

РАЗРАБОТКА СТАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕЧНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УЧАСТКА  
ПРОИЗВОДСТВА СЕРНОЙ КИСЛОТЫ МЕТОДОМ МОКРОГО КАТАЛИЗА

*В работе рассматривается технологический процесс производства серной кислоты методом мокрого катализа. Произведена декомпозиция технологического процесса на ряд подсистем, которая позволила определить основные переменные, оказывающие влияние на ход процесса. Рассмотрен технологический участок получения сернистого газа путем сжигания сероводорода в печи, совмещенной с котлом-утилизатором как объект управления. Составлены уравнения теплового и материального баланса печного участка, на основании которых получены статические характеристики по каналам управления и возмущений.*

Постановка проблемы. В связи с высокой стоимостью энергоресурсов актуальной задачей становится совершенствование существующих систем автоматического управления (САУ) технологическими процессами на химических предприятиях в направлении снижения их энергоемкости без потери качества выпускаемой продукции, а так же уменьшения выбросов в атмосферу вредных продуктов, что особо актуально для донецкого региона [1]. Одной из причин недостаточного развития методики синтеза САУ для рассматриваемого объекта на основе современных методов управления с привлечением компьютерных технологий является отсутствие подходящей для этого математической модели технологического процесса (ТП) производства серной кислоты как объекта управления. Следовательно, одной из основных задач является проведение работы по анализу ТП производства серной кислоты с целью разработки математической модели, адекватно отражающей статические и динамические свойства объекта и позволяющей синтезировать САУ на основе современных методов управления.

Постановка задачи. Задачи управления ТП производства серной кислоты из сероводорода методом мокрого катализа формулируются обычно как задачи максимизации удельного выхода серной кислоты и минимизации энергетических затрат при наличии ограничений на технологические параметры процесса. Решение таких задач для всего процесса в целом очень затруднительно, так как рассматриваемый процесс является сложным многомерным многосвязным объектом с распределенными параметрами. Поэтому производится декомпозиция процесса на отдельные технологические участки (ТУ) различной размерности с сосредоточенными параметрами, которые характеризуются сравнительно небольшим числом переменных. Обычно эти участки совпадают с законченными технологическими стадиями, для которых могут быть сформулированы свои подзадачи управления, подчиненные общей задачей управления процессом в целом [2,3].

После анализа технологической цепочки производства серной кислоты методом мокрого катализа представленного в работах [4,5], произведем декомпозицию ТП производства серной кислоты. Первый ТУ конструктивно объединяет звенья – печь, котел-утилизатор, камеру дожигания и камеру смешения, второй ТУ – контактный аппарат и охладитель газа, и третий ТУ – конденсатор и охладитель кислоты. С точки зрения теории управления каждый ТУ, как объект автономного управления, характеризуется комплексом входных, выходных и возмущающих переменных. Математическая модель ТУ разрабатывается на основе описания всех функциональных прямых и обратных связей, с учетом возмущений, связности характеристик и параметров, а так же задается критерий качества, по которому синтезируются системы управления для каждого ТУ.

Выделим задачи управления для первого ТУ (печной участок): поддержание оптимального режима горения при изменении в количестве перерабатываемого сероводорода, за счет управления расходом воздуха поступающего в печь и камеру дожигания; поддержание заданного значения температуры сернистого газа на выходе из камеры смешения; поддержание заданных свойств получаемого технологического пара. В качестве выходных параметров печи могут быть выбраны концентрация, количество и температура сернистого газа ( $\text{SO}_2$ ). Количество газа, выходящего из печи, не подлежит стабилизации, так как печь, должна полностью переработать весь сероводород, поступающий в нее. Температура по сравнению с концентрацией газа имеет

меньшее значение для стабилизации режима контактного и абсорбционного участков, однако поскольку зависимость между концентрацией и температурой газа однозначна вследствие экзотермичности реакции горения сероводорода, за основной выходной параметр примем температуру SO<sub>2</sub>. Входными параметрами для концентрации SO<sub>2</sub> являются расход, концентрация и температура сероводорода, расход, влажность и температура воздуха [2,3,7]. Печной участок как объект управления представлен на рис. 1.

