

**Н.Н. Чернышев**

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк  
кафедра автоматики и телекоммуникаций  
E-mail: kolyachernishov@mail.ru

## **СИСТЕМНАЯ ДЕКОМПОЗИЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА СЕРНОЙ КИСЛОТЫ КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ**

### **Abstract**

**Chernishov N.N. Systemic decomposition production process sulphuric acid as automation object.** Procedure analysis production process sulphuric acid by wet catalysis method was performed. For each unit process flow sheet discriminate variables, which have an influence on process and correlation between all devices process flow sheet were determine.

**Keywords:** systemic decomposition, production process, sulphuric acid.

### **Анотація**

**Чернишев М.М. Системна декомпозиція процесу виробництва сірчаної кислоти як об'єкта автоматизації.** Проведено аналіз процесу виробництва сірчаної кислоти методом мокрого каталізу. Для кожної ланки технологічного ланцюга виділені змінні, які впливають на динаміку процесу та визначені взаємозв'язки між всіма апаратами технологічного процесу.

**Ключові слова:** системна декомпозиція, технологічний процес, сірчана кислота.

### **Аннотация**

**Чернышев Н.Н. Системная декомпозиция процесса производства серной кислоты как объекта автоматизации.** Проведен анализ процесса производства серной кислоты методом мокрого катализа. Для каждого звена технологической цепочки выделены переменные, оказывающие влияние на ход течения процесса и определены взаимосвязи между всеми аппаратами рассматриваемого технологического процесса.

**Ключевые слова:** системная декомпозиция, технологический процесс, серная кислота.

**Общая постановка проблемы.** Показатели производства серной кислоты зависят от точности соблюдения технологического процесса. Колебания технологических параметров установок в пусковых режимах, а так же во время эксплуатации приводят к снижению производительности и ухудшению качества продукции. Совершенствование систем автоматического управления серноокислотных производств обеспечивающих снижение выбросов в атмосферу диоксида серы, тумана серной кислоты и других вредных продуктов, так же является важной прикладной задачей для химических предприятий [1].

Процессы, протекающие в химической технологии – это сложные физико-химические системы, в которых основные переменные процесса изменяются в пространстве и во времени, и совокупность составляющих их явлений носит детерминированно-стохастическую природу. Метод математического моделирования, основывающийся на системном анализе, позволяет наиболее полно определить совокупность явлений химико-технологических процессов и связей между ними. Метод системного анализа заключается в представлении исследуемого процесса, как сложной иерархической системы состоящей из

подсистем взаимно связанных друг с другом, с последующим качественным анализом ее структуры, разработкой математической модели и оценкой неизвестных параметров [2].

**Постановка задачи.** Существующие методы построения системы автоматического управления отдельными технологическими модулями не рассматривают технологическую цепочку производства серной кислоты как объект управления с взаимосвязанной структурой, то есть управление осуществляется по отдельным каналам без взаимного согласования и корректировки. Решение задачи построения автоматической системы управления объектом за счет совершенствования систем управления отдельных технологических установок без учета их взаимосвязи не позволит достичь цели процесса – максимального удельного выхода серной кислоты при снижении экономических затрат.

**Цель работы.** Проведение декомпозиции процесса производства серной кислоты методом мокрого катализа.

**Решение задач и результаты исследования.** Рассмотрим технологическую цепочку производства серной кислоты из сероводорода, представленную на рис. 1 [1,4].

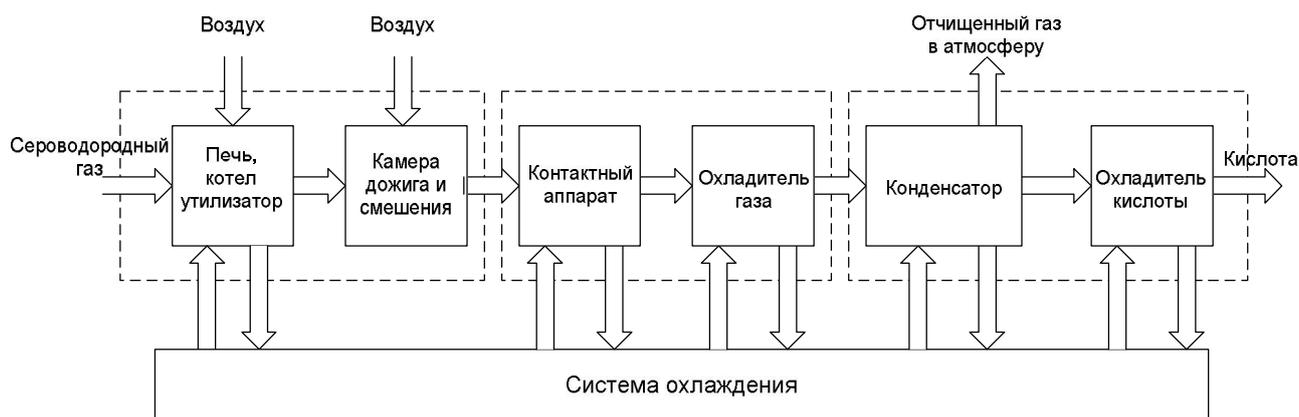


Рисунок 1 – Функциональная схема технологической цепочки получения серной кислоты из сероводорода методом мокрого катализа

