



МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИМИТАЦИЯ КОЛОННЫ СИНТЕЗА АММИАКА

Юсупбеков Нодирбек ¹[0000-0002-2184-2368], Султонова Нафосат ²[0009-0002-7189-7399]

¹Академик Академии наук республики Узбекистан, профессор, доктор технических наук, кафедры “Автоматизация производственных процессов”, Ташкентский государственный технический университет имени И.А. Каримова

²Магистрант кафедры “Автоматизация производственных процессов”, Ташкентский государственный технический университет имени И.А. Каримова

Аннотация. В статье представлены возможности моделирования установившегося и динамического режимов работы колонн синтеза аммиака. Представлены возможности исследования динамических режимов автоматического регулирования температуры в слоях катализатора и предложена усовершенствованная структура управления, использующая потоки свежего газа между слоями катализатора в качестве команд. Мы также представляем возможности оптимизации стационарных режимов колонны для получения более высокого коэффициента конверсии с помощью управления газовыми потоками между слоями катализатора. Этот алгоритм оптимизации является частью основной расширенной программы управления колонной синтеза.

Ключевые слова: колонна синтеза аммиака, регулировка температуры, моделирование, блок-схема моделирования.

Annotatsiya. Ushbu maqolada ammiak sintezi kalonnalari uchun barqaror va dinamik rejimlarni simulyatsiya qilish imkoniyatlari ko'rsatilgan. Biz katalizator qatlamlarida haroratni avtomatik boshqarishning dinamik rejimlarini o'rganish imkoniyatlarini taqdim etamiz va buyruqlar sifatida katalizator qatlamlari orasidagi yangi gaz oqimlaridan foydalangan holda ilg'or boshqaruv strukturasi taklif qilamiz. Biz, shuningdek, katalizator qatlamlari orasidagi gaz oqimlarini boshqarish yordamida yuqori konversiya koeffitsientini olish uchun ustunning barqaror holatini optimallashtirish imkoniyatlarini taqdim etamiz. Ushbu optimallashtirish algoritmi sintez ustuni uchun asosiy ilg'or boshqaruv dasturining bir qismidir.

Kalit so'zlar: ammiak sintez kallonasi, haroratni rostdash, modellashtirish, simulyatsiya blok diagrammasi.

Annotation. This paper studies the possibility of reaction quality control in an ammonia synthesis column. Methods of optimal temperature maintenance in each layer of the reactor, correct distribution and control of gas flow rate between the layers are considered. These programming algorithms are part of the modeling of the processes occurring inside the synthesis column.

Keywords: ammonia synthesis column, temperature control, simulation, modelling block diagram.

Введение

Аммиак является широко используемым продуктом в химической промышленности и используется для производства многих химических продуктов. Основным сырьем для производства аммиака является АВА (азотно-водородная смесь). Для того чтобы АВА образовал аммиак, молекулы N₂ и H₂ соединяются при определенном количестве и температуре, и этот процесс осуществляется в следующей последовательности:

1. АВА нагнетают до давления 32,88 МПа с помощью работающих компрессоров, предварительно нагревают до температуры 50 С⁰ и вводят в колонну синтеза аммиака.

2. АВА проходит через 4 слойный катализатор, и в результате следующей реакции образуется аммиак.



Процесс синтеза газовых смесей в аммиак происходит в результате выделения тепла за счет уменьшения объема, при этом температура в слоях катализатора не должна превышать 550 C° [1].

Важность этого этапа процесса заключается в получении продукта желаемой концентрации.

3. Для получения нужной концентрации необходимо регулировать температуру в слоях катализатора. Холодный байпас используется для стабилизации температуры в заданных пределах.

4. В катализаторе при температуре не выше 540 C° молекулы азота и водорода соединяются с образованием молекул аммиака.

5. Для достижения нужной концентрации необходимо регулировать температуру между слоями катализатора. Это достигается с помощью программного обеспечения для оптимизации температуры.

