

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.

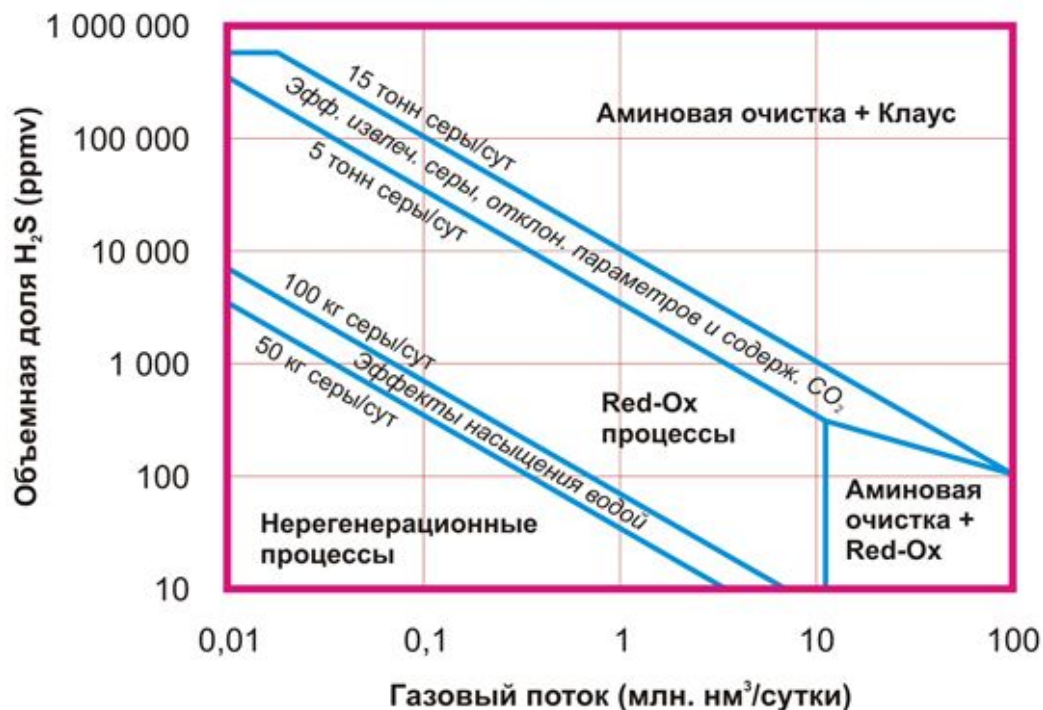
Цель, актуальность и задачи

- **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:

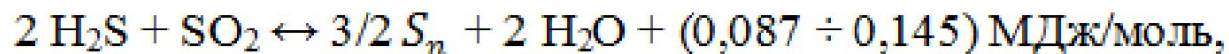
- на термической ступени 1100-1300°C; на каталитической 220-360 °C
- давление в каталитических конверторах 0,012-0,017 МПа.
- время контакта на термической ступени – 1,5-3,0 с
- в настоящее время широко используются катализаторы алюмооксидные и титанооксидные.
- **Целевой продукт:** элементарная сера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

Химия процесса

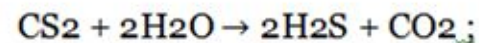
1) стадия термического окисления сероводорода до оксида серы



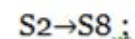
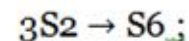
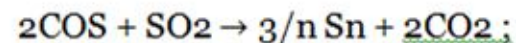
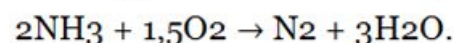
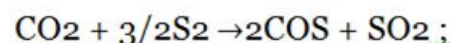
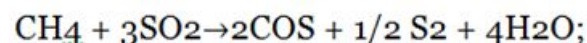
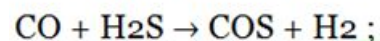
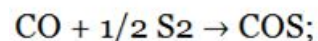
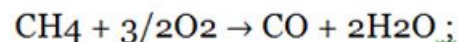
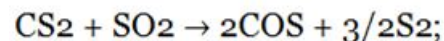
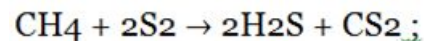
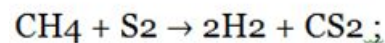
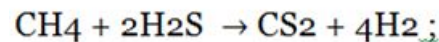
2) стадия каталитического превращения сероводорода и диоксида серы



