

РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ

К.А. Копылова, студент

В.А. Ермолаева, канд. хим. наук, доцент

**Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета
(Россия, г. Муром)**

DOI:10.24412/2500-1000-2024-3-4-215-220

Аннотация. В данной статье объектом изучения является процесс получения аммиачной селитры, рассмотрена основная химическая реакция при ее получении и построена компьютерная модель кинетики реакции нейтрализации в аппарате ИТН в программе Mathcad. Была предоставлена технологическая схема процесса производства аммиачной селитры. В результате работы были рассчитаны: материальный и тепловой балансы процесса нейтрализации.

Ключевые слова: аммиачная селитра, материальный баланс, тепловой баланс, компьютерное моделирование, нейтрализация.

Аммиачная селитра является одним из самых распространённых и дешёвых азотных удобрений, используемых в сельском хозяйстве. Мировая практическая деятельность доказала эффективность и целесообразность использования подобных удобрений; они включают в себя легко усвояемый растениями азот, удобны для внесения в почву.

Технологический процесс

Стадии получения аммиачной селитры:

1. Получение раствора аммиачной селитры нейтрализацией азотной кислоты газообразным аммиаком.

2. Выпаривание раствора аммиачной селитры до состояния плава.

3. Кристаллизация соли из плава.

4. Сушка и охлаждение соли.

5. Упаковка.

Технология производства аммиачной селитры основана на реакции нейтрализации азотной кислоты газообразным аммиаком в аппарате ИТН с последующим упариванием полученного раствора. Количество подаваемых азотной кислоты и аммиака регулируют таким образом, чтобы на выходе из аппарата ИТН раствор имел небольшой избыток азотной кислоты, обеспечивающий полноту поглощения аммиака.

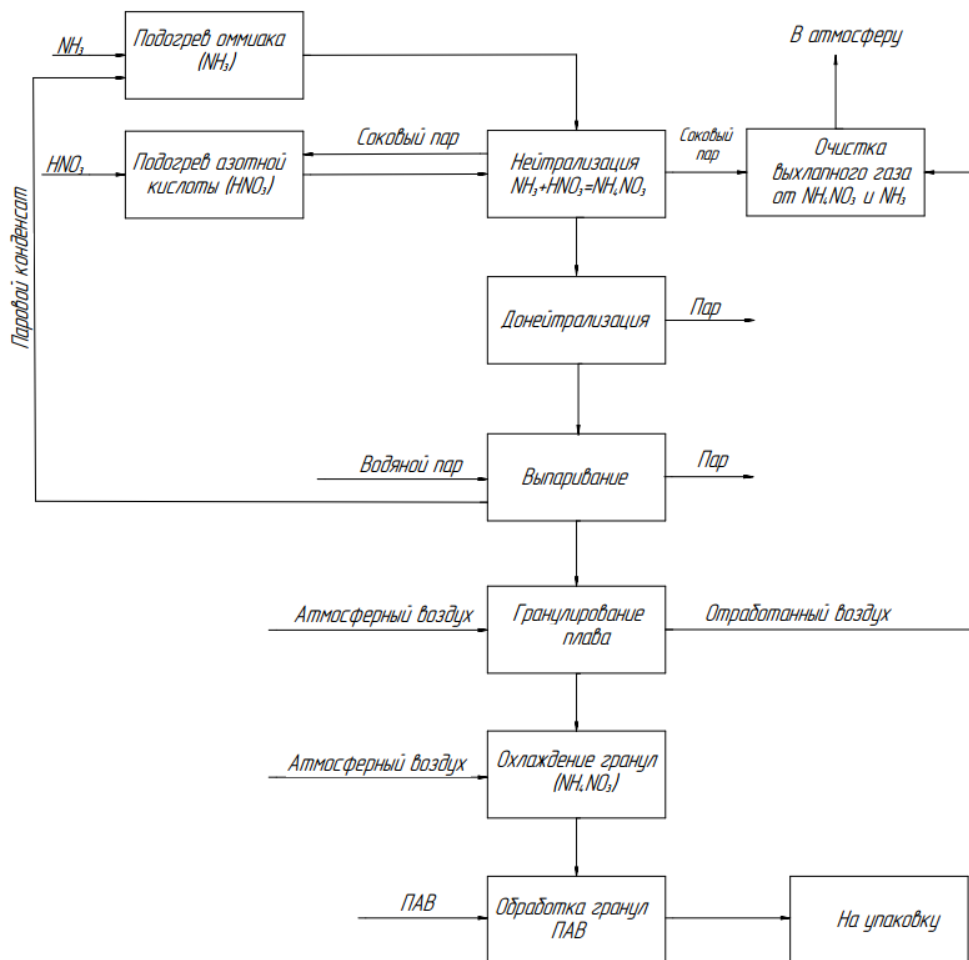


Рис. 1. Блок- схема технологического процесса производства аммиачной селитры

Математическая и экспериментальная модель кинетики химической реакций

1. Модель кинетики реакции получения нитрата аммония.

