

## ЧЕТЫРЕХПОЛОЧНАЯ КОЛОННА СИНТЕЗА АММИАКА КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

**Царицан.А.С., студ.; Волуева О.С., асс.**

*(ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)*

### **Введение.**

Производство аммиака является важным этапом в различных химических производственных процессах. Исходным сырьем для синтеза аммиака является природный газ и азот, выделяемый из атмосферного воздуха. Основными стадиями технологического процесса синтеза являются следующие: очистка природного газа от сернистых соединений; паровая каталитическая конверсия метана; паровоздушная конверсия остаточного метана; двухступенчатая конверсия окиси углерода на среднетемпературном и низкотемпературном катализаторах; сжатие азотоводородной смеси (АВС) и каталитический синтез аммиака. Данная работа посвящена последней стадии – синтезу аммиака в четырехполочном реакторе.

### **Основная часть.**

В технологических схемах, работающих под средним давлением, широкое распространение получили четырехполочные реакторы синтеза аммиака с промежуточным охлаждением между слоями [1]. Схематическое представление такой колонны представлено на рис.1-а), где: 1 – люк для выгрузки катализатора, 2 – центральная труба, 4 – термопарный чехол, 5 – загрузочный люк. Газовая смесь поступает в нижнюю часть реактора синтеза и по кольцевому зазору между корпусом реактора 15 и катализаторной коробкой 3 проходит снизу вверх, охлаждая тем самым его корпус. Затем по кольцевому зазору газ поступает в межтрубное пространство внутреннего теплообменника 6, где нагревается до температуры начала реакции теплом газовой смеси, выходящей из катализаторной коробки по трубному пространству теплообменника, после чего направляется в катализаторную зону колонны синтеза. В катализаторной зоне АВС последовательно проходит четыре слоя катализатора 8, 10, 12, 14, на которых происходит образование аммиака. Реакция синтеза аммиака сопровождается уменьшением объема газовой смеси и протекает с выделением большого количества теплоты, при этом максимально допустимая температура по слоям катализатора должны быть в пределах 390-525 °С (в зависимости от слоя). Для снижения температуры катализатора предусмотрено четыре ввода для байпасного газа – 7, 9, 11, 13.

Целью процесса синтеза аммиака в четырехполочном реакторе аксиального типа является получение газообразного аммиака с заданной концентрацией на выходе из реактора. В промышленных условиях, ввиду достаточно большой инерционности концентрации, а также из-за значительных трудностей при ее измерении непосредственно в слоях катализатора реактора, процесс проводят путем стабилизации температуры в регламентных границах по слоям за счет изменения степени открытия заслонок на байпасных потоках.

Таким образом, при разработке (или модернизации) системы управления процессом синтеза аммиака в четырехполочной колонне основной задачей является управление ее температурным режимом. Это достаточно сложная задача, так как существующие математические модели из-за сложности физико-химических зависимостей трудно реализовать. Важной особенностью процесса является тот факт, что все процессы преобразования вещества происходят в рамках одного рабочего тела, что неизбежно приводит к взаимному влиянию между контурами управления. Кроме того, все параметры колонны синтеза аммиака изменяются во времени. На качество выходного продукта влияют состав и качество подаваемой АВС.

На основе анализа особенностей технологического процесса синтеза аммиака, четырехполочную колонну как объект управления можно представить рис.1-б). На рис.1-б) приняты следующие обозначения:

1) входные параметры:  $(Q^{BX}, T)$  – расход и температура входной АВС;  $Q_{1÷4}^{BX}$  – расход холодного байпасного газа по слоям катализатора;

2) выходные параметры:  $Q_{ВЫХ}$  – концентрация аммиака на выходе из колонны;  $T_{ВЫХ}$  – температура выходящего газа;

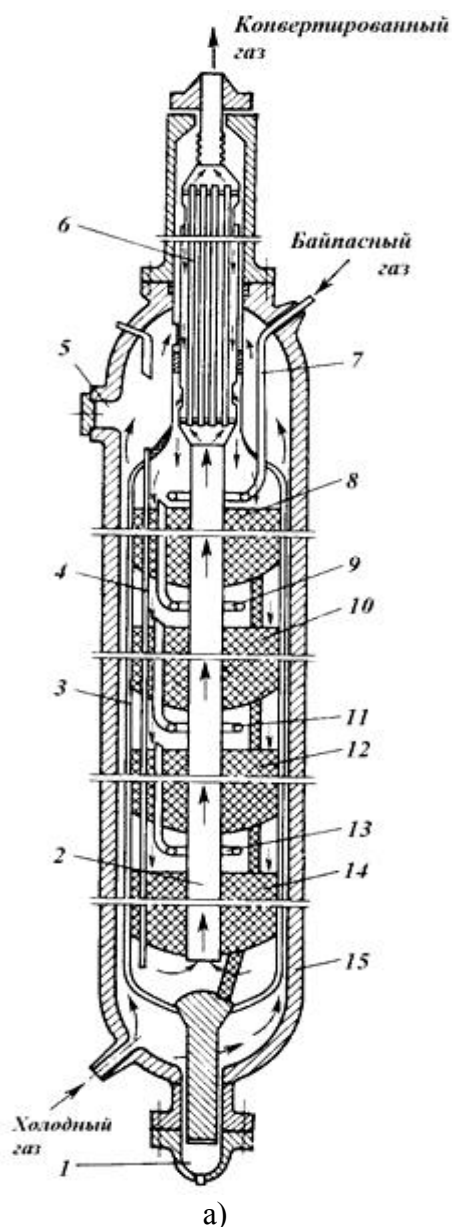
3) возмущающие параметры:  $f_1$  – концентрация аммиака во входной смеси;  $f_2$  – соотношение водород/азот во входной смеси.