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



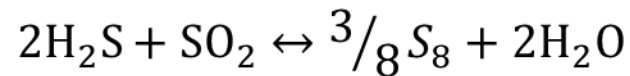
Побочные реакции
на термической
ступени



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 K), температурный шаг – 50 °С
- Основная реакция- стадия каталитического превращения сероводорода и диоксида серы



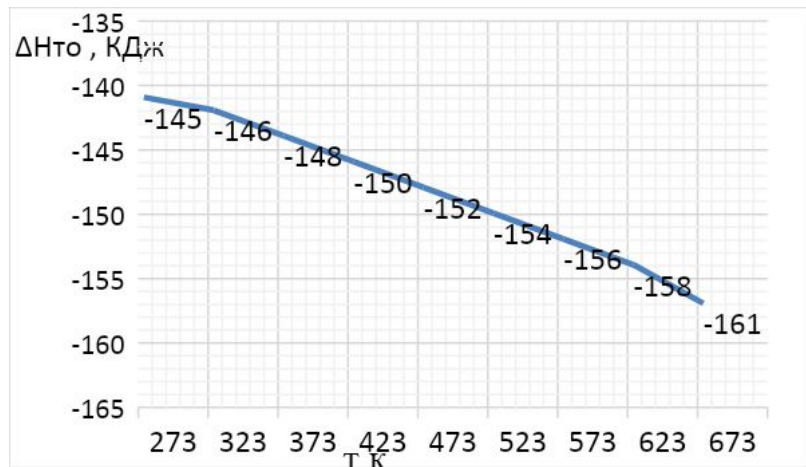


Рисунок 1 – График зависимости $\Delta H^{\circ}_T = f(T)$