В этой статье предпринята попытка решить следующие проблемы:

- предложить упрощенные модели и программы режимов работы колонны синтеза.
- моделирование стационарного состояния в слоях катализатора с учетом изменения концентрации и температуры.
- разработка установившихся процедур с использованием критериев оптимизации и расчета расхода холодного газа между слоями катализатора.
- разработка программного обеспечения для моделирования динамических режимов и управления температурой и охлаждающими потоками в реальном времени с учетом того, что слои представляют собой отдельные системы.
- создание алгоритмов оптимального управления колонной синтеза даже при выходе из строя датчиков температуры и исполнительных механизмов.

Моделирование колонны синтеза аммиака

Аммиак (NH_3) - образуется в результате слияния молекул азота(N_2) и водорода(H_2) в колонне синтеза.

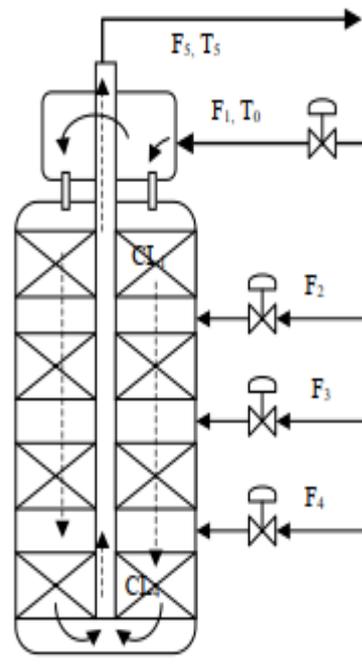


Рис. 1. Колонна синтеза.



АВА вводят в колонну синтеза потоком F_1 при начальной температуре $T_0 = 250-300\text{ C}^0$ и нагревают до 400 C^0 через нагреватель на входе в колонну.. Реакция, протекающая в слоях катализатора, является экзотермической. Вводим азотно-водородную смесь в слои катализатора через потоки F_1, F_2 и F_3 с образованием:

- охлаждение газа между каждым слоем катализатора для обеспечения оптимальной реакции;
- уменьшение количества газов ($\text{H}_2, \text{N}_2, \text{CH}_4, \text{NH}_3$) в газовых смесях для получения высококачественного аммиака.

В этой статье, разработана стратегия управления для достижения максимальной конверсии реагентов. Блок-схема колонны синтеза аммиака, представленная на рисунке 2, была получена в результате анализа потока. Разделив колонну синтеза на 8 функциональных блоков, мы можем получить ее более простую динамическую модель. Мы можем определить тепловые балансы и массовые балансы азота, водорода и газовых смесей для каждого блок. Мы также необходимо рассмотреть скорость реакции в зависимости от температуры и давления в каждом слое. Коэффициенты, входящие в уравнения, могут быть определены частично по литературным данным, а частично по результатам измерений в реальных установках. В итоге, после корректировки коэффициентов и проверки модели, мы получаем следующую модель колонны синтеза:

а) Теплообменник:

б)

$$\frac{dT_{a1}}{dt} = \frac{F_J}{1000} (c_{p0}T_0 - c_aT_{a1}) + 5.0392(T_4 - T_{a1}) \quad (1)$$

б) Слой катализатора j

$$\frac{dx_{aj}}{dt} = \frac{F_J}{1000} c_j (x_{a0} - x_{aj}) + \frac{F_{Rj}}{1000} c_j (x_{a0} - x_{aj}) + c_{rj} K_{tj}(T_j) V_{Rj}(x_{aj}, x_{bj}) \quad (2)$$

$$\frac{dx_{bj}}{dt} = \frac{F_J}{1000} c_j (x_{b0} - x_{bj}) + \frac{F_{Rj}}{1000} c_j (x_{b0} - x_{bj}) + c_{Rj} K_{tj}(T_j) V_{Rj}(x_{aj}, x_{bj}) \quad (3)$$

$$\frac{dT_j}{dt} = \frac{F_J}{1000} (c_{aj}T_{aj} - c_{pj}T_j) - H_{Rj} K_{tj}(T_j) V_{Rj}(x_{aj}, x_{bj}) \quad (4)$$

