

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО-СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
БУХАРСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Факультет «ХИМИЧЕСКАЯ - ТЕХНОЛОГИЯ»
Кафедра «ТЕХНОЛОГИЯ НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ»**

Допускается к защите

Декан факультета «ХТ»
доц. Атауллаев Ш.Н. _____

и.о. Заведующей кафедры «ТНГХП»
к.х.н. Шарипов К.К. _____

Регистрационный номер № _____
«__» _____ 2014 год

«__» _____ 2014 год

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ
ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Тема: Характеристика установки жидкофазного окисления сероводорода и расчет основного оборудование.

ВЫПОЛНИЛ:

студент группы 1-10 НГКИТ
Мирзобоев П.

РУКОВОДИТЕЛЬ

асс. Махмудов М.Ж.

День защиты _____

Протокол КГА _____

Оценка КГА _____

Секретарь КГА _____

Бухара – 2014 г.

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО-СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
БУХАРСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра «Технология нефтегазохимической промышленности»**

**ЗАДАНИЕ К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ ДИПЛОМНОЙ
РАБОТЕ**

Студент группы 1-10 НГКИТ Мирзобоев Парвиз
Тема ВКР: Характеристика установки жидкофазного окисления
сероводорода и расчет основного оборудование.

ВВЕДЕНИЕ

1. ТЕХНИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

- 1.1. Состав и свойства природного газа.
- 1.2. Физико-химические свойства сернистых примесей природного газа.
- 1.3. Физико-химические свойства сероуглерода, серооксид углерода, тиофена.

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

- 2.1. Окислительные методы.
- 2.2. Процесс Клауса.
- 2.3. Общая сведения о трубчатом печи, являющихся основным оборудованием технологии получения сера.

3. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ.

- 3.1. Расчет процесса горения топлива.
- 3.2. Тепловой баланс трубчатой печи. Расчет коэффициента полезного действия и расхода топлива.
- 3.3. Выбор типоразмера трубчатой печи.
- 3.4. Упрощенный расчет камеры радиации.
- 3.5. Расчет диаметра печных труб.
- 3.6. Расчет камеры конвекции.

4. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

- 4.1. Охрана труда и техника безопасности на производстве.
- 4.2. Требования по технике безопасности к сотрудникам предприятия.

5. ГРАФИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

- 5.1. Технологическая схема установка комплексной подготовки нефти.
- 5.2. Технологическая схема основные элементы систем нефтегазосбора.
- 5.3. Горизонтальный сепаратор.
- 5.4. Патрубка, крышка, болтовой соединение

Декан факультета “ХТ”:

Заведующей кафедрой “ТНГХП”

Руководитель ВКР:

Выпускник:

Ш.Н. Атауллаев

К.К. Шарипов

М.Ж. Махмудов

П. Мирзобоев

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

Тема: Характеристика установки жидкофазного окисления сероводорода и расчет основного оборудования

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня уровень энергопотребления стал мерой цивилизованности любой страны мира. Сейчас и в отдаленном будущем человечество должно рассчитывать на наиболее калорийный энергоноситель, удобный при транспортировке и переработке, - нефть. Ее энергия движет тысячи кораблей, дает жизнь миллионам моторов автомобилей, она поднимает в воздух гигантские самолеты и вращает турбины тепловых электростанций.

Потребление энергии увеличивается в США в среднем на 3 % в год, в Европе - на 4 %, в Японии - на 5,5 %, а в развивающихся странах - еще более быстрыми темпами. Нефть и газ сегодня - преобладающие источники энергии: на их долю приходится 75 % потребления энергии в Европе, Японии и США. Потребности в энергоресурсах везде растут быстрее добычи нефти, которая обходится все дороже и становится труднее.

Согласно прогнозам, возможности мировой добычи нефти могут сократиться, в то время как потребность в нефти постоянно увеличивается. Такая перспектива породила две проблемы: с одной стороны, поиски альтернативных источников углеводородных жидкостей, с другой - углубленная (до 65 %) переработка нефти с отбором фракций до 560-580 °С.

Топливные ресурсы не являются взаимозаменяемыми по всем направлениям их использования: ни уголь, ни гидроэнергия не могут быть непосредственно использованы в качестве моторного топлива, а также сырья для нефтехимии. Доля нефти в общем энергетическом балансе должна сократиться до 35-37 % и должна возрасти доля ее использования для нужд химической промышленности. Например, последние 65 лет промышленность пластмасс, синтетических каучуков, волокон, лакокрасочных материалов, растворителей, моющих средств и др. базируется на нефтяном сырье.

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Дата</i>	<i>Подпись</i>		<i>Лист</i>
<i>Выполн.</i>		<i>Файзуллоев М.</i>				
<i>Руковод.</i>		<i>Хужакулов А.</i>				

В основе углубления переработки нефти лежит ее квалифицированная перегонка. Еще недавно мощности установок не превышали 2-3 млн т / г. В настоящее время существует ряд установок мощностью 6-9 млн т / г. и далее мощность увеличится до 12 млн т / г.

Углубленная переработка нефти приведет к появлению возрастающего количества нефтяных остатков, богатых углеводородными соединениями, содержащих азот, серу, кислород и имеющих в своем составе конденсированные ароматические соединения. Это значительно усложняет их переработку, так как реакционноспособные центры катализаторов дезактивируются гетероатомными соединениями и экранируются коксом. Утяжеленное сырье требует специальной подготовки к крекированию, особенно при переработке утяжеленных сернистых нефтей. А в общем балансе добычи сернистые и высокосернистые нефти составляют около 80 %. Все эти нефти одновременно и высокосмолистые, с содержанием смол и сто-асфальте новых веществ до 10-20 %. Тяжелые нефти содержат от 30 до 40 % нефтяных остатков, которые отличаются от сырой нефти. Большая часть нефтяных остатков - это смолы и сто-асфальтеновые соединения, которые служат сырьевым источником с большими потенциальными возможностями. Смолисто-асфальтеновые вещества - важный резерв для нефтехимии, определяющий ее будущее.

Значение нефти и газа для энергетики, транспорта, обороны страны, для разнообразных отраслей промышленности и для удовлетворения бытовых нужд населения в наш век исключительно велико. Нефть и газ играют решающую роль в развитии экономики любой страны. Природный газ - очень удобное для транспортировки по трубопроводам и сжигания, дешевое энергетическое и бытовое топливо. Из нефти вырабатываются все виды жидкого топлива: бензины, керосины, реактивные и дизельные сорта горючего - для двигателей внутреннего сгорания, мазуты - для газовых турбин и котельных установок. Из более высококипящих фракций нефти

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Дата</i>	<i>Подпись</i>		<i>Лист</i>
<i>Выполн.</i>		<i>Файзуллоев М.</i>				
<i>Руковод.</i>		<i>Хужакулов А.</i>				

вырабатывается огромный ассортимент смазочных и специальных масел и консистентных смазок. Из нефти вырабатываются также парафин, сажа для резиновой промышленности, нефтяной кокс, многочисленные марки битумов для дорожного строительства и многие другие товарные продукты.

Вторичная переработка нефтяного и газового сырья получила ныне название нефтехимического синтеза. Уже в настоящее время 25 % мировой химической продукции выпускается на основе нефти и углеводородных газов. Ближайшие перспективы развития нефтехимической промышленности исключительно благоприятны как по масштабам производства, так и по безграничному разнообразию промежуточных и конечных продуктов синтеза.

К нефтехимической продукции относятся: пластические массы, синтетические каучуки и смолы, синтетические волокна, синтетические моющие средства и поверхностно-активные вещества, некоторые химические удобрения, присадки к топливам и маслам, синтетические смазочные масла, белково-витаминные концентраты, многочисленные индивидуальные органические вещества: спирты, кислоты, альдегиды, кетоны, хлорпроизводные эфиры, гликоли, полигликоли, глицерин и другие, применяющиеся в промышленности, сельском хозяйстве, медицине и в быту.

Нефтеперерабатывающая и нефтехимическая промышленность вырабатывает самые разнообразные продукты: газообразное и жидкое топливо, смазочные и специальные масла, консистентные смазки, битумы, технический углерод, парафин, нефтяные кислоты, кокс, синтетические спирты, синтетические жирные кислоты, полимеры, ароматические углеводороды, ацетон, фенол и многие другие технические и химические продукты. Требования ко всем этим продуктам исключительно разнообразны и диктуются постоянно изменяющимися условиями применения или эксплуатации того или иного конкретного нефтепродукта.

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Дата</i>	<i>Подпись</i>		<i>Лист</i>
<i>Выполн.</i>		<i>Файзуллоев М.</i>				
<i>Руковод.</i>		<i>Хужакулов А.</i>				

Основная задача технического анализа в нефтегазоперерабатывающей промышленности - наиболее полно и четко охарактеризовать необходимые химические, физические и эксплуатационные свойства конечных продуктов производства с учетом специфических особенностей их назначения и применения. Не менее важной задачей технического анализа является производственно-технологическая оценка исходного сырья: сырой нефти, дистиллятных и остаточных нефтяных продуктов, природного, попутного и промышленных углеводородных газов. В задачи технического анализа в нефтегазоперерабатывающей промышленности входит также определение состава и свойств катализаторов, технической воды и ряда вспомогательных материалов и реагентов.

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Дата</i>	<i>Подпись</i>		<i>Лист</i>
<i>Выполн.</i>		<i>Файзуллоев М.</i>				
<i>Руковод.</i>		<i>Хужакулов А.</i>				

1.1. Состав и свойства природного газа

Природный газ представляет собой смесь предельных углеводородов состава C_nH_{2n+2} , в которой содержится метан, этан, пропан, бутан и иногда пары более тяжелых углеводородов. Часто в состав природных газов входят азот N_2 (до 40 % по объему), углекислота CO_2 , сероводород H_2S и редкие газы.

В газе газовых и газоконденсатных месторождений обычно преобладает метан; его доля достигает 98,8 %; в нефтяном (попутном) газе доля метана намного меньше, однако увеличивается доля более тяжелых углеводородов — этана, пропана и бутана [5, 7, 13, 41].

Состав газовых смесей выражается в виде массовой, объемной или молярной доли компонентов в процентах. Массовая доля в процентах какого-либо компонента газовой смеси представляет собой отношение массы этого компонента к массе всей смеси:

$$m = \frac{M_i}{M_{см}} 100 \% ,$$

где M_i — масса i -го компонента; $M_{см}$ — масса смеси.

Объемная доля (%) какого-либо компонента в смеси газов равна отношению объема компонента к объему всей смеси:

$$r_i = \frac{V_i}{V_{см}} 100 \% ,$$

где V_i — объем i -го компонента в смеси; $V_{см}$ — объем всей смеси.

Молярная доля компонента определяется аналогично и может быть представлена в виде

$$y = \frac{N_i}{N_{см}} 100 \% ,$$

где N_i — число молей i -го компонента в смеси; $N_{см}$ — суммарное число молей газа в смеси.

Физические свойства природного газа зависят от его состава, но в целом близки к свойствам метана как основного компонента смеси.

Плотность природного газа можно определить взвешиванием или вычислить, зная молекулярную массу смеси M :

$$\rho_i = \frac{M}{V_m} = \frac{M}{24,05} ,$$

где V_m — объем моля газа при стандартных условиях, m^3 .

Обычно ρ_r находится в пределах 0,73— 1,0 $кг/м^3$. В расчетах часто используют более удобную величину — относительную плотность Δ так как значение ее практически не зависит от давления и температуры. За величину сравнения принимают плотность воздуха

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

$$\rho_v = \frac{\rho_r}{\rho_v} = \frac{M_r}{M_v},$$

где M_r — масса газа; M_v — масса воздуха.

Относительная плотность газа изменяется от 0,50 до 1,0. Плотность индивидуальных компонентов углеводородных газов (и сероводорода), за исключением метана, больше единицы. При всех расчетах, связанных с движением газа, используется вязкость. Аналитические зависимости вязкости смеси от вязкости входящих в смесь компонентов сложны и имеют недостаточную точность. В связи с этим на практике вязкость определяют по экспериментальным графикам, один из которых приведен на рис. 1.2.

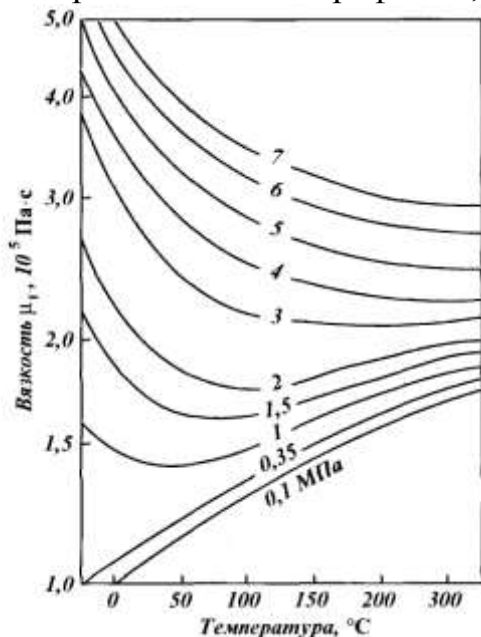


Рис. 1.2. Зависимость вязкости природного газа μ (при $\Delta = 0,6$) от температуры

чрезвычайно большое значение в технологии добычи и транспортирования нефти и газа. Однако состояния реальных и идеальных газов в определенных условиях существенно отличаются. Поэтому для расчета состояния реальных газов обычно пользуются обобщенным газовым законом в виде уравнения Клапейрона, в которое вводится поправка (коэффициент сжимаемости Z), учитывающая отклонение реальных газов от законов сжатия и расширения идеальных газов:

$$pV = ZMRT,$$

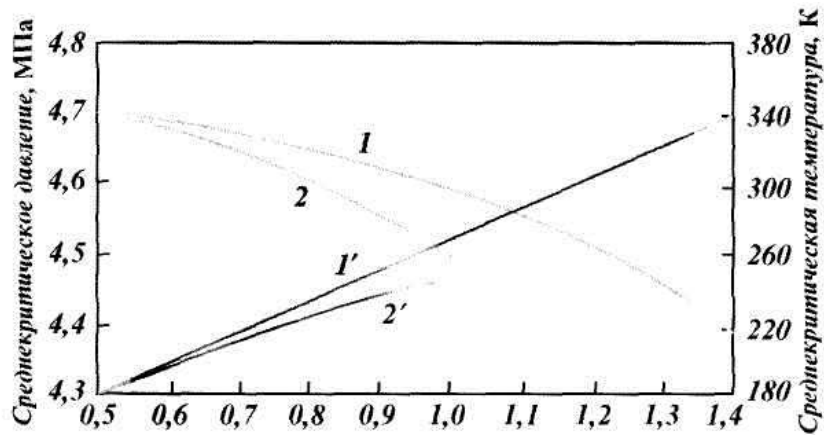
где Z — коэффициент сжимаемости; M — масса газа; p — давление; V — объем газа; R — газовая постоянная; T — абсолютная температура.

Для нефтяных газов значение коэффициента сжимаемости Z можно найти приближенно

Вязкость природных газов зависит от их состава, температуры и давления. При высоком давлении вязкость растет с увеличением плотности газа, при низком — уменьшается. С повышением давления вязкость увеличивается. Температура влияет на вязкость по-разному: при низких давлениях с повышением температуры она увеличивается, а при высоких (5—10 МПа) — снижается. Такие свойства объясняются степенью близости газа к жидкому состоянию. Вязкость природных газов обычно составляет (1,1 — 1,6)·10⁻⁵ Пас. Состояние газа характеризуется давлением p , температурой T и объемом V .

Соотношение между этими параметрами определяется законами идеальных газов (Бойля — Мариотта, Гей-Люссака и др.), которые имеют

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			



Относительная плотность газа

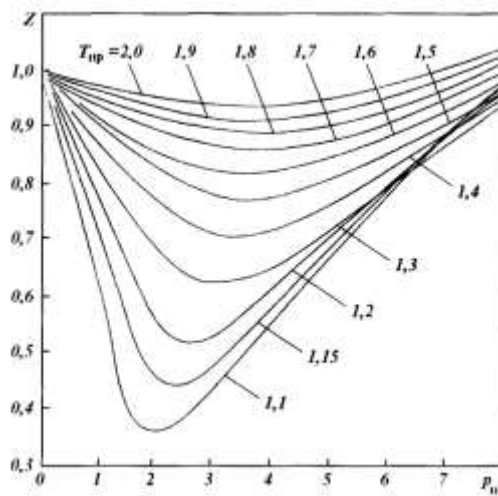


Рис. 1.3. Зависимость коэффициента сжимаемости природного газа от приведенного давления при различных температурах

Рис. 1.4. Зависимость среднекритического давления (1, 2) и температуры (1' 2') природного газа от относительной плотности:

I, I' — газовое месторождение; *2, 2'* — газоконденсатное месторождение

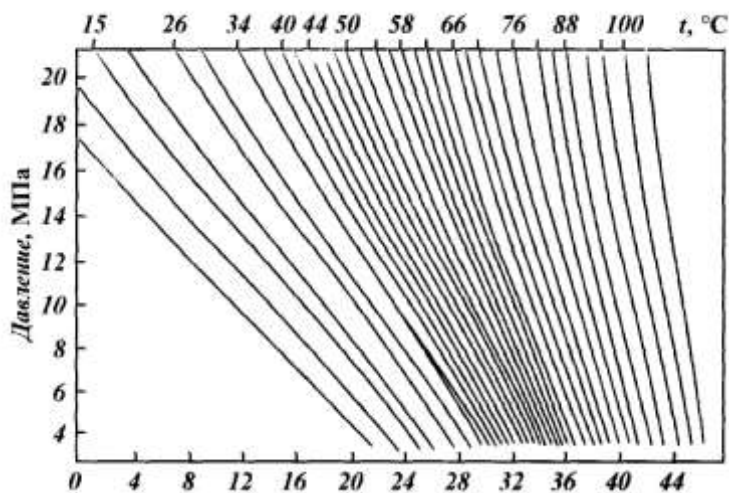
по графикам Брауна, представленным на рис. 1.3. Коэффициенты сжимаемости *Z* на этом графике зависят от приведенных давления $p_{пр}$ и температуры $T_{пр}$, значения которых можно определить по формулам

$$p_{пр} = \frac{p}{p_{кр}}, \quad T_{пр} = \frac{T}{T_{кр}}$$

где p и T — соответственно давление и температура газа; $p_{кр}$ и $T_{кр}$ - критические давления и температура.