Производство серной кислоты является непрерывным, поэтому все основные аппараты технологической схемы соединены последовательно. При перебоях в работе одного аппарата нарушается режим работы последующих аппаратов. Основными звеньями рассматриваемой технологической цепочки являются: печь; котел-утилизатор; контактный аппарат; охладитель газа; конденсатор; охладитель кислоты и система охлаждения. Назначение каждого звена подробно описано в работах [1,4]. Для осуществления синтеза системы автоматического управления процессом производства серной кислоты, произведем анализ каждого звена как объекта управления с выделением всех факторов оказывающих влияние на динамику процесса, т.е. определим входные, выходные и возмущающие переменные (см. рис.2).

Число контролируемых параметров схемы автоматизации должно быть минимально необходимым, обеспечивающим нормальное течение технологического процесса. Излишнее число объектов контроля и регулирования связано с увеличением экономических затрат. Технологический процесс получения серной кислоты из сероводорода представляет собой сложную многосвязную систему, которая может быть представлена в виде объекта с входными, выходными и возмущающими переменными.

На работу установки получения серной кислоты оказывают влияние несколько параметров, определяющих ее текущее состояние. Прежде всего, это технологические параметры установки, назовем их условно-постоянными, поскольку в процессе функционирования они могут изменяться в связи с изменением конструктивных параметров

печи вследствие высокотемпературных процессов горения, параметров контактного аппарата вследствие химических реакций и т.д. Такие параметры можно отнести к возмущениям.

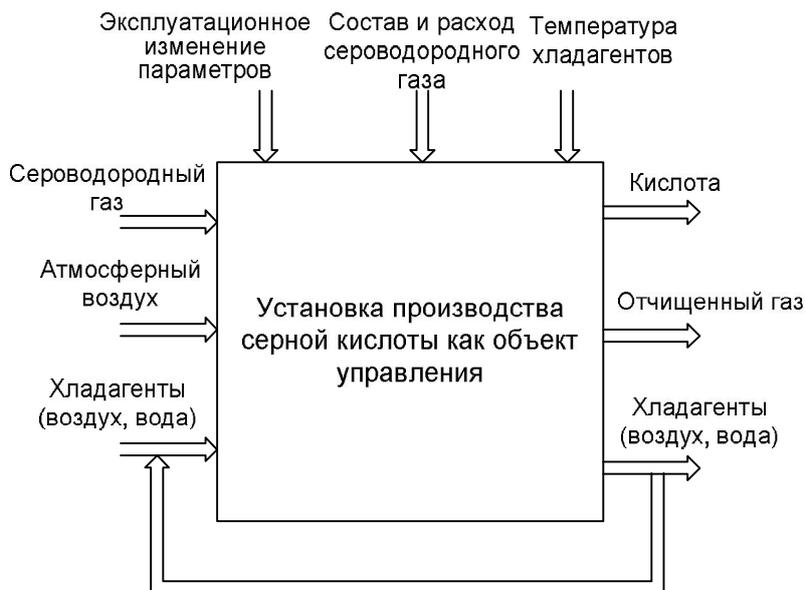


Рисунок 2 – Технологическая цепочка получения серной кислоты из сероводорода как объект управления

Управляемые параметры – это такие параметры, на которые возможно воздействовать при помощи управляющих переменных с целью достижения заданного режима работы установки. Можно выделить следующие управляемые параметры: температура газа на выходе из всех звеньев технологической цепи; температура отчищенного газа и кислоты; перепад давления на конденсаторе; количество питательной воды в системе охлаждения.

Возмущающие параметры изменяются случайно и определяются условиями эксплуатации установки. К ним относятся: концентрация и объем поступающего сероводорода; температура, плотность и влажность воздуха, подаваемого в печь; температура хладагентов (воздух и вода) и др.

Декомпозиция на локальные объекты должна учитывать единство конструкции, однообразие протекающих в них физических и технологических процессов, а также сравнительную простоту математического описания [3].