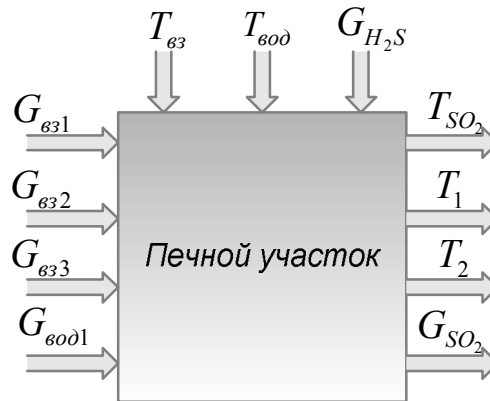


Рис. 1 – Печной участок как объект управления

Печной участок характеризуется следующими компонентами векторов (1):  $\bar{f}_1$  – вектор возмущений;  $\bar{u}_1$  – вектор управления;  $\bar{y}_1$  – вектор выходных сигналов подсистемы:

$$\begin{cases} \bar{u}_1 = (G_{631}, G_{632}, G_{633}, G_{60d1}); \\ \bar{y}_1 = (T_{SO_2}, T_1, T_2, G_{SO_2}); \\ \bar{f}_1 = (T_{63}, T_{60d}, G_{H_2S}). \end{cases} \quad (1)$$

где  $G_{631}$  – расход воздуха на горение в печи;  $G_{632}$  – расход воздуха в камеру дожигания;  $G_{633}$  – расход воздуха на охлаждение диоксида серы;  $G_{60d1}$  – расход воды;  $T_{SO_2}$  – температура SO<sub>2</sub> на выходе из камеры смешения;  $T_1$  – температура газа до камера дожигания;  $T_2$  – температура газа после камеры дожигания;  $G_{SO_2}$  – расход полученного SO<sub>2</sub>;  $T_{63}$  – температура воздуха окружающей среды;  $T_{60d}$  – температура воды из системы охлаждения;  $G_{H_2S}$  – расход перерабатываемого сероводорода.

В стационарном режиме работы установки величины, характеризующие теплофизические свойства потоков на входе и выходе локальных объектов, остаются постоянными и описываются статическими характеристиками. Для получения этих характеристик выделим основные алгебраические уравнения, описывающие взаимосвязь отдельных физических величин, характеризующих рассматриваемый технологический процесс.

Составим для первого ТУ – печного участка, уравнения материального (2)-(5) и теплового балансов (6)-(9). Материальный баланс для печи (2), для камеры дожигания (3), для камеры смешения (4) и общий материальный баланс для всего печного участка (5), м<sup>3</sup>/ч [2,6,7]:

$$G_{H_2S} + G_{631} + G_{60d1} = G_{d21} + G_{60d2}, \quad (2)$$

$$G_{d21} + G_{632} = G_{d22}, \quad (3)$$

$$G_{d22} + G_{633} = G_{SO_2}, \quad (4)$$

$$G_{H_2S} + G_{631} + G_{632} + G_{633} + G_{60d1} = G_{SO_2} + G_{60d2}, \quad (5)$$

где  $G_{H_2S}$  – расход сероводорода;  $G_{60d2}$  – расход отработанной воды;  $G_{d21}$  – расход газа после печи;  $G_{d22}$  – расход газа после камеры дожигания.

Тепловой баланс для печи (6), для камеры дожигания (7), для камеры смешения (8) и общий материальный баланс для всего печного участка (9), кДж:

$$Q_{H_2S} + Q_{m1} + Q_{631} + Q_{60d1} = Q_{d21} + Q_{60d2}, \quad (6)$$

$$Q_{\partial z1} + Q_{\partial z2} + Q_{m2} = Q_{\partial z2}, \quad (7)$$

$$Q_{\partial z2} + Q_{\partial z3} = Q_{S_2O}, \quad (8)$$

$$Q_{H_2S} + Q_{\partial z1} + Q_{\partial z2} + Q_{\partial z3} + Q_{\partial z01} + Q_{m1} + Q_{m2} = Q_{SO_2} + Q_{\partial z02}, \quad (9)$$

где  $Q_{m1,2}$  – теплота сгорания сероводорода, кДж/кг;  $Q_{H_2S}$  – количество тепла, вносимое в печь сероводородом;  $Q_{\partial z1,2,3}$  – количество тепла, вносимое воздухом;  $Q_{\partial z01}$  – количество тепла, вносимое водой;  $Q_{SO_2}$  – количество тепла, уносимое сернистым газом;  $Q_{\partial z02}$  – количество тепла, уносимое отработанной водой и паром.