При этом внутренние взаимосвязи между параметрами можно представить рис. 1-в). На рисунке 1-в) обозначены:

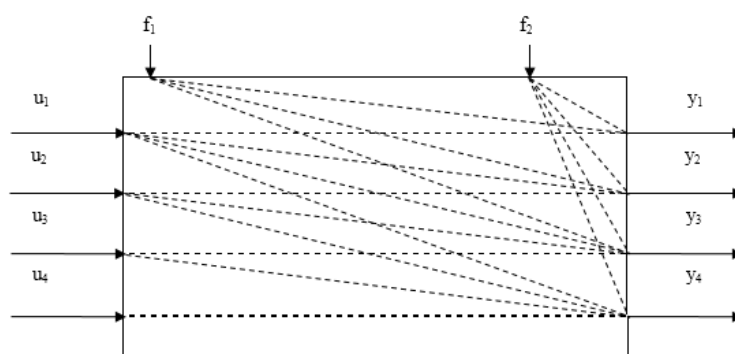
1) управляющие параметры:  $u_1 - u_4$  – степени открытия заслонок на байпасных потоках;

2) управляемые параметры:  $y_1 - y_4$  – температуры в слоях катализатора;

3) возмущающие параметры:  $f_1, f_2$  – концентрация аммиака и соотношение водород/азот соответственно.



б)



в)

Рисунок 1 – Колонна синтеза аммиака:

а) – схематическое представление; б) - колонна синтеза аммиака как объект управления; в) – структура взаимосвязей между параметрами

По имеющимся кривым разгона [2] по каналам управления «открытие заслонки – изменение температуры в слое катализатора» и по каналам возмущения «концентрация

аммиака (соотношение азот/водород) – изменение температуры» методами непараметрической идентификации можно получить математические модели в виде передаточных функций  $W_{ui}(s)$  и  $W_{fi}(s)$  соответственно (1). По виду кривых (рис. 2) можно ограничиться в представлении апериодическими звеньями первого порядка с транспортным запаздыванием:

$$W_{ui}(s) = \frac{k_{ui}}{T_{ui}s + 1} e^{-\tau_{ui}s}, \quad W_{fi}(s) = \frac{k_{fi}}{T_{fi}s + 1} e^{-\tau_{fi}s} \quad (1)$$

Графики экспериментальной и модельной кривой разгона на примере первой полки катализатора приведены на рис.2.

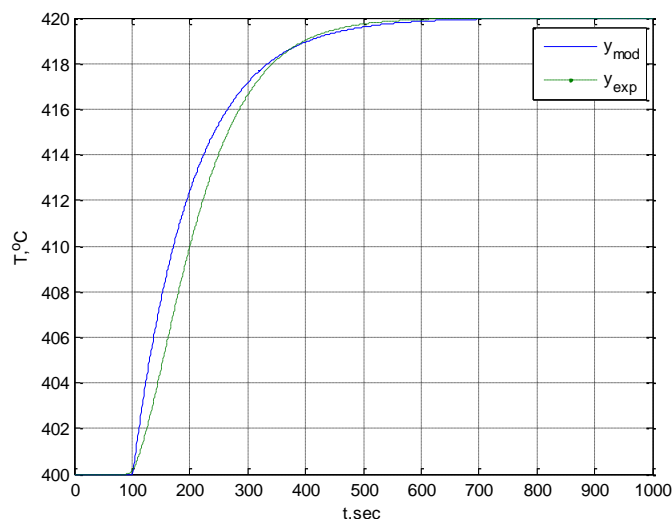
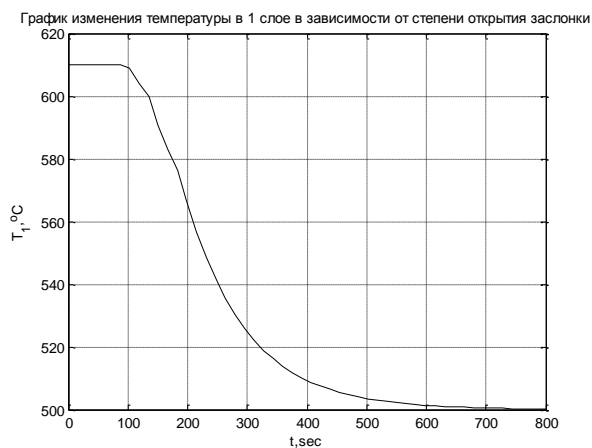