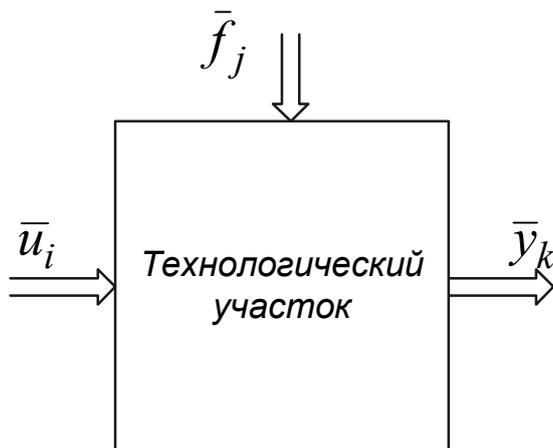


Рисунок 3 – Представление ТУ как объекта управления

В общем случае методология разделения сложной системы базируется на ее графическом представлении, определение подсистемы, позволяющее впоследствии сформулировать подзадачу, может быть осуществлено в определенных случаях на основе только физических соображений [2,3,5]. С точки зрения теории управления каждый ТУ, как объект автономного управления, характеризуется векторами входных  $u_i$ , выходных  $y_k$  и возмущающих переменных  $f_i$ .

Произведем декомпозицию на пять технологических участков (ТУ).

Первый ТУ конструктивно объединяет два звена – печь совмещенную с котлом-утилизатором, второй ТУ – камеру дожига, третий ТУ – камеру смешения, четвертый ТУ – контактный аппарат и охладитель газа и пятый ТУ – конденсатор и охладитель кислоты.. В схематических представлениях ТУ как локальных объектов управления (рис. 4 – 8) произведено ранжирование переменных в соответствии с общепринятой методикой.

Технологический участок печь-котел как объект управления представлен на рис. 4.

ТУ печь-котел характеризуется следующими компонентами векторов:

$$\begin{cases} \bar{u}_1 = (G_{вод}, G_{возд1}); \\ \bar{y}_1 = (G_{n.e.1}, G_{пар}, T_{n.e.1}, T_{пар}); \\ \bar{f}_1 = (G_{мон}, T_{возд}, T_{вод}). \end{cases} \quad (1)$$

где  $G_{возд1}$  – расход воздуха на горение, м<sup>3</sup>/ч;  $G_{вод}$  – расход воды, м<sup>3</sup>/ч;  $G_{n.e.1}$  – расход первичных продуктов горения, м<sup>3</sup>/ч;  $G_{пар}$  – расход пара, м<sup>3</sup>/ч;  $T_{n.e.1}$  – температура первичных продуктов горения, °С;  $T_{пар}$  – температура пара, °С;  $G_{мон}$  – расход перерабатываемого сероводородного топлива, м<sup>3</sup>/ч;  $T_{возд}$  – температура воздуха, °С;  $T_{вод}$  – температура воды системы охлаждения, °С.

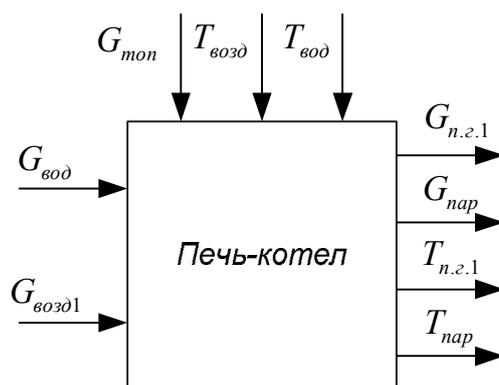


Рисунок 4 – Технологический участок печь-котел как объект управления

ТУ камера дожига как объект управления представлен на рис. 5.

ТУ камера дожига характеризуется следующими компонентами векторов:

$$\begin{cases} \bar{u}_2 = (G_{возд2}); \\ \bar{y}_2 = (G_{n.e.2}, T_{n.e.2}); \\ \bar{f}_2 = (G_{n.e.1}, T_{возд}, T_{n.e.1}). \end{cases} \quad (2)$$

где  $G_{возд2}$  – расход воздуха на горение, м<sup>3</sup>/ч;  $G_{n.e.2}$  – расход вторичных продуктов горения, м<sup>3</sup>/ч;  $T_{n.e.2}$  – температура вторичных продуктов горения, °С;  $G_{n.e.1}$  – расход первичных продуктов горения, м<sup>3</sup>/ч;  $T_{возд}$  – температура воздуха, °С;  $T_{n.e.1}$  – температура первичных продуктов горения, °С.