с) Смеситель j

$$\frac{dT_{aj}}{dt} = \frac{F_{j-1}}{1000} (c_{pj-1}T_{pj-1} - c_{pj}T_j) + \frac{F_{Rj}}{1000} (c_{p0}T_0 - c_{pj}T_j) \quad (5)$$

$$V_{Rj} = 0,9x_{aj} \left[\frac{x_{bj}^3}{(0,60648 - x_{aj} - x_{bj})^2} \right]^{0,521} - \left[\frac{(0,60648 - x_{aj} - x_{bj})^2}{x_{bj}^3} \right]^{0,479} \quad (6)$$

$$K_{Tj} = \exp\left(27,751 - \frac{25107,7}{T_j}\right) \quad (7)$$

где $j=1,4$ $F_{R1}=0$, $F_1 = 18860\text{ Kmol/h}$, $F_j = F_{j-1} + F_{Rj}$; $c_j, c_{p0}, c_{p1}, c_{pj}$ тепловой и массовый коэффициенты; T_j ($j=1, \dots, 4$) температуры в слое катализатора j; T_{aj} ($j=1, \dots, 4$) температуры на выходе смесителя j; x_{aj}, x_{bj} концентрации азота и водорода на слое j.

$$F_2 = F_1 + F_{R2}; F_3 = F_1 + F_{R1} + F_{R2};$$

$$F_4 = F_1 + F_{R1} + F_{R2} + F_{R3};$$

На рисунке 2 представлена блок-схема усовершенствованной системы управления колонной синтеза. Система обеспечивает управление температурой и потоком охлаждения, основываясь на оптимальных значениях, предоставляемых блоком оптимизации.

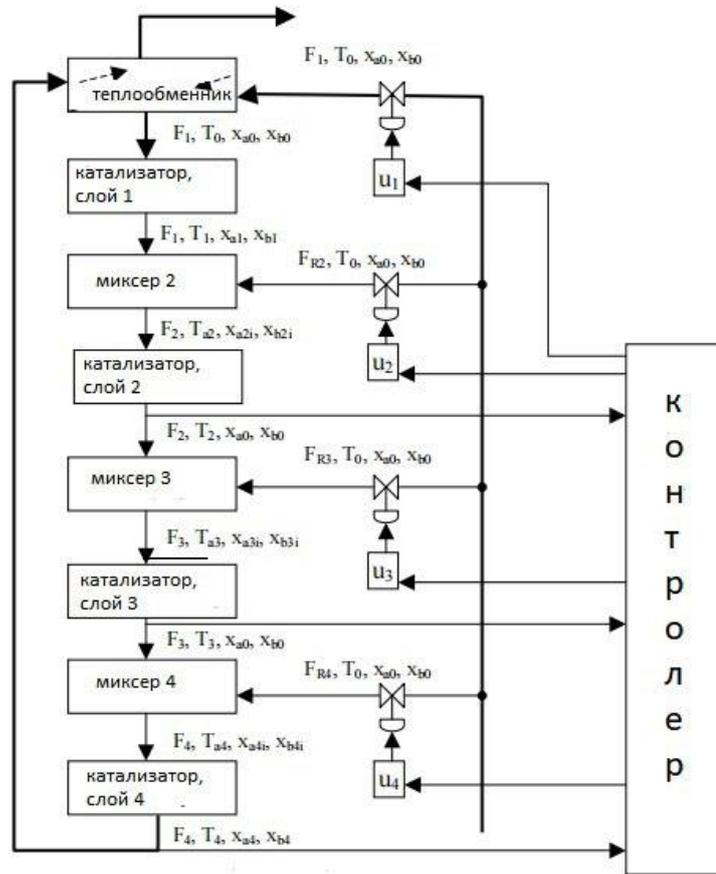


Рис. 2. Блок-схему колонны синтеза аммиака.

Алгоритм оптимизации для получения максимального результата окончательной конверсии

Чтобы максимально присоединить к аммиаку молекулы азота и водорода, необходимо оптимально поддерживать расход охлаждения слоев катализатора и температуру колонны. Оптимальное значение этих параметров можно определить с помощью современных алгоритмов управления.

