

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Волгоградский государственный технический университет
Кировский вечерний факультет
Кафедра «Технология органического и нефтехимического синтеза»

Выпускная квалификационная работа бакалавра (ВКРБ) по направлению
18.03.01 – «Химическая технология». Профиль подготовки: «Химическая
технология природных энергоносителей и углеродных материалов»
на тему:

«Разработать процесс конверсии кислого газа в элементарную серу
производительностью до 120 т/сутки»

Выполнила: студентка группы ТВБ-585
Иванова Мария Ивановна
Руководитель: доц., к.х.н.
Анищенко Оксана Витальевна

Волгоград, 2020 г.

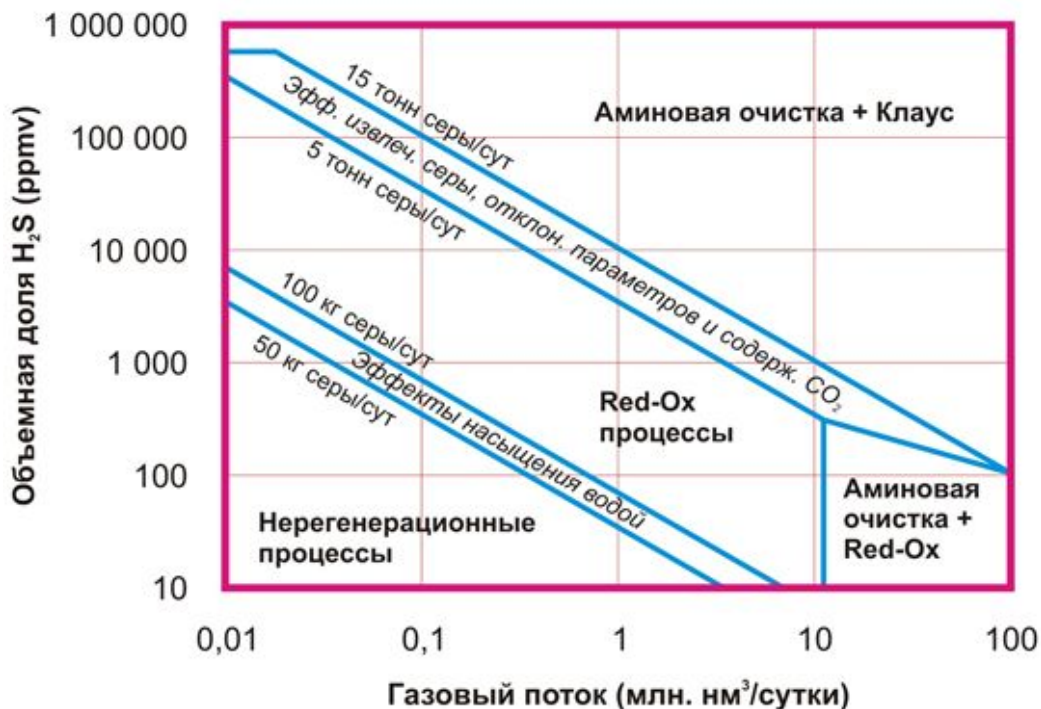
Цель, актуальность и задачи

- **Цель:** «Разработать процесс конверсии кислого газа в элементарную серу производительностью до 120 т/сутки»
- **Актуальность:** Среди большого разнообразия процессов позволяющих перерабатывать сероводород в элементарную серу в промышленных условиях наибольшее распространение получил процесс Клауса. Широкое его применение связано с возможностью переработки значительных объемов кислых газов, в то время как для других методов характерна малотоннажность производства.
- **Задачи:**
 - - изучение и анализ научно-технической и патентной литературы по методам получения серы из кислых газов;
 - - термодинамический анализ выбранного процесса;
 - - составление материального и теплового баланса процесса;
 - - выбор и расчет основного аппарата;
 - - разработка и описание операторной схемы;
 - - описание технологической схемы.

Известные методы получения серы

- Процесс LO-CAT фирмы Merichem
- Процесс «прямого окисления» сероводорода на катализаторе в элементарную серу.
- Получение серы методом «1/3 – 2/3».
- Процесс производства серы со сжиганием части образованной серы.
- Клаус процесс.

СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ СЕРЫ ИЗ КИСЛЫХ ГАЗОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ



- Существует номограмма компании Le Gaz Integral по которой можно судить о применимости методов очистки кислых газов с точки зрения объемов переработки (расхода газа), а также концентрации сероводорода в перерабатываемом газе.

