**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА им. И.М. ГУБКИНА**

**КАФЕДРА ГАЗОХИМИИ**

**ГРИГОРЬЕВА Н.А., ЖАГФАРОВ Ф.Г.**

**Расчет установки получения серы методом Клауса**

**Методические указания по выполнению курсового проекта по курсу Газохимия**

**(Технология углеводородных газов)**

**Под. редакцией проф. Лапидуса А.Л.**

**Москва - 2006**

**1.ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Курсовой проект по технологии углеводородных газов выполняется в соответствии с учебным планом и имеет своей целью закрепление студентами знаний, полученных при изучении теоретического курса, более глубокое ознакомление с технологией конкретных производств, приобретение навыков по расчету и проектированию технологических установок и основных аппаратов.

Курсовой проект оформляется в виде расчетно-пояснительной записки и технологической схемы процесса, выполненной в формате А1.

Исходными данными для выполнения курсового проекта являются материалы первой производственной практики на установке получения серы методом Клауса, а также литературные данные.

**2. СТРУКТУРА РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ**

**Титульный лист** (приложение 1)

**Оглавление**

**Введение** (1-2 стр.)

Назначение процесса

1. **Производство серы методом Клауса** (литературный обзор) 10-12 стр.
   1. Краткая характеристика серы и ее применение
   2. Физико-химические основы процесса
   3. Факторы, влияющие на процесс

1.4 Технологическое оформление

**2. Расчет установки получения серы методом Клауса**

**2.1 Технологическая схема процесса**

Приводится технологическая схема на формате А4 и ее описание с указанием технологических режимов работы основных аппаратов.

**2.2 Исходные данные для проектирования**

**2.3 Расчет материальных балансов процесса по стадиям**

**2.4 Расчет тепловых балансов аппаратов** (по заданию преподавателя – руководителя курсового проекта)

**2.5 Расчет основного оборудования** (по заданию преподавателя – руководителя курсового проекта)

**Литература**

**2.2 Исходные данные для расчета**

Производительность установки по кислому газу – м3/ч;

Число дней работы установки в году ;

Выход серы в термической части – %;

В каталитической части – % от общего количества серы

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Состав исходного газа (табл. 1)  Распределение потока кислого газа между термической и каталитической ступенями, %  **Таблица 1**  **Состав кислого газа** | | | | |
| Компоненты | %об. | м3/ч | %масс. | кг/ч |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

**2.3 Расчет материальных балансов**

**2.3.1 Материальный баланс термической ступени**

**Расчет процесса горения**

Расчет ведется по уравнениям химических реакций, протекающих в печи-реакторе.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Основная реакция окисления до паров серы** | | | | | |
| **H2S+0,5O2=0,5S2+H2O** | | | м3/ч | кг/ч | |
| При 100% выходе образуется серы | | |  |  | |
| Пересчет с учетом выхода % серы | | |  |  | |
| Количество H2S, расходуемого на реакцию | | |  |  | |
| Образуется воды | | |  |  | |
| Расход кислорода на окисление | | |  |  | |
| **Реакция окисления до диоксида серы** | | | | |
| **H2S+1,5O2=SO2+H2O** | м3/ч | | | кг/ч |
| Расходуется 1/3 оставшегося H2S |  | | |  |
| Количество диоксида серы |  | | |  |
| Образуется воды |  | | |  |
| Расход кислорода на окисление |  | | |  |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Реакция окисления метана** | | | | |
| **CH4+O2=СО2+H2O** | | | | |
|  |  |  |  | кг/ч |
| Количество диоксида углерода | | | |  |
|  | | | |  |
| Образуется воды | | | |  |
| Расход кислорода на окисление | | | |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **Реакция разложения сероводорода** | |
| **H2S=1/2S2+H2** | кг/ч |
| Разлагается 6% оставшегося сероводорода |  |
| Количество образующегося водорода |  |
| Количество образовавшейся серы |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **Реакция образования серооксида углерода** | |
| **H2S+CO2=H2O+COS** | кг/ч |
| В реакцию вступает 1,5% оставшегося сероводорода |  |
| Образуется воды |  |
| Образуется серооксида углерода |  |
| Количество вступающего в реакцию СО2 |  |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Расчет количества воздуха, необходимого для горения кислого газа | | |
| Состав воздуха: | % масс. | кг/ч |
| Кислород |  |  |
| Азот |  |  |
| двуокись углерода |  |  |
| Вода |  |  |
| Сумма |  |  |

