04.97 г.
Формат А5.
Папір ксероксний 80 г/м²
Ум.-друк. арк. 1,0
Тираж 100 прим.
Замовлення № 1533

ООО Курсор, м. Харків, пр. Театральний 11/13, тел. (0572) 47-71-74

436099

AB 37679

AB 37.679