Клаус процесс

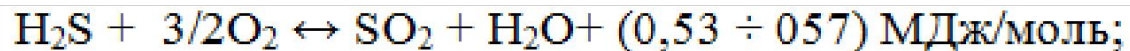
Сырье процесса: кислый газ. Сырье определяется концентрацией сероводорода в кислом газе, содержанием углеводородов и аммиака.

Основные параметры процесса:

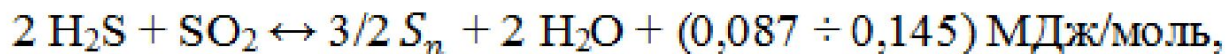
- на термической ступени 1100-1300°C; на каталитической 220-360 °C
- давление в каталитических конверторах 0,012-0,017 МПа.
- время контакта на термической ступени – 1,5-3,0 с
- в настоящее время широко используются катализаторы алюмооксидные и титанооксидные.
- **Целевой продукт:** элементарная сера – производство шин, серной кислоты, спичек, красителей
- При переработке сероводорода конверсия достигает 97-98 %

Химия процесса

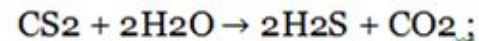
1) стадия термического окисления сероводорода до оксида серы



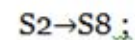
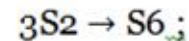
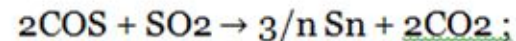
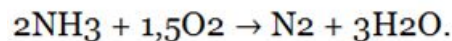
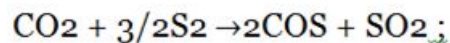
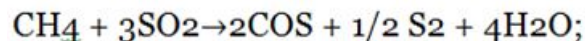
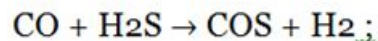
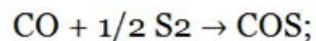
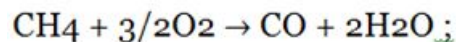
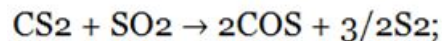
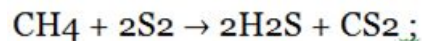
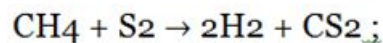
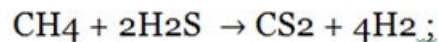
2) стадия каталитического превращения сероводорода и диоксида серы



где $n=2-8$ число атомов в молекуле серы



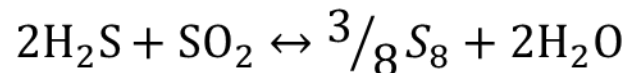
Побочные реакции
на термической
ступени



Побочные реакции
на каталитической
ступени

Термодинамический анализ основной реакции

- Условия проведения процесса: температурный интервал 220-360 °С.
избыточное давление 0,055 МПа
- Температурный интервал 0-400 °С (273-673 К), температурный шаг – 50 °С
- Основная реакция- стадия каталитического превращения сероводорода и диоксида серы



