УДК 681.51:621.574.013:661.53

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СЕПАРАЦІЙНОЇ ЧАСТИНИ КОНДЕНСАЦІЙНОЇ КОЛОНИ БЛОКУ ВТОРИННОЇ КОНДЕНСАЦІЇ АМІАКУ

В.І. Тошинський
Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедрою*
Контактний тел.: (057) 707-66-87
E-mail: tosh@kpi.kharkov.ua

А.К. Бабіченко
Кандидат технічних наук, професор*
Контактний тел.: (057) 707-66-87
E-mail: tosh@kpi.kharkov.ua

Т.В. Власова
Асистент*
Контактний тел.: (093) 197-75-57
E-mail: t_vlasova25@mail.ru

*Кафедра Автоматизації хіміко-технологічних систем та екологічного моніторингу
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002

У роботі розглянута математична модель процесу теплообміну сепараційної частини конденсаційної колони. Проаналізовано вплив матеріальних потоків на температурний режим циркуляційного газу після сепарації та отримане, за експериментальними даними, рівняння для розрахунку температури, необхідної для визначення поверхні теплообміну конденсаційної колони

Ключові слова: аміак, блок вторинної конденсації, конденсаційна колона, циркуляційний газ, азотно-воднева суміш, сепарація

В работе рассмотрена математическая модель процесса теплообмена сепарационной части конденсационной колонны. Проанализировано влияние материальных потоков на температурный режим циркуляционного газа после сепарации и получено, по экспериментальным данным, уравнение для расчета температуры, необходимой для определения поверхности теплообмена конденсационной колонны

Ключевые слова: аммиак, блок вторичной конденсации, конденсационная колонна, циркуляционный газ, азото-водородная смесь, сепарация

Вступ і постановка задачі досліджень

Остаточне виділення аміаку з газової суміші у великотоннажних агрегатах виробництва синтетичного аміаку АМ–1360 відбувається у блоці вторинної конденсації, де генераторами холоду є дві абсорбційно-холодильні установки (АХУ) та турбокомпресорний холодильний агрегат (АТК). Останній обумовлює підвищену енергоємність блоку в цілому, тому синтез енерготехнологічної системи, яка дозволить знизити навантаження або взагалі виключити його зі схеми є актуальною задачею у підвищенні енергоефективності агрегату в цілому.

Синтез таких складних технологічних систем найбільш ефективно здійснюється на стадії проектування за допомогою методів математичного моделювання, які дозволяють здійснювати прогнозування показників у різних комбінаціях апаратурно-технологічного оформлення. Одним з основних апаратів блоку вторинної конденсації є конденсаційна колона, у якій відбувається рекуперація холоду циркуляційним газом (ЦГ) з аміачних випарників та сепарація рідкого аміаку. Одним з основних параметрів для визначення середньої різниці температур, а отже і поверхні теплообміну при проектуванні є температура газового потоку з сепаратору. Визначення її ускладнюється сумісним протіканням процесів теплообміну при змішуванні азотно-водневої суміші (АВС), ЦГ і конденсату, що видаляється з колони після сепарації. Однак чітка інформація для визначення її у літературі відсутня. Таким чином з метою розробки алгоритму визначення температури змішаного потоку і були проведені експериментальні дослідження.

Експериментальні данні та їх обробка

Дослідження виконувалися на промисловому агрегаті синтезу. Конденсаційна колона якого ста-

© В.І. Тошинський, А.К. Бабіченко, Т.В. Власова, 2012

вить собою вертикальний апарат високого тиску, що містить корпус та насадку. Насадка складається з теплообмінника розташованого у верхній частині, та сепаратора, що включає кошик з фарфоровими кільцями Рашига та вільний сепараційний об'єм. У шар рідкого аміаку в сепараційній частині колони підводиться свіжа АВС та ЦГ з деякою кількістю рідкого аміаку, що надходить з двох аміачних випарників. Барботуючи крізь шар рідкого аміаку, АВС очищується від домішок вологи та діоксиду вуглецю та змішується з ЦГ. В результаті теплообміну з рідким аміаком АВС охолоджується, температури АВС та рідкого аміаку вирівнюються, а частина рідкого аміаку випаровується, насичуючи газову фазу. Впродовж цього відбувається відділення рідкої фази від газової та продукційний аміак потрапляє у збірник. У міжтрубному просторі теплообмінника проходить ЦГ після циркуляційного колеса турбокомпресора, у трубному – охолоджуючий циркуляційний газ після аміачних випарників, який минув сепараційну частину колони [1].