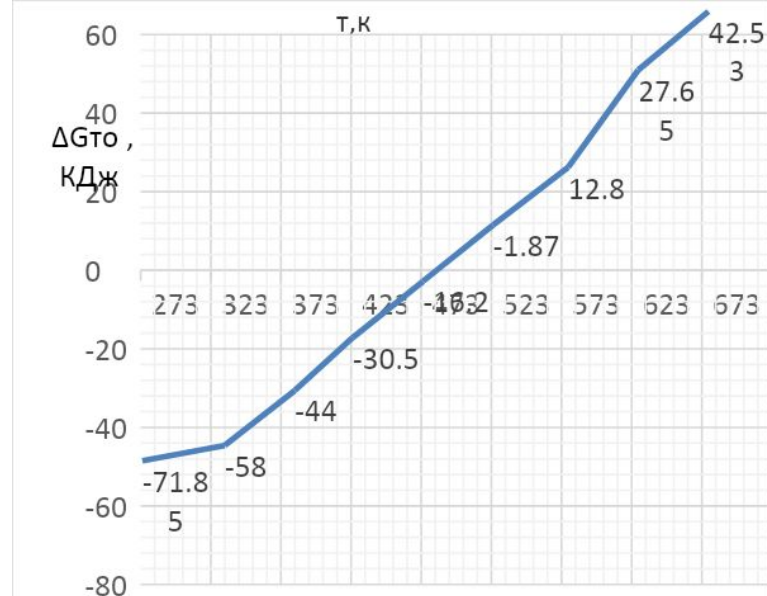


Рисунок 2 - График зависимости $\Delta G^{\circ}_T = f(T)$

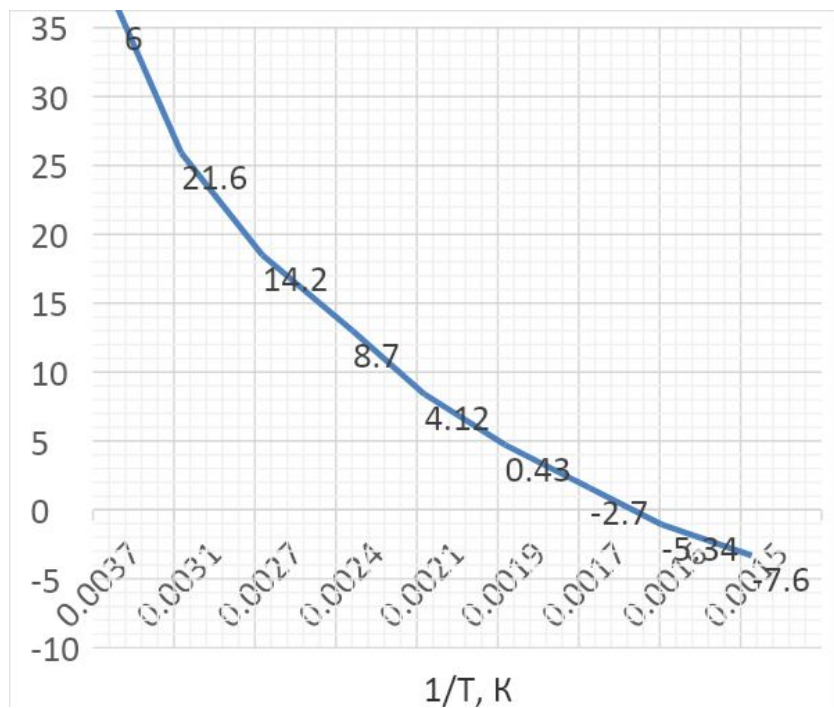


Рисунок 3 - График зависимости $\ln(K_p) = f(1/T)$

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

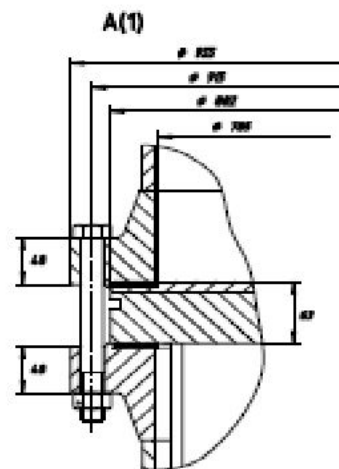
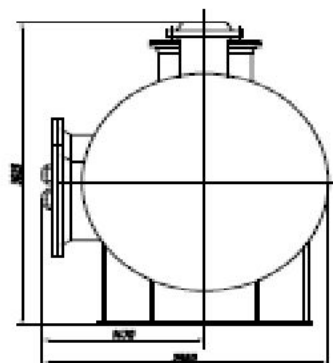
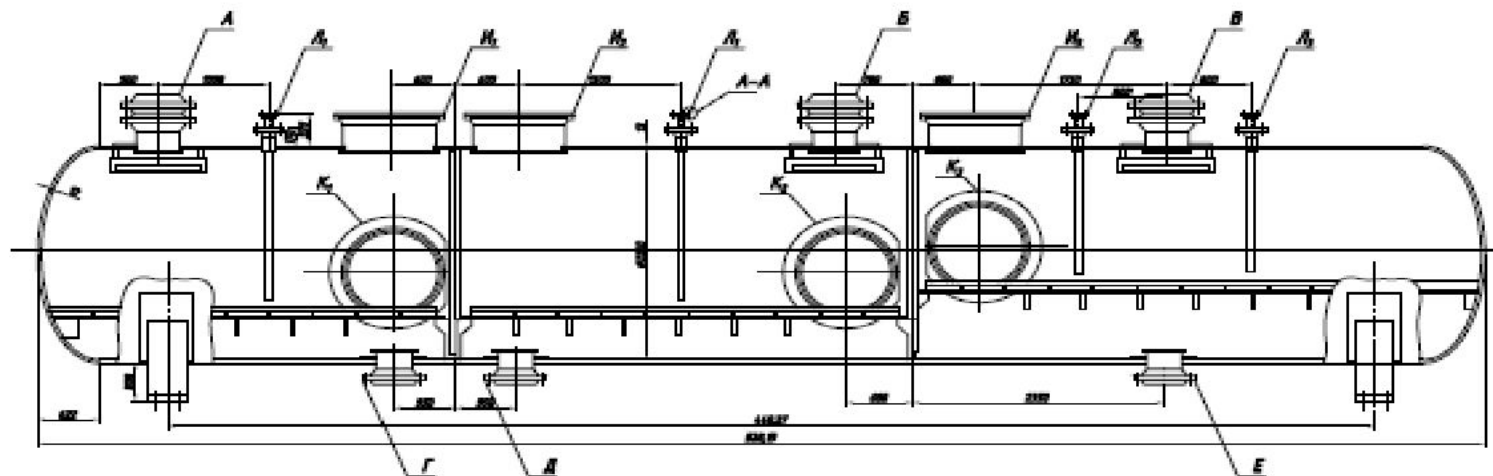
Тепловой баланс процесса Клауса