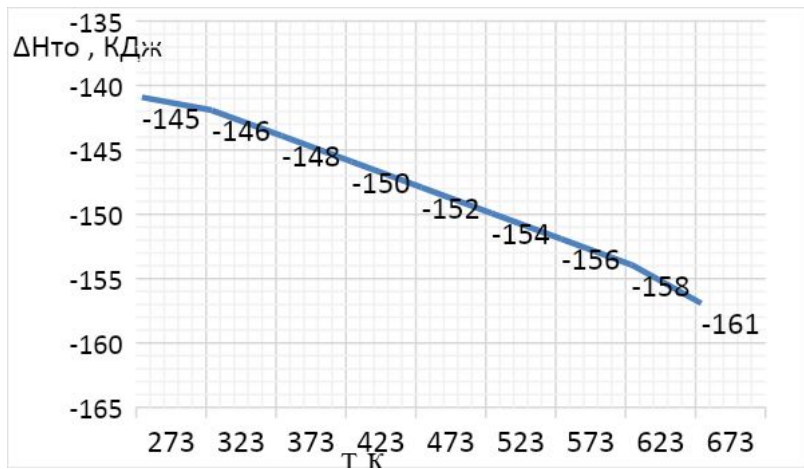


Рисунок 1 – График зависимости $\Delta H^{\circ}_T = f(T)$

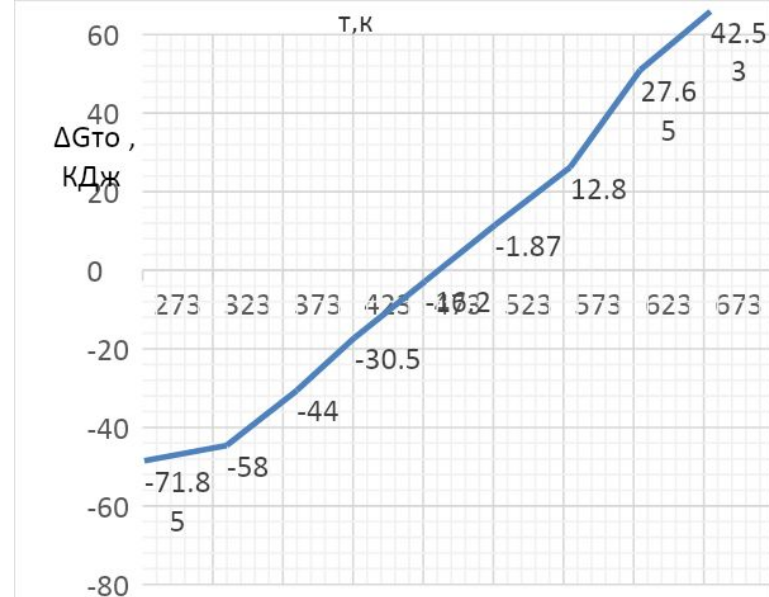


Рисунок 2 - График зависимости $\Delta G^{\circ}_T = f(T)$

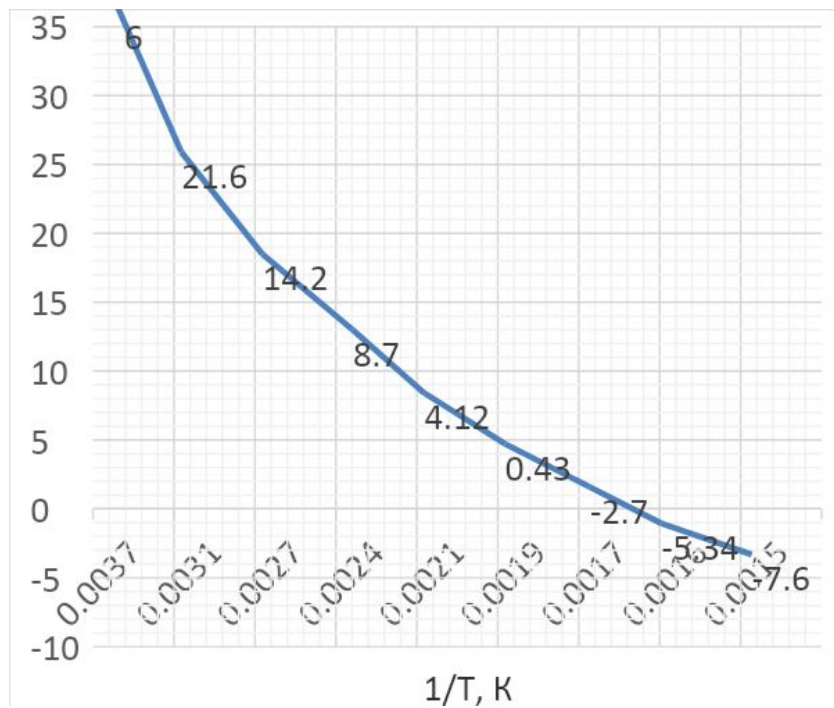


Рисунок 3 - График зависимости $\ln(K_p) = f(1/T)$

Физико-химические свойства сырья

Таблица 1 – Физико-химические свойства кислого газа

| Наименование сырья, катализаторов и готовой продукции | Агрегатное состояние при н.у. | Плотность паров по воздуху | Растворимость | | Характеристика токсичности | Показатели качества |
|---|-------------------------------|----------------------------|--|--|--|---------------------|
| Кислый газ | Горючий газ | | Плохо растворим в воде, хорошо в этаноле | | Имеет резкий запах. Вызывает раздражение дыхательных путей с кашлем, прилив крови, тошнота, головокружение, судороги | |