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
Выполн.		Файзуллоев М.				
Руковод.		Хужакулов А.				

Для смесей газов критические температуру и давление определяют по формулам или приближенно по графикам рис. 1.4 как функцию относительной плотности смеси. При добыче природного газа часто приходится иметь дело с процессами дросселирования, т. е. с изменением давления без совершения внешней работы. Температура идеального газа при этом остается постоянной. Температура реального газа изменяется, что очень важно учитывать, так как это явление связано с выпадением из него влаги и



Энтальпия, кДж/кг

Рис. 1.5. Энтальпия природного газа в зависимости от давления и температуры (при относительной плотности газа $\Delta = 0,6$)

значение имеет интегральный эффект Джоуля — Томсона, т. е. понижение температуры

газа на конечном участке изменения его давления. Эту величину обычно находят по кривым теплосодержания (рис. 1.5). Зная давление газа и его температуру при одном состоянии, по этим кривым можно найти температуру газа после дросселирования. Для этого от первоначальной точки по линии равного теплосодержания следует переместиться в точку нового значения давления. Температура, соответствующая этой точке, явится искомой величиной. Изменение температуры газа при снижении давления на 0,1 МПа называется коэффициентом Джоуля — Томсона. Эта величина составляет 0,25 — 0,35 °C на 0,1 МПа (1 атм).

углеводородного конденсата.

Снижение давления в области относительно низких давлений (до 40 МПа) приводит к охлаждению газа, в области высоких — к нагреванию. Изменение температуры газа при его дросселировании носит название эффекта Джоуля-Томсона.

Различают дифференциальный и интегральный эффекты. Большое практическое

значение имеет интегральный эффект Джоуля — Томсона, т. е. понижение температуры

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

1.2. Физико-химические свойства сернистых примесей природного газа

В настоящее время добыча сероводородсодержащего природного газа составляет существенную часть всего объема потребляемого газа. При этом содержание сероводорода H_2S в газах колеблется в широких пределах от нескольких долей до нескольких десятков процентов. Такой газ перед подачей потребителю подвергают очистке ввиду ядовитости сероводорода и его коррозионной активности. Он является также ядом для катализаторов, применяемых в различных химических процессах переработки газа.

Характер воздействия сероводорода на человека зависит от концентрации и экспозиции.

В связи с ядовитостью сероводорода ограничивается его содержание в газе, подаваемом потребителю, в воздухе населенных мест, а также устанавливаются нормативы на его содержание в воздухе рабочей зоны.

Сероводород - кислота, вызывающая химическую и электрохимическую (в присутствии воды) коррозию металлов. При определенных условиях протекает сульфидное растрескивание металлов. Вместе с тем сероводород является сырьем для производства так называемой "газовой" серы.

Кроме сероводорода в газе могут присутствовать и другие сернистые компоненты (меркаптаны, сероокись углерода, сероуглерод), которые являются причиной коррозии оборудования, отравления катализаторов (в процессе синтеза). При сгорании они образуют диоксид серы.

Содержание сернистых соединений в очищенном газе нормируется.

Сероводород - газ, плотность которого при нормальных условиях равна $1,5392 \text{ кг/м}^3$, относительная плотность жидкого H_2S (по воде) $d^{60} = 0,94$.

Физико-химические свойства представлены в табл. 4.5-4.19. Равновесное давление пара H_2S (мм рт. ст.) в интервале температур 108-178

К может быть рассчитано по уравнению $\lg p = 21,86635 - AM - 0,196476 T + 0,0006636 T^2$; в интервале 128-142 К по уравнению $\lg p = 7,5058 - iiTl$.

в интервале 142 - 187,5 К по уравнению

$\lg p = 7,2246 - + 0,0031632 T - 0,91716 \cdot 10^{-5} T^2$.

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

Физико-химические свойства основных сернистых примесей природного газа и диоксида серы

Показатели	H ₂ S	COS	CS ₂	CH ₃ SH	C ₂ H ₅ SH	SO ₂
Молекулярная масса	34,08	60,07	76,13	48,11	62,13	64,06
Температура, °С: плавления	-85,6	-138,9	-112	-	-	-
кипения	-60,4	-50,3	46,2	6	35	-10
критическая	100	102	279	19	226	157,8
Давление критическое, МПа	8,82	5,8	7,8	7,14	5,42	7,78
Объем критический, см ³ /моль	98,5	140	170	145	207	122
Критический коэффициент сжимаемости	0,284	0,26	0,293	0,268	0,274	0,268
Теплота парообразования при нормальной температуре кипения, кДж/моль	18,66	-	62,73	24,56	26,77	24,91

Равновесное давление пара над жидким сероводородом при низких температурах

Температура, К 190 200 210 220

Давление, мм рт. ст 201,6 376,6 653,6 1062,0

Теплота испарения - АН сероводорода при температуре кипения и 1 атм равна 4524 кал/моль.

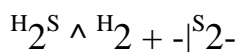
Теплота плавления H₂S в тройной точке 620 кал/моль. Соотношение C_p/C_y для H₂S при различных температурах следующее:

Температура, °С 10 25 50 75

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
Выполн.		Файзуллоев М.				
Руковод.		Хужакулов А.				

C_p/C_v 1,322 1,321 1,313 1,301

Термическая диссоциация сероводорода происходит по реакции:



Константа диссоциации

$$K = \frac{p_{H_2} \cdot p_{S_2}^{1/2}}{p_{H_2S}}$$

$\lg K = \lg$

$$\frac{p_{H_2} \cdot p_{S_2}^{1/2}}{p_{H_2S}}$$

где p_{H_2} , p_{S_2} и p_{H_2S} - равновесные давления водорода, паров серы и сероводорода.

Вязкость сероводорода при 1 атм

Температура, °С..... 0 20 100

Вязкость, мП 117 124 159

Температура самовоспламенения сероводорода равна 290 °С. Пределы взрываемости смесей H_2S с воздухом - от 4,3 до 45,5 %. Теплотворная способность сероводорода составляет 6070 ккал/м³.

Теплота растворения сероводорода в воде 4500 кал/моль. Константы электрической диссоциации H_2S в водном растворе при 18 °С:

$$K_1 = 9,1 \cdot 10^{-8}; K_2 = 1,2 \cdot 10^{-15}.$$

Растворимость S сероводорода в метаноле (в см³/г) при общем давлении p можно вычислить по уравнению

Теплота растворения H_2S в ацетоне - 5200 кал/моль. Для селективного извлечения H_2S из газов, содержащих CO_2 , способом низкотемпературной абсорбции может применяться также толуол.

Коэффициент селективности

$$\alpha = \frac{S_{CO_2}}{S_{H_2S}}$$

где S_{H_2S} и S_{CO_2} - растворимость H_2S и CO_2 .

При минус 45 °С коэффициент селективности метанола составляет примерно 6, толуола 14,2. С понижением температуры коэффициент селективности увеличивается.

Растворимость сероводорода в толуоле в интервале температур от 0 до минус 60 °С можно вычислить по уравнению

$$\lg S = \lg p - 5,21,$$

где S - растворимость, см³/г; p - давление, мм рт. ст.

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

1.3. Физико-химические свойства сероуглерода, серооксид углерода, тиофена

Физико-химические свойства CS_2 , COS , C_4H_4S приведены в таблицах 4.20-4.26.

Физико-химические свойства сероуглерода CS_2

Молекулярный вес 76,14

Критические константы:

температура, °С 273,05

давление, атм 72,87

Температура, °С:

кипения (при 1 атм)..... 46,25

плавления 111,9

Относительная плотность жидкого сероуглерода d_4^t :

при 0 °С 1,2927

при 15 °С 1,27055

при 29 °С 1,2632

при 25 °С 1,25585

при 30 °С 1,24817

Показатель преломления жидкого сероуглерода :

при 15 °С 1,63189

при 20 °С 1,62803

Теплота испарения при $\lambda_{1ш}$, кал/моль 7200

Теплота образования из простых веществ, при 25 °С, кал/моль... 3440

Теплота сгорания, кал/моль 265 800

Теплоемкость жидкого CS_2 при 25 °С, кал/(г-град) 0,2387

Вязкость сероуглерода $\eta \cdot 10^3$, сП:

жидкого при 0 °С..... 4,36

при 15 °С 3,8

при 20 °С 3,63

газообразного при 0 °С 8,9

при 150 °С 14,3

Поверхностное натяжение, дин/см²:

при 15 °С 33,07

при 20 °С 32,25

при 30 °С 30,79

Температура, °С:

вспышки 25

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

самовоспламенения..... 105-156

Физико-химические свойства сероокиси углерода COS

Молекулярный вес: 60,07

Критические константы:

температура, °С 105

давление, атм 58

Температура, °С:

кипения (при 1 атм) -50,3

плавления -138,0

Плотность газообразной COS при нормальных условиях, кг/м³ 2,721

Плотность жидкой COS при -87 °С, г/л 1,25

Теплота, ккал/моль:

испарения при 1 атм 4,423±0,004

образования из простых веществ -АН[°]₉₈₁ 34,07

образования из СО 22,84

(калориметрическая)

Теплоемкость жидкой COS при 220 К,

кал/(моль-град) 22,67 (спектроскопическая) 17,07

Теплоемкость COS в интервале 298-1000 К определяют по уравнению

$$C_p = 6,554 + 13,880 \cdot 10^{-3} T - 88,18 \cdot 10^{-7} T^2 + 1,964 \cdot 10^{-9} T^3.$$

Пределы взрываемости смесей сероокиси углерода с воздухом 11,9-28,5 % COS.

Давление насыщенного пара в интервале температур 162224 К можно рассчитать по уравнению

$$\lg p = - \frac{4318}{T} + 10,15309 - 0,0147784 T + 0,000018838 T^2, \text{ где } p - \text{давление, мм рт. ст.}$$

Растворимость COS в воде при давлении 760 мм рт. ст., (см³/см³)

Температура, °С 0 5 10 15 20 25 30

Растворимость 1,333 1,056 0,836 0,677 0,561 0,468 0,403

Растворимость при 22 °С (в см³/см³):

В этиловом спирте 8

В толуоле 15

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

при 20 °С 1,0644

при 25 °С 1,05883

Показатель преломления :

при 20 °С 1,5287

при 25 °С 1,5256

Вязкость жидкого тиофена, $\eta \cdot 10^3$, *сП*:

при 20 °С 6,62

при 25 °С 6,21

при 30 °С 5,84

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Дата</i>	<i>Подпись</i>		<i>Лист</i>
<i>Выполн.</i>		<i>Файзуллоев М.</i>				
<i>Руковод.</i>		<i>Хужакулов А.</i>				

2.1. Окислительные методы

В труде Алхазова Т. Г. и Амиргуляна Н. С., сообщается метод каталитического окисления сернистых соединений, занимающий значительное место среди других известных методов очистки углеводородного сырья. О значимости и преимуществах данной методики, говорится и в труде Позднышева Г. Н. и др.

Промысловые испытания процесса очистки нефти от сероводорода методом каталитического окисления в присутствии водного раствора аммиака проведены в НГДУ «Нурлатнефть» ОАО «Татнефть». В этом процессе достигнуто снижение концентрации сероводорода в товарной нефти до 20 млн⁻¹ и ниже, при его исходном содержании в нефти 380-530 млн⁻¹. По мнению авторов Аслямова И. Р. и др., окислительный процесс очистки с использованием аммиачного раствора катализатора, является наиболее перспективным для очистки нефти от сероводорода [36]. На этом же месторождении использован процесс «ДМС-1МА», разработанный институтом ВНИИУС. В публикации Мазгарова А. М. и др., сообщается о промышленном внедрении этого процесса очистки нефти от сероводорода и меркаптанов на нефтеналивном предприятии производительностью 200 тыс. т/мес. в ОАО «СНПС - Актобемунайгаз» и производительностью 20 т/ч на нефтепромысле (месторождение «Алибекмола»), принадлежащем компании «Казахойл Актобе».

Для извлечения сероводорода в присутствии диоксида углерода в промысловых условиях, в качестве реагента предлагается использовать сульфат железа, сульфат железа в смеси с аммиаком и полисульфиды. Преимущество этих реагентов показано в ходе опытно-промысловых испытаний и описано в трудах Галанина И. А., Шестериковой Р. Е. и др.

Демеркаптанизация нефти и конденсата по технологии «MARC», которая является аналогом процесса «ДМС», позволяет получать сырье с

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

низкой концентрацией сернистых соединений, которое при первичной переработке позволяет получать продукты - сжиженный газ, легкие бензиновые фракции и керосиновые фракции, не требующие дальнейшего обессеривания. В настоящее время проведены испытания на установке демеркаптанализации нефти на ЦПС.

Производство серной кислоты.

Серную кислоту в промышленности производят двумя способами: контактным и нитрозным.

Контактный способ производства серной кислоты.

Серную кислоту контактным способом производят в больших количествах на сернокислотных заводах.

I. Сырьё, используемое для производства серной кислоты:

1. Самородная сера S
2. Пирит (серный колчедан) FeS₂
3. Сероводород H₂S
4. Сульфиды цветных металлов ZnS, Cu₂S

Подготовка сырья.

Разберём производство серной кислоты из пирита FeS₂.

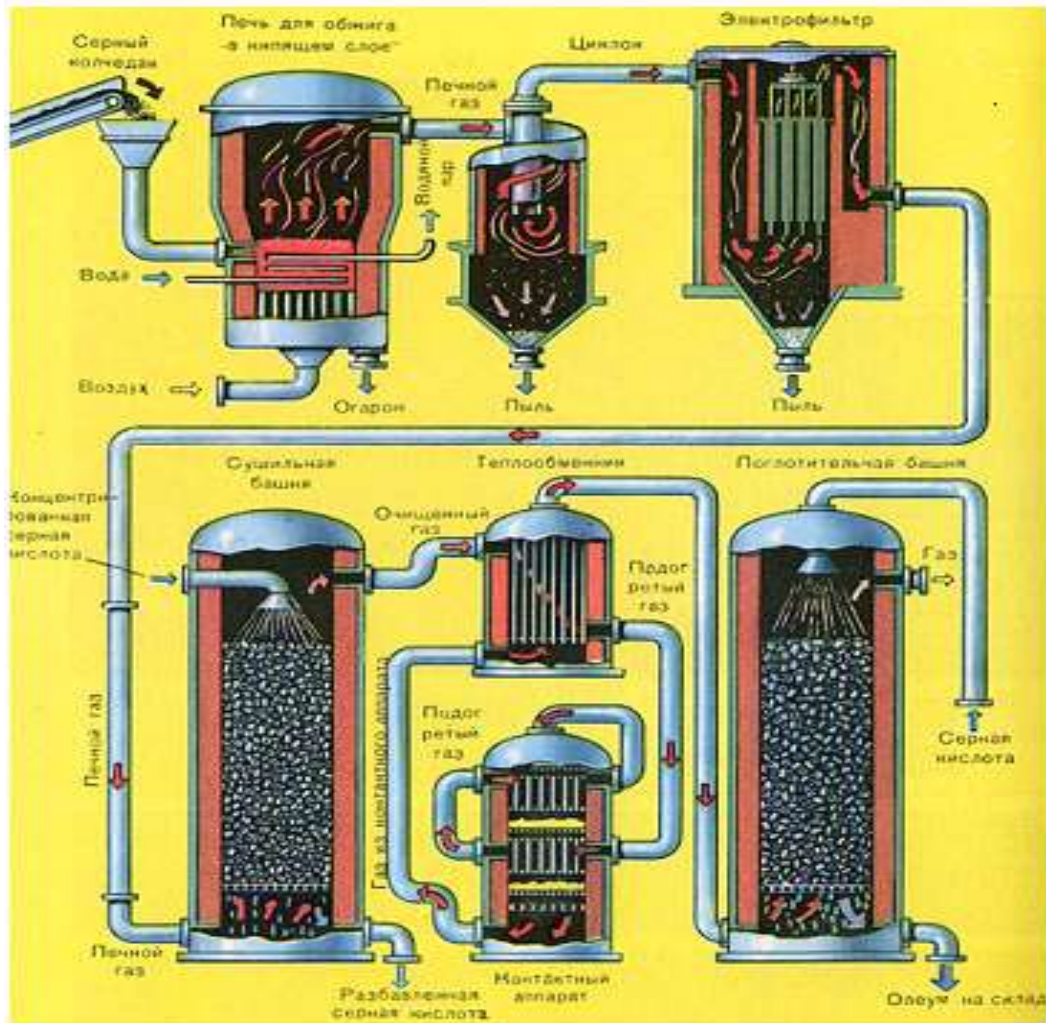
1) Измельчение пирита. Перед использованием большие куски пирита измельчают в дробильных машинах. Вы знаете, что при измельчении вещества скорость реакции увеличивается, т.к. увеличивается площадь поверхности соприкосновения реагирующих веществ.

2) Очистка пирита. После измельчения пирита, его очищают от примесей (пустой породы и земли) методом флотации. Для этого измельчённый пирит опускают в огромные чаны с водой, перемешивают, пустая порода всплывает наверх, затем пустую породу удаляют.

III. Химизм производства.

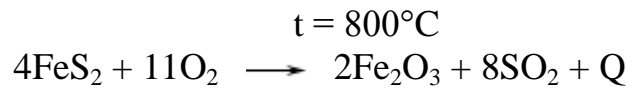
Производство серной кислоты из пирита состоит из трёх стадий.