- Таблица 3 – Тепловой баланс

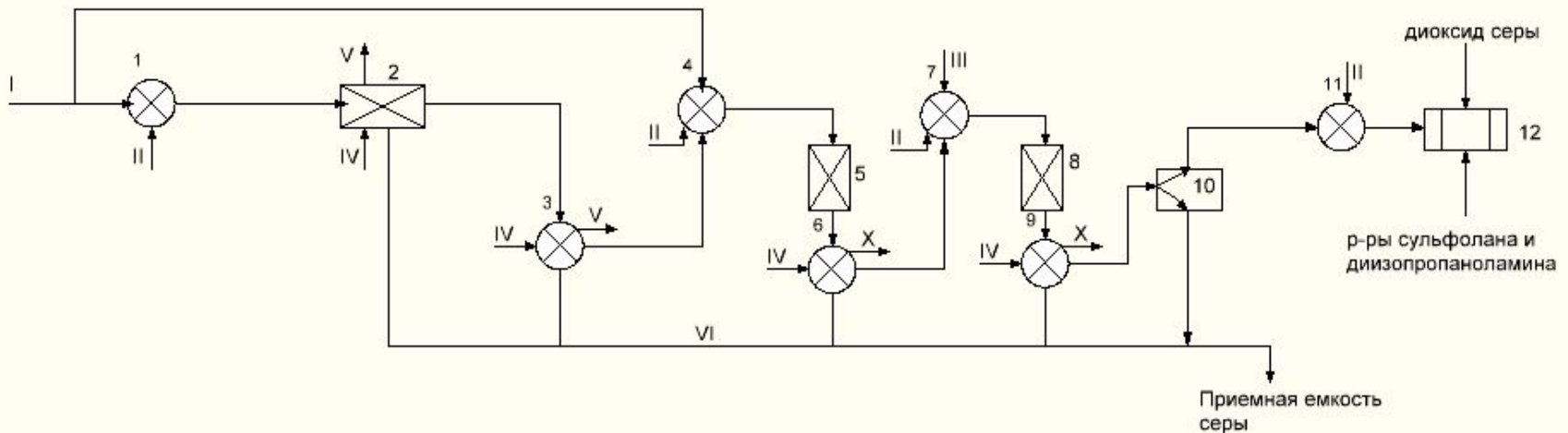
Приход тепла		Расход тепла	
тепловые потоки	кДж/ч	тепловые потоки	кДж/ч
$Q_{\text{исх.в-в}}$	5241898	$Q_{\text{прод}}$	4250211,1
$Q_{\text{р-ции}}$	4552,85	$Q_{\text{нагр}}$	881169,11
		Q_F	10141,62
		ΔQ	104929,02
Итого	5246450,85	Итого	5246450,85