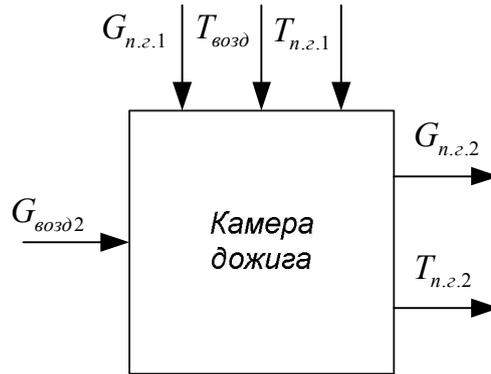


Рисунок 5 – Технологический участок камера дожига как объект управления

ТУ камера смешения как объект управления представлен на рис. 6.

ТУ камера смешения характеризуются следующими компонентами векторов:

$$\begin{cases} \bar{u}_3 = (G_{возд3}); \\ \bar{y}_3 = (G_{с.з.}, T_{с.з.}); \\ \bar{f}_3 = (G_{n.з.2}, T_{возд}, T_{n.з.2}). \end{cases} \quad (3)$$

где  $G_{возд3}$  – расход воздуха в камеру смешения, м<sup>3</sup>/ч;  $G_{с.з.}$  – расход сернистого газа, м<sup>3</sup>/ч;  $T_{с.з.}$  – температура сернистого газа, °С;  $G_{n.з.2}$  – расход вторичных продуктов горения, м<sup>3</sup>/ч;  $T_{возд}$  – температура воздуха, °С;  $T_{n.з.2}$  – температура вторичных продуктов горения, °С.

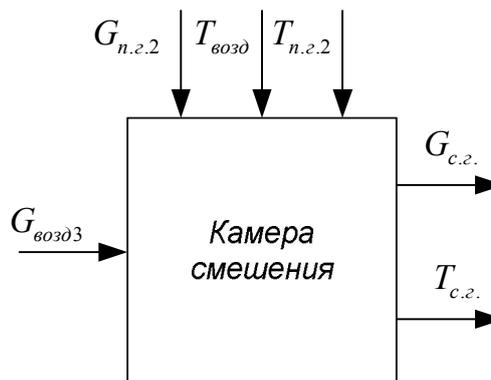


Рисунок 6 – Технологический участок камера смешения как объект управления

Четвертый ТУ – контактный аппарат и охладитель газа (контактный участок) как объект управления представлен на рис. 7.

Контактный модуль характеризуются следующими компонентами векторов:

$$\begin{cases} \bar{u}_4 = (G_{возд4}, G_{вод2}); \\ \bar{y}_4 = (T_{гз1}, T_{гз2}, G_{гз}); \\ \bar{f}_4 = (T_{возд}, G_{с.з.}, T_{с.з.}). \end{cases} \quad (4)$$

где  $G_{возд4}$  – расход воздуха в контактный аппарат, м<sup>3</sup>/ч;  $G_{вод2}$  – расход воды в охладитель газа, м<sup>3</sup>/ч;  $T_{гз1}$  и  $T_{гз2}$  – температура влажного газа после контактного аппарата и охладителя (газообразное состояние серной кислоты), °С;  $G_{гз}$  – расход влажного газа, м<sup>3</sup>/ч.

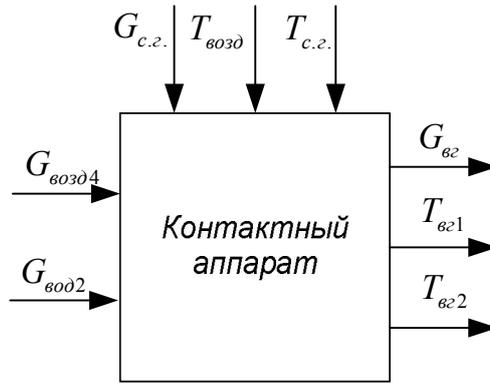


Рисунок 7 – Технологический участок контактный аппарат как объект управления

Пятый ТУ – конденсатор и охладитель кислоты (конденсаторный модуль) как объект управления представлен на рис. 8.

Конденсаторный модуль характеризуются следующими компонентами векторов:

$$\begin{cases} \bar{u}_5 = (G_{возд5}, G_{вод3}); \\ \bar{y}_5 = (T_{ог}, T_{ск}, \Delta P); \\ \bar{f}_5 = (T_{возд}, T_{вz2}, G_{вz}). \end{cases} \quad (3)$$

где  $G_{возд5}$  – расход воздуха на охлаждение паров серной кислоты в конденсаторе, м<sup>3</sup>/ч;  $G_{вод3}$  – расход воды на охлаждение серной кислоты, м<sup>3</sup>/ч;  $T_{ог}$  – температура отходящего газа из конденсатора, м<sup>3</sup>/ч;  $T_{ск}$  – температура серной кислоты, °С;  $\Delta P$  – перепад давления внутри конденсатора, кПа.