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

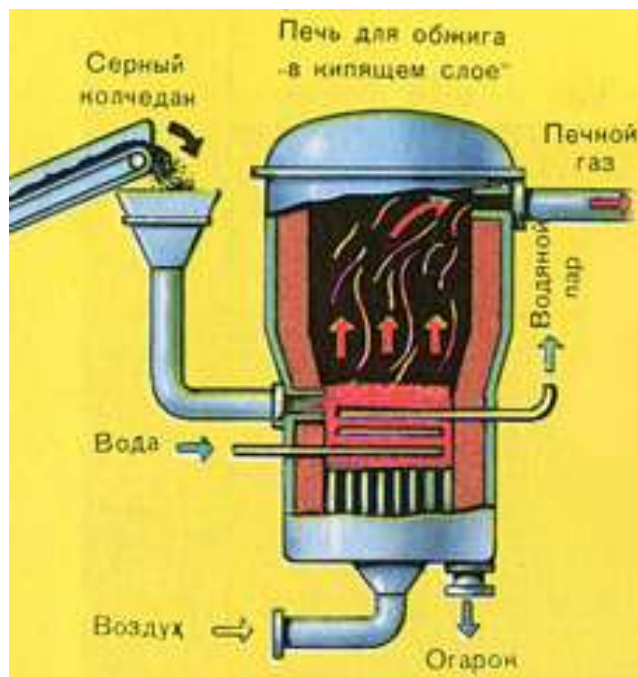


ПЕРВАЯ СТАДИЯ - обжиг пирита в печи для обжига в "кипящем слое".

Уравнение реакции первой стадии



Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			



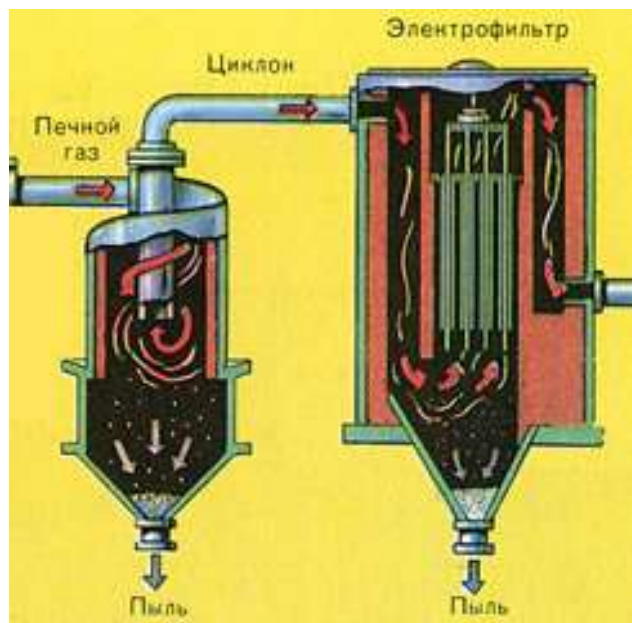
Измельчённый очищенный влажный (после флотации) пирит сверху засыпают в печь для обжига в "кипящем слое". Снизу (принцип противотока) пропускают воздух, обогащённый кислородом, для более полного обжига пирита. Температура в печи для обжига достигает 800°C. Пирит раскаляется до красна и находится в "подвешенном состоянии" из-за продуваемого снизу воздуха. Похоже это всё на кипящую жидкость раскалённо-красного цвета.

За счёт выделяющейся теплоты в результате реакции поддерживается температура в печи. Избыточное количество теплоты отводят: по периметру печи проходят трубы с водой, которая нагревается. Горячую воду используют дальше для центрального отопления рядом стоящих помещений.

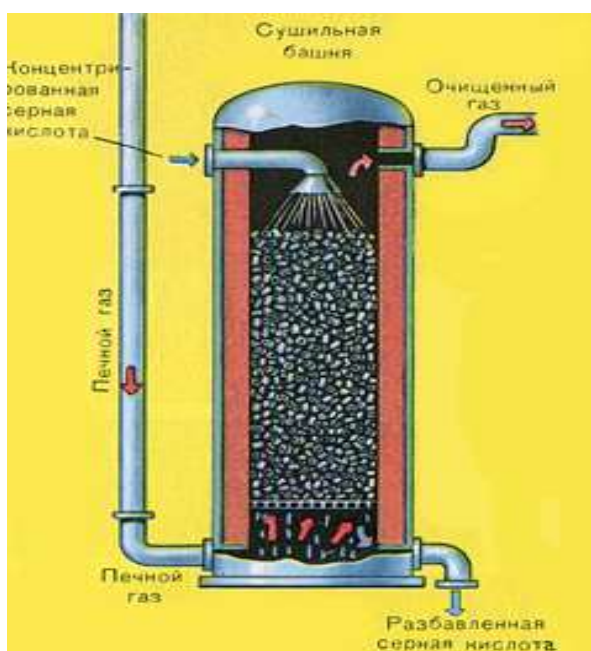
Образовавшийся оксид железа Fe_2O_3 (огарок) в производстве серной кислоты не используют. Но его собирают и отправляют на металлургический комбинат, на котором из оксида железа получают металл железо и его сплавы с углеродом - сталь (2% углерода С в сплаве) и чугун (4% углерода С в сплаве).

Таким образом выполняется принцип химического производства - безотходность производства.

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
		Выполн. Файзуллоев М.				
		Руковод. Хужакулов А.				



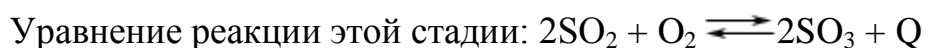
Из печи выходит печной газ, состав которого: SO_2 , O_2 , пары воды (пирит был влажный!) и мельчайшие частицы огарка (оксида железа). Такой печной газ необходимо очистить от примесей твёрдых частиц огарка и паров воды. Очистка печного газа от твёрдых частичек огарка проводят в два этапа - в циклоне (используется центробежная сила, твёрдые частички огарка ударяются о стенки циклона и сыпаются вниз) и в электрофильтрах (используется электростатическое притяжение, частицы огарка прилипают к наэлектризованным пластинам электрофильтра, при достаточном накоплении под собственной тяжестью они сыпаются вниз), для удаления паров воды в печном газе (осушка печного газа) используют серную концентрированную кислоту, которая является очень хорошим осушителем, поскольку поглощает воду.



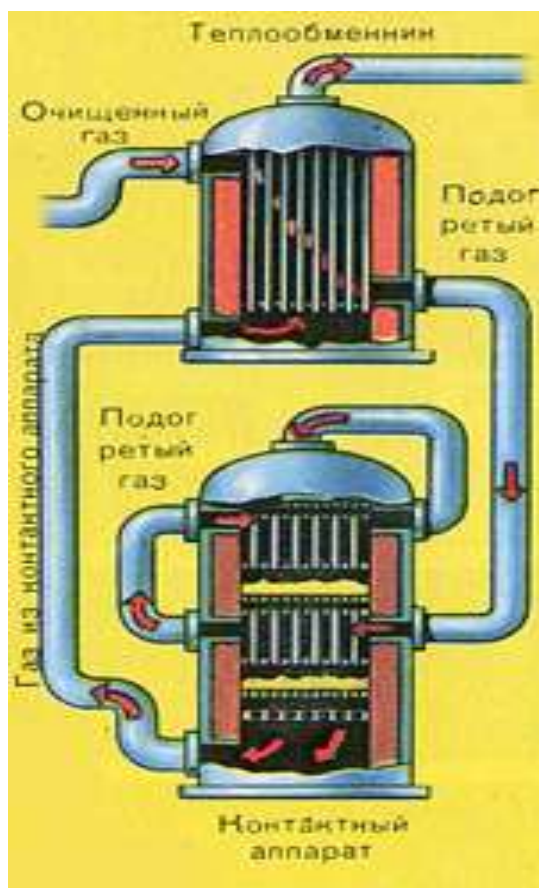
Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

Осушку печного газа проводят в сушильной башне - снизу вверх поднимается печной газ, а сверху вниз льётся концентрированная серная кислота. На выходе из сушильной башни печной газ уже не содержит ни частичек огарка, ни паров воды. Печной газ теперь представляет собой смесь оксида серы SO_2 и кислорода O_2 .

ВТОРАЯ СТАДИЯ - окисление SO_2 в SO_3 кислородом.



Сложность второй стадии заключается в том, что процесс окисления одного оксида в другой является обратимым. Поэтому необходимо выбрать оптимальные условия протекания прямой реакции (получения SO_3).



а) температура:

Прямая реакция является экзотермической $+Q$, согласно правилам по смещению химического равновесия, для того, чтобы сместить равновесие реакции в сторону экзотермической реакции, температуру в системе

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
Выполн.		Файзуллоев М.				
Руковод.		Хужакулов А.				

необходимо понижать. Но, с другой стороны, при низких температурах, скорость реакции существенно падает. Экспериментальным путём химики-технологи установили, что оптимальной температурой для протекания прямой реакции с максимальным образованием SO_3 является температура 400-500°C. Это достаточно низкая температура в химических производствах. Для того, чтобы увеличить скорость реакции при столь низкой температуре в реакцию вводят катализатор. Экспериментальным путём установили, что наилучшим катализатором для этого процесса является оксид ванадия V_2O_5 .

б) давление:

Прямая реакция протекает с уменьшением объёмов газов: слева 3V газов (2V SO_2 и 1V O_2), а справа - 2V SO_3 . Раз прямая реакция протекает с уменьшением объёмов газов, то, согласно правилам смещения химического равновесия давление в системе нужно повышать. Поэтому этот процесс проводят при повышенном давлении.

Прежде чем смесь SO_2 и O_2 попадёт в контактный аппарат, её необходимо нагреть до температуры 400-500°C. Нагрев смеси начинается в теплообменнике, который установлен перед контактным аппаратом. Смесь проходит между трубками теплообменника и нагревается от этих трубок. Внутри трубок проходит горячий SO_3 из контактного аппарата. Попадая в контактный аппарат смесь SO_2 и O_2 продолжает нагреваться до нужной температуры, проходя между трубками в контактном аппарате.

Температура 400-500°C в контактном аппарате поддерживается за счёт выделения теплоты в реакции превращения SO_2 в SO_3 . Как только смесь оксида серы и кислорода достигнет слоёв катализатора, начинается процесс окисления SO_2 в SO_3 .

Образовавшийся оксид серы SO_3 выходит из контактного аппарата и через теплообменник попадает в поглотительную башню.

ТРЕТЬЯ СТАДИЯ - поглощение SO_3 серной кислотой.

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Дата</i>	<i>Подпись</i>		<i>Лист</i>
<i>Выполн.</i>		<i>Файзуллоев М.</i>				
<i>Руковод.</i>		<i>Хужакулов А.</i>				



Протекает в поглотительной башне.

А почему оксид серы SO_3 не поглощают водой? Ведь можно было бы оксид серы растворить в воде: $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$. Но дело в том, что если для поглощения оксида серы использовать воду, образуется серная кислота в виде тумана, состоящего из мельчайших капелек серной кислоты (оксид серы растворяется в воде с выделением большого количества теплоты, серная кислота настолько разогревается, что закипает и превращается в пар). Для того, чтобы не образовывалось сернокислотного тумана, используют 98%-ную концентрированную серную кислоту. Два процента воды - это так мало, что нагревание жидкости будет слабым и неопасным. Оксид серы очень хорошо растворяется в такой кислоте, образуя олеум: $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot n\text{SO}_3$.



Образовавшийся олеум сливают в металлические резервуары и отправляют на склад. Затем олеумом заполняют цистерны, формируют железнодорожные составы и отправляют потребителю.

Нитрозный способ производства серной кислоты.

Технологическая схема производства серной кислоты контактным путём хорошо известна из школьных учебников. В нашей стране используется и другой, так называемый нитрозный, способ её получения.

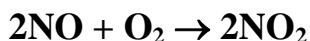
На первой стадии, одинаковой для обоих методов, получают сернистый ангидрид SO_2 . Исходным сырьём может быть, в принципе, любое вещество, содержащее серу: природные сульфиды железа (прежде всего, пирит FeS_2), а также сульфиды меди и никеля, сульфидные полиметаллические руды, гипс

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
Выполн.		Файзуллоев М.				
Руковод.		Хужакулов А.				

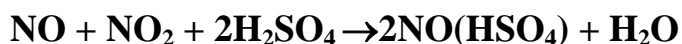
CaSO₄·2H₂O и элементарные сера. Всё больше и больше используют газы, которые выделяются при переработке и сжигании горючих ископаемых (угля, нефти), содержащих соединения серы.

Полученный SO₂ окисляют до H₂SO₄, используется для этого в нитрозном методе используется окислы азота. С этой стадии оба метода отличаются друг от друга.

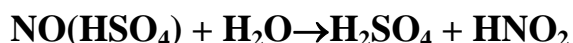
В специальной окислительной башне 3 смешивают окись азота NO и NO₂ с воздухом в таком соотношении, чтобы половина имеющихся NO и NO₂.



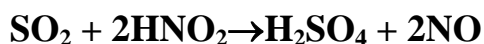
В результате газовая смесь содержит равные NO и NO₂. Она подаётся в башни 4 и 5, орошаемые 75% - ной серной кислотой; здесь смесь окислов азота поглощается с образованием нитрозилсерной кислоты:



Раствор нитрозилсерной кислоты в серной кислоте, называемый нитрозой, орошает башни 1 и 2, куда противотоком поступает SO₂ и добавляется вода. В результате гидролиза нитрозилсерной кислоты образуется азотная кислота:



Она - то и окисляет SO₂ по уравнению:



В нижней части башен 1 и 2 накапливается 75%-ная серная кислота, естественно, в большем количестве, чем её было затрачено на приготовление нитрозы (ведь добавляется «новорождённая» серная кислота). Окись азота NO возвращается снова на окисление. Поскольку некоторое количество её меряется с выхлопными газами, приходится добавлять в систему HNO₃, служащую источником окислов азота.

Недостаток башенного метода состоит в том, что полученная серная кислота имеет концентрацию лишь 75% (при большей концентрации плохо идёт гидролиз нитрозилсерной кислоты). Концентрирование же серной кислоты упариванием представляет дополнительную трудность. Преимущество этого метода в том, что примеси содержащиеся в SO₂, не влияют на ход процесса, так что исходный SO₂ достаточно очистить от пыли, т.е. механических загрязнений. Естественно, башенная серная кислота бывает недостаточно чистой, что ограничивает её применение.

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
Выполн.		Файзуллоев М.				
Руковод.		Хужакулов А.				

2.2. Процесс Клауса

Экологические требования диктуют необходимость доочистки отходящих газов «Клауса». Остаточные газы «Клауса» обычно содержат (в зависимости от эффективности работы и качества исходного газа) 1-2 % сероводорода, до 1 % диоксида серы, до 0,4 % сероокиси углерода, до 0,3 % сероуглерода, 1-8 г/м³ капельной и паровой серы, по 1-1,5 % водорода и оксида углерода, до 15 % уголекислоты, около 30 % водяных паров и азот. Температура газов около 150°C, давление не более 0,02-0,03МПа. Указанные особенности определяют и технологию их доочистки. Существует более 20 различных процессов доочистки.

Все процессы в зависимости от заложенного в них принципа можно разделить на две основные группы: 1. Процессы, основанные на реакции «Клауса», являющиеся дополнением к основным установкам и обеспечивающие общую степень извлечения серы до 99- 99,7%. 2. Процессы, основанные на превращении всех сернистых компонентов в один (SO₂ или H₂O), обеспечивающие общую степень извлечения серы до 99,9 % и выше.

Перечень основных процессов доочистки отходящих газов «Клауса».

Процессы	Суммарная максимальная степень извлечения серы, %	Число действующих и проектируемых установок	Цена установки, % от установки «Клауса» с двумя конверторами
Процессы, основанные на реакции «Клауса»:			
«Клаусполь 1500» (ФИН)	99	40/88	60-70
«Салфрин»	99,6	40/90	30-45
СВА	99	13/84	40-50
МСРС	99	5/84	35-45
«Максисальф)	99	1/82	-20
Процессы, основанные на окислении сернистых в SO ₂ :			
«Уэллман-Лорд» (сульфит натрия)	99,95	18/82	130-200
А_Т_С (аммонии тиосульфат)	99,5	3/79	70-100
Процессы, основанные на восстановлении сернистых в H ₂ S:			

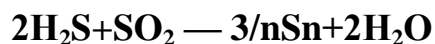
Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

«Бивонстретфорд»	99,99	60/84	90-120
«Бивонселектокс»	99,5	7/86	45-50
«БивонМДЭА»	99,9	12/90	80-100
«БивонЮнисалф»	99,99	4/88	90-120
СКОТ	99,8	120/90	90-110
«Окисал фрин)	99,8	-/90	90-100
«Ультра-Амоко»	99,7	-/86	-
«Модоп»	99,5	2/90	-
«Супер клаус»	99,5	7/90	-
«Салфтен»	99,99	6/88	80

Цифры в знаменателе – г. публикации данных

Процессы, основанные на реакции «Клауса»

Это – наиболее распространенные процессы очистки отходящих газов. Они основаны на каталитической реакции Клауса, оставшихся в хвостовых газах сероводорода и диоксида серы:



Реакция осуществляется при более низких температурах, чем на установке Клауса (130 – 150°C), что способствует более полному ее протеканию, в слое твердого катализатора (процессы Салфрин, СВА, МСРС) или в жидкой среде, содержащей катализатор (процесс ФИН, Клаусполь 1500). Эти процессы имеют сравнительно простую технологическую схему и нашли достаточно широкое распространение, хотя и не обладают такой эффективностью, как процессы 2-ой группы.

Процесс «Клаусполь 1500» (ФИН), разработанный французским институтом нефти, основан на обработке отходящих газов рециркулирующим потоком полиэтиленгликоля (ПЭГ – 400), содержащим растворенный катализатор (бензоат калия или натрия), в насадочной колонне при температуре выше точки плавления серы – 125-130°C. Образующаяся в процессе сера в расплавленном виде отделяется от растворителя. Процесс требует поддержания в обрабатываемом газе соотношения $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_2 = 2$; COS и CS_2 остаются не превращенными.

