

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ КОЛОННЫ СИНТЕЗА АММИАКА

Кутепов Д. В., магистрант; Суков С. Ф., доц., к.т.н., доц.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Актуальность.

Современные химико-технологические процессы получения аммиака в каталитических колоннах отличаются сложностью и большой скоростью протекания. Управление такими процессами, как правило, имеют большую размерность и содержит сложные функциональные связи между переменными [1, 2].

Поэтому актуальной задачей является получение математической модели технологического процесса синтеза аммиака в каталитической колонне, отражающая взаимосвязь между отдельными слоями катализатора и исследование динамических свойств объекта по каналам управления и возмущений.

Цель - увеличение выхода целевого продукта за счет модернизации системы автоматического управления колонной синтеза аммиака, которая позволит стабилизировать температуру в каждом слое катализатора при неравномерной нагрузке.

Математическая модель колонны синтеза аммиака.

Целью технологического процесса синтеза аммиака, протекающего в четырехполочном реакторе, является получение газообразного аммиака с заданной концентрацией на выходе из реактора. В промышленных условиях из-за значительных трудностей при измерении концентрации непосредственно в слоях катализатора реактора, процесс проводят путем стабилизации температуры в регламентных границах по слоям за счет изменения степени открытия заслонок на байпасных потоках (рис. 1) [1, 2].

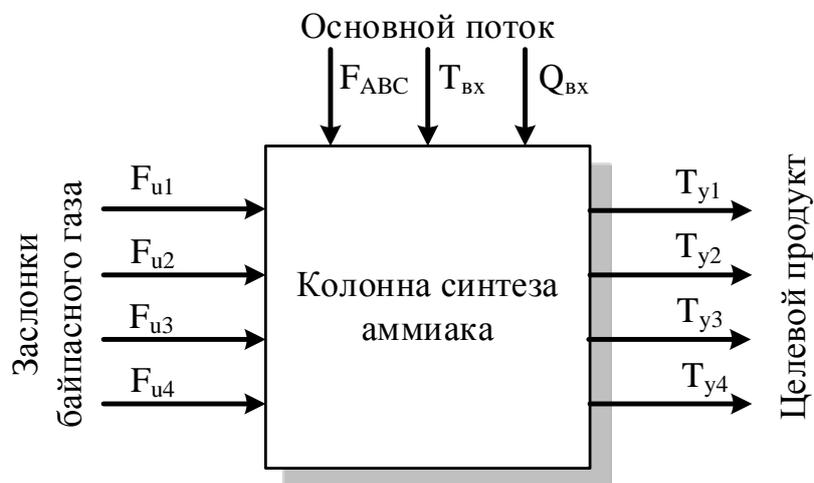


Рисунок 1 – Представление колонны синтеза аммиака как объекта управления

Регулируемыми переменными выступают - $T_{y1} - T_{y4}$ - температура в слоях катализатора. Управляющими переменными выступают - $F_{u1} - F_{u4}$ - расход холодного байпасного газа. Возмущающими переменными выступают - $F_{ABC}, Q_{вх}, T_{вх}$ - расход, концентрация аммиака и температура входной азотородной смеси.

В результате экспериментальных исследований на четырехполочной колонне синтеза аммиака [2], выявлен инерционный характер зависимости температуры в слоях катализатора от степени открытия соответствующих заслонок с транспортной задержкой. Получим модель в конечно-разностной форме, для этого необходимо решить задачу параметрической идентификации в предположении, что соответствующие зависимости описываются инерционным звеном 2-го порядка с транспортной задержкой:

$$W(s) = \frac{k}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} e^{-\tau s}. \quad (1)$$

Дискретная передаточная функция для передаточной функции вида (1) равна:

$$W(z^{-1}) = \frac{Y(z^{-1})}{U(z^{-1})} = \frac{b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}} z^{-d}, \quad (2)$$

где

$$A = \frac{1}{T_1 T_2}, \quad B = \frac{T_1^2 T_2}{T_2 - T_1}, \quad C = -\frac{T_1 T_2^2}{T_2 - T_1}.$$

Преобразуем уравнение (2) к виду разностного уравнения:

$$y(k) + a_1 y(k-1) + a_2 y(k-2) = b_1 u(k-1) + b_2 u(k-2),$$

$$y(k) = -a_1 y(k-1) - a_2 y(k-2) + b_1 u(k-1) + b_2 u(k-2), \quad k=1,2,\dots,N. \quad (3)$$

Идентификация параметров математической модели колонны синтеза аммиака.

Процедурой параметрической идентификации или оценивания параметров является определение значений параметров, характеризующих динамику поведения объекта, с помощью определенных способов обработки экспериментальных данных в предположении, что структура модели исследуемого объекта известна [3]. Базовым подходом к определению параметров моделей остается метод наименьших квадратов (МНК).