Материальный баланс процесса

Клауса

Таблица 2 – Материальный баланс

| Приход | | | | | | |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|-------------------|-------|
| Исходные вещества | кмоль/ч | %, моль | кг/ч | %, масс | м ³ /ч | %, об |
| SO_2 (А) | 79,447 | 32,47 | 5084,61 | 47,46 | 1779,6 | 32,47 |
| H_2S (В) | 158,894 | 64,95 | 5402,40 | 50,43 | 3559,2 | 64,95 |
| C_2H_6 (прим) | 3,743 | 1,53 | 112,55 | 1,051 | 83,84 | 1,53 |
| CO_2 (прим) | 2,558 | 1,05 | 112,55 | 1,051 | 57,3 | 1,05 |
| Итого | 244,642 | 100 | 10712,1 | 100 | 5479,94 | 100 |
| Расход | | | | | | |
| Продукты | кмоль/ч | %, моль | кг/ч | %, масс | м ³ /ч | %, об |
| S_8 (С) | 25,431 | 12,94 | 6510,34 | 60,78 | 569,65 | 12,94 |
| H_2O (Д) | 154,128 | 78,45 | 2774,30 | 25,90 | 3452,47 | 78,45 |
| SO_2 (А – непрор) | 2,383 | 1,21 | 152,51 | 1,42 | 53,38 | 1,21 |
| H_2S (В – непрор) | 4,766 | 2,43 | 162,04 | 1,51 | 106,76 | 2,43 |
| C_2H_6 (прим) | 3,743 | 1,91 | 112,55 | 1,05 | 83,84 | 1,9 |
| CO_2 (прим) | 2,558 | 1,3 | 112,55 | 1,05 | 57,3 | 1,3 |
| S_8 (С- непрор) | 3,468 | 1,77 | 887,81 | 8,3 | 77,68 | 1,76 |
| Итого | 196,477 | 100 | 10712,1 | 100 | 4401,08 | 100 |

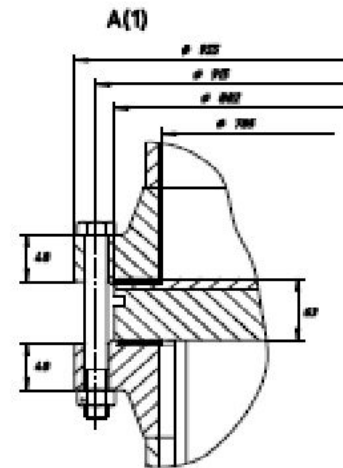
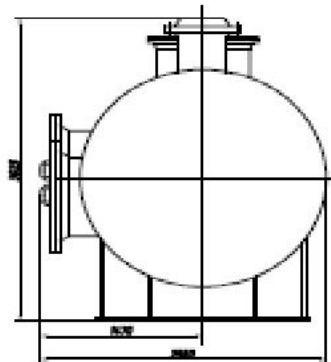
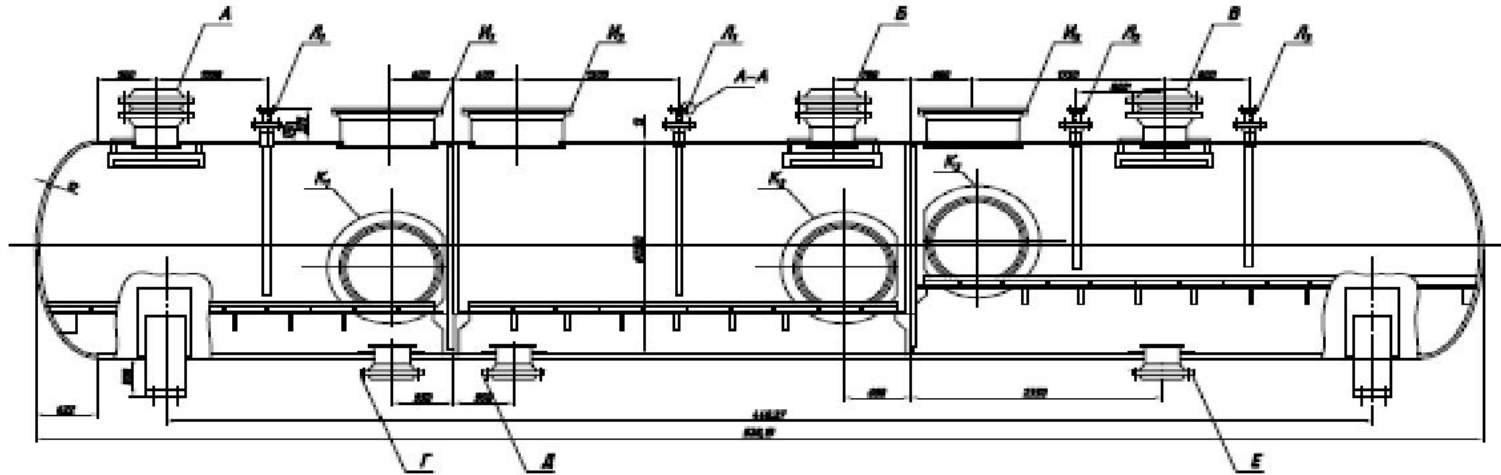
Тепловой баланс процесса Клауса