Статична ідентифікація колони проведена на основі даних, які отримані шляхом пасивного реєстраційного експерименту, за результатами якого була сформована вибірка режимів, найбільш характерні з яких наведені у табл.1. Відбір проб та визначення вмісту аміаку у ЦГ проводилось за методикою, що ґрунтується на поглинанні аміаку водою з наступним титруванням аміачної води сірчаною кислотою. За кількістю використаної кислоти знаходили концентрацію аміаку. Інші компоненти суміші визначались за допомогою хроматографу «Цвет – 102».

Таблиця 1

Результати досліджень по роботі конденсаційної колони (сепараційна частина)

№	Витрата, нм^3/с			Тиск АВС P_1, МПа	Температура, °С			Склад АВС, %				Зміст аміаку у ЦГ, що подається на синтез, %
	АВС $V_{АВС}$	ЦГ після колеса ЦК V_2	Витрата ЦГ на синтез V_1		АВС $t_{АВС}$	Вторинної конденсації $t_{ЦГ}$	Газового потоку з сепаратору t_4	Водень	Азот	Метан	Аргон	
1	37,17	195,6	168,99	23,5	49	-4	-3,7	76,3	23,2	0,4	0,1	3,5
2	38,52	198,23	170,3	23,2	40	-4	-4	76,3	23,2	0,4	0,1	3,6
3	41,38	201,7	169,56	23	31	-5	-3,3	76,3	23,2	0,4	0,1	3,5
4	37,93	194,54	166,55	22,5	40	-4	-4,2	76,3	23,2	0,4	0,1	3,6
5	43,79	212,46	178,75	24,2	35	-5	-4,6	76,3	23,2	0,4	0,1	3,4

Температура змішаного потоку АВС та ЦГ t_4, була отримана при спільному вирішенні рівнянь теплового балансу прямого та зворотного потоків теплообмінної частини конденсаційної колони (1 – 2), за методикою [2]. З вирішення рівнянь матеріального та теплового балансів сепараційної частини (3 – 6) отримуємо кількість аміаку, що випарилась $V_И$.

Міжтрубний простір КК (прямий потік):

$$Q_{ЦГ} = V_Г \cdot \rho_Г \cdot C_Г^{СР} \cdot \left(t_{ЦГ}^{ВХ} - t_{ЦГ}^{ВИХ}\right) + V_П^{ВИХ} \cdot \rho_{NH3} \cdot \left(i_П^{ВХ} - i_П^{ВИХ}\right) + \\ + V_{СК} \cdot \rho_{NH3} \cdot r + V_К \cdot \rho_{NH3} \cdot \left(i_Ж^{ВХ} - i_Ж^{ВИХ}\right), \quad (1)$$

Трубний простір КК (зворотній потік):

$$Q_{ЦГ} = V_Г \cdot \rho_Г \cdot C_Г^{СР} \cdot \left(t_{ЦГ}^{ВИХ} - t_4\right) + V_Ж^{ВХ} \cdot \rho_{NH3} \cdot \left(i_Ж^{ВИХ} - i_Ж^{ВХ}\right) + \\ + V_И \cdot \rho_{NH3} \cdot r + V_П^{ВИХ} \cdot \rho_{NH3} \cdot \left(i_П^{ВИХ} - i_П^{ВХ}\right), \quad (2)$$

Матеріально-тепловий баланс сепараційної частини конденсаційної колони:

$$Q_{АВС} = Q_Г + Q_И + Q_П + Q_{ПРОД}, \quad (3)$$

$$V_{АВС} \cdot \rho_{АВС} \cdot C_{АВС}^{СР} \cdot (t_{АВС}^{ВХ} - t_4) = V_Г \cdot \rho_Г \cdot C_Г^{СР} \cdot (t_4 - t_{ЦГ}^{ВХ}) + V_И \cdot \rho_{NH3} \cdot r + \\ + V_П^{ВХ} \cdot \rho_{NH3} \cdot (i_П^{ВИХ} - i_П^{ВХ}) + V_{ПРОД} \cdot \rho_{NH3} \cdot \left(i_Ж^{ВИХ} - i_Ж^{ВХ}\right), \quad (4)$$