Введем обозначения, где исходные вещества это:

NH_3 – А (аммиак 100%)

HNO_3 – В (азотная кислота 58%)

Продукты реакции:

NH_4NO_3 – С (нитрат аммония)

После замены химическая реакция приобретает вид: $A+B=C$

Расчет проводится по модели кинетики для уравнения реакции, отображающего скорость протекания реакций (скорость изменения концентраций реагентов и продуктов в реакциях) [1]:

$$D(t, c) = \begin{cases} \frac{d * C_A}{dt} = -k_1 * C_A * C_B \\ \frac{d * C_B}{dt} = -k_2 * C_A * C_B \\ \frac{d * C_C}{dt} = k_3 * C_A * C_B \end{cases}$$

Где C_A – концентрация вещества А;

C_B – концентрация вещества В;

C_C – концентрация вещества С;

k_1, k_2, k_3 – константы скорости реакции.

Результаты моделирования представлены на рисунках 2, 3 и 4.

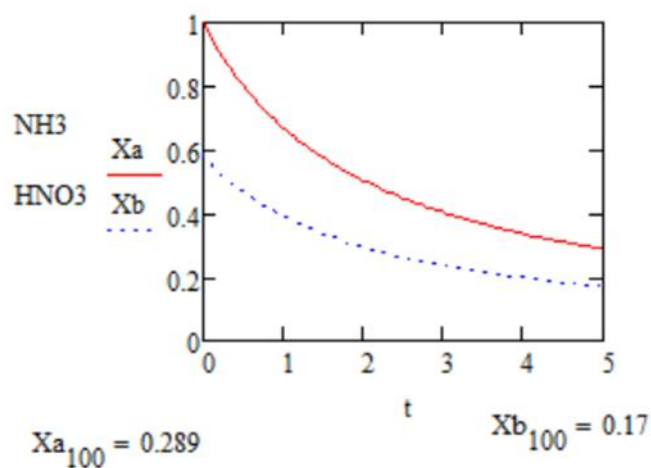


Рис. 2. Кинетические кривые (расход реагентов)

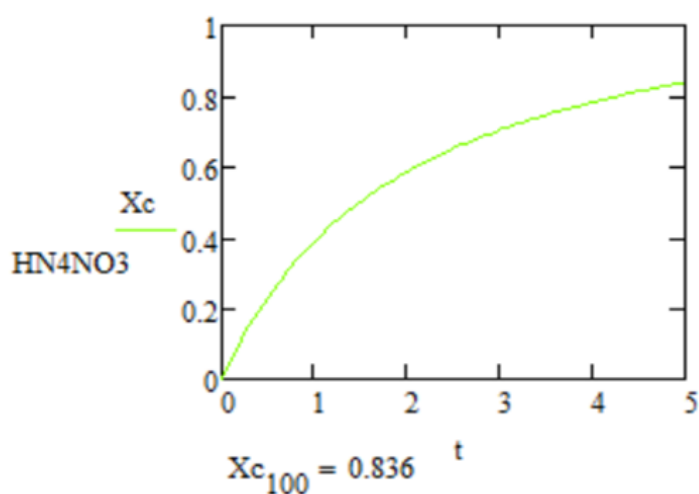


Рис. 3. Кинетические кривые (образование продукта реакции)

Исходя из результатов построенной модели, можно сделать следующий вывод. За время равное 5 минутам аммиак расходуется с 100% до 28.9%. Азотная кислота расходуется с 58% до 17%, выход аммиачной селитры составляет 83.6%. По результатам анализа кинетики химической реакции можно сделать вывод, что исходные вещества тратятся не до конца для образования продукта, это можно объяснить их агрегатным состоянием, так как аммиак

газообразный, азотная кислота не полностью будет поглощать аммиак, их пары образуют соковый пар, который применяется как поток теплоносителя в теплообменник.