Все данные сводят в материальном балансе

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Материальный баланс термической ступени | | | | | |
|  | | | | | |
| **Приход** | % масс. | кг/ч | **Расход** | % масс. | кг/ч |
| Кислый газ: |  |  | Двуокись серы |  |  |
| Сероводород |  |  | Сероводород |  |  |
| Диоксид углерода |  |  | Диоксид углерода |  |  |
| Вода |  |  | Вода |  |  |
| Метан |  |  | Водород |  |  |
| Сернистые соединения |  |  | Оксид углерода |  |  |
|  |  |  | Серооксид углерода |  |  |
| Воздух: |  |  | Сера |  |  |
| Кислород |  |  | Азот |  |  |
| Азот |  |  |  |  |  |
| Двуокись углерода |  |  |  |  |  |
| Вода |  |  |  |  |  |
| Итого: |  |  | Итого: |  |  |

**2.3.2 Расчет материального баланса каталитической ступени**

Подогрев технологического газа перед каталитическим реактором проводят путем сжигания части кислого газа (2% от общего количества) с последующим смешением продуктов сгорания с технологическим газом термической ступени в смесительной камере печи.

Расчет ведем аналогично.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Состав газа, направляемого на сжигание** | | |
| Компонент | %масс | кг/ч |
| Вода |  |  |
| Сероводород |  |  |
| Диоксид углерода |  |  |
| Метан |  |  |
| Сернистые соединения |  |  |
| Итого: |  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **Реакция окисления сероводорода до диоксида серы** | |
|  | |
| **H2S+1,5O2=SO2+H2O** | кг/ч |
| На окисление идет 1/3 сероводорода от общего кол-ва |  |
| Количество образующегося диоксида серы |  |
| Образуется воды |  |
| Расход кислорода на окисление |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **Реакция окисления метана** | |
| **CH4+O2=СО2+H2O** | кг/ч |
| Количество диоксида углерода |  |
|  |  |
| Образуется воды |  |
| Расход кислорода на окисление |  |

|  |
| --- |
| **Реакция разложения сероводорода** |
| **H2S=1/2S2+H2** | кг/ч |
| Разлагается 6% оставшегося сероводорода |  |
| Количество образующегося водорода |  |
| Количество образовавшейся серы |  |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Реакция образования серооксида углерода** | | |
| **H2S+CO2=H2O+COS** | | |
|  |  | кг/ч |
| В реакцию вступает 1,5% оставшегося сероводорода | |  |
| Образуется воды | |  |
| Образуется серооксид углерода | |  |
| Кол-во реагирующего СО2 | |  |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Расчет количества воздуха, необходимого для дожига 2% кислого газа** | | |
| Компонент | % масс | кг/ч |
| Кислород |  |  |
| Азот |  |  |
| Двуокись углерода |  |  |
| Вода |  |  |
| Итого: |  |  |

Все данные занесены в таблицу материального баланса печи подогрева.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Материальный баланс печи подогрева** | | | | |
| Приход | кг/ч | Расход | | кг/ч |
| *Кислый газ:* |  | Двуокись серы | |  |
| сероводород |  | Сероводород | |  |
| диоксид углерода |  | Диоксид углерода | |  |
| вода |  | Вода | |  |
| метан |  | Водород | |  |
| сернистые соединения |  | Оксид углерода | |  |
| *Воздух:* |  | Серооксид углерода | |  |
| Азот |  | Сера | |  |
| Кислород |  | Азот | |  |
| диоксид углерода |  |  |  |  |
| Вода |  |  |  |  |
| Итого: |  | Итого: | |  |

**Материальный баланс каталитической ступени**

При смешении технологического газа и продуктов сгорания кислого газа в печи подогрева образуется газ следующего состава:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Состав газа: | % масс. | кг/ч |
| Двуокись серы |  |  |
| Сероводород |  |  |
| Диоксид углерода |  |  |
| Вода |  |  |
| Водород |  |  |
| Оксид углерода |  |  |
| Серооксид углерода |  |  |
| Сера |  |  |
| Азот |  |  |
| Итого: |  |  |

В каталитическом конверторе помимо основной реакции протекает гидролиз серооксида углерода.

|  |  |
| --- | --- |
| **Основная реакция:** | |
| **2H2S+SO2=3/8S8+2H2O** | Кг/ч |
| Теоретическое количество серы |  |
| Практический выход серы 95% |  |
| Расход сероводорода |  |
| Расход диоксида серы |  |
| Количество образовавшейся воды |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **Гидролиз серооксида углерода** | |
| **COS+H2O=H2S+CO2** | Кг/ч |
| В реакцию вступает 65,7% серооксида углерода |  |
| Количество образующегося сероводорода |  |
| Количество образующегося диоксида углерода |  |
| Расход воды |  |

