

**В.И. ТОШИНСКИЙ**, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»,  
**А.И. БУКАТЕНКО**, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»,  
**В.М. ГЛЯНЦЕВ**, студент, НТУ «ХПИ»

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ОТБЕЛОЧНОЙ КОЛОННЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕПЛОТЫ НИТРОЗНОГО ГАЗА**

В статті розглядається проблема необхідності зниження енерговитрат в виробництві азотної кислоти. Наводяться результати випробувань можливих теплових режимів процесу відбілювання азотної кислоти від розчинених в ній оксидів азоту нітрозним газом, відбираємим з виробничого циклу та математичні залежності даного процесу

В статье рассматривается проблема необходимости снижения энергозатрат в производстве азотной кислоты. Приводятся результаты испытаний возможных тепловых режимов процесса отбеливания азотной кислоты от растворенных в ней оксидов азота нитрозным газом, отбираемым из производственного цикла и математические зависимости данного процесса

The article considers the problem need to reduce energy consumption in production of nitric acid. The results of tests of thermal bleaching process of nitric acid dissolved in the oxides of nitrogen gas nitroznym vidbyrayemym of production cycle and mathematical dependence of the process

**Постановка проблемы.** Для выделения оксидов азота из растворов азотной кислоты производят разгонку растворов путем ректификации. Ректификацию осуществляют в отбелочных колоннах. В результате разгонки получается свободная от оксидов азота азотная кислота и газообразный диоксид азота. При производстве неконцентрированной азотной кислоты, выделившийся в результате разгонки диоксид азота, направляется вновь на переработку в абсорбционную систему, а при производстве концентрированной азотной кислоты производится его конденсация в начале в холодильнике-конденсаторе, который охлаждается водой, а затем рассолом кальциевой селитры при минусовой температурах.

Експлуатуруємі в нинішнє час отбілювальні колонни енергоємкі і мають низьку продуктивність. Совершенствование процесу ректифікації ведеться в нинішнє час декількома шляхами. Основні з них – оптимальне управління існуючими отбілювальними колоннами, створення

высокопроизводительных аппаратов и разработка новых технологических схем.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Из перспективных способов процесса отбеливания представляет интерес ректификации с воздухом или инертным газом. Однако, такой метод отбеливания требует дополнительного расхода электроэнергии на компримирование воздуха, наличие установки для осушки воздуха или инерта. Кроме того, концентрация отходящих из отбелочной колонны паров разбавляется большим количеством воздуха или инерта и дальнейшее использование этих паров малоэффективно. По данным работы [1] использование нагретого воздуха в процессе отбеливания с температурой выше 403 К приводит к значительной коррозии кубовой части колонны.

Более перспективным способом процесса отбеливания азотной кислоты является отдувка оксидов азота из их растворов в азотной кислоте нитрозным газом, отбираемым после подогревателя аммиачно-воздушной смеси при температуре 493 К. В результате такого отбеливания снижается расход энергии, температура в колонне, термическое разложение азотной кислоты. Такой способ отбеливания дает возможность использовать пар низких параметров в качестве дополнительного источника тепла.

**Математическая модель.** Возможные температурные режимы отбелочной колонны при использовании теплоты нитрозных газов определяются из уравнения теплового баланса колонны, которое в общем виде имеет вид:

$$Q_0 + Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10}$$

где:  $Q_0$  – подвод теплоты в колонну с греющим паром;  $Q_1$  – приход теплоты с отбеливаемым раствором;  $Q_2$  – приход теплоты с нитрозным газом;  $Q_3$  – теплота окисления в нитрозном газе монооксида азота в диоксид азота;  $Q_4$  – теплота выделения оксидов азота из раствора;  $Q_5$  – теплота диссоциации тетраоксида азота;  $Q_6$  – теплота, уносимая отходящим из колонны нитрозным газом;  $Q_7$  – теплота испарения оксидов азота, азотной кислоты и воды;  $Q_8$  – теплота, уносимая отходящими из колонны парами оксидов азота, азотной кислоты и воды;  $Q_9$  – теплота, уносимая отходящей кубовой жидкостью;  $Q_{10}$  – потери теплоты в окружающую среду.