Алгоритм оптимизации может быть построен на основе следующей гипотезы:

- реактор для нас эквивалентен тому, чтобы считать каждый слой адиабатическим;
- по сравнению с массо- и теплообменом внутри слоев катализатора процесс охлаждения газовых смесей протекает более интенсивно;
- расход газа, проходящего через слои катализатора, можно оценить по модели движения;
- потерю давления между слоями катализатора можно считать незначительной.

Учитывая вышеизложенное, можно определить математическую модель процесса, происходящего в каждом слое катализатора:

а) уровень конверсии

$$\frac{dx_{aj}}{dz} = \frac{S}{F_{MN0}} V_{Raj} \tag{8}$$

б) накопление тепла внутри газовой смеси и катализатора

$$\frac{dT_j}{dz} = -\frac{S}{F_{m}c_p}(-\Delta H_{Ra})V_{Raj} \quad (9)$$

где χ_{Ai} - коэффициент преобразования на слое j , T_j - температура на слое j , F_{mn0} - молярный расход азота на входе в реактор, c_p - молярная удельная теплота синтез-газа, V_{Raj} - скорость реакции, DHR_a - Энтальпия реакции (в зависимости от температуры). Мы можем показать скорость реакции, используя катализатор как функцию и концентраций реагентов (NH_3 , N_2 , H_2) в реальных и равновесных условиях (модель Темпкина-Пиджева).

$$V_{Raj} = \frac{K_{tj}(T)}{\sqrt{p}} \left[\frac{y_{NH_3}^{*2}}{y_{H_2}^{*3}y_{N_2}^*} \frac{y_{H_2}^{1,5}y_{N_2}}{y_{NH_3}} - \frac{y_{NH_3}}{y_{H_2}^{1,5}} \right] \quad (10)$$

Ниже мы можем вывести алгебраическое уравнение, которое определяет равновесный коэффициент конверсии:

$$a_2x_b^2 - 2a_1x_b + a_0 = 0 \quad (11)$$

Мы можем определить максимальную скорость конверсии посредством реальных решений уравнения:

$$x_j = \frac{x_{ej-1}F_{10}}{F_{10} + \sum_i^j F_{Ri}} \quad (12)$$

и температура

$$T_j = \frac{F_m c_{pm} T_{ej-1} + F_{Ra} c_{pj} T_1}{(F_m + F_{Ra}) c_p} \quad (13)$$

Оптимальные значения расхода и температуры F_i на входе в каждый слой можно получить, комбинируя уравнения (8-13) с использованием начальных условий $x=0$ и $T_{i0}=T_1$: $F_{R2}=3000$ Кмоль/ч, $F_{R3}=1900$ Кмоль/ч, $F_{R4}=600$ Кмоль/ч, $T_2=717$ К, $T_3=734$ К, $T_4=753$ К и конечная конверсия составляет $\chi_A = 0,221$ [2].

Расширенное управление колоннами синтеза в условиях неисправности

Программа позволила смоделировать различные условия неисправности при блокировке исполнительных механизмов и разработать стратегии управления колонной синтеза с использованием других доступных потоков. Степень конверсии можно приблизить к реальному процессу, но при этом производство аммиака снижается на 25%.

На рисунке 3 представлена зависимость между скоростью конверсии и температурой для каждого слоя.

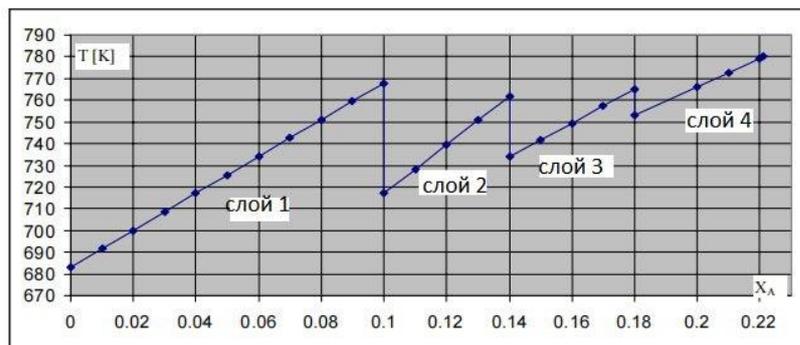


Рис.3. Скорость конверсии и динамика изменения температуры для каждого слоя.