- Таблица 3 – Тепловой баланс

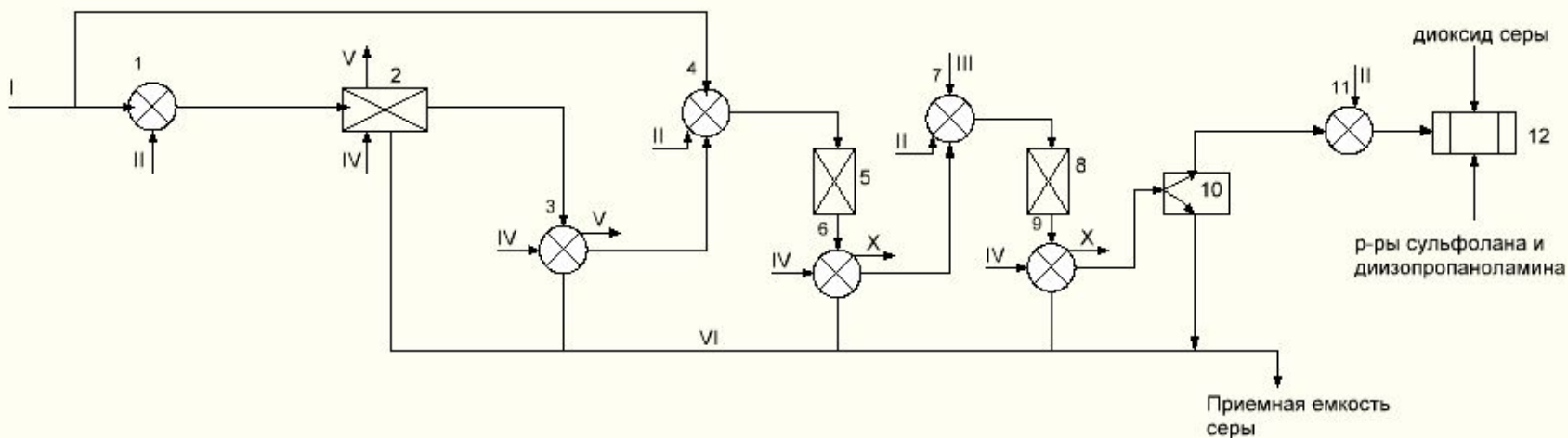
| Приход тепла | | Расход тепла | |
|----------------------|------------|-------------------|------------|
| тепловые потоки | кДж/ч | тепловые потоки | кДж/ч |
| $Q_{\text{исх.в-в}}$ | 5241898 | $Q_{\text{прод}}$ | 4250211,1 |
| $Q_{\text{р-ции}}$ | 4552,85 | $Q_{\text{нагр}}$ | 881169,11 |
| | | Q_{F} | 10141,62 |
| | | ΔQ | 104929,02 |
| Итого | 5246450,85 | Итого | 5246450,85 |