Экспериментальная модель аппарата ИТН

Из математической модели для кинетики химической реакции в аппарате ИТН, можно построить компьютерную модель самого аппарата.

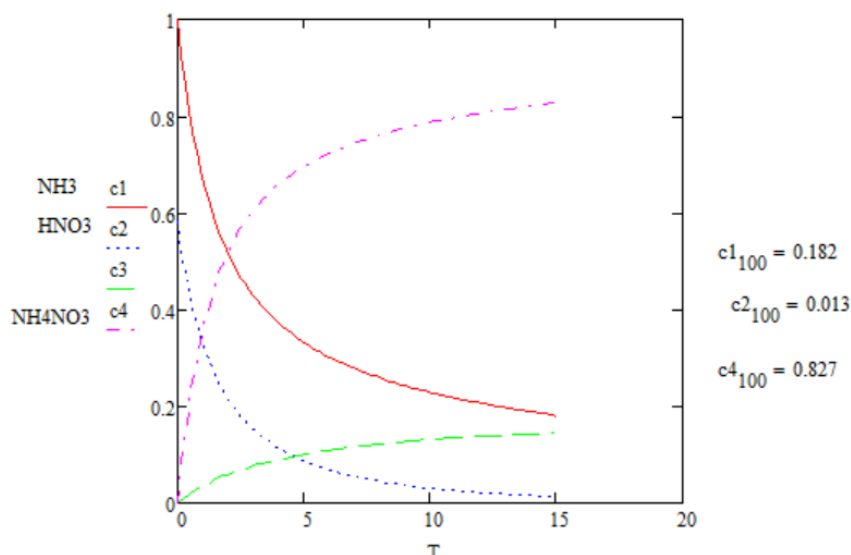


Рис. 4. Модель аппарата ИТН

Из графика видно, что аммиак расходуется с 100% до 18,2%, а азотная кислота расходуется с 58% до 1,3%, а аммиачная селитра образуется до 82,7%.

Расчет материального и теплового балансов стадии нейтрализации

Произведен практический расчет материального баланса производства на основе производительности по 100%-ой NH_4NO_3 – 52 300 кг/ч.

1. Практический расход аммиака:

$$G_{\text{NH}_3}^{\text{ПР}} = G_{\text{NH}_3}^{\text{T}} + W_{\text{NH}_3} \quad (1)$$

где $G_{\text{NH}_3}^{\text{T}}$ – теоретический расход аммиака, кг/ч;

W_{NH_3} – потери аммиака с соковым паром, кг.

$$G_{\text{NH}_3}^{\text{ПР}} = 212,5 + 2,5 = 215 \text{ кг}$$

2. Практический расход азотной кислоты:

$$G_{\text{HNO}_3}^{\text{ПР}} = G_{\text{HNO}_3}^{\text{T}} + W_{\text{HNO}_3} \quad (2)$$

где $G_{\text{HNO}_3}^{\text{T}}$ – теоретический расход азотной кислоты, кг/ч;

W_{HNO_3} – потери азотной кислоты с соковым паром, кг.

$$G_{\text{HNO}_3}^{\text{ПР}} = 787,5 + 7,5 = 795 \text{ кг}$$

3. Количество выходящего 90%-ого раствора нитрата аммония из ИТН

$$V^{\text{ВЫХ}} = V_{90\% \text{ р-р } \text{NH}_4\text{NO}_3} + V_{90\% \text{ р-ра } \text{NH}_4\text{NO}_3}^{\text{УП}} \quad (3)$$

где $V_{90\% \text{ р-р } \text{NH}_4\text{NO}_3}$ – количество 90%-ого раствора нитрата аммония, кг/ч;

$V_{90\% \text{ р-ра } \text{NH}_4\text{NO}_3}^{\text{УП}}$ – количество 90%-ого раствора нитрата аммония после упарки 20%-ого раствора нитрата аммония.

$$V^{\text{ВЫХ}} = 58\,111 + 1\,486,2 = 59\,597,2 \text{ кг/ч}$$

Таблица 1. Материальный баланс стадии нейтрализации

| Приход | Кг/ч | Расход | Кг/ч |
|---|-----------|---------------------------------------|-----------|
| Аммиак | 11 244,5 | 90% раствора NH_4NO_3 | 59 597,2 |
| Азотная кислота | 41 578,5 | Соковый пар | 24 297,57 |
| Вода | 30 108,67 | Потери: Аммиак | 130,7 |
| | | Азотная кислота | 392,25 |
| NH_4NO_3 в 20% растворе | 6 688 | Вода | 5 201 |
| Всего | 89 619 | Всего | 89 619 |