Необходимо разработать программное обеспечение для управления и оптимизации процесса внутри реактора.

Для компьютерного моделирования системы мы сначала использовали математическое моделирование, основанное на термохимической кинетике и данных

о реальном катализаторе, используемом в процессе синтеза. Из результатов видно, что они очень близки к реальным значениям в процессе.

На рисунке 4 представлена структура программы управления колонкой синтеза.



Рис.4. Структура управления.

В колонке синтеза и системе управления может быть ряд неисправностей:

- блокировка или неисправность механизмов исполнения затрат в слоях F_1 , F_2 , F_3 и F_4 ;
- невозможность довести газовую смесь до необходимой температуры или неспособность правильно контролировать давление компрессора;
- изменения коэффициентов теплопередачи, происходящие внутри или снаружи труб.

Для устранения этих неисправностей необходимо определить необходимые значения. Мы используем следующие уравнения (1-5) для разработки блок-схемы, показанной на рисунке 5.

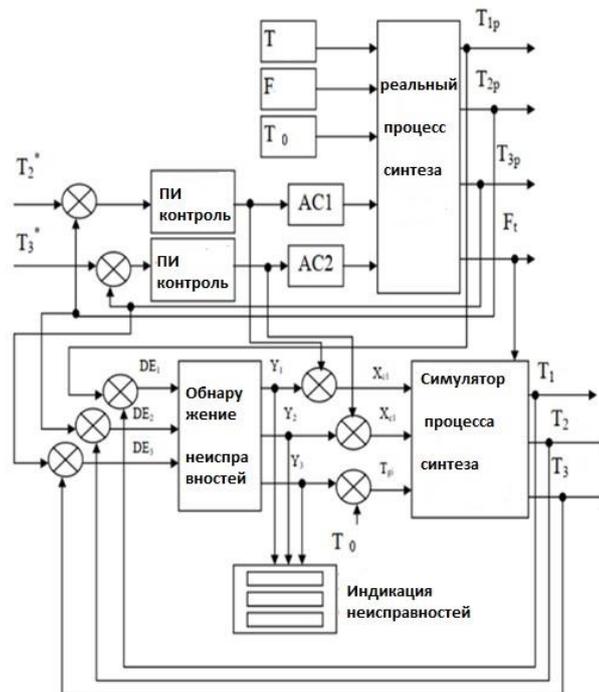


Рис.5. Блок-схема моделирования.



Мы можем определить пары, которые могут иметь нарушения: (F_2-T_2, F_3-T_3) и остается доступной пара (T_i-T_1) , даже T_i может одновременно модифицировать T_2 и T_3 . Возмущающие факторы в системе синтеза $(T_i$ и $F_i)$ могут также изменить T_1 . Следовательно, мы можем определить вектор ошибки DE как матричную функцию вектора неисправности DE [3,4].

$$DE = \begin{bmatrix} T_{2p} - T_{2m} \\ T_{3p} - T_{3m} \\ T_{1p} - T_{1m} \end{bmatrix} = F \begin{bmatrix} F_2 \\ F_3 \\ T_i \end{bmatrix} \quad (14)$$

Заключение

Разработанное программное обеспечение позволяет операторам непрерывно контролировать процесс из диспетчерской и сравнивать его с оптимальными значениями. Возможность непрерывного контроля параметров процесса. Это позволяет легко адаптироваться к реальным условиям технологического процесса.

Список использованных литературы:

- [1]. В.С. Кудряшов, С.В. Рязанцев, А.В. Иванов. Моделирование и синтез цифровой многосвязной системы управления процессом производства аммиака. 2011. – 9 с
- [2]. Ганц, С.Н. Синтез аммиака [Текст] / С.Н. Ганц. Киев: 2001. - 80 р.
- [3]. Кудряшов, В.С. Идентификация кана-А многосвязного нестационарного объекта, 2007. -16-21с
- [4]. М. Винатору, Автоматическое управление промышленными процессами, изд. Universitaria, Craiova, 2001.