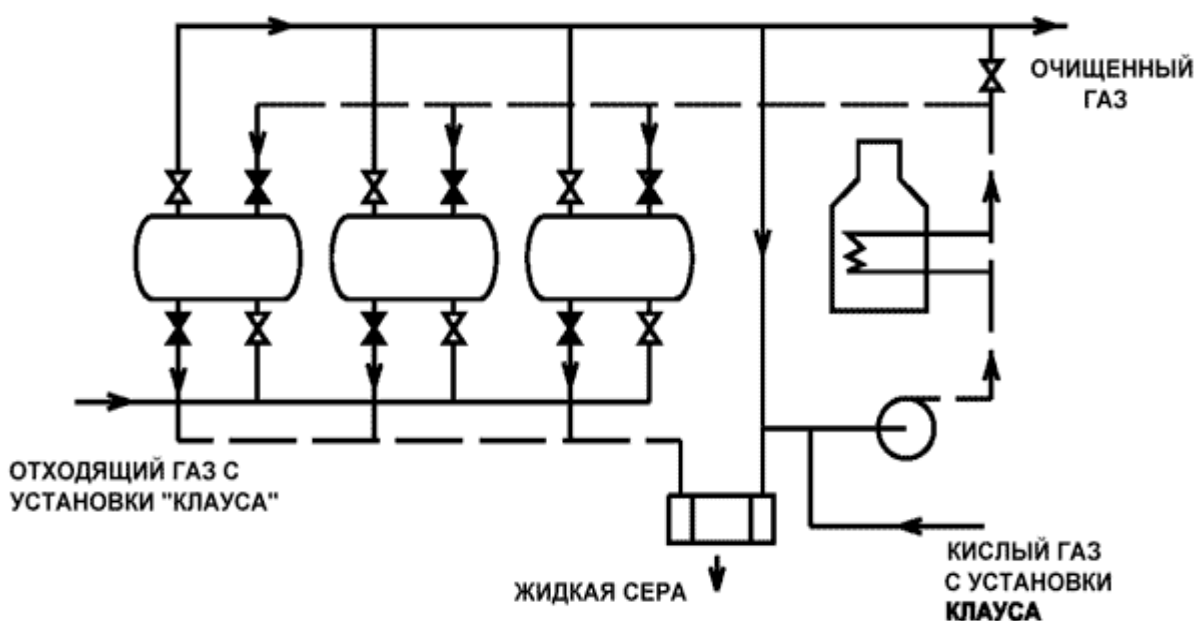
Степень превращения сероводорода и диоксида серы достигает 80%, что соответствует суммарной глубине извлечения серы до 98,5 %. Содержание SO_2 в газах после дожига 1500 ppm. В эксплуатации находится

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

более 40 установок ФИН, обрабатывающих отходящие газы установок «Клауса» производительностью по сере 30-800 т/сут. Процесс «Салфрин» разработан фирмами «Эльф Акитен» (Франция) и «Лурги» (ФРГ) и получил широкое распространение в мировой промышленной практике. Он осуществляется на твердом катализаторе (оксид алюминия) при температуре ниже точки росы серы; отлагающаяся на катализаторе сера удаляется затем отдувкой горячим (300°C) очищенным газом и далее извлекается в конденсаторе. Затем реактор охлаждается потоком холодного газа и снова переключается на стадию очистки.

Во избежание сульфатации катализатора его обрабатывают на стадии регенерации кислым газом с установки «Клауса», содержащим восстановители и сероводород при температуре 300°C. Степень извлечения H_2S составляет около 90%, а суммарно – 99%, выбросы диоксида серы в атмосферу – 1000-1500 ppm. В случае использования катализатора CRS-31 в процессе «Клауса» и АМ в качестве защитного слоя для удаления кислорода степень извлечения серы может быть увеличена до 99,6 %.

ПРИНЦИПАЛЬНАЯ СХЕМА
ПРОЦЕССА "САЛФРИН".



Процесс «Окисалфрин» позволяет повысить степень извлечения сероводорода до 99,8 %.

Процесс включает следующие стадии:

- каталитическая гидрогенизация всех сернистых соединений, содержащихся в отходящих газах установки «Клауса», в H_2S ;
- каталитическое окисление $1/3 H_2S$ в SO_2 ;

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

· осуществление реакции «Клауса» между H_2S и SO_2 по технологии «Салфрин».

В новом процессе повышение степени очистки газов обеспечивается двумя факторами:

- перевод CO_2 , CS_2 , паров серы, которые в обычном процессе «Салфрин» не утилизируются, в утилизируемый H_2S ;
- независимость от нарушения соотношения H_2S/SO_2 на установках Клауса».

Недостаток процесса необходимость четкого поддержания соотношения H_2S/SO_2 на стадии «Салфрин».

Однако если затраты на строительство установки «Салфрин» составляют 30-45%, то на «Окисалфрин» – до 110% от затрат на строительство установки «Клауса».

Процесс СВА (Си-Би-Эй) разработан фирмой «Амоко» (США). Очистка отходящих газов, как и в процессе «Салфрин», ведется в слое твердого катализатора (окись алюминия) при температуре конденсации серы. В отличие от процесса «Салфин» для регенерации катализатора используется горячая реакционная смесь из первого каталитического конвертора «Клауса», что значительно удешевляет технологию.

Процесс полупериодический, переключение циклов адсорбции и регенерации осуществляется автоматически.

Процесс разработан как дополнение к обычным установкам «Клауса». При этом суммарная степень извлечения серы возрастает с 95-97 до 99% и более. Цена установки СВА составляет 40-50% от стоимости установки Клауса.

Процесс МСРС предложен американскими фирмами «Минерал энд Кемикал ресурс Ко» и «Инстар Ко». Он отличается от процессов «Салфрин» и СВА еще большей интеграцией с процессом «Клауса», в результате чего его чаще рассматривают как усовершенствованный процесс «Клауса». Процесс основан на том, что два последних из четырех или трех каталитических конверторов «Клауса» работают попеременно: в одном происходит регенерация катализатора, в другом – образование серы и ее адсорбция. Стадия адсорбции продолжается обычно 24 ч., затем реактор переключают на регенерацию. Регенерацию осуществляют газами, выходящими из первого конвертора «Клауса».

Степень извлечения серы на установке с тремя реакторами 97-99%, а при установке четвертого реактора 98,5-99,5%. Капитальные затраты 35-45% от затрат на установку «Клауса».

Процессы, основанные на превращении сернистых соединений в один компонент.

Окислительные процессы

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
Выполн.		Файзуллоев М.				
Руковод.		Хужакулов А.				

В основе окислительных методов очистки отходящих газов «Клауса» лежит дожиг сернистых соединений до диоксида серы и его последующее извлечение и превращение в серу или другой химический продукт.

Из большого числа предложенных процессов этого типа промышленное применение нашли лишь некоторые: «Уэллман-Лорд», А_Т_С, цитратный и др.

Процесс «Уэллман-Лорд» (фирма «Уэллман – Лорд», США) получил достаточно широкое применение в мировой практике. Сущность процесса заключается в дожиге сернистых соединений до диоксида серы с последующим его поглощением раствором сульфита натрия. Образовавшийся бисульфит затем регенерируется. После отделения воды в конденсаторе концентрированный сернистый ангидрид рециркулирует на установку «Клауса».

Суммарная степень извлечения серы достигает 99,9-99,95 %. Цена установок «Уэллман-Лорд» 130-200 % от стоимости установок «Клауса».

В процессе А_Т_С (аммоний тиосульфат) образующийся при сжигании кислых газов SO₂ реагирует с водным раствором бисульфата аммония. Реакционная смесь сульфит-бисульфит затем контактирует с частью кислого газа, содержащего H₂S, что приводит к образованию тиосульфата аммония, который является продукцией процесса.

Цена установки 70-100 % от стоимости установок «Клауса». Очищенный газ содержит до 250 ppm SO₂.

В меньшей степени распространены другие окислительные процессы (цитратный, Топсое и др.) различной степени сложности.

Общим недостатком всех процессов является то, что схема процессов сложна, громоздка, имеются отходы производства. Оборудование должно быть изготовлено из легированных сталей и других антикоррозионных материалов.

Восстановительные процессы

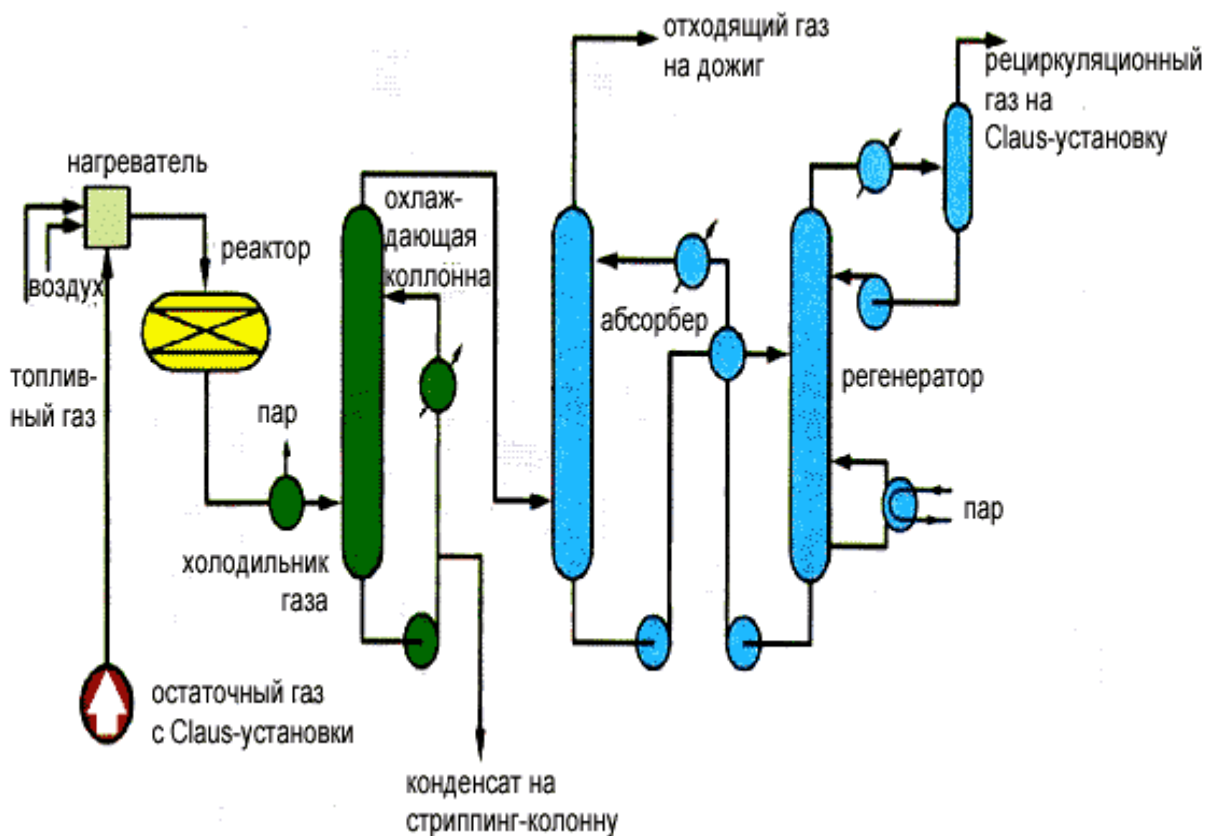
Процессы этой группы основаны на каталитическом восстановлении всех сернистых соединений в сероводород и отличаются, главным образом, способами его извлечения и последующей обработки.

Восстановление осуществляют на алюмокобальтмолибденовом катализаторе при температуре примерно 300°C в среде водорода или восстановителей (H₂+CO), получаемых путем неполного сгорания метана.

Из процессов этого типа наибольшее распространение получил процесс СКОТ (начальные буквы «Shell Claus Offgas Treating»), разработанный фирмой «Шелл Дивелопмент» (Нидерланды).

Поточная схема автономного SCOT-процесса

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			



Отходящие газы установки «Клауса» смешиваются с продуктами неполного сгорания метана и с температурой 300°C поступают в реактор гидрирования. Продукты гидрирования охлаждаются в котле-утилизаторе и затем в колонне «Квенч», где одновременно отделяется конденсационная вода.

Далее в абсорбционной секции из газов методом селективной абсорбции извлекается H_2S , который рециркулирует на установку «Клауса». В очищенном газе остается 10-500ppm H_2S , что соответствует суммарной степени извлечения H_2S 99,8 %. В качестве абсорбента используют ДИПА, МДЭА, «Укарсол», «Флексорб».

Цена установки составляет 80-100% от стоимости стандартной установки «Клауса» (два конвертора). В промышленной эксплуатации находится более 120 установок, ассоциированных с установками «Клауса», производительностью до 2100 т серы в сутки.

При использовании на установках сероочистки растворов МДЭА возможна интеграция раствора с установки СКОТ на узел абсорбции установки сероочистки газов, и общее использование узла регенерации, что позволяет сократить затраты на установку доочистки и сократить эксплуатационные затраты на установке сероочистки.

Другой распространенный группой процессов, объединенных общим названием «Бивон» (или BSR), являются процессы, разработанные фирмами «Юнион ойл оф Калифорния» и «Парсонс» (США).

В процессе BSR/«Стретфорд» газы гидрирования охлаждаются и затем подаются на установку «Стретфорд», где H_2S абсорбируется раствором

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

«Стертфорд» и окисляется в серу. Сера извлекается флотацией и затем плавится или отделяется от раствора центрифугированием. Степень извлечения серы до 99,99 % с установкой «Клауса», имеющей три конвертора. Очищенный газ содержит обычно 1 ppm H₂S. Капитальные затраты составляют 90-120 % от стоимости установки «Клауса».

Такие же показатели в процессе BSR/«Юнисалф», в котором абсорбент «Стретфорд» заменен на абсорбент «Юнисалф», характеризующийся меньшими потерями химикатов.

В процессе BSR/МДЭА используется метод селективного извлечения H₂S абсорбцией МДЭА (аналогично процессу, СКОТ). Степень извлечения серы 99,9 %; капитальные затраты 80-100 % от установки «Клауса».

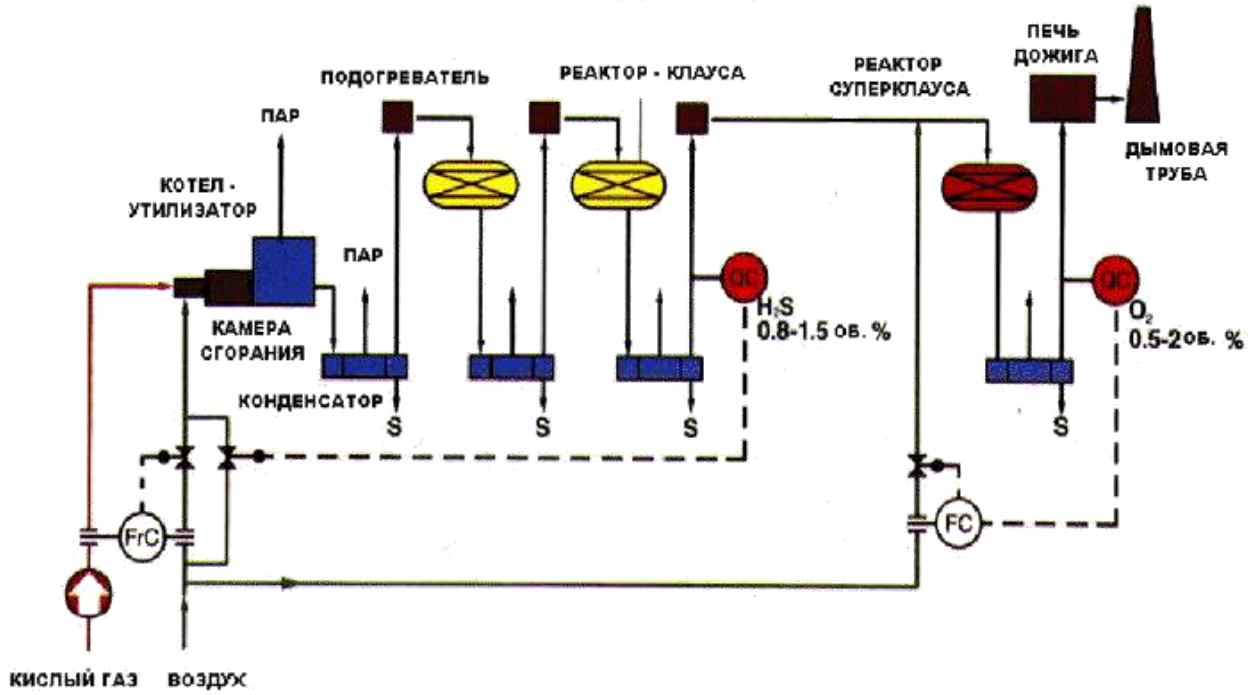
В процессе BSR/«Селектокс» газ гидрирования после охлаждения и отделения конденсационной воды нагревается и окисляется кислородом воздуха в серу на твердом катализаторе «Селектокс». Суммарная степень извлечения серы 98,5-99,5 %; капитальные затраты 45-50 % от капитальных затрат на установку «Клауса».

Процесс «Модоп» разработан фирмой «Мобил ойл» (США). Технология предусматривает восстановление всех сернистых в сероводород и последующее окисление его в серу на специальном титановом катализаторе. Для двухступенчатого «Клауса» (извлечение серы 95-96 %) рекомендуется две ступени окисления. При этом общее извлечение серы достигает 99,5 %.