Рисунок 2 – Кривая разгона по каналу управления для первой полки

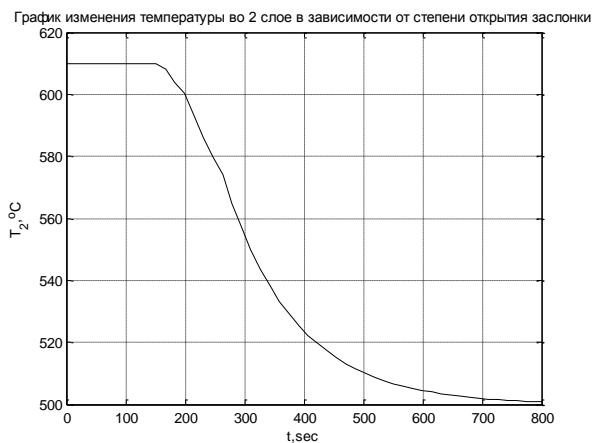
Таким образом были получены передаточные функции для температуры в первой  $W_{u1}(s)$  и второй  $W_{u2}(s)$  полках катализатора:

$$W_{u1}(s) = \frac{k_{u1}}{T_{u1}s + 1} e^{-\tau_{u1}s} = \frac{1}{102s + 1} e^{-100s}, \quad W_{u2}(s) = \frac{k_{u2}}{T_{u2}s + 1} e^{-\tau_{u2}s} = \frac{1}{120s + 1} e^{-160s} \quad (2)$$

На основе передаточных функций (2) с помощью пакета Matlab&Simulink были получены графики зависимостей температур в первом и втором слое катализатора от степени открытия заслонок (рис.3). Для моделирования было принято  $u=70\%$ .



а)



б)

Рисунок 3 - График изменения температуры в зависимости от степени открытия заслонки: а) – в первом слое катализатора; б) – во втором слое катализатора

В настоящее время наиболее распространенной структурой управления является система, представляющая собой совокупность действующих одновременно независимых контуров управления температурами в слоях катализатора с индивидуальными регуляторами. В качестве регуляторов обычно применяются вариации ПИД-регулятора (И или ПИ), поскольку они обладают хорошей надежностью, удобством настройки и обслуживания. Кроме того, они в целом позволяют до некоторой степени компенсировать неизмеряемые возмущения [3]. Однако, подобные структуры не учитывают особенностей объектов с большим транспортным запаздыванием и, что более важно, взаимное влияние управляющих воздействий между слоями катализатора внутри одной колонны. Можно сказать, что управляющее воздействие в  $i$ -том слое является одновременно и возмущающим для всех остальных (рис. 1-в). Таким образом, колонна синтеза аммиака является многосвязным объектом с многими входами и выходами с большим транспортным запаздыванием и при наличии внешних возмущений. Следовательно, необходимо разработать модернизацию системы управления процессом синтеза аммиака, не будет обладать указанными выше недостатками и будет учитывать особенности объекта. На основе анализа методик синтеза регуляторов для данного класса объектов, можно предложить два варианта решения данной проблемы[3-4]:

1) Использование компенсаторов для уменьшения взаимного влияния индивидуальных контуров управления. Здесь необходимо отметить, что их синтез и разработка физической реализации по классическим методикам могут быть затруднены тем, что объект обладает большим транспортным запаздыванием.

2) Синтез многомерного регулятора (ММО–управление). Является более перспективным для сложных мультипеременных систем, к которым можно отнести и исследуемый объект. Однако может потребоваться представление математических моделей, отличное от полученного выше.

#### **Выводы.**

1. Выполнен анализ четырехполочной колонны синтеза аммиака как объекта управления.

2. Получены модели в виде передаточных функций по каналу «изменение угла поворота заслонки – температура» на примере первой и второй полки катализатора. Проведено моделирование в среде Matlab&Simulink и получены графики переходных процессов. На основе анализа результатов моделирования можно сделать вывод, что на качественном уровне они соответствуют исследуемому процессу.

3. Выполнен анализ существующих решений в области систем управления полочными колоннами синтеза и выявлены их достоинства и недостатки. Предложены направления для разработки модернизации системы управления.

#### **Перечень ссылок**

1. Синтез аммиака. – под редакцией Л.Д. Кузнецова, - М.:Химия, 1982, - 296с.
2. Моделирование и синтез цифровой многосвязной системы управления процессом получения аммиака [Текст]: Монография / В.С. Кудряшов, С. В. Рязанцев; Воронеж. гос. технол. акад. – Воронеж: ВГТА, 2011 – 173 с..
3. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. / В.В.Денисенко. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 608с.
4. Гудвин, Г. К. Проектирование систем управления / Г. К. Гудвин, С. Ф. Греббе, М. Э. Сальгадо ; пер. А. М. Епанешников. - М. : Бином. Лаборатория Знаний, 2004. - 911 с
5. И.В.Черных. "Simulink: Инструмент моделирования динамических систем." [Электронный ресурс]. Режим доступа:  
[http://matlab.exponenta.ru/simulink/book1/9\\_8.php#9\\_8\\_4](http://matlab.exponenta.ru/simulink/book1/9_8.php#9_8_4)