Тепловой баланс процесса нейтрализации:

1. Общий приход тепла:

$$Q_{\text{прих}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (4)$$

где $Q_1 - Q_4$ – физическое тепло исходных веществ в газообразном и растворенном состоянии и тепловой эффект реакции нейтрализации, кДж;

$$Q_{\text{прих}} = 9\ 247\ 058,4 + 3\ 049\ 058,4 + 2\ 273\ 351,2 + 77\ 011\ 750 = 91\ 581\ 218,2 \text{ кДж}$$

2. Общий расход тепла:

$$Q_{\text{расх}} = Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 + Q_{10} \quad (5)$$

$Q_5 - Q_{10}$ – теплоты, затраченные на испарение и разбавление растворов, физическое тепло сокового пара и раствора $\square\text{H}_4\square\text{O}_3$, потери тепла в окружающую среду, кДж.

$$Q_{\text{расх}} = 429\ 100,8 + 55\ 163\ 821 + 388\ 997,145 + 7\ 159\ 825,7 + 20\ 323\ 330,6 + 8\ 116\ 142,2 = 91\ 581\ 218,2 \text{ кДж}$$

Таблица 2. Тепловой баланс процесса нейтрализации

| Приход | кДж | Расход | кДж |
|--|--------------|---|--------------|
| Q_1 – физическое тепло 58%-й HNO_3 | 9 247 058,4 | Q_5 – эндотермический эффект разбавления 90%-го раствора NH_4NO_3 20%-ым раствором NH_4NO_3 | 429 100,8 |
| Q_2 – физическое тепло газообразного аммиака | 3 049 058,4 | Q_6 – теплота, затраченная на испарение H_2O из раствора NH_4NO_3 | 55 163 821 |
| Q_3 – физическое тепло 20%-го раствора | 2 273 351,2 | Q_7 – теплота, затраченная на испарение HNO_3 и раствора азотной кислоты | 388 997,145 |
| Q_4 – тепловой эффект реакции нейтрализации | 77 011 750 | Q_8 – физическое тепло сокового пара | 7 159 825,7 |
| | | Q_9 – физическое тепло 90%-го раствора NH_4NO_3 | 20 323 330,6 |
| | | Q_{10} – потери тепла в окружающую среду | 8 116 142,2 |
| Всего: | 91 581 218,2 | Всего: | 91 581 218,2 |

Заключение

В процессе написания статьи проведено моделирование кинетики реакции нейтрализации и расчет материального и теплового балансов, которые позволяют оценить

необходимые объемы материальных и энергетических ресурсов, используемых для обеспечения заданной производительности и эффективности процесса.

Библиографический список

1. Вент Д.П., Лопатин А.Г., Сидельников С.И. Математическое моделирование химико-технологических систем: учебно-методическое пособие. – Новомосковск: РХТУ им. Д.И. Менделеева, Новомосковский ин-т, 2013.
2. Ильин В.А., Пахотин О.И., Климашкина Г.Г., Василькова О.Е. Получение гранулированного сложного азотно-фосфатного удобрения на основе аммиачной селитры // Новые технологии в азотной промышленности. – Ставрополь, 2003.
3. Мельников Е.А. и др. Технология неорганических веществ и минеральных удобрений. – М.: Химия, 1983. – 432 с.
4. Чернышев А.К., Левин Б.В., Туголуков А.В., Огарков А.А., Ильин В.А. Аммиачная селитра: свойства, производство, применение / под ред. Б.В. Левина, А.В. Туголукова. – М., 2009.
5. Миниович М.А. Производство аммиачной селитры. – М.: «Химия», 1994. – 240 с.

CALCULATION AND MODELING OF AMMONIUM NITRATE PRODUCTION**K.A. Kopylova**, *Student***V.A. Ermolaeva**, *Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor***Murom Institute (branch) Vladimir State University
(Russia, Murom)**

Abstract. *In this article, the object of study is the process of obtaining ammonium nitrate, the main chemical reaction during its preparation is considered and a computer model of the kinetics of the neutralization reaction in the ITN apparatus in the Mathcad program is constructed. A flow chart of the ammonium nitrate production process was provided. As a result of the work, the material and thermal balances of the neutralization process were calculated.*

Keywords: *ammonium nitrate, material balance, thermal balance, computer modeling, neutralization.*