Для каждого момента k предсказанное значение выходного сигнала определяется зависимостью:

$$\hat{y}(k) = -a_1 y(k-1) - a_2 y(k-2) + b_1 u(k-1) + b_2 u(k-2). \quad (4)$$

На основе (4) система соотношений для предсказаний для всей временной выборки из N измерений имеет вид:

$$\begin{bmatrix} \hat{y}(k) \\ \hat{y}(k+1) \\ \vdots \\ \hat{y}(k+N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -y(k-1) & -y(k-2) & u(k-1) & u(k-2) \\ -y(k) & -y(k-1) & u(k) & u(k-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -y(k+N) & -y(k+N-1) & u(k+N) & u(k+N-1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

В матричной форме соотношение (6) имеет вид:

$$\hat{Y}(k) = \Psi(k)\beta. \quad (6)$$

Разность между векторами измеренных значений выходного сигнала $Y(k)$ и предсказанных по модели (6) образует ошибку аппроксимации, состоящую из погрешностей измерений выходного сигнала и неточностей значений параметров модели:

$$e(k, \beta) = Y(k, \beta) - \hat{Y}(k, \beta). \quad (7)$$

На основе (7) формируется функционал среднеквадратичной ошибки:

$$J(\beta) = e^T(k, \beta)e(k, \beta) = \sum_{k=1}^N e^2(k, \beta). \quad (8)$$

Из условия существования минимума:

$$\left. \frac{\partial J(\beta)}{\partial \beta} \right|_{\beta=\beta^*} = 0.$$

определяется выражение для оценки, минимизирующее функцию ошибки:

$$\beta = [\Psi^T(k)\Psi(k)]^{-1}\Psi^T(k)\hat{Y}(k). \quad (9)$$

Полученные выражения (9) представляют в явной форме оценку параметров модели методом наименьших квадратов на основе обработки результатов измерений по полной выборке, когда сначала собирается весь объем исходных экспериментальных данных, после чего производится ретроспективная процедура идентификации.

Моделирование и исследование динамических характеристик колонны синтеза аммиака.

Для реализации математической модели колонны синтеза аммиака и исследования переходных характеристик воспользуемся программы продуктом Matlab&Simulink. На рис. 2 представлена схемы полученной математической модели колонны синтеза аммиака.

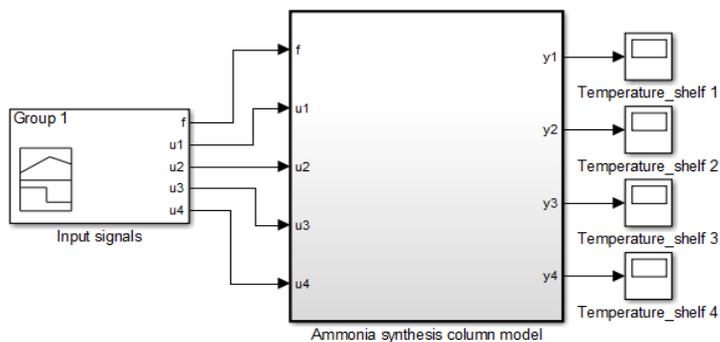


Рисунок 2 – Обобщенная схема математической модели колонны синтеза аммиака в программе Simulink

В результате подачи на вход модели входных воздействий при открытии первой заслонки (рис. 3), получены графики переходных процессов, представленные на рис. 4.

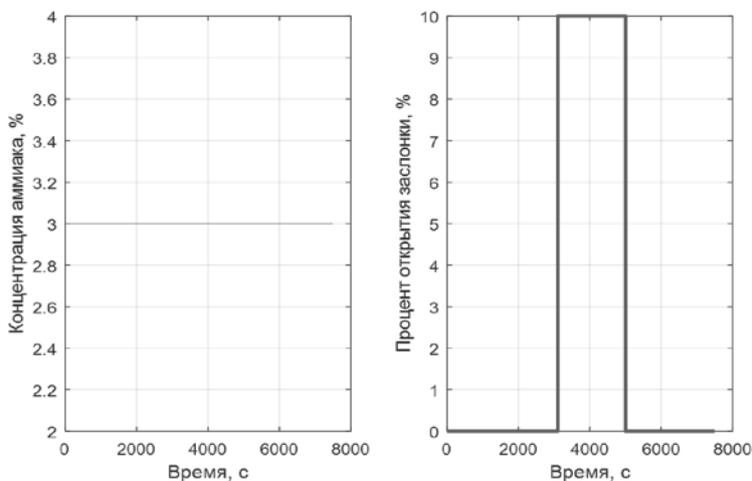


Рисунок 3 – Значения входных воздействий (переменные)

