

Научная статья
УДК 661.257:620.9
doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.014

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ПОСТРОЕНИЕ ФОРМАЛИЗОВАННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ АВТОНОМНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ПРИМЕРЕ СЕРНОКИСЛОТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Александр Сергеевич Андреев¹, Константин Васильевич Аксенчик²

^{1, 2}Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия

¹asandreev@chsu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2244-1590>

²kvaksenchik@chsu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8096-0674>

Аннотация

Осуществлен поиск путей повышения энерготехнологичности и экологической безопасности сернокислотной системы, выделены ее функциональные подсистемы, для которых протекающие в них процессы и возможность их применения в заданных условиях можно исследовать независимо.

Ключевые слова:

энерготехнологическая система, тепловая энергия, сернокислотное производство, серная кислота, ресурсосбережение, энергосбережение

Для цитирования:

Андреев А. С., Аксенчик К. В. Постановка задачи и построение формализованной энергетически автономной технологической системы на примере сернокислотного производства // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2023. Т. 14, № 1. С. 81–84. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.014

Original article

PROBLEM STATEMENT AND CONSTRUCTION OF A FORMALIZED ENERGETICALLY AUTONOMOUS TECHNOLOGICAL SYSTEM ON THE EXAMPLE OF SULFURIC ACID PRODUCTION

Aleksandr S. Andreev¹, Konstantin V. Aksenchik²

^{1, 2}Cherepovets State University, Cherepovets, Russia

¹asandreev@chsu.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2244-1590>

²kvaksenchik@chsu.ru, <http://orcid.org/0000-0001-8096-0674>

Abstract

The article searches for ways to improve the energy technological effectiveness and environmental safety of the sulfuric acid system, identifies its functional subsystems for which the processes occurring in them and the possibility of their application under given conditions can be independently investigated.

Keywords:

energy technology system, thermal energy, sulfuric acid production, sulfuric acid, resource saving, energy saving

For citation:

Andreev A. S., Aksenchik K. V. Problem statement and construction of a formalized energetically autonomous technological system on the example of sulfuric acid production // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2023. Vol. 14, No. 1. P. 81–84. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.014

Введение

Серная кислота находит широкое применение в экономике страны при производстве самых разнообразных веществ и материалов. Как и любая химико-технологическая система экзотермического преобразования веществ, сернокислотное производство одновременно является системой, генерирующей тепловую энергию, которая проявляется в виде теплового эффекта, сопровождающего целевой процесс. Если исходить из общего подхода, то изначально подобные системы следует определить как энерготехнологические.

Целью данной работы являлся поиск путей повышения энерготехнологичности сернокислотных систем.

Проблема ресурсо- и энергосбережения в химической технологии относится к приоритетной. Достижение поставленной цели при ее решении позволяет одновременно снижать негативное влияние технологических систем на окружающую среду, обусловленное как вредными производственными выбросами веществ, так и выбросами неиспользованной тепловой энергии.

Создание экологически безопасных энерготехнологических систем в первую очередь должно базироваться на принципе рециркуляции, то есть на организации технологических процессов по циклическим схемам. При этом должно максимально обеспечиваться замыкание не только технологических, но и энергетических потоков, позволяющее создавать энергетически автономные химико-технологические системы.

Метод

Поставленная задача должна решаться на основе системного метода (системного подхода). Системное исследование любого производственного процесса проводится по универсальной технологии, в основу которой заложен этап формализации и этап декомпозиции.

Формализация — это этап обобщения, то есть отнесение объекта исследования к какому-либо классу подобных объектов. На рассматриваемом уровне построения энерготехнологической системы мы относим сернокислотное производство к обширному классу химико-технологических систем экзотермического преобразования веществ.

Характерно, что многие определяющие параметры и свойства подобных систем уже известны специалистам. Известны и технологические функции, которые в той ли иной мере реализованы и опробованы на практике. Принимаем, что на данном уровне построения системы глубина формализации для нас является достаточной и пока не требует дополнительной конкретизации.

Под *декомпозицией* понимается представление (моделирование) структуры производства. Важно, что при декомпозиции нельзя нарушать логической целостности изучаемой системы как взаимосвязанных функциональных элементов. Вместе с тем, для подсистем должна предполагаться принципиальная возможность их функционального независимого существования. Это позволяет, задав граничные условия, *каждую из подсистем исследовать (моделировать) независимо* от других подсистем.

Важно подчеркнуть, что при построении новых систем они должны синтезироваться из проверенных на работоспособность подсистем (функций). Из этого следует, что различные системы класса подобных объектов должны как минимум реализовывать одинаковые функции.

Выделение функциональных подсистем и выбор определяющих параметров

Придерживаясь проведенной выше вербальной постановки задачи, выделим *определяющие функции системы*, которые могут служить базой для оценки возможностей и проектирования энергетически автономного и экологически безопасного производства.

В любой химико-технологической системе необходимо стремиться к максимальной интенсивности. Для достижения этой цели следует максимально повышать концентрацию исходных реагирующих веществ и уменьшать их общий объем повышением давления в системе. При этом одновременно снижаются потери, связанные с пространственной неоднородностью, характерной для реакторов больших объемов.

Применительно к сернокислотному производству следует стремиться к использованию кислорода и максимальному повышению концентрации диоксида серы в процессе его окислении на катализаторе. Из этого возникает необходимость решения проблемы интенсификации обжига серосодержащего сырья, например серы. Отсюда *первая определяющая функция — интенсификация процесса сжигания серы с применением кислорода*. Одним из путей решения этой проблемы является использование технологии барботажно-кипящего слоя. С информацией о новом способе дегазации жидкой серы можно ознакомиться, например, в [1].