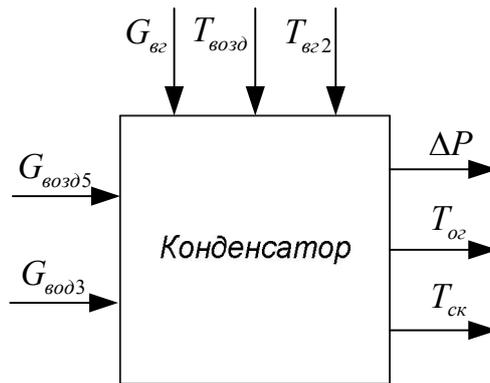


Рисунок 8 – Технологический участок конденсатор как объект управления

Глобальной целью рассматриваемого технологического процесса является получение серной кислоты по выбираемым критериям оптимизации. Поскольку отдельные локальные технологические участки и соответствующие им подпроцессы взаимосвязаны, автономное оптимальное управление подпроцессами по локальным критериям не может обеспечить оптимальное ведение всего процесса в целом. Для устранения этого недостатка необходимо отдельные оптимизированные управляющие подсистемы подчинить вышестоящей координирующей системе, в функции которой входят устранение конфликтных ситуаций между задачами управления подпроцессами и достижение глобальных целей в управлении процессом в целом. Координирующая система, таким образом, обеспечивает интеграцию системы в единый управляющий комплекс, функционирующий по выбранному основному критерию оптимизации работы объекта [3,5].

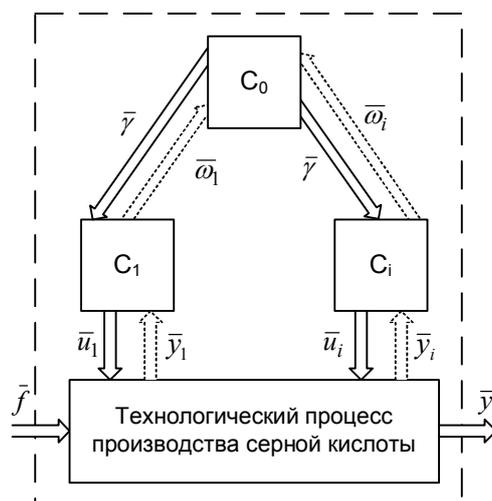


Рисунок 9 – Двухуровневая система с  $i$  нижестоящими управляющими системами и единой координирующей системой

На рис. 9 представлен процесс производства серной кислоты как управляемая система, к которой поступают управляющие воздействия от систем управления нижнего уровня  $C_1, \dots, C_i$ . К нему приходят управляющие сигналы  $\bar{u}_i$  и сигналы  $\bar{f}$ , представляющие собой внешние возмущения. К системе  $C_i$  поступают координирующий сигнал  $\bar{y}$ , сформированный вышестоящей управляющей системы и информационный сигнал от соответствующей подсистемы. Управляющая система  $C_0$  называется координатором, так как ее сигналы  $\bar{y}$  являются координирующими сигналами для систем  $C_1, \dots, C_i$ . Сигналы  $\bar{w}$  - информационные сигналы, получаемые посредством обратной связи от нижестоящих управляющих систем и используемые для формирования координирующих воздействий.

**Выводы.** Системная точка зрения на отдельный типовой процесс химической технологии позволяет развить научно обоснованную стратегию комплексного анализа процесса и на этой основе, построить развернутую программу синтеза его математического описания.

Декомпозиция процесса производства серной кислоты методом мокрого катализа на ряд подсистем позволила определить основные переменные, оказывающие влияние на ход процесса, а так же выявить взаимосвязь между аппаратами технологической схемы как объектами управления.

### Литература

1. Амелин А.Г. Технология серной кислоты. Учебное пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. – М.: Химия, 1983. – 360 с.
2. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1991. – 400 с.
3. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973. – 334с.
4. Kristiansen A. The Topsøe Wet gas Sulphuric Acid (WSA) Technology for fixation of  $SO_2$  in Off-gases in the Metallurgical Industry // “Process system 05”. – South Africa. – 2005.
5. Сингх М., Титли А. Системы: декомпозиция, оптимизация и управление. Сокр. пер. с англ. Запорожца А.В. – М.: Машиностроение, 1986. – 496 с.