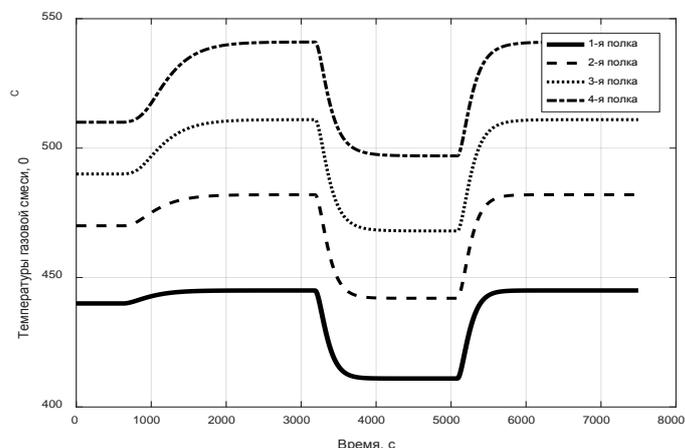


Рисунок 4 – Графики выходных переменных при обработке воздействий

В результате подачи на вход модели входных воздействий при открытии четвертой заслонки (рис. 5), получены графики переходных процессов, представленные на рис. 6.

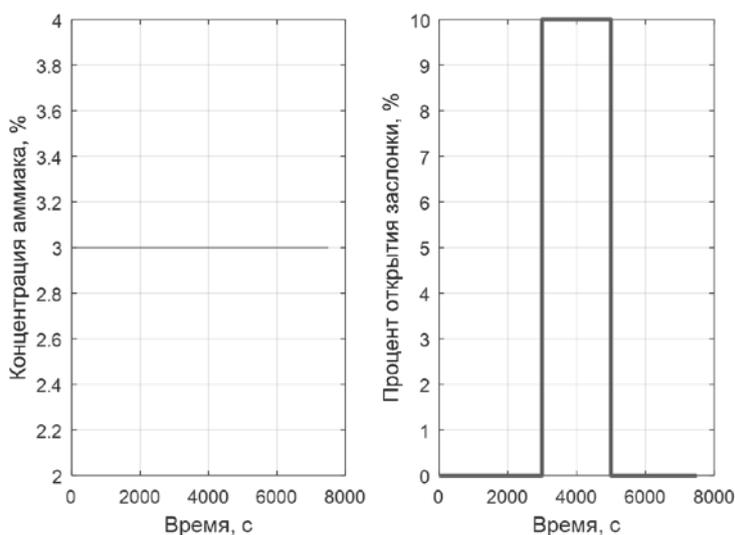


Рисунок 5 – Значения входных воздействий (переменные)

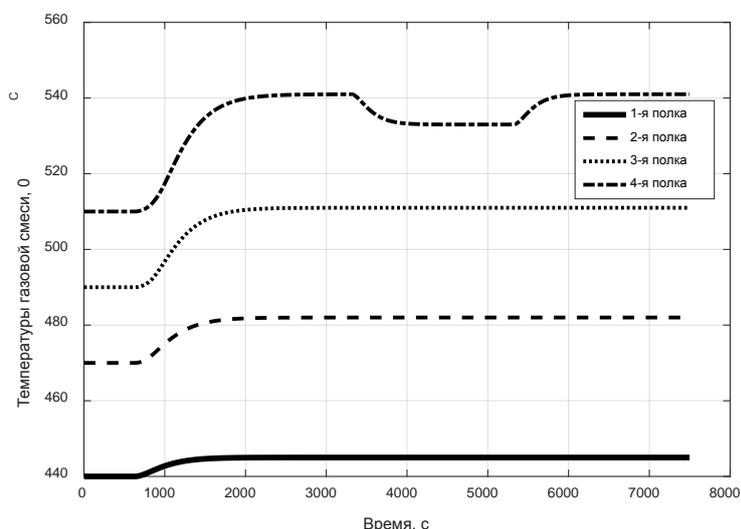


Рисунок 6 – Графики выходных переменных при обработке воздействий

Поскольку основной поток проходит последовательно слои катализатора сверху вниз, то, исходя из рис. 4 и 5, очевидно, что температура в вышележащем слое катализатора будет оказывать влияние на температуру нижележащих слоев.

Выводы.

Анализ результатов моделирования подтверждает соответствие качественного поведения модели основным характеристикам исследуемого технологического процесса синтеза аммиака в каталитической колонне.

Перечень ссылок

1. Кафаров, В. В. Математическое моделирование основных процессов химических производств / В. В. Кафаров, М. Б. Глебов. – Москва : Высшая школа, 1991. – 400 с.
2. Кудряшов, В. С. Моделирование и синтез цифровой многосвязной системы управления процессом получения аммиака : монография / В. С. Кудряшов, С. В. Рязанцев, А. В. Иванов. – Воронеж : ВГТА, 2011. – 171 с.
3. Эйкхофф, П. Основы идентификации систем управления / П. Эйкхофф. – Москва : Мир, 1975. – 680 с.