Использование катализаторов при окислении диоксида серы накладывает ограничение на его максимальную рабочую концентрацию при реализации традиционной прямоточной схемы ДК–ДА. Опыт показывает, что из-за перегрева и инактивации катализатора максимальная концентрация диоксида серы на входе в контактный аппарат фактически не может превышать 12 об. %.

Радикальным путем решения этой проблемы является использование принципа рециркуляции, позволяющего реализовать процесс окисления диоксида серы по циклической схеме. Но в этом случае резко возрастут энергетические затраты на транспортировку газовых потоков в системе. Рациональным путем решения возникшей сопутствующей проблемы может стать преобразование

тепловой энергии, выделяющейся при химических превращениях, в электроэнергию и ее использование для транспортировки газовых потоков, а также для их компримирования.

Итак, наделение проектируемой сернокислотной системы функцией *интенсификации процесса сжигания серы, функцией организации процесса окисления диоксида серы с применением кислорода по циклической схеме при повышенном давлении и функцией преобразования тепловой энергии химических превращений в электрическую энергию* позволяет создать энергетически автономную, интенсивную сернокислотную систему. Проведенные балансные расчеты говорят о том, что электрической энергии, получаемой от преобразования тепловой энергии высокого потенциала, вполне достаточно для замыкания технологических и энергетических потоков, а также для создания интенсивной, энергетически автономной сернокислотной системы.

Если проанализировать достижения низкотемпературной энергетики, то можно указать на возможность применения в сернокислотной системе теплосилового двигателя, работающего на тепловой энергии экзотермических процессов абсорбции триоксида серы либо на конденсации серной кислоты. Особый интерес представляет использование низкотемпературного тепла для получения холода в абсорбционных холодильных установках. Применение таких установок позволяет делегировать в проектируемую систему достоинства традиционных прямоточных систем, передав им *функцию санитарной установки*. Такие установки одновременно выполняют функцию сброса в окружающую среду инертных примесей, которые в процессе работы накапливаются в циклической системе.

Техническая реализация определяющих функций системы

Техническая реализация определяющих функций системы допускает различные альтернативы при их синтезе в производство. В качестве некоторой конкретизации предлагаемой формализованной сернокислотной системы целесообразно выделить ее функциональные блоки, для которых исследование протекающих в них процессов и оценку возможности применения в конкретных условиях можно проводить самостоятельно: 1) блок кислородной станции; 2) блок перемещения и компримирования газовых потоков; 3) блок подготовки исходной концентрированной газовой смеси; 4) блок химических превращений в рецикле; 5) блок преобразования тепловой энергии химических превращений; 6) блок холодильной установки и фракционной конденсации технологического газа; 7) блок санитарной установки.

В заключение следует отметить, что исследовательские работы в рассмотренном направлении проводились на кафедре катализаторов Ленинградского технологического института имени Ленсовета под руководством докторов технических наук И. П. Мухленова и В. Е. Сороко еще на рубеже 1970–1980-х гг. На некоторые подходы, отраженные в статье, обращалось внимание, например, в публикации [2]. Во всяком случае, считаем необходимым напомнить о тех исследованиях, которые, на наш взгляд, в полной мере соответствуют современному уровню и могут быть использованы при разработке и проектировании сернокислотных систем сегодняшнего дня.

Выводы

Представленная модель в виде взаимосвязи функции интенсификации процесса сжигания серы, функции организации процесса окисления диоксида серы с применением кислорода по циклической схеме при повышенном давлении и функции преобразования тепловой энергии химических превращений в электрическую энергию позволяет проектировать энергетически автономную, интенсивную сернокислотную систему.

Список источников

1. Капустин С. И., Пшегорский А. А., Сасина Т. И. Новый способ дегазации жидкой серы с применением «дегазатор-окислителя» на астраханском газоперерабатывающем заводе // Изв. высш. учеб. завед. Серия: Химия и хим. технология. 2006. Т. 49, № 10. С. 109–112.
2. Андреев А. С., Сороко В. Е., Мухленов И. П., Коновалов В. А., Вениаминова Г. Н. Анализ циркуляционных систем производства серной кислоты // Технология катализаторов и катализ: межвуз. сб. науч. тр. Л., 1981. С. 67–91.

References

1. Kapustin S. I., Pshegorsky A. A., Sasina T. I. Novyj sposob degazacii zhidkoj sery s primenenie “degazator-okislitelja” na astrahanskoy gazopererabatyvayushhem zavode [A new method of liquid sulfur degassing with the use of a “degassing oxidizer” at the Astrakhan gas processing plant]. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* [News of higher educational institutions. Series: Chemistry and Chemical Technology], 2006, vol. 49, No. 10, pp. 109–112. (In Russ.).
2. Andreev A. S., Soroko V. E., Mukhlenov I. P., Konovalov V. A., Veniaminova G. N. Analiz cirkuljacionnyh sistem proizvodstva sernoj kisloty [Analysis of circulating systems of sulfuric acid production]. *Tehnologija katalizatorov i kataliz: mezhvuzovskij sbornik nauchnyj trudov* [Catalyst technology and catalysis: Interuniversity Collection of Scientific Papers]. Leningrad, 1981, pp. 67–91. (In Russ.).

Информация об авторах

А. С. Андреев — кандидат технических наук, доцент;

К. В. Аксенчик — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой.

Information about the authors

A. S. Andreev — PhD (Technic), Associate Professor;

K. V. Aksenchik — PhD (Technic), Associate Professor, Head of the Department.

Статья поступила в редакцию 20.01.2023; одобрена после рецензирования 31.01.2023; принята к публикации 01.02.2023.
The article was submitted 20.01.2023; approved after reviewing 31.01.2023; accepted for publication 01.02.2023.