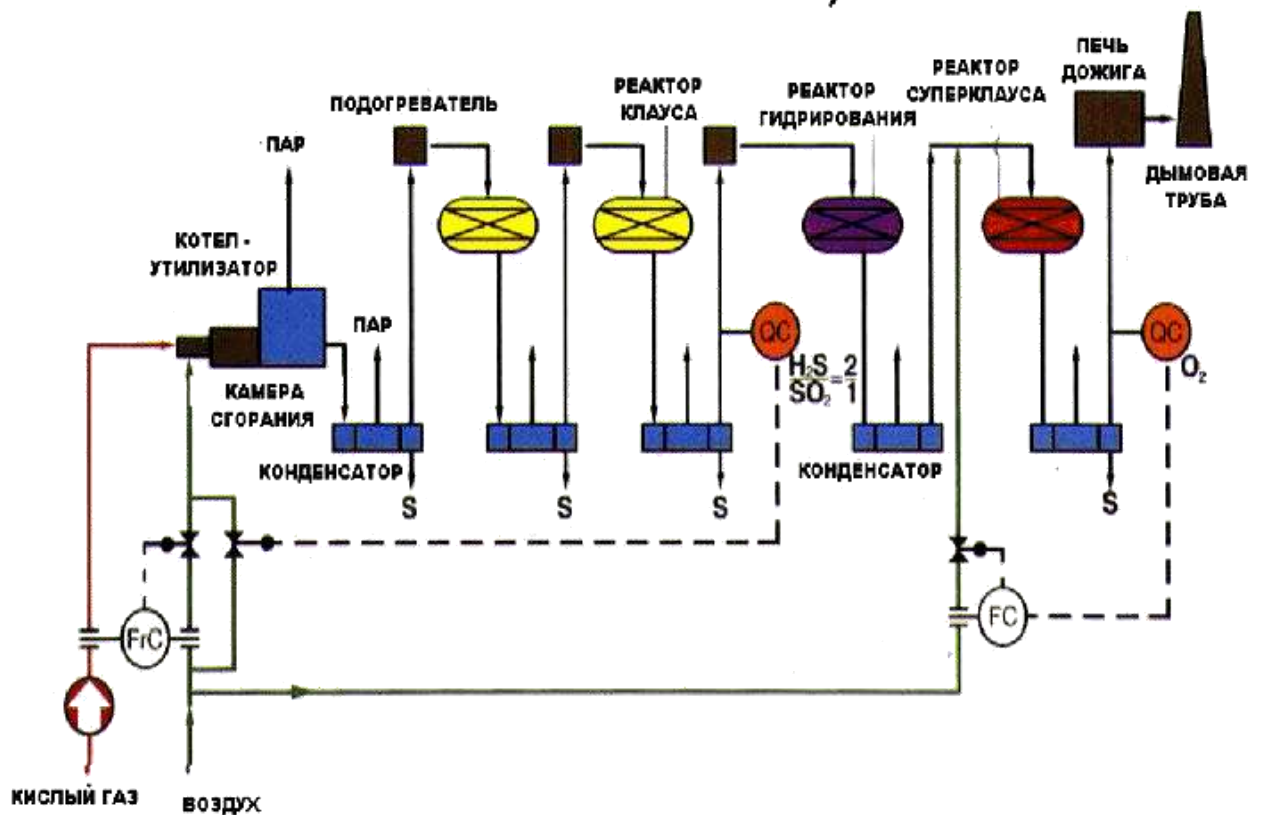
Процесс «Суперклаус» разработан фирмой «Компримо» (Нидерланды) и обеспечивает степень извлечения серы до 99,5 %. Стандартный двухконверторный процесс «Клауса» дополнен реактором окисления на специальном катализаторе. Процесс ведут таким образом – что на выходе из второго конвертора в газах содержится только сероводород в количестве 0,8-1,5 %, который окисляется на специальном катализаторе в реакторе Суперклауса.

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

СУПЕРКЛАУС - 99



СУПЕРКЛАУС - 99,5



Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
Выполн.		Файзуллоев М.				
Руковод.		Хужакулов А.				

По некоторым оценкам, в настоящее время доля Рф в сжигании на факелах попутного нефтяного газа (ПНГ) составляет 25-30 % при общем мировом годовом объеме сжигаемого П.Н.Г. около 150 млрд. м³, и Россия является мировым лидером по сжиганию П.Н.Г..

Газовый фактор добываемой нефти, или газосодержание пластовой нефти – это отношение объема выделенного из нефти газа к объему нефти, дегазированной при нормальных условиях. Газовый фактор (ГФ) может значительно различаться не только для нефти разных месторождений, но и иметь сильный разброс в пределах одного месторождения, а также с ходом разработки месторождения существенно изменяться (как повышаться, так и понижаться). Чаще ГФ находится в диапазоне 40-500 м³/т, редко имеет низкие значения (менее 20), иногда достигает значения 1000 и выше. Точная оценка среднего значения ГФ для Рф не встречена в открытых публикациях. Вполне вероятно, что централизованная статистика по этому вопросу до сих пор отсутствовала просто по причине ненужности этих сведений на фоне огромного множества других нужных данных и обязательного контроля утилизируемых потоков. По различным оценкам, средний ГФ может составлять как 120 м³/т, так и 200 м³/т.

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Дата</i>	<i>Подпись</i>		<i>Лист</i>
<i>Выполн.</i>		<i>Файзуллоев М.</i>				
<i>Руковод.</i>		<i>Хужакулов А.</i>				

2.3. Общая сведения о трубчатом печи, являющихся основным оборудованием технологии получения сера

Трубчатая печь является аппаратом, предназначенным для передачи нагреваемому продукту тепла, выделяющегося при сжигании топлива в топочной камере печи. Трубчатые печи широко распространены в нефтегазоперерабатывающей, нефтехимической, коксохимической и других отраслях промышленности, являются составной частью многих установок и применяются в различных технологических процессах (перегонка нефти, мазута, пиролиз, каталитический крекинг, риформинг, гидроочистка, очистка масел и др). Существуют различные конструкции трубчатых печей, отличающихся способом передачи тепла, количеством и формой топочных камер, числом секций (камер) в зоне радиации, относительным расположением осей факела и труб, способом сжигания топлива, типом облучения труб, числом потоков нагреваемого продукта, расположением конвекционной камеры относительно радиантной, длиной радиантных и конвекционных труб. Основными характеристиками трубчатых печей являются производительность печи, полезная тепловая нагрузка, теплонапряженность поверхности нагрева и коэффициент полезного действия печи. В промышленности применяют трубчатые печи с поверхностью нагрева радиантных труб 15 – 2000 м².

Теплопроизводительность трубчатых печей различных конструкций изменяется от 0,12 до 240 МВт, а производительность по нагреваемой среде достигает 8-10,5 кг/ч. Температура нагреваемой среды на входе и выходе из печи в зависимости от технологического процесса изменяется в диапазоне от 70 до 900°С, а давление – от 0,1 до 30 МПа. Для трубчатых печей КПД колеблется в пределах от 0,65 до 0,85.

Теплообмен в трубчатой печи

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
Выполн.		Файзуллоев М.				
Руковод.		Хужакулов А.				

Трубчатая печь имеет камеры радиации и конвекции. В камере радиации (топочной камере), где сжигается топливо, размещена радиантная поверхность (экран), поглощающая лучистое тепло в основном за счет радиации. В камере конвекции расположены конвекционные трубы, воспринимающие тепло главным образом при соприкосновении дымовых газов с поверхностью нагрева путем конвекции. Нагреваемый продукт в печи последовательно проходит через конвекционные и радиантные трубы, поглощая тепло. Обычно радиантная поверхность воспринимает большую часть тепла, выделяемого в печи при сгорании топлива. Лучистое тепло эффективно передается при охлаждении дымовых газов до 1000 – 1200 К. Снижение температуры дымовых газов до более низких значений часто бывает неоправданным, так как при этом радиантная поверхность работает с пониженной теплонапряженностью поверхности нагрева и требуется значительно увеличить поверхность радиантных труб. Эффективность теплопередачи конвекцией в меньшей степени зависит от температуры дымовых газов. Конвекционная поверхность использует тепло дымовых газов и может обеспечить их охлаждение до температуры, при которой значение коэффициента полезного действия аппарата будет экономически оправданным. Если наличие конвекционной поверхности для нагрева сырья не является обязательным или размеры этой поверхности могут быть существенно уменьшены, то тепло дымовых газов может быть использовано для иных целей, например для подогрева воздуха или производства водяного пара. При небольшой производительности иногда применяют печи без конвекционной поверхности, более простые в конструктивном отношении, но обладающие невысоким коэффициентом полезного действия. Рассмотрим механизм процесса передачи тепла в печи, состоящей из двух камер с настильным пламенем. Характерной особенностью этой печи является наклонное расположение в низу печи форсунок (горелок), обеспечивающих соприкосновение факела с поверхностью стены, размещенной в середине

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
Выполн.		Файзуллоев М.				
Руковод.		Хужакулов А.				

камеры радиации (рис. 20). В топочную камеру этой печи при помощи форсунки вводится распыленное топливо, а также необходимый для горения нагретый или холодный воздух. Высокая степень дисперсности топлива обеспечивает его интенсивное перемешивание с воздухом и более эффективное горение.

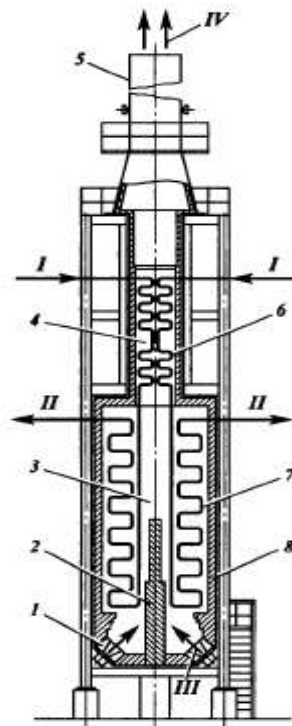


Схема работы трубчатой печи с объемно-настильным сжиганием топлива:

1 – форсунка; 2 – настильная стенка; 3 – камера радиации (топочная камера); 4 – камера конвекции; 5 – дымовая труба; 6 – змеевик конвекционных труб; 7 – змеевик радиантных труб; 8 – футеровка.

Потоки: I – вход сырья; II – выход сырья; III – топливо и воздух; IV – дымовые газы

Соприкосновение факела с поверхностью настильной стены обуславливает повышение ее температуры; излучение происходит не только от факела, но и от раскаленной стены. Тепло, выделенное при сгорании топлива, расходуется на повышение температуры дымовых газов и частиц горящего топлива; последние раскаляются и образуют светящийся факел.

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
Выполн.		Файзуллоев М.				
Руковод.		Хужакулов А.				

Температура, размер и конфигурация факела зависят от многих факторов и, в частности, от температуры и количества воздуха, подаваемого для горения топлива, способа подвода воздуха, конструкции и нагрузки форсунки, теплотворной способности топлива, расхода форсуночного пара, размера радиантной поверхности (степени экранирования топки) и др.

При повышении температуры воздуха увеличивается температура факела, повышается скорость горения и сокращаются размеры факела. Размеры факела уменьшаются и при увеличении (до известного предела) количества воздуха, поступающего в топку, так как избыток воздуха ускоряет процесс горения топлива. При недостаточном количестве воздуха факел получается растянутым, топливо полностью не сгорает, что приводит к потере тепла. Чрезмерное количество воздуха недопустимо вследствие повышенных потерь тепла с отходящими дымовыми газами и более интенсивного окисления (окалинообразования) поверхности нагрева.

Воздух, необходимый для горения топлива, подводят к устью форсунки, т.е. к началу факела. В некоторых форсунках топливо распыляется воздухом, который в этом случае вводится в топку совместно с топливом. В ряде конструкций во внутренней полости стен печей размещается канал для подачи так называемого вторичного воздуха, позволяющий подводить необходимый для горения воздух по длине факела, что повышает температуру излучающей стенки и способствует более равномерной передаче тепла радиацией. В такой печи тепло излучением передается от факела, излучающей стенки и трехатомных газов (диоксид углерода, водяной пар, диоксид серы), обладающих избирательной способностью поглощать и излучать лучи определенной длины волны. Часть лучей через пространство между трубами попадает на поверхность кладки, вдоль которой расположены эти трубы; эти лучи разогревают кладку, и она, в свою очередь, излучает; при этом часть энергии поглощается той частью поверхности труб, которая обращена к стенке кладки. Настильная стена, а также прочие стены кладки, у

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Дата</i>	<i>Подпись</i>		<i>Лист</i>
<i>Выполн.</i>		<i>Файзуллоев М.</i>				
<i>Руковод.</i>		<i>Хужакулов А.</i>				

которых расположены трубы (экранированная часть кладки) или свободные от труб (незаэкранированные), принято называть вторичными излучателями.

Радиантные трубы получают тепло не только излучением, но также и от соприкосновения дымовых газов с поверхностью труб, имеющих более низкую температуру (теплопередача свободной конвекцией). Из всего количества тепла, воспринятого радиантными трубами, значительная часть (85-90%) передается излучением, остальное конвекцией.

Наружная поверхность труб в свою очередь излучает некоторое количество тепла, т.е. имеет место процесс взаимоизлучения, однако температура поверхности труб вследствие непрерывного отвода тепла сырьем, проходящим через радиантные трубы, значительно ниже температуры других источников излучения и поэтому в итоге взаимоизлучения через поверхность радиантных труб сырью передается небольшое количество тепла.

В результате теплопередачи, осуществляемой в топочной камере, дымовые газы охлаждаются и поступают в камеру конвекции, где происходит их прямое соприкосновение с более холодной поверхностью конвекционных труб (вынужденная конвекция).

В камере конвекции передача тепла осуществляется также за счет радиации трехатомных дымовых газов и от излучения стенок кладки. Наибольшее количество тепла в камере конвекции передается путем конвекции; оно достигает 60-70 % общего количества тепла, воспринимаемого этими трубами. Передача тепла излучением от газов составляет 20-30 %; излучением стенок кладки конвекционной камеры передается в среднем около 10 % тепла.

Основным фактором, предопределяющим эффективность передачи тепла конвекцией, является скорость движения дымовых газов, поэтому при конструировании трубчатых печей стремятся обеспечить ее наибольшее значение. Это достигается размещением минимального числа труб в одном

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Дата</i>	<i>Подпись</i>		<i>Лист</i>
<i>Выполн.</i>		<i>Файзуллоев М.</i>				
<i>Руковод.</i>		<i>Хужакулов А.</i>				

горизонтальном ряду и выбором минимального расстояния между осями труб. Однако при повышении скорости дымовых газов в камере конвекции увеличивается сопротивление потоку газов, что и ограничивает выбор величины скорости. С другой стороны, сокращение числа труб в одном горизонтальном ряду приводит к увеличению высоты камеры конвекции. Это обстоятельство также предопределяет выбор допустимой скорости движения дымовых газов в камере конвекции.

Существенным фактором, влияющим на эффективность передачи тепла, является способ размещения труб в камере конвекции. При расположении труб в шахматном порядке в связи с более интенсивной турбулентностью потока дымовых газов и лучшей обтекаемостью ими труб тепло передается эффективнее, чем при расположении коридорным способом (рис. 21). При одинаковой скорости движения дымовых газов шахматное расположение труб обеспечивает по сравнению с коридорным более эффективную (на 20-30%) передачу тепла.

Основные типы печей

В промышленности применяется большое число различных конструкций и типоразмеров трубчатых печей. При выборе печи в основном следует учитывать вид топлива (газовое или комбинированное); требование технологического процесса к расположению труб камеры радиации (горизонтальное или вертикальное); необходимость дифференциального подвода тепла к трубам камеры радиации; количество регулируемых потоков; время пребывания продукта в печи или камере радиации. В настоящем кратком обзоре нет необходимости характеризовать печи всех известных типов. Рассмотрим только печи основных типов, имеющих широкое распространение.

На действующих установках нефтегазопереработки широко распространены шатровые печи и печи беспламенного горения, которые в настоящее время отнесены к печам устаревшей конструкции. Шатровые печи

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Дата</i>	<i>Подпись</i>		<i>Лист</i>
<i>Выполн.</i>		<i>Файзуллоев М.</i>				
<i>Руковод.</i>		<i>Хужакулов А.</i>				

(рис. 22), имеющие две камеры радиации с наклонным сводом и одну камеру конвекции, расположенную в центре печи, применяются на установках АВТ производительностью 1,5-3,0 млн. т/год. Нагреваемое сырье поступает в конвекционную камеру и двумя потоками проходит через трубы. В печи имеются муфели, в которых размещаются форсунки. Горение топлива практически завершается в муфельном канале, и в топку поступают раскаленные продукты сгорания. Двухскатные печи шатрового типа имеют серьезные недостатки: они громоздки, металлоемки, КПД их не превышает 0,74, теплонапряженность камер низкая, дымовые газы покидают конвекционную камеру при сравнительно высокой температуре (450-500°С).