Основной реактор

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



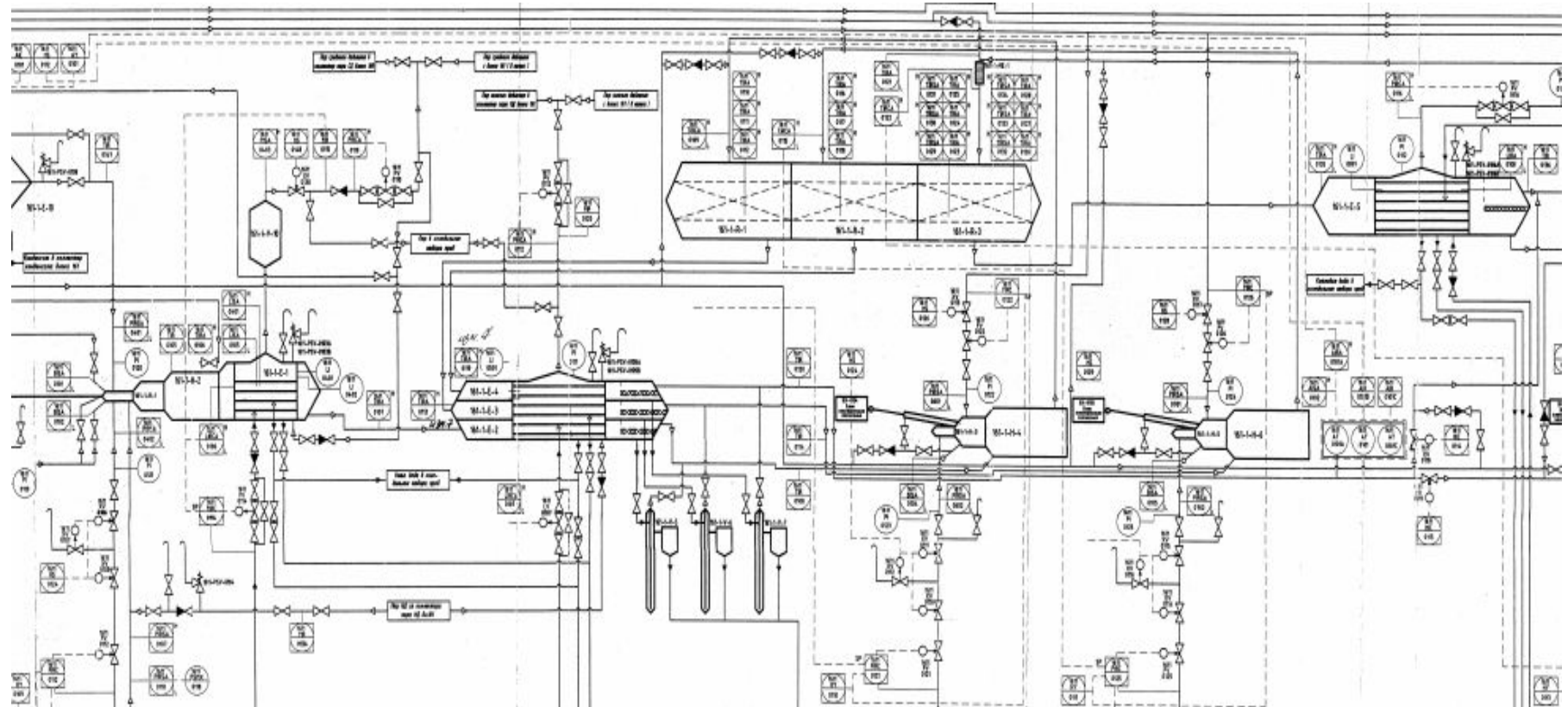
Операторная схема установки процесса Клауса



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 потребуется 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.