$$V_{ЦГ}^{ВИХ} = V_{АВС} + V_Г + V_П^{ВХ} + V_И, \quad (5)$$

$$V_{ПРОД} = V_{К.П} - V_И, \quad (6)$$

де $Q_{ЦГ}$, $Q_{АВС}$, $Q_Г$, $Q_И$, $Q_П$, $Q_{ПРОД}$ – тепловий потік відповідно від ЦГ, АВС, ЦГ без урахування аміаку, випареного аміаку, парообразного аміаку, продукційного аміаку, МВт; $V_{АВС}$, $V_Г$, $V_{СК}$, $V_К$, $V_п^{ВХ}$, $V_п^{ВИХ}$, $V_И$, $V_{К.П}$, $V_{ПРОД}$ – об'ємні витрати відповідно АВС, ЦГ без урахування аміаку, сконденсованого аміаку, конденсату у теплообмінній частині колони, парообразного на вході та виході, випареного, конденсату з випарника та аміаку, що відділяється у колонні, нм^3/с; $\rho_{АВС}$, $\rho_Г$, ρ_{NH3} – щільність АВС, ЦГ без урахування аміаку та аміаку, кг/нм^3; $C_{СР}^{АВС}$, $C_Г^{СР}$ – середня питома теплоємність АВС та ЦГ, Дж/(кг·К); $t_{АВС}^{ВХ}$, $t_{ЦГ}^{ВХ}$, $t_{ЦГ}^{ВИХ}$, t_4 – температура АВС, ЦГ на вході та виході та температура змішаного потоку АВС та ЦГ, °С; $i_Ж^{ВХ}$, $i_Ж^{ВИХ}$, $i_П^{ВХ}$, $i_П^{ВИХ}$ – ентальпія рідкого та парообразного аміаку на вході та виході, Дж/кг; r – питома теплота фазового перетворення аміаку, Дж/кг.

Для спрощення визначення t_4 за результатами обробки експериментальних даних було встановлено, що між температурою змішаного потоку та температурою вторинної конденсації і кількістю продукційного аміаку існує залежність, вигляд якої отримано на підставі проведення кореляційного та регресійного аналізів за стандартною методикою [6]. При цьому було одержано рівняння (7):

$$t_4 = 50{,}901 + 0{,}82863 \cdot t_{ЦГ}^{ВХ} - 0{,}38896 \cdot V_К, \quad (7)$$

Коефіцієнт множинної кореляції склав 0,95. Перевірка на адекватність за критерієм Фішера показала, що дисперсія відносно середнього істотно більше, ніж залишкова дисперсія. Середньоквадратичне відхилення розрахункового значення не перевищує 0,225 К.

У табл. 2 представлені результати розрахунку сепараційної частини конденсаційної колони за математичною моделлю. Як видно з рис. 1 при підвищенні температури АВС збільшується кількість випареного аміаку, як наслідок зменшується витрата конденсату у сепараторі, що відбирається у збірник. На рис.2 показана залежності температури змішаного потоку від кількості конденсату аміаку.

Таблиця 2

Розрахункові показники роботи сепараційної частини конденсаційної колони

№	Кількість випареного аміаку $V_И$, нм^3/с	Витрата конденсату $V_{ПРОД}$, нм^3/с	Температура вторинної конденсації t_4, ^{0}С
1	2,58	10,89	-3,43
2	1,71	10,57	-3,61
3	1,74	9,21	-4,43
4	2,2	10,65	-3,75
5	2,24	10,11	-3,96

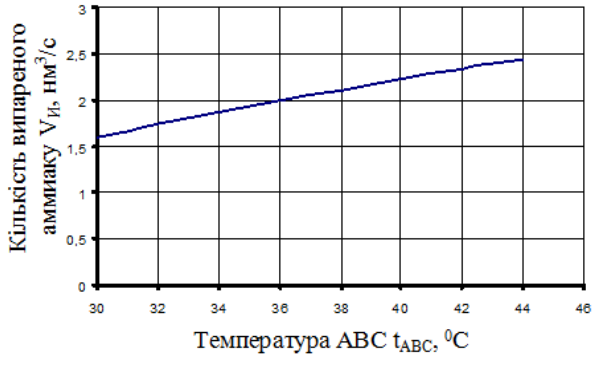

Рис. 1. Залежність кількості випареного аміаку від температури АВС

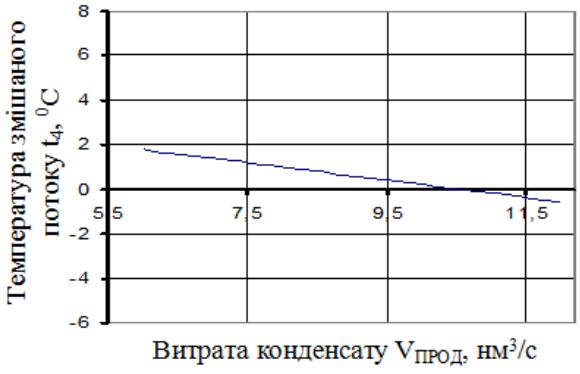

Рис. 2. Залежність температури змішаного потоку від кількості конденсату

Висновки

На сьогоднішній день, температура змішаного потоку, згідно існуючої практики, приймається апріорно на 2 градуси вище ніж температура вторинної конденсації. Проте, як показують дослідження представлені в табл. 1 такий підхід не відображає експериментальні показники, це обумовлено тим, що тепло випарювання рідкої фази $Q_И$ не враховується. За таких обставин, при проектуванні теплообмінної частини конденсаційної колони поверхня теплообміну, в наслідок збільшення середньо логарифмічної різниці температур, може бути зменшена згідно розрахунків на 7,5 %, а отже знижена і металоємність колони, чим буде забезпечене скорочення вартості нового обладнання