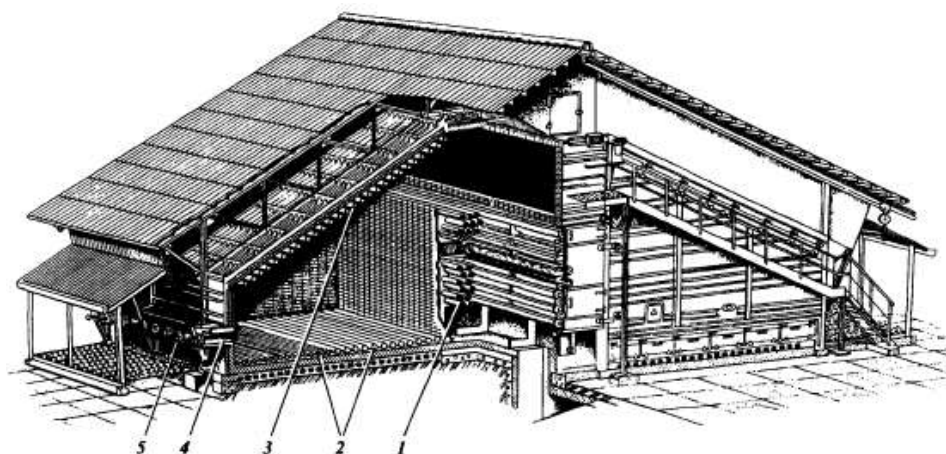
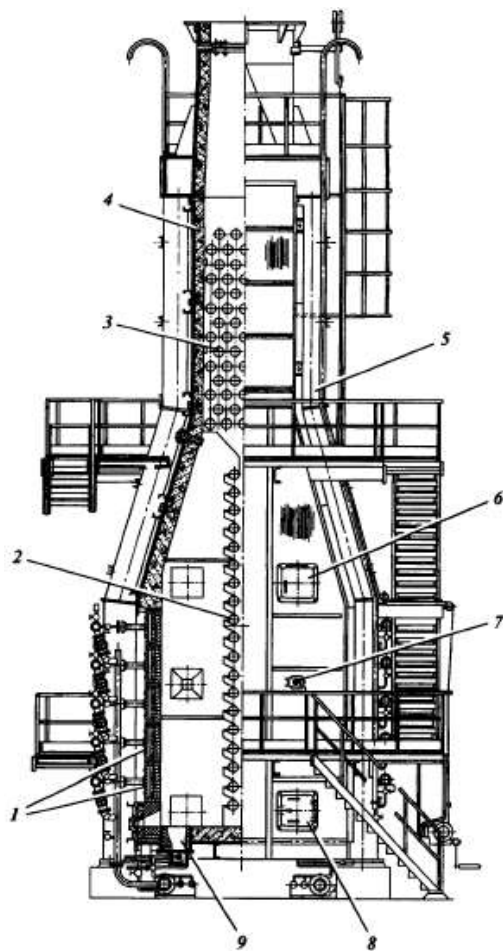


Схема двухкамерной печи с наклонным сводом:

- 1 – конвекционная камера; 2 – подовый экран радиантной камеры;
3 – потолочный экран радиантной камеры; 4 – муфели; 5 – форсунки

В 60-е годы на АВТ и других технологических установках начали широко применяться печи беспламенного горения с излучающими стенками (рис. 23). беспламенные панельные горелки 1 расположены пятью рядами в каждой фронтальной стене камеры радиации. Каждый горизонтальный ряд имеет индивидуальный газовый коллектор, что создает возможность независимого регулирования теплопроизводительности горелок одного ряда и теплопередачи к соответствующему участку радиантного экрана 2.

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
Выполн.		Файзуллоев М.				
Руковод.		Хужакулов А.				



Трубчатая печь беспламенного горения с излучающими стенками:

1 – беспламенные панельные горелки; 2 – змеевик радиантных труб; 3 – змеевик конвекционных труб; 4 – футеровка; 5 – каркас; 6 – выхлопное окно; 7 – смотровое окно; 8 – люк-лаз; 9 – резервные горелки

Существует пять типов печей с излучающими стенками, тепловая мощность которых изменяется от 8,9 до 26,7 МВт. Конструктивно печи отличаются между собой в основном длиной труб, которая в зависимости от тепловой мощности изменяется от 6 до 18 м. Дымовые трубы печей расположены в верхней части, дымовые газы направляются снизу вверх. Печи работают на газообразном топливе, причем газы должны иметь постоянный углеводородный состав, что является серьезным недостатком печей.

В печи предусмотрена возможность работы на резервном жидком и газовом (газ, содержащий конденсат) топливе. Для этого в поду камеры

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
Выполн.		Файзуллоев М.				
Руковод.		Хужакулов А.				

радиации вдоль излучающих стен установлены резервные газомазутные горелки 9. Факелы этих горелок настилаются на поверхность панельных горелок и образуют сплошное зеркало излучения. При этом первичный воздух подается к горелкам в поду через регистры с шиберами, а вторичный – по высоте настила факела через смесители отключенных панельных горелок. Печи беспламенного горения компактны, малогабаритны.

В совершенствование и конструирование трубчатых печей нового типа, повышение их эффективности, типизацию и стандартизацию печного оборудования большой вклад сделан ВНИИнефтемашем, который создал и осуществил внедрение в промышленность трубчатых печей ряда типов, по которым издан каталог, позволяющий выбрать конструкцию и размеры типовой трубчатой печи для соответствующего технологического процесса.

Печи типа ГС – коробчатые с верхним отводом дымовых газов, горизонтальным расположением труб в радиантной и конвекционной камерах и свободного вертикального сжигания комбинированного топлива (рис. 24). Горелки расположены в один ряд в поду печи. Обслуживание горелок производится с одной стороны печи, что позволяет устанавливать рядом две камеры радиации (рис. 25, печи типа ГС2).

Печи типа ГС применяются на установках атмосферной и вакуумной перегонки нефти, вторичных процессов.

Печи типа ГС2 предпочтительны на установках замедленного коксования, крекинг-процессов, где требуется нагрев нефтепродуктов с низкими значениями теплонапряженности поверхности нагрева (29 кВт/м^2)

Печи типа ГН – коробчатые с верхним отводом дымовых газов, горизонтальным настенным или центральным трубным экраном и объемно-настильного сжигания комбинированного топлива (вариант I) или настильного сжигания газового топлива на фронтальные стены (вариант II).

При исполнении печи по варианту I горелки расположены в два ряда на фронтальных стенах под углом 45° (рис. 26). По оси печи расположена

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

настильная стена, на которую направлены горящие факелы. Печь ГН2 имеет две камеры радиации и применяется для процессов, требующих "мягкий" режим нагрева (установки замедленного коксования, крекинг-процессы).

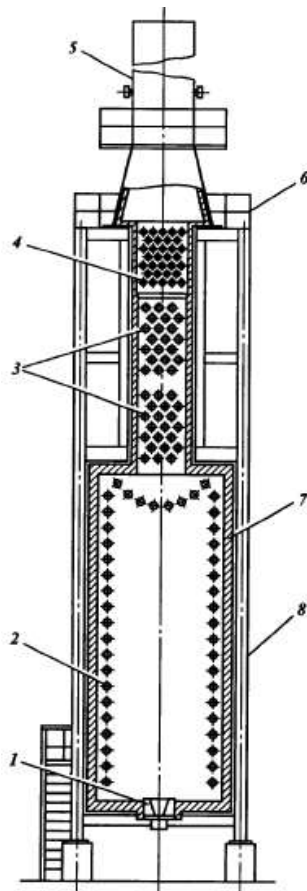
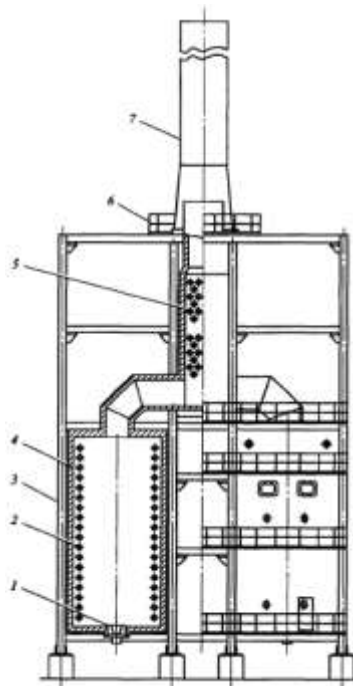


Схема трубчатой печи типа ГС:

1 – горелка; 2 – змеевик радиантных труб; 3 – змеевик конвекционных труб;
4 – воздухоподогреватель; 5 – дымовая труба; 6 – лестничная площадка;
7 – футеровка; 8 – каркас

По варианту II горелки расположены ярусами на фронтальных стенах, а двухрядный горизонтальный экран – по оси печи. Тепло к экранам передается от фронтальных стен, на которые настилаются факелы веерных горелок. Данный тип печи предназначен для реконструкции существующих печей беспламенного горения, а также в процессах средней производительности, обеспеченных газовым топливом, в том числе с большим процентом водорода.

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			



Конструкция трубчатой печи типа ГС2:

1 – горелка; 2 – змеевик радиантных труб; 3 – каркас; 4 – футеровка;
5 – змеевик конвекционных труб; 6 – лестничная площадка; 7 –дымовая труба

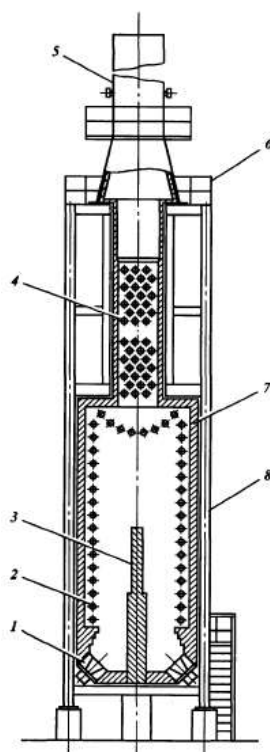
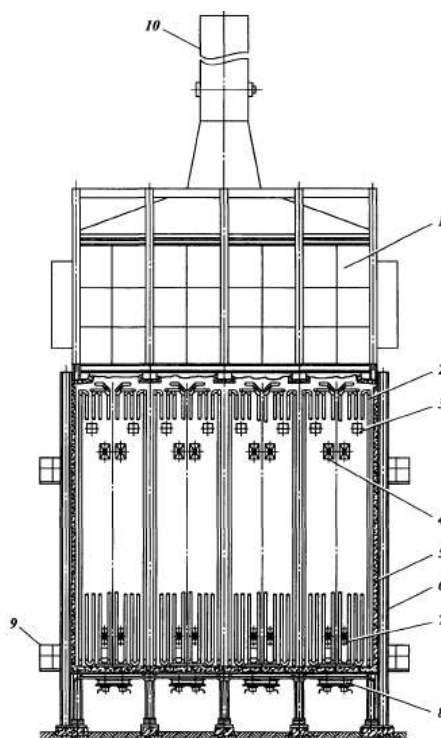


Схема трубчатой печи типа ГН: 1 – горелка; 2 – змеевик радиантных труб; 3 – настильная стенка; 4 – змеевик конвекционных труб; 5 – дымовая труба; 6 – лестничная площадка; 7 – футеровка; 8 – каркас

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

Печи типа ВС – узкокамерные секционные с верхним отводом дымовых газов и вертикальными трубами змеевика (рис. 27). Производительность каждой секции 10-17 МВт. Вертикальные трубы радиантного змеевика расположены у всех четырех стен камеры. Газомазутные горелки расположены в поду камеры, обслуживание горелок с двух сторон. Предусмотрены четыре типоразмера этих печей, каждый типоразмер отличается количеством одинаковых камер радиации. Над камерой радиации расположена камера конвекции прямоугольного сечения с горизонтальными гладкими трубами. У многосекционных трубчатых печей камеры радиации отдельных секций объединены в общем корпусе. Смежные секции отделены одна от другой двумя рядами труб радиантного змеевика двустороннего облучения. В крайних секциях у стен радиантные трубы размещены в один ряд. Печи типа ВС установлены на установках ЛК-6-У, применяют на установках АТ, вторичной переработки и т.д.



Конструкция трубчатой печи типа ВС:

- 1 – камера конвекции; 2 – змеевик радиантных труб; 3 – взрывное окно;
 4, 7 – гляделка; 5 – футеровка; 6 – каркас; 8 – горелка; 9 – лестничная
 площадка; 10 – дымовая

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

3.1 Расчет процесса горения топлива

Цель данного этапа: расчет низшей теплотворной способности топлива, количества и состава продуктов сгорания, теплосодержания продуктов сгорания.

Низшая теплотворная способность топлива определяется по уравнению Менделеева:

$$Q_p^H = (81 \cdot C + 246 \cdot H + 26 \cdot (S - O) - 6 \cdot W) \cdot 4,1868 ,$$

где C, H, S, O, W – соответственно содержание в топливе углерода, водорода, серы, кислорода, влаги, % масс.;

$$Q_p^H = (81 \cdot 85 + 246 \cdot 13 + 26 \cdot (1 - 1) - 6 \cdot 0) \cdot 4,1868 = 42215 ,504 \text{ кДж/кг.}$$

Теоретическое количество воздуха, необходимого для сгорания 1 кг топлива:

$$L_0 = 0,115 \cdot C + 0,345 \cdot H + 0,043 \cdot (S - O);$$

$$L_0 = 0,115 \cdot 85 + 0,345 \cdot 13 + 0,043 \cdot (1 - 1) = 14 ,26 \text{ кг/кг.}$$

Фактический расход воздуха:

$$L = \alpha \cdot L_0 ,$$

где α – коэффициент избытка воздуха;

$$L = 1,25 \cdot 14 ,26 = 17 ,825 \text{ кг/кг.}$$

Количество продуктов сгорания, образующихся при сжигании 1 кг топлива:

$$G = 1 + \alpha \cdot L_0 + W_\phi ,$$

где W_ϕ – расход форсуночного пара;

$$G = 1 + 1,25 \cdot 14 ,26 + 0 = 18 ,825 \text{ кг/кг.}$$

Количество газов, образующихся при сгорании 1 кг топлива:

$$m_{CO_2} = 0,03667 \cdot C = 0,03667 \cdot 85 = 3,117 \text{ кг/кг;}$$

$$m_{H_2O} = 0,09 \cdot H + 0,01 \cdot W + W_\phi = 0,09 \cdot 13 + 0,01 \cdot 0 + 0 = 1,17 \text{ кг/кг;}$$

$$m_{O_2} = L_0(\alpha - 1) \cdot 0,232 = 14 ,26 \cdot (1,25 - 1) \cdot 0,232 = 0,8271 \text{ кг/кг;}$$

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
Выполн.		Файзуллоев М.				
Руковод.		Хужакулов А.				

$$m_{N_2} = \alpha \cdot L_0 \cdot 0,768 = 1,25 \cdot 14,26 \cdot 0,768 = 13,6896 \text{ кг/кг};$$

$$m_{so_2} = 0,02 \cdot S = 0,02 \cdot 1 = 0,02 \text{ кг/кг}.$$

Проверка осуществляется, исходя из условия: $\sum_{i=1}^M m_i = G$;

$$3,117+1,17+0,8271+13,6896 = 18,824 \text{ кг/кг} \approx 18,825 \text{ кг/кг}.$$

Объемный расход воздуха, необходимого для сгорания 1 кг топлива:

$$V_0 = 0,089 \cdot C + 0,267 \cdot H + 0,033 \cdot (S - O);$$

$$V_0 = 0,089 \cdot 85 + 0,267 \cdot 13 + 0,033 \cdot (1 - 1) = 11,036 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Расчет теплосодержания продуктов сгорания на 1 кг топлива при заданной температуре производится по формуле:

$$q_t = (T - 273) \cdot (m_{CO_2} \cdot C_{CO_2} + m_{H_2O} \cdot C_{H_2O} + m_{O_2} \cdot C_{O_2} + m_{N_2} \cdot C_{N_2} + m_{SO_2} \cdot C_{SO_2}),$$

где T – температура продуктов сгорания, К;

C_i – средние массовые теплоемкости продуктов сгорания, кДж/кг·К (их значения находим по таблицу методом интерполяции);

$$q_{300} = (300 - 273) \cdot (3,117 \cdot 0,8286 + 1,17 \cdot 1,8632 + 0,8271 \cdot 0,9169 + 13,6896 \cdot 1,0308 + 0,02 \cdot 0,6150) = 530,404 \text{ кДж/кг}.$$

Результаты расчета значений теплосодержания представим в виде таблицы.

Таблица 4

Т, К	300	500	700	1100	1500	1700	1900
qt, кДж/кг	530,4	4555,6	8781,5	17860,9	27623,1	32677,3	37799,6

Выводы: по результатам расчетов данного этапа низшая теплотворная способность топлива составила 42215,504 кДж/кг, количество продуктов сгорания на 1 кг сжигаемого топлива – 18,825 кг/кг.

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
Выполн.		Файзуллоев М.				
Руковод.		Хужакулов А.				

3.2. Тепловой баланс трубчатой печи. Расчет коэффициента полезного действия и расхода топлива

Цель этапа: кроме к.п.д. и расхода топлива рассчитать теплопроизводительность трубчатой печи (полную тепловую нагрузку), значение которой необходимо для выбора ее типоразмера.

Уравнение теплового баланса для трубчатой печи выглядит так:

$$Q_{\text{прих.}} = Q_{\text{расх.}}$$

Расчет теплового баланса ведется на 1 кг топлива.

Статьи расхода тепла:

$$Q_{\text{расх.}} = q_{\text{пол.}} + q_{\text{ух.}} + q_{\text{ном.}},$$

где $q_{\text{пол.}}$, $q_{\text{ух.}}$, $q_{\text{ном.}}$ – соответственно полезно воспринятое в печи сырьем, теряемое с уходящими из печи дымовыми газами, теряемое в окружающую среду, кДж/кг.

Статьи прихода тепла:

$$Q_{\text{прих.}} = Q_p^H + C_m \cdot t_m + \alpha \cdot L_0 \cdot C_v \cdot t_v + W_{\text{ф.}} \cdot C_{\text{ф.н.}} \cdot t_{\text{ф.н.}},$$

где C_m , C_v , $C_{\text{ф.н.}}$ – соответственно теплоемкости топлива, воздуха, форсуночного водяного пара, кДж/кг;

t_m , t_v , $t_{\text{ф.н.}}$ – температуры топлива, воздуха, форсуночного водяного пара, °С.

Явное тепло топлива, воздуха и водяного пара обычно невелико и ими часто в технических расчетах пренебрегают.

Итак, уравнение теплового баланса запишется в следующем виде:

$$Q_{\text{прих.}} = Q_{\text{расх.}} \approx Q_p^H,$$

$$\text{а } Q_{\text{прих.}} = q_{\text{пол.}} + q_{\text{ух.}} + q_{\text{ном.}} = Q_p^H$$

$$\text{или } q_{\text{пол.}} = Q_p^H - q_{\text{ух.}} - q_{\text{ном.}},$$

откуда коэффициент полезного действия трубчатой печи:

$$\eta = \frac{q_{\text{пол.}}}{Q_p^H} = 1 - \frac{q_{\text{ух.}}}{Q_p^H} - \frac{q_{\text{ном.}}}{Q_p^H},$$

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

где $\frac{q_{yx.}}{Q_p^H}$, $\frac{q_{nom.}}{Q_p^H}$ – соответственно потери тепла с уходящими дымовыми

газами и потери тепла в окружающую среду в долях от низшей теплотворной способности топлива.