Основной реактор

CLAUS-реактор 1,2 и SUPERCLAUS-реактор в одном КС



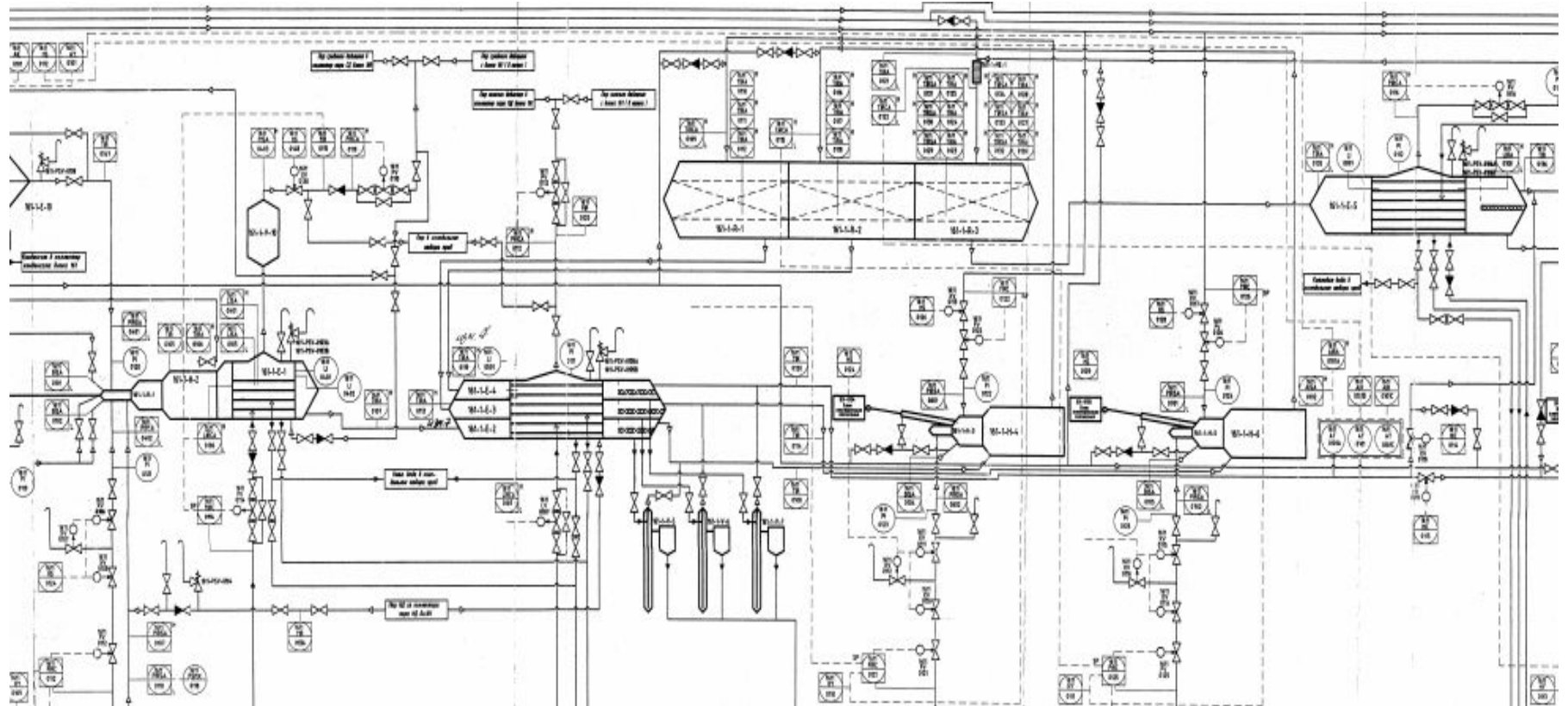
Операторная схема установки процесса Клауса



1, 4, 7, 11 – операторы-нагревания ; 2 – оператор химического превращения с узлом генерации водяного пара; 3, 6, 9 – операторы-охлаждения; 5, 8 -реакторы химического превращения второй и третьей ступени; 10 –оператор-разделения; 12 –оператор межфазного массообмена(процесс "СКОТ");

I - кислый газ; II - воздух; III - топливный газ; IV-вода; V-водяной пар; VI- сера; VII и VIII -отходящий и очищенный дымовой газ.

Технологическая схема процесса Клаус



Выводы

- Установлено, что процесс Клауса является самым распространенным среди процессов характеризующихся многотоннажным производством серы и большими объемами переработки сероводорода
- В ходе термодинамических расчетов выявлено что реакция окисления сероводорода в серу является экзотермической и равновесия будет сдвинуто в сторону реагентов.
- Расчеты материального баланса показывают, что загрузка реактора составляет 10712,11 кг/ч. Из расчета теплового баланса установлено, что тепловая нагрузка составляет 10141,62 кДж/ч и потребуются отвод тепла.
- В качестве основного аппарата выбран каталитический конвертор – это реактор с неподвижным слоем катализатора. Установлена поверхность фильтрации и высоту слоя катализатора. Они составили $F= 16,83 \text{ м}^2$ и $H= 1,05 \text{ м}$. при диаметре реактора равном 3,4 м.
- Предложен вариант операторной схемы процесса окислительной конверсии сероводорода в элементарную серу по методу Клауса. Она включает 12 операторов ХТС.
- Предложен вариант технологической схемы процесса конверсии кислого газа в элементарную серу включающий стадии термической конверсии и каталитической конверсии сероводорода, а также узлы утилизации тепла отходящих потоков.