На основании уравнений (2-9) найдем статические характеристики печи, камеры дожигания и камеры смешения. Запишем уравнение теплового баланса для нагреваемого потока воды и для процесса горения в виде (10) и (11):

$$G_{\partial z01} c_p (T_{\text{вых}} - T_{\text{вх}}) = G_{\partial z1} c_{\partial z1} (T_2 - T_1), \quad (10)$$

$$G_{H_2S} q_{H_2S} = G_{H_2S} c_{H_2S} T_2 + G_{\partial z1} c_{\partial z1} T_2 - G_{H_2S} c_{H_2S} T_{H_2S} - G_{\partial z1} c_{\partial z1} T_{\partial z1}, \quad (11)$$

$$T_2 = \frac{q_{H_2S} + c_{H_2S} T_{H_2S} + \gamma \cdot c_{\partial z1} T_{\partial z1}}{c_{H_2S} + \gamma \cdot c_{\partial z1}}, \quad (12)$$

где  $c_p$ ,  $c_{\partial z1}$ ,  $c_{H_2S}$ ,  $c_{\partial z1}$  – удельные теплоемкости воды, отходящих газов, сероводорода и воздуха;  $T_{\text{вых}}$ ,  $T_{\text{вх}}$ ,  $T_{H_2S}$ ,  $T_2$ ,  $T_1$ ,  $T_{\partial z1}$  – температура воды на выходе из печи, на входе, температура сероводорода, горения, температура газов после печи и подаваемого воздуха;  $\gamma = G_{\partial z1} / G_{H_2S}$  – коэффициент соотношения расходов воздуха и сероводорода.

Выразим из выражения (10)  $T_1$  и, подставив значение  $T_2$  (12) получим формулу для определения выходной температуры отходящих газов из печи:

$$T_1 = G_{\partial z01} c_p (T_{\text{вх}} - T_{\text{вых}}) / G_{\partial z1} c_{\partial z1} + T_2, \quad (13)$$

Формула для определения температуры отходящего газа после камеры дожигания:

$$T_2 = (G_{\partial z1} q_{\partial z1} + G_{\partial z1} c_{\partial z1} T_1 + G_{\partial z2} c_{\partial z2} T_{\partial z2}) / G_{\partial z2} c_{\partial z2}, \quad (14)$$

Формула для определения выходной температуры сернистого газа:

$$T_{SO_2} = (G_{\partial z2} c_{\partial z2} T_2 + G_{\partial z3} c_{\partial z3} T_{\partial z3}) / (G_{\partial z2} c_{\partial z2} + G_{\partial z3} c_{\partial z3}). \quad (15)$$

Выводы. В работе произведена декомпозиция ТП производства серной кислоты на технологические участки с сосредоточенными параметрами. Выделены задачи управления для первого ТУ (печной участок), а так же основные входные, выходные и возмущающие переменные, оказывающие влияние на ход протекания процесса горения. Составлены уравнения теплового и материального баланса для печного участка, на основании которых получены статические характеристики по каналам управления и возмущений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Разработка ресурсосберегающей технологии производства серной кислоты на коксохимических заводах. Промежуточный отчет о НИР Н19-2000. ДонНТУ, 2003. – 45 с.
2. Автоматическое управление в химической промышленности: Учебник для вузов / Дудников Е.Г., Казаков А.В., Софиева Ю.Н., Софиев А.Э., Цирлин А.М. – М.: Химия, 1987. – 368 с.
3. Шувалов В.В., Огаджанов Г.А., Голубятников В.А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. – М.: Химия, 1991. – 480 с.
4. Ухмылова Г.С. Сероочистка коксового газа в процессе Топсое // Кокс и химия. – 1993. - №3. – с. 34-36.
5. Ткаченко В.Н., Бессараб В.И., Чернышев Н.Н. Анализ процесса получения серной кислоты из сероводорода в системе комплексной автоматизации углехимических производств // “Практика и перспективы развития партнерства в высшей школе”: Материалы восьмого научно-практического семинара. В 3-х томах. Том 3.- Донецк: ДонНТУ, 2007. - №7. - С. 329-334.
6. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1991. – 400 с.
7. Амелин А.Г. Технология серной кислоты. Учебное пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. – М.: Химия, 1983. – 360 с.