Все результаты сводятся в таблицу материального баланса.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Материальный баланс каталитической ступени** | | | | | |
| Приход | %масс. | кг/ч | Расход | %масс | кг/ч |
| Диоксид серы |  |  | Диоксид серы |  |  |
| Сероводород |  |  | Сероводород |  |  |
| Диоксид углерода |  |  | Диоксид углерода |  |  |
| Вода |  |  | Вода |  |  |
| Водород |  |  | Водород |  |  |
| Оксид углерода |  |  | Оксид углерода |  |  |
| Серооксид углерода |  |  | Серооксид углерода |  |  |
| Сера |  |  | Сера |  |  |
| Азот |  |  | Азот |  |  |
| Итого: |  |  | Итого: |  |  |

Если в технологической схеме предусмотрено несколько каталитических стадий, то расчет материальных балансов ведут аналогично

**2.4 Расчет тепловых балансов процесса**

***I вариант***

#### Тепловой баланс процесса Клауса рассчитывается на термодинамической основе, так как ни одна реакция не идет до конца. Расчет ведут используя данные материального баланса. Температура в реакторе принимается по заводским данным.

Приход и расход тепла с энтальпией компонентов газа рассчитываем по формуле:

 (1)

где  - приход или расход тепла с энтальпией компонентов, МДж;

 - мольные энтальпии компонентов, кДж/моль;

 - молекулярная масса компонентов, кг/кмоль;

 - массовый расход компонентов, кг.

Значения мольных энтальпий  рассчитывают по табл. П-4 [2] применяя метод линейных интерполяции. Приход и расход тепла с теплотами образования компонентов рассчитывают по формуле:

 (2)

где  - приход и расход тепла с теплотами образования компонентов, МДж;

 - мольная теплота образования компонентов, кДж/моль.

Значение мольных теплот образования компонентов находят по табл. П-2 [2].

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Тепловой баланс термической ступени процесса Клауса.** | | | | | | |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Статьи баланса и компоненты, *i* | Gi,кг/ч | Ho*i*(T), кДж/моль | ΔfH*i*(0), кДж/моль | М*i* | Qt*i,*МДж | Qf*i ,*МДж |
|  |  |  |  |  |  |  |
| **Приход** |  |  |  |  |  |  |
| Энтальпия исходного |  |  |  |  |  |  |
| газа |  |  |  |  |  |  |
| H2S |  |  |  |  |  |  |
| CO2 |  |  |  |  |  |  |
| CH4 |  |  |  |  |  |  |
| H2O |  |  |  |  |  |  |
| Энтальпия сухого |  |  |  |  |  |  |
| воздуха |  |  |  |  |  |  |
| N2 |  |  |  |  |  |  |
| O2 |  |  |  |  |  |  |
| Энтальпия воды |  |  |  |  |  |  |
| воздуха Н2О |  |  |  |  |  |  |
| ***Итого*** |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Теплота образования |  |  |  |  |  |  |
| исходного газа |  |  |  |  |  |  |
| H2S |  |  |  |  |  |  |
| CO2 |  |  |  |  |  |  |
| CH4 |  |  |  |  |  |  |
| H2O |  |  |  |  |  |  |
| Теплота образования |  |  |  |  |  |  |
| воды воздуха |  |  |  |  |  |  |
| H2O |  |  |  |  |  |  |
| ***Итого*** |  |  |  |  |  |  |
| **ВСЕГО** |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| **Расход** |  |  |  |  |  |  |
| Энтальпия отходящего |  |  |  |  |  |  |
| газа |  |  |  |  |  |  |
| H2S |  |  |  |  |  |  |
| CO2 |  |  |  |  |  |  |
| SO2 |  |  |  |  |  |  |
| H2O |  |  |  |  |  |  |
| CO |  |  |  |  |  |  |
| COS |  |  |  |  |  |  |
| S2 |  |  |  |  |  |  |
| N2 |  |  |  |  |  |  |
| H2 |  |  |  |  |  |  |
| ***Итого*** |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
| Теплота образования |  |  |  |  |  |  |
| отходящего газа |  |  |  |  |  |  |
| H2S |  |  |  |  |  |  |
| CO2 |  |  |  |  |  |  |
| SO2 |  |  |  |  |  |  |
| H2O |  |  |  |  |  |  |
| CO |  |  |  |  |  |  |
| COS |  |  |  |  |  |  |
| S2 |  |  |  |  |  |  |
| Итого |  |  |  |  |  |  |
| Теплопотери |  |  |  |  |  |  |
| **ВСЕГО** |  |  |  |  |  |  |