Потери тепла в окружающую среду $q_{nom.}$ принимаем 6 % (0,06 в долях) от низшей теплотворной способности топлива, т.е.

$$\frac{q_{nom.}}{Q_p^H} = 0,06, \text{ откуда}$$

$$q_{nom.} = Q_p^H \cdot 0,06 = 42215,504 \cdot 0,06 = 2532,93 \text{ кДж/кг.}$$

Температура уходящих дымовых газов определяется равенством:

$$t_{yx.} = t_1 + \Delta t = t_1 + (100 \div 150), ^\circ\text{C},$$

где t_1 – температура нагреваемого продукта на входе в печь, $^\circ\text{C}$;

Δt – разность температур теплоносителей на входе сырья в змеевик камеры конвекции; принимаем $\Delta t = 130 ^\circ\text{C}$;

$$t_{yx.} = 130 + 130 = 260 ^\circ\text{C} (533 \text{ K}).$$

При этой температуре определяем потери тепла с уходящими газами:

$$q_{yx.} = q_{533} = (533 - 273) \cdot (3,117 \cdot 0,9324 + 1,17 \cdot 1,9096 + 0,8271 \cdot 0,9441 + 13,6896 \cdot 1,0385 + 0,02 \cdot 0,6755) = 5239,4 \text{ кДж/кг.}$$

$$q_{пол.} = 42215,504 - 5239,4 - 2532,93 = 34443,174 \text{ кДж/кг.}$$

Итак, определяем к.п.д. печи:

$$\eta = 1 - \frac{5239,4}{42215,504} - 0,06 = 0,82.$$

Расчет полезной тепловой нагрузки трубчатой печи производим по формуле:

$$Q_{пол.} = G \cdot \left[e \cdot q_{t_2}^n + (1 - e) \cdot q_{t_2}^{жс} - q_{t_1}^{жс} \right],$$

где G – производительность печи по сырью, кг/ч;

$q_{t_2}^n$, $q_{t_2}^{жс}$, $q_{t_1}^{жс}$ – соответственно теплосодержания паровой и жидкой фазы

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

при температуре t_2 , жидкой фазы (сырья) при температуре t_1 , кДж/кг;

e – доля отгона сырья на выходе из змеевика трубчатой печи.

Теплосодержание паров нефтепродуктов определяется по уравнению:

$$q_t^n = \left((50,2 + 0,109 \cdot t + 0,00014 \cdot t^2) \cdot (3,992 - 0,9952 \cdot \rho_4^{20}) - 73,4 \right) \cdot 4,1868 ,$$

где ρ_4^{20} – относительная плотность; для конденсированных паров $\rho_4^{20} = 0,8$;

$$q_{350}^n = \left((50,2 + 0,109 \cdot 350 + 0,00014 \cdot 350^2) \cdot (3,992 - 0,9952 \cdot 0,8) - 73,4 \right) \cdot 4,1868 =$$

$$= 1104,3 \text{ кДж/кг.}$$

Уравнение для расчета теплосодержания жидких нефтепродуктов имеет вид:

$$q_t^{жс} = \frac{0,403 \cdot t + 0,000405 \cdot t^2}{\sqrt{0,9952 \cdot \rho_4^{20} + 0,00806}} \cdot 4,1868 ,$$

где относительная плотность нефти $\rho_4^{20} = 0,9$;

$$q_{350}^{жс} = \frac{0,403 \cdot 350 + 0,000405 \cdot 350^2}{\sqrt{0,9952 \cdot 0,9 + 0,00806}} \cdot 4,1868 = 839,7 \text{ кДж/кг;}$$

$$q_{130}^{жс} = \frac{0,403 \cdot 130 + 0,000405 \cdot 130^2}{\sqrt{0,9952 \cdot 0,9 + 0,00806}} \cdot 4,1868 = 260,9 \text{ кДж/кг.}$$

Рассчитываем полезную тепловую нагрузку печи:

$$Q_{пол.} = \frac{3800 \cdot 1000}{24} \cdot [0,38 \cdot 1104,3 + (1 - 0,38) \cdot 839,7 - 260,9] = 107,57 \cdot 10^6 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}} .$$

Определяем полную тепловую нагрузку печи:

$$Q_m = \frac{Q_{пол.}}{\eta} = \frac{107,57 \cdot 10^6}{0,82} = 131,183 \cdot 10^6 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}} = 36,44 \text{ МВт.}$$

Часовой расход топлива:

$$B = \frac{Q_{пол.}}{Q_p^n \cdot \eta} = \frac{107,57 \cdot 10^6}{42215,504 \cdot 0,82} = 3107,46 \text{ кг/ч.}$$

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
Выполн.		Файзуллоев М.				
Руковод.		Хужакулов А.				

Выводы: 1) расчеты данного этапа показали, что коэффициент полезного действия нашей печи $\eta = 0,82$, т.е. довольно высокий, т.к. для трубчатых печей значение к.п.д. находится в пределах от 0,65 до 0,85 [1, с.439];

2) полная тепловая нагрузка печи составила 36,44 МВт.

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Дата</i>	<i>Подпись</i>		<i>Лист</i>
<i>Выполн.</i>		<i>Файзуллоев М.</i>				
<i>Руковод.</i>		<i>Хужакулов А.</i>				

3.3. Выбор типоразмера трубчатой печи

Цель: подобрать печь, удовлетворяющую исходным данным и рассчитанным ранее параметрам, и ознакомиться с ее характеристиками и конструкцией.

Выбор типоразмера трубчатой печи осуществляем по каталогу в зависимости от ее назначения, теплопроизводительности и вида используемого топлива.

В нашем случае назначение печи – нагрев и частичное испарение нефти, теплопроизводительность Q_m составляет 36,44 МВт, а топливом является мазут. Исходя из этих условий, выбираем трубчатую печь на комбинированном топливе (мазут + газ) СКГ1 $\frac{730}{18}$.

Таблица 5

Техническая характеристика печи СКГ1 $\frac{730}{18}$

Показатель	Значение
Радиантные трубы: поверхность нагрева, м ² рабочая длина, м	730 18
Количество средних секций n	7
Теплопроизводительность, МВт (Гкал/ч)	39,5 (34,1)
Допускаемая теплонапряженность радиантных труб, кВт/м ² (Мкал/м ² ·ч)	40,6 (35)
Габаритные размеры (с площадками для обслуживания), м: длина L ширина высота	24,44 6 22
Масса, т: металла печи (без змеевика) футеровки	113,8 197

Печи типа СКГ1 – это печи свободного вертикальнофакельного сжигания топлива, коробчатая, с горизонтальным расположением труб змеевика в одной камере радиации. Горелки типа ГГМ-5 или ГП расположены в один ряд в поду печи. На каждой боковой стороне камеры

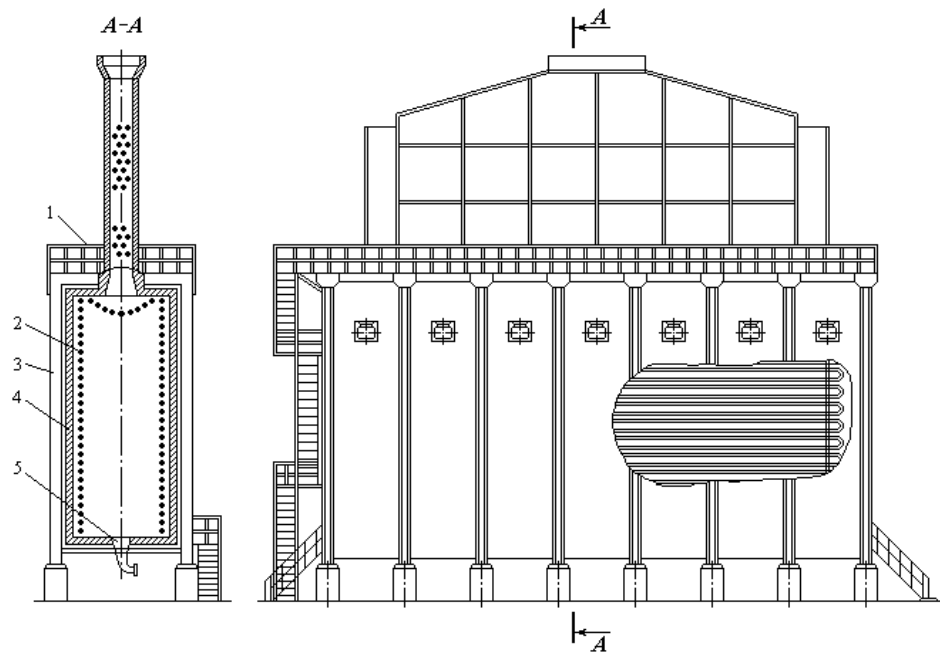
Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

радиации установлены однорядные настенные трубные экраны, которые облучаются рядом вертикальных факелов. Трубный экран может быть однорядным и двухрядным настенным.

Так как в печи сжигается комбинированное топливо, на печи предусмотрен газосборник, через который газы сгорания отводятся в отдельно стоящую дымовую трубу.

Обслуживание горелок производится с одной стороны печи, благодаря чему на общем фундаменте можно установить рядом две однокамерные печи, соединенные лестничной площадкой, и таким образом образовать как бы двухкамерную печь.

Конструкция печи типа СКГ1 показана на рис. 29.



Трубчатая печь типа СКГ1:

- 1 – лестничные площадки; 2 – змеевик; 3 – каркас; 4 – футеровка;
5 – горелки.

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
		Файзуллоев М.			
		Хужакулов А.			

Вывод: при выборе типоразмера печи учитывалось условие наибольшего приближения, т.е. из всех типоразмеров с теплопроизводительностью, большей расчетной, выбирали тот, у которого она минимальна (с небольшим запасом).

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Дата</i>	<i>Подпись</i>		<i>Лист</i>
<i>Выполн.</i>		<i>Файзуллоев М.</i>				
<i>Руковод.</i>		<i>Хужакулов А.</i>				

3.4. Упрощенный расчет камеры радиации

Цель этого этапа расчета: определение температуры продуктов сгорания, покидающих топку, и фактической теплонапряженности поверхности радиантных труб.

Температуру продуктов сгорания, покидающих топку, находим методом последовательного приближения (метод итераций), используя уравнение:

$$T_n = 100 \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{\Psi} \cdot \left[\frac{1}{C_s} \cdot \frac{H_p}{H_s} (q_p - q_{pk}) + \left(\frac{\theta}{100} \right)^4 \right]},$$

где q_p и q_{pk} – теплонапряженность поверхности радиантных труб (фактическая) и приходящаяся на долю свободной конвекции, ккал/м²·ч;

H_p – поверхность нагрева радиантных труб, м² (см. табл. 5);

H_p/H_s – отношение поверхностей, зависящее от типа печи, от вида и способа сжигания топлива; принимаем $H_p/H_s = 3,05$;

θ – средняя температура наружной стенки радиантных труб, К;

Ψ – коэффициент, для топок со свободным факелом $\Psi = 1,2$;

$C_s = 4,96$ ккал/м²·ч·К – коэффициент лучеиспускания абсолютно черного тела.

Суть расчета методом итераций заключается в том, что мы задаемся температурой продуктов сгорания T_n , которая находится в пределах 1000÷1200 К, и при этой температуре определяем все параметры, входящие в уравнение для расчета T_n . Далее по этому уравнению вычисляется T_n и сравнивается полученное значение с ранее принятым. Если они не совпадают, то расчет возобновляется с принятием T_n , равной рассчитанной в предыдущей итерации. Расчет продолжается до тех пор, пока заданное и рассчитанное значения T_n не совпадут с достаточной точностью.

Для первой итерации принимаем $T_n = 1000$ К.

Средние массовые теплоемкости газов при данной температуре, кДж/кг·К:

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

$$C_{CO_2} = 1,06825 \quad ; \quad C_{H_2O} = 2,0514 \quad ;$$

$$C_{O_2} = 1,0071 \quad ; \quad C_{N_2} = 1,07915 \quad ; \quad C_{SO_2} = 0,7534 \quad .$$

Теплосодержание продуктов сгорания при температуре $T_n = 1000$ К:

$$I = (T_n - 273) \cdot (m_{CO_2} \cdot C_{CO_2} + m_{H_2O} \cdot C_{H_2O} + m_{O_2} \cdot C_{O_2} + m_{N_2} \cdot C_{N_2} + m_{SO_2} \cdot C_{SO_2});$$

$$I = (1000 - 273) \cdot (3,117 \cdot 1,06825 + 1,17 \cdot 2,0514 + 0,8271 \cdot 1,0071 + 13,6896 \cdot 1,07915 + 0,02 \cdot 0,7534) = 15522,21 \text{ кДж/кг.}$$

Максимальная температура продуктов сгорания определяется по формуле:

$$T_{\max} = T_0 + \frac{Q_p^H \cdot \eta_m}{\sum m_i \cdot C_i},$$

где T_0 – приведенная температура продуктов сгорания; $T_0 = 313$ К;

$$\eta_m = 0,96 \text{ – к.п.д. топки;}$$

$$T_{\max} = 313 + (42215,504 \cdot 0,96 / (3,117 \cdot 1,06825 + 1,17 \cdot 2,0514 + 0,8271 \cdot 1,0071 + 13,6896 \cdot 1,07915 + 0,02 \cdot 0,7534)) = 2211,12 \text{ К.}$$

Средние массовые теплоемкости газов при температуре T_{\max} , кДж/кг·К:

$$C_{CO_2} = 1,2286 \quad ; \quad C_{H_2O} = 2,4262 \quad ;$$

$$C_{O_2} = 1,0958 \quad ; \quad C_{N_2} = 1,1767 \quad ; \quad C_{SO_2} = 0,8527 \quad .$$

Теплосодержание продуктов сгорания при температуре T_{\max} :

$$I_{\max} = (T_{\max} - 273) \cdot \sum (m_i \cdot C_i);$$

$$I_{\max} = (2211,12 - 273) \cdot (3,117 \cdot 1,2286 + 1,17 \cdot 2,4262 + 0,8271 \cdot 1,0958 + 13,6896 \cdot 1,1767 + 0,02 \cdot 0,8527) = 45933,72 \text{ кДж/кг.}$$

Теплосодержание продуктов сгорания при температуре T_{yx} :

$$I_{yx} = q_{yx} = 5239,4 \text{ кДж/кг.}$$

Коэффициент прямой отдачи:

$$\mu = \frac{I_{\max} \cdot \eta_m - I}{I_{\max} \cdot \eta_m - I_{yx}} = \frac{45933,72 \cdot 0,96 - 15522,21}{45933,72 \cdot 0,96 - 5239,4} = 0,7354 \quad .$$

Фактическая теплонапряженность поверхности радиантных труб:

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
Выполн.		Файзуллоев М.				
Руковод.		Хужакулов А.				

$$q_p = \frac{Q_{пол.}}{H_p} \cdot \mu = \frac{107,57 \cdot 10^6 / 4,1868}{730} \cdot 0,7354 = 25882,71 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч.}$$

Температура наружной стенки экрана вычисляется по формуле:

$$\theta = t_{cp} + 273 + \frac{q_p}{\alpha_2} + \frac{q_p \cdot \delta}{\lambda} + \frac{q_p \cdot \delta_{зол.}}{\lambda_{зол.}},$$

где $\alpha_2 = 600 \div 1000 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{К}$ – коэффициент теплоотдачи от стенки к нагреваемому продукту; принимаем $\alpha_2 = 800 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{К}$;

δ – толщина стенки трубы, $\delta = 0,008 \text{ м}$;

$\lambda = 30 \text{ ккал/м} \cdot \text{ч} \cdot \text{К}$ – коэффициент теплопроводности стенки трубы;

$\delta_{зол.} / \lambda_{зол.}$ – отношение толщины к коэффициенту теплопроводности зольных отложений; для жидких топлив $\delta_{зол.} / \lambda_{зол.} = 0,002 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{К/ккал}$;

$$t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{130 + 350}{2} = 240 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ – средняя температура нагреваемого}$$

продукта;

$$\theta = 240 + 273 + \frac{25882,71}{800} + \frac{25882,71 \cdot 0,008}{30} + 25882,71 \cdot 0,002 = 604 \text{ К.}$$

Теплонапряженность поверхности радиантных труб, приходящаяся на долю свободной конвекции:

$$q_{p.к.} = 1,8 \cdot \sqrt[4]{(T_n - \theta) \cdot (T_n - \theta)};$$

$$q_{p.к.} = 1,8 \cdot \sqrt[4]{(1000 - 604) \cdot (1000 - 604)} = 3179,74 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч.}$$

Итак, температура продуктов сгорания, покидающих топку:

$$T_n = 100 \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{1,2} \cdot \left[\frac{1}{4,96} \cdot 3,05 \cdot (25882,71 - 3179,74) + \left(\frac{604}{100} \right)^4 \right]} = 1062,47 \text{ К.}$$

Как видим, рассчитанная T_n не совпадает со значением, принятым в начале расчета, следовательно расчет повторяем, принимая $T_n = 1062,47 \text{ К}$.

Результаты расчетов представлены в виде таблицы.