Література

1. Кузнецов Л.Д. Синтез аммиака / Л.Д. Кузнецов, Л.М. Дмитриенка, П.Д. Рабина, Ю.А. Соколинский. – М.: Химия, 1982. – 296 с.
2. Ефимов В.Т. Повышение эффективности работы абсорбционных холодильных установок в агрегатах синтеза аммиака большой мощности / В.Т. Ефимов, С.А. Ерощенков, А.К. Бабиченко// Холодильная техника. – 1979. – № 2 – С. 23 – 26.
3. Розенфельд Л.М. Примеры и расчеты холодильных машин и аппаратов / Розенфельд Л.М., Ткачев А.Г., Гуревич Е.С. – М.: Госторгиздат, 1960. – 238 с.
4. Исоченко В.П. Теплопередача: учебник для ВУЗов / В.П. Исоченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – [3–е изд. перераб. и доп.]. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.
5. Янковский Н.А. Аммиак. Вопросы технологии / [Н.А. Янковский, И.М. Демиденко, В.А. Степанов, Б.И. Мельников и др.]; под общей редакцией Н.А. Янковского. – Донецк: ГИК Новая печать, ООО Лебедь, 2001. – 497 с.
6. Бондарь А.Г. Математическое моделирование в химической технологии / А.Г. Бондарь. – К.: Вища школа, 1973. – 280 с.

Abstract

The article concerns the mathematical model of heat-exchange process of the separation part of condensation column of the unit of secondary condensation of synthetic ammonia. The experimental data on condensation

column were obtained in industrial conditions according to the method of passive registration experiment. The influence of material flow on the temperature regime of circulation gas after separation was analyzed, and the equation for calculating the temperature, necessary to determine the heat-exchange surface of the column, was derived. The dependence was determined, using the package Statistica, calculation error does not exceed 5%. The set temperature indicates that it is lower than that adopted for the project. The specified temperature provides an increase of the average logarithmic temperature difference, and, for the same heat load the decrease of the heat-exchange surface, and consequently, the reduction of the specific quantity of metal of the condensation column in general.

Key words: *ammonia, secondary condensation unit, condensation column, circulation gas, nitrogen-hydrogen mixture, separation*

УДК 667.62

ВОДНОДИСПЕРСІЙНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ЕПОКСИДНИХ СМОЛ

Р.Г. Домніченко
Аспірант
Кафедра товарознавства та експертизи непродовольчих товарів
Київський національний торговельно-економічний університет
вул. Петровського, 91а, м. Луганськ, Україна, 91007
Контактний тел.: 095-893-31-05
E-mail: raisa-domnichenko@yandex.ru

Н.В. Мережко
Доктор технічних наук, професор
Кафедра товарознавства непродовольчих товарів
Київський національний торговельно-економічний університет
вул. Кіото, 19, м. Київ, Україна, 02156
Контактний тел.: (044) 531-47-67
E-mail: neprod2@knteu.kiev.ua

О.В. Миронюк
Кандидат технічних наук*
Контактний тел.: (044) 528 – 60 – 36
E-mail: airshape@ukr.net

В.А. Свідерський
Доктор технічних наук, професор
Кафедра хімічної технології композиційних матеріалів*
Контактний тел.: (044) 406-86-05
E-mail: xtkm-users@kpi.ua

*Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут"
пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

В статті розглядаються питання одержання стабільних емульсій диспергаційного типу на основі епоксидіанової смоли. Встановлено режим одержання, який забезпечує стабільність матеріалу до 240 діб, емульсія має покращені реологічні та адгезійні показники

Ключові слова: емульгування, епоксидна емульсія, оптимізація температурного режиму, твердіння покриття

В статье рассматриваются вопросы получения стабильных эмульсий диспергационного типа на основе эпоксидиановой смолы. Установлен режим получения, который обеспечивает стабильность материала до 240 суток, эмульсия характеризуется улучшенными реологическими и адгезионными показателями

Ключевые слова: эмульгирование, эпоксидная эмульсия, оптимизация температурного режима, отверждение покрытий

На даний час дисперсії органічних смол у водному середовищі широко використовуються в якості плівкоутворюючих систем для покриттів як для внутрішніх, так і зовнішніх робіт по мінеральних субстратах. Основним типом полімерного матеріалу, який використовується у виробництві емульсій є кополімери на основі акрилової, метакрилової кислот та полістиролу [1]. Ці матеріали характеризуються високою атмосферостійкістю, але в той же час непридатні для одержання покриттів на металевих та пластикових субстратах.

© Р.Г. Домніченко, Н.В. Мережко, О.В. Миронюк, В.А. Свідерський, 2012