**Тепловой баланс каталитической ступени процесса Клауса.**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Приход** | (Gi)кс, кг/ч | | H0i(500), кДж/моль | (Qi)кс, МДж |
| *Газы на входе в 1-ю*  *каталитическую ступень* | | | | |
| Энтальпия H2S | |  |  |  |
| CO2 | |  |  |  |
| SO2 | |  |  |  |
| H2O | |  |  |  |
| CO | |  |  |  |
| COS | |  |  |  |
| S2 | |  |  |  |
| N2 | |  |  |  |
| H2 | |  |  |  |
|  | |  |  |  |
| Теплоты образования | |  |  |  |
| S2 | |  |  |  |
| H2S | |  |  |  |
| SO2 | |  |  |  |
| H2O | |  |  |  |
|  | |  |  |  |
| ***Всего*** | |  |  |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Расход** | (Gi)кк, кг/ч | H0i(600), кДж/моль | (Qi)кк, МДж |
| *Газы на выходе из 1-й*  *каталитической ступени* | | | |
| Энтальпия H2S |  |  |  |
| CO2 |  |  |  |
| SO2 |  |  |  |
| H2O |  |  |  |
| CO |  |  |  |
| COS |  |  |  |
| S2 |  |  |  |
| N2 |  |  |  |
| H2 |  |  |  |
|  |  |  |  |
| Теплоты образования |  |  |  |
| S2 |  |  |  |
| H2S |  |  |  |
| SO2 |  |  |  |
| H2O |  |  |  |
| Теплопотери |  |  |  |
| ***Всего*** |  |  |  |

***II вариант расчета теплового баланса***

1. Определяют тепло, выделяющееся по реакциям 1-5

(см. I вариант)

1. Определяют тепло, вносимое в топку с воздухом

,

где: Ср – теплоемкость воздуха при заданной температуре

1. Определяют тепловой запас топки



1. Тепловой запас топки с учетом потерь (α)



1. Определяют температуру газа на выходе из топки



где:  - теплоемкость газовой смеси при заданной температуре

Теплопотери принимают по практическим данным

**2.5 Расчет каталитического реактора (конвертора)**

Конвертор представляет собой реактор с неподвижным слоем катализатора. Главными геометрическими параметрами реактора являются поверхность фильтрации F и толщина слоя катализатора H. С учетом суммарной степени превращения  сероводорода в предыдущих реакторах секундный расход реакционных газов, поступающих в каталитический реактор, будет равен:

 , м3/с,

где V- содержание сероводорода в начальной условной стехиометрической смеси кислого газа и воздуха;

Ткр, Р – температура и давление в каталитическом реакторе.

Поверхность фильтрации равна:

F =,

где W – допустимая скорость газов в слое катализатора в расчете на полное сечение слоя (катализатор как бы отсутствует), иными словами скорость фильтрации, W = 0,1…0,3 м/с.

Далее задаемся диаметром реактора D (по данным практики) и вычисляем его длину:

L = 

Высота слоя катализатора вычисляется по формуле:

H=τ⋅W,

где τк **–** необходимое время пребывания реакционных газов в слое катализатора, время контакта, с.

Масса катализатора будет равна:

Gкат = 2\*Н\*D\*L\*γ , т

Далее вычисляют гидравлическое сопротивление слоя катализатора по формуле:

ΔР = Н , Па,

где W – скорость фильтрации газа, м/с

ρ - плотность газа, кг/м3,

μ - вязкость газа, Па\*с,

dэ – эквивалентный диаметр гранул катализатора, м,

dэ = 

ε - порозность слоя катализатора, доля свободного объёма между гранулами катализатора (в литературе очень мало данных о порозность катализаторов, которая зависит от формы гранул, гранулометрического состава катализатора и степени его упаковки в слое; можно принять ε = 0,35-0,45),

Ф – фактор формы гранул (для куба Ф=0,806, для цилиндра Ф= 0,69, для Ф = 0,32).

**Литература**

1. П.С. Белов, И.Ф. Крылов, Б.П. Тонконогов “Методические указания по оформлению графической части курсовых и дипломных проектов”. М., 1975.
2. Л.П. Гилязетдинов “Расчет установки получения серы с применением ЭВМ ”. М., 1986 г.
3. М.А. Менковский, В.Г. Яворский “Технология серы”, М.: Химия, 1985г.
4. Н.Б. Варгафтик Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Наука, 1975