Значения величин  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_6$ ,  $Q_8$ , и  $Q_9$  определится через производительность колонны, расход нитрозного газа и среднюю теплоемкость компонентов.  $Q_5$  – как величина равная степени диссоциации тетраксида азота. Теплота окисления  $NO$  в  $NO_2$  может быть определена по уравнению:

$$Q_3 = \frac{V_{NO}}{22,4} \cdot a \cdot 61803$$

где:  $V_{NO}$  – количество  $NO$  в нитрозном газе, подаваемом на отбеливание;  $a$  – степень окисления  $NO$  в  $NO_2$ ; 61803 – количество теплоты, выделяемое при окислении одной киломоли  $NO$  в  $NO_2$ .

Степень окисления  $NO$  в  $NO_2$  можно определить по известной монограмме Каржавина через произведение  $A$  [2]:

$$A = K \cdot a^2 \cdot p^2 \cdot t$$

где  $K$  – константа скорости окисления  $NO$  кислородом, соответствующая объемным концентрациям в % и времени в сек;  $a$  – половина объемной концентрации оксидов азота в нитрозном газе, поступающем на отдувку;  $p$  – давление в отбелочной колонне;  $t$  – время пребывания нитрозного газа в колонне, которое определяется по уравнению:

$$t = \frac{0,785 \cdot d^2 \cdot h}{Q}$$

где  $d$  – диаметр отбелочной колонны;  $h$  – высота колонны;  $Q$  – секундный расход нитрозного газа, подаваемого на отбеливание.

Теплота выделения оксидов азота из отбеливаемого раствора определяется по уравнению:

$$Q_4 = (m_{HNO_3} + m_{N_2O_4} + m_{NO_2}) \cdot C_1$$

где  $m_{HNO_3}$  – количество отбеливаемой азотной кислоты в пересчете на 98 %-ную;  $C_1$  – теплота выделения оксидов азота из азотной кислоты массовой доли 98 %, равная теплоте их растворения в этой кислоте.

Теплота испарения оксидов азота, азотной кислоты и воды в процессе отбеливания определяется выражением:

$$Q_7 = m_{NO_X} \cdot C_{NO_X} + m_{HNO_3} \cdot C_{HNO_3} + m_{H_2O} \cdot C_{H_2O}$$

где  $m_{NO_X}$  – количество оксидов азота, которое необходимо отогнать в процессе отбеливания;  $m_{HNO_3}$  и  $m_{H_2O}$  – количество азотной кислоты и воды, которое будет испаряться в процессе отбеливания.

Нитрозный газ, согласно уравнения Либинзона и Пашквера [3], может отогнать при атмосферном давлении следующее количество оксидов азота, азотной кислоты и воды:

$$m = 0,4468 \cdot \frac{P_A \cdot M_A \cdot V_{НГ} \cdot j}{101,3 - P_A}$$

где  $m$  – количество отгоняемого компонента;  $P_A$  – парциальное давление отгоняемого компонента при температуре отгонки, кПа;  $M_A$  – молекулярный вес отгоняемого компонента, г;  $V_{НГ}$  – объем нитрозного газа, подаваемого на отдувку при нормальных условиях;  $j$  – коэффициент насыщения, равный 0,65 – 0,98 [3].

**Выводы.** Исследования по вышеизложенной методике показали, что оптимальной температурой процесса отбеливания неконцентрированной азотной кислоты, является температура 323 К. Повышение температуры отбеливания азотной кислоты концентрацией 20 масс % и содержащей около 4 масс % оксидов азота на 10 градусов, при одной и той же производительности колонны и одинаковом расходе нитрозного газа, приводит к увеличению расхода греющего пара давлением 0,16 МПа на 3 кг/т отбеливаемой кислоты. Полученные данные могут быть использованы для разработки инновационных проектов по созданию энергосберегающих технологий в производстве азотной кислоты.

**Список литературы:** 1. Производство азотной кислоты в агрегатах большой единичной мощности/Под. ред. Олевского В.М. – М.: Химия, 1985, – 387 с. 2. Атрощенко В.И., Каргин Н.И. Технология азотной кислоты – М.: Химия, 1970, – 323 с. 3. Сийрде Э.К., Теаро Э.Н., Миккал В.Я. Дистилляция. – Л.: Химия, 1971, – 245 с.

*Поступила в редколлегию 05.03.10*