

Мухарметов Марсель Флоридович,

студент магистратуры 2 курса;

Галимов Динар Миндуллович,

студент магистратуры 2 курса,

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,

г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ СЕРЫ

В данной статье приводится описание программы, оптимизирующей энергозатраты на нагрев технологических потоков перед реакторами в процессе производства элементарной серы, независимо от состава поступающего газа, путём нахождения оптимального теплового режима для процесса утилизации сероводородсодержащего газа. В качестве метода нахождения минимального значения энергии выбран принцип максимума Понтрягина.

Ключевые слова: процесс Клауса, производство серы, математическое моделирование, уменьшение энергозатрат.

Marsel F. Mukharmetov,

second year student of magistracy;

Dinar M. Galimov,

second year student of magistracy,

Ufa State Petroleum Technological University,

Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia

OPTIMIZATION OF ENERGY COSTS IN ELEMETERY SULFUR PRODUCTION

This article describes a program that optimizes energy consumption for heating process streams in front of reactors during the production of elemental sulfur, regardless of the composition of the incoming gas, by finding the optimal thermal regime for the process of utilization of hydrogen sulphide-containing gas. As a method of finding the minimum value of energy, the Pontryagin maximum principle.

Keywords: Claus process, sulfer production, mathematical modeling, reduction of energy costs.

При переработке источников энергии, таких как нефть, природный газ, каменная уголь образуется побочный компонент – сероводород. Удаление сероводорода из продуктов переработки имеет решающее значение по важным причинам, включающим здоровье населения, безопасность производства, коррозию оборудования.

Процесс утилизации сероводорода включает стадии выделения кислого газа из продуктов переработки, отделения сероводорода от газа и собственно производства элементарной серы. Блок получения серы является одним из основных узлов нефте- и газоперерабатывающих заводов, в которых, в большинстве случаев, используют процесс Клауса.

Метод определения степени конверсии в зависимости от температурного режима, путем подбора параметров на экспериментальных установках не является достаточно точным. Кинетические кривые более точно характеризуют протекание процесса. К сегодняшнему дню проведены обширные исследования в области химической кинетики данного процесса, имеются достаточно точные кинетические уравнения с рассчитанными значениями констант скоростей стадий химической реакции. Это позволяет с высокой точностью описать данный процесс и на основании этого сделать достоверные выводы.

При изучении кинетики процесса, в уравнении для скорости основной реакции приняты следующие значения констант скорости:

$$r=A_1 \exp(-E_1/RT)P_{H_2S}P_{SO_2}^{0,5}-A_2 \exp(-E_2/RT)P_{H_2O}P_{S_2}^{0,75} \quad (1)$$

$$A_1=1,75 \mp (0,12) \times 10^7, E_1=49,9 \mp (0,3) \quad (2)$$

$$A_2=5 \mp (0,5) \times 10^5, E_2=44,9 \mp (0,5) \quad (3)$$

На основе кинетических уравнений, приведенных в научных публикациях, авторами статьи в среде программирования Delphi 7 разработан пакет прикладных программ математического моделирования и оптимизации теплового режима производства элементарной серы на основе процесса Клауса.

Оптимизация заключается в выборе оптимального количества теплоты, передаваемой потоку перед входом в реактор, которое позволяет получить

максимальную степень конверсии сероводорода. Помимо повышения эффективности процесса рассматривалась также задача снижения суммарных энергетических затрат. То есть решалась задача нахождения оптимума следующих функционалов:

$$\Phi(Q_1, Q_2, Q_3) \rightarrow \min; \quad X_{\text{H}_2\text{S}}(T) \rightarrow \max,$$

где Q_1 – количество теплоты, расходуемое для подогрева сырья в печи реактора;

Q_2 – количество теплоты, расходуемое для подогрева технологического газа перед первым реактором;

Q_3 – количество теплоты, расходуемое для подогрева технологического газа перед вторым реактором;

$X_{\text{H}_2\text{S}}$ – степень конверсии.

В качестве метода оптимизации принят принцип максимума Понтрягина, широко используемый при совершенствовании технологических схем и рабочих режимов химико-технологических процессов, в частности, при решении задач минимизации энергии [1-3].

Исходя из математической модели процесса и математических методов оптимизации, применённых авторами статьи, был разработан пакет прикладных программ (для 3-х узлов реакторного блока и 3-х блоков конденсации серы включительно), который позволяет провести оценочный расчёт тепловых режимов работы реакторов установки производства элементарной серы и на основании этих данных определить оптимальный температурный режим процесса.

Согласно результатам расчёта программы был найден оптимальный режим работы реакторов, который представлен в Таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчёта программы.

Температура в печи реактора, °С	Температура в первом каталитическом реактор, °С		Температура во втором каталитическом реакторе, °С		Степень конверсии, %
	вход	выход	вход	выход	
1074	299	309	253	266	99,0

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Умергалин Т.Г., Исакова З.М. Компьютерное моделирование и оптимизация производственных технологических установок // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2005. – № 1 (45). – С. 43-44.
2. Умергалин Т.Г. Математическое моделирование основных химико-технологических процессов. – Уфа: Издательство УГНТУ, 2001. – 61 с.
3. Чикуров А.В., Умергалин Т.Г., Исакова З.М. О применении дискретного принципа максимума Понтрягина к решению задачи оперативного управления на предприятиях нефтепереработки и нефтехимии // Обозрение прикладной и промышленной математики. – 2010. – Т.17. – №1. – С.153-155.