Таблица 6

№ итер	I,	T_{max} , К	I_{max} ,	μ	q_p ,	θ , К	$q_{p.к.}$,	T_n , К
--------	----	---------------	-------------	-------	---------	--------------	--------------	-----------

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

ации	$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$		$\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$		$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$		$\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}}$	
2	16978,0	2197,5	45574,6	0,6952	24467,9	599,1	3870,3	1038,43
3	16415,4	2202,7	45712,2	0,7108	25016,9	601,0	3601,1	1046,12
4	16638,2	2200,7	45658,0	0,7046	24798,7	600,2	3707,5	1045,81

Рассчитываем количество тепла, переданное продукту в камере радиации:

$$Q_p = (Q_p^H \cdot \eta_m - q_{t_n}) \cdot B ;$$

$$Q_p = (42215,504 \cdot 0,96 - 16638,2) \cdot 3107,46 = 74,23 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч.}$$

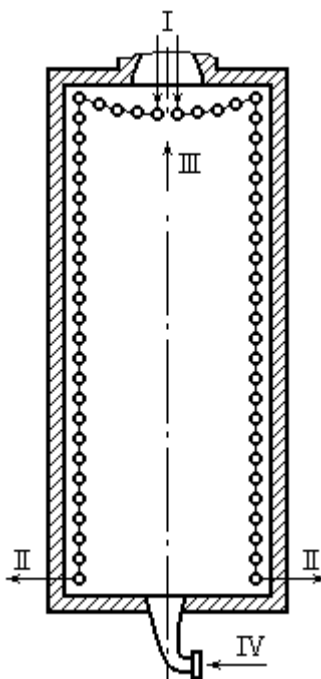


Схема камеры радиации трубчатой печи:

I – сырье (ввод); II – сырье (выход); III – продукты сгорания топлива;

IV – топливо и воздух.

Выводы: 1) рассчитали температуру продуктов сгорания, покидающих топку, при помощи метода последовательного приближения; ее значение $T_n = 1045,81 \text{ К}$;

2) фактическая теплонапряженность поверхности радиантных труб при этом составила $q_p = 24798,7 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч}$;

3) сравнивая полученное значение фактической теплонапряженности с

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
Выполн.		Файзуллоев М.				
Руковод.		Хужакулов А.				

допускаемым для данной печи $q_{дон.} = 35 \text{ Мкал/м}^2 \cdot \text{ч}$, можно сказать, что наша печь работает с недогрузкой.

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Дата</i>	<i>Подпись</i>		<i>Лист</i>
<i>Выполн.</i>		<i>Файзуллоев М.</i>				
<i>Руковод.</i>		<i>Хужакулов А.</i>				

3.5. Расчет диаметра печных труб

Цель этапа: по результатам расчета выбрать стандартные размеры труб (диаметр, толщину и шаг).

Объемный расход нагреваемого продукта рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{G_c \cdot 1000}{24 \cdot 3600 \cdot \rho_t},$$

где G_c – производительность печи по сырью, т/сут.;

ρ_t – плотность продукта при средней температуре, кг/м³;

$$\rho_t = (\rho_4^{20} - \alpha \cdot (t_{cp} - 20)) \cdot 1000,$$

где α – температурная поправка;

$$\alpha = 0,001828 - 0,00132 \cdot \rho_4^{20} = 0,00128 - 0,00132 \cdot 0,9 = 0,00064;$$

$$\rho_t = (0,9 - 0,00064 \cdot (240 - 20)) \cdot 1000 = 759,2 \text{ кг/м}^3.$$

Подставляя, получим:

$$V = \frac{3800 \cdot 1000}{24 \cdot 3600 \cdot 759,2} = 0,058 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Площадь поперечного сечения трубы определяется уравнением:

$$S = \frac{V}{n \cdot W} = \frac{\pi \cdot d_{вн}^2}{4},$$

где $n = 2$ – число потоков;

W – допустимая линейная скорость продукта, $W = 2$ м/с;

$d_{вн}$ – расчетный внутренний диаметр трубы, м.

Из этого уравнения находим:

$$d_{вн} = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{n \cdot \pi \cdot W}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,058}{2 \cdot 3,14 \cdot 2}} = 0,136 \text{ м}.$$

Из стандартных значений выбираем диаметр трубы $d_{вн} = 0,152$ м.

Таблица 7

Характеристики печных труб и фитингов

Диаметр трубы, м	Толщина стенки трубы, м	Шаг между осями труб, м
---------------------	----------------------------	----------------------------

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

		Фитинги	Ретурбенты
0,152	0,008	0,275	0,301

Определяем фактическую линейную скорость нагреваемого продукта:

$$W = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot n \cdot d_{\text{вн}}^2} = \frac{4 \cdot 0,058}{3,14 \cdot 2 \cdot 0,152^2} = 1,6 \text{ м/с.}$$

Вывод: на данном этапе расчета вычислили диаметр печных труб, по нему выбрали стандартный диаметр, толщину и шаг труб, и, исходя из стандартного диаметра, рассчитали фактическую линейную скорость нагреваемого продукта.

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
Выполн.		Файзуллоев М.				
Руковод.		Хужакулов А.				

3.6. Расчет камеры конвекции

Цель данного этапа: расчет поверхности конвекционных труб и проведение анализа эффективности работы камеры конвекции.

Поверхность конвекционных труб определяется по уравнению:

$$H_{\kappa} = \frac{Q_{\kappa}}{K \cdot \Delta t_{cp}},$$

где Q_{κ} – количество тепла, воспринятое конвекционными трубами;

K – коэффициент теплопередачи от дымовых газов к нагреваемому продукту;

Δt_{cp} – средняя разность температур.

$$Q_{\kappa} = Q_{пол.} - Q_{p} = 107,57 \cdot 10^6 - 74,23 \cdot 10^6 = 33,34 \cdot 10^6 \text{ кДж/ч.}$$

Средняя разность температур определяется по формуле:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{m}}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{m}}},$$

где $\Delta t_{\delta} = (t_n - t_{\kappa})$, $\Delta t_{m} = (t_{yx.} - t_1)$ – соответственно большая и меньшая разности температур;

t_{κ} – температура продукта на выходе из камеры конвекции, которая находится путем решения квадратичного уравнения вида:

$$a \cdot t_{\kappa}^2 + b \cdot t_{\kappa} - c = 0,$$

где $a = 0,000405$; $b = 0,403$; c – соответственно коэффициенты уравнения.

Коэффициент c вычисляется следующим образом:

$$c = \frac{q_{t_{\kappa}} \cdot \sqrt{0,9952 \cdot \rho_4^{20} + 0,00806}}{4,1868},$$

где $q_{t_{\kappa}}$ – теплосодержание продукта при температуре t_{κ} :

$$q_{t_{\kappa}} = q_{t_1} + \frac{Q_{\kappa} \cdot 24}{G_c \cdot 1000} = 260,877 + \frac{33,34 \cdot 10^6 \cdot 24}{3800 \cdot 1000} = 471,445 \text{ кДж/кг;}$$

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

$$c = \frac{471,445 \cdot \sqrt{0,9952 \cdot 0,9 + 0,00806}}{4,1868} = 107,05 .$$

Решению квадратичного уравнения удовлетворяет только значение одного корня, так как второй корень, принимающий отрицательное значение, не имеет физического смысла:

$$t_{\kappa_1} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-0,403 + \sqrt{0,403^2 - 4 \cdot 0,000405 \cdot (-107,05)}}{2 \cdot 0,000405} = 218 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Находим большую, меньшую и среднюю разности температур:

$$\Delta t_{\delta} = (1045,81 - 273) - 218 = 554,81 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{\mu} = 260 - 130 = 130 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{554,81 - 130}{2,3 \cdot \lg \frac{554,81}{130}} = 292,85 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Коэффициент теплопередачи в камере конвекции определяется уравнением:

$$K = \alpha_1 = 1,1 \cdot (\alpha_{\kappa} + \alpha_p),$$

где α_1 , α_{κ} , α_p – соответственно коэффициенты теплоотдачи от газов к стенке, конвекцией, излучением трехатомных газов.

α_p определяют по эмпирическому уравнению Нельсона:

$$\alpha_p = 0,0256 \cdot (t_{cp} - 273) - 2,33 ,$$

где t_{cp} – средняя температура дымовых газов в камере конвекции:

$$t_{cp} = \frac{T_n - T_{yx}}{2,3 \cdot \lg \frac{T_n}{T_{yx}}} = \frac{1045,81 - 533}{2,3 \cdot \lg \frac{1045,81}{533}} = 761,4 \text{ } \text{K};$$

$$\alpha_p = 0,0256 \cdot (761,4 - 273) - 2,33 = 10,1716 \text{ } \text{Вт/м}^2 \cdot \text{град}.$$

α_{κ} определяется следующим образом:

$$\alpha_{\kappa} = 0,35 \cdot E \cdot \frac{U^{0,6}}{d^{0,4}} ,$$

где E – коэффициент, зависящий от свойств топочных газов, значение

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
Выполн.		Файзуллоев М.				
Руковод.		Хужакулов А.				

которого определяем методом линейной интерполяции, используя табличные данные зависимости его от t_{cp} ; принимаем $E = 21,248$;

d – наружный диаметр труб:

$$d = d_{\text{вн}} + 2 \cdot \delta = 0,152 + 2 \cdot 0,008 = 0,168 \text{ м};$$

U – массовая скорость движения газов, определяемая по формуле:

$$U = \frac{B \cdot G}{3600 \cdot f},$$

где B – часовой расход топлива, кг/ч;

G – количество продуктов сгорания, образующихся при сжигании 1 кг топлива, кг/кг;

f – свободное сечение прохода дымовых газов в камере конвекции:

$$f = [(n - 1) \cdot S_1 + 2 \cdot a - n \cdot d] \cdot l_p,$$

где $n = 2$ – число труб в одном горизонтальном ряду;

S_1 – расстояние между осями этих труб; $S_1 = 0,275$ м;

l_p – рабочая длина конвекционных труб; $l_p = 18$ м;

a – характерный размер для камеры конвекции:

$$a = \frac{S_1}{2} = \frac{0,275}{2} = 0,1375 \text{ м.}$$

$$f = [(2 - 1) \cdot 0,275 + 2 \cdot 0,1375 - 2 \cdot 0,168] \cdot 18 = 3,852 \text{ м}^2.$$

Рассчитываем массовую скорость движения газов:

$$U = \frac{3107,46 \cdot 18,825}{3600 \cdot 3,852} = 4,218 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с.}$$

Коэффициент теплоотдачи конвекцией:

$$\alpha_k = 0,35 \cdot 21,248 \cdot \frac{4,218^{0,6}}{0,168^{0,4}} = 36,002 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град.}$$

Коэффициент теплопередачи от дымовых газов к нагреваемому продукту:

$$K = 1,1 \cdot (36,002 + 10,1716) = 50,791 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град.}$$

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
Выполн.		Файзуллоев М.				
Руковод.		Хужакулов А.				

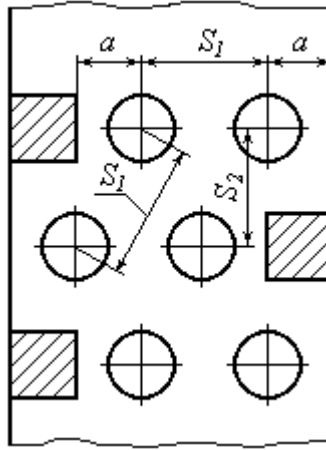


Схема расположения труб

Таким образом, поверхность конвекционных труб:

$$H_{\kappa} = \frac{33,34 \cdot 10^6}{50,791 \cdot 292,85 \cdot 3,6} = 622,63 \text{ м}^2.$$

Определяем число труб в камере конвекции:

$$N_{\kappa} = \frac{H_{\kappa}}{\pi \cdot d \cdot l_p} = \frac{622,63}{3,14 \cdot 0,168 \cdot 18} = 65,54 \approx 66 \text{ шт.}$$

Число труб по вертикали:

$$m = \frac{N_{\kappa}}{n} = \frac{66}{2} = 33 \text{ шт.}$$

Высота пучка труб в камере конвекции определяется по формуле:

$$h_{\kappa} = (m - 1) \cdot S_2, \text{ труб в камере конвекции.}$$

где S_2 – расстояние между горизонтальными рядами труб:

$$S_2 = S_1 \cdot \sqrt{0,75} = 0,275 \cdot \sqrt{0,75} = 0,238 \text{ м};$$

$$h_{\kappa} = (33 - 1) \cdot 0,238 = 7,62 \text{ м.}$$

Рассчитаем среднюю теплонапряженность конвекционных труб:

$$Q_{\text{нк}} = \frac{Q_{\kappa}}{H_{\kappa}} = \frac{33,34 \cdot 10^6}{622,63 \cdot 3,6} = 14874,2 \text{ Вт/м}^2.$$

Выводы: 1) рассчитали поверхность нагрева конвекционных труб, получив следующий результат: $H_{\kappa} = 622,63 \text{ м}^2$;

2) определили значение средней теплонапряженности конвекционных

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
Выполн.		Файзуллоев М.				
Руковод.		Хужакулов А.				

труб, оно составило $Q_{нк} = 14874,2 \text{ Вт/м}^2$, что несколько выше допустимого значения (13956 Вт/м^2), а значит камера конвекции работает с высокой эффективностью, но может быть нарушена нормальная работа печи (например, прогар труб); чтобы уменьшить теплонапряженность, можно увеличить поверхность конвекционных труб, т.е. увеличить их количество.

Предварительно принимаем высоту трубы $h = 30 \text{ м}$.

При этом потери напора на трение при движении газов в дымовой трубе:

$$\Delta P_{тр.}'' = 0,01984 \cdot \frac{30}{2,0} \cdot \frac{8^2}{2} \cdot 0,6772 = 6,45 \text{ Па.}$$

Общие потери напора на трение в дымовой трубе:

$$\Delta P_{тр.} = 28,17 + 6,45 = 34,62 \text{ Па.}$$

Общее сопротивление всего газового тракта:

$$\Delta P_{общ.} = 40 + 80 + 85,92 + 34,62 = 240,54 \text{ Па.}$$

Расчетная высота дымовой трубы:

$$h = \frac{240,54}{9,8 \cdot \left(\frac{1,293 \cdot 273}{303} - 0,6772 \right)} = 50,32 \text{ м.}$$

Расчетная высота не совпадает с принятой ранее, следовательно, делаем пересчет, принимая высоту $h = 50,32 \text{ м}$.

Результаты последующих расчетов представим в виде таблицы.

Таблица 9

№ итерации	$h_{зад},$ м	$\Delta P_{тр.}''$, Па	$\Delta P_{тр.}$, Па	$\Delta P_{общ.}$, Па	$h_{расч.}$, м
2	50,32	10,82	39,00	244,92	51,24
3	51,24	11,02	39,19	245,10	51,27

Выводы: определили геометрические размеры дымовой трубы: ее диаметр, округленный до стандартного, составил $D = 2,0 \text{ м}$; высота трубы, рассчитанная методом последовательного приближения, имеет значение $h = 51,27 \text{ м}$.

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись	Лист
Выполн.		Файзуллоев М.			
Руковод.		Хужакулов А.			

4.1. Охрана труда и техника безопасности на производстве

Охрана труда и техника безопасности – это комплекс методов, разработанных и направленных на охрану здоровья и безопасности сотрудников предприятий в процессе выполнения ими их рабочих обязанностей в рабочее время, а также при работе сотрудников с различным оборудованием. Охрана труда и техника безопасности регулируется рядом различных нормативно-правовых, законодательных актов, в том числе Трудовым Кодексом Республики Узбекистан, реализация данного направления обеспечивается согласованными совместными действиями органов власти Республики, субъектами органов власти Республики, органами местного самоуправления, работодателями, их объединениями, профсоюзами и другими уполномоченными лицами представительных органов по охране труда.

Обеспечение охраны труда на предприятиях и контроль над ней

Охрана труда на различных предприятиях обеспечивается комплексом мероприятий, которые направлены на исключение или снижение случаев травматизма, а также на снижение и устранение рисков возникновения несчастных случаев. С этой целью на предприятии функционируют службы по охране труда и лица, несущие ответственность за инструктаж и проведение обучения сотрудников технике безопасности и осуществляющие контроль над выполнением правил и норм безопасности, которые взаимодействуют с работодателем, инспекцией по труду и профсоюзами.

Техника безопасности как метод исключения производственного травматизма на предприятиях

Техника безопасности – это комплекс мероприятий организационно-технического характера, которые направлены на создание безопасных условий труда на предприятии, позволяя снизить или исключить производственный травматизм. Для этого проверяют исправность

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Дата</i>	<i>Подпись</i>		<i>Лист</i>
<i>Выполн.</i>		<i>Файзуллоев М.</i>				
<i>Руковод.</i>		<i>Хужакулов А.</i>				

действующего оборудования, защитных приспособлений к машинам, станкам, нагревательным установкам. Оптимизируют с целью безопасности условия работы, обеспечивая хорошую освещенность рабочих мест и производственных помещений, хорошую вентиляцию, своевременное удаление пыли и отходов производства, поддержание нормальной температуры в помещениях. Лицом, ответственным за выполнение условий безопасности труда на предприятии, проводится инструктаж по правилам техники безопасности на предприятии в целом и при работе с конкретным оборудованием, обучение персонала и проверка знаний о правилах безопасности. Также охрана труда на предприятии включает в себя обеспечение персонала инструкциями по технике безопасности, оснащение рабочих мест плакатами и наглядными пособиями по работе с оборудованием и изображениями, визуализирующими наиболее опасные места на производстве и действия, предотвращающие производственный травматизм.

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Дата</i>	<i>Подпись</i>		<i>Лист</i>
<i>Выполн.</i>		<i>Файзуллоев М.</i>				
<i>Руковод.</i>		<i>Хужакулов А.</i>				

4.2. Требования по технике безопасности к сотрудникам предприятия

Чтобы снизить производственный травматизм, сотрудники также обязаны придерживаться определенных требований и правил поведения на рабочем месте, которые предусматривает техника безопасности:

- надевать спецодежду, которая должна быть в полном порядке, а также рабочую обувь;
- перед началом работы подготовить рабочее место, освободить его для работы, проверить освещенность и исправность оборудования;
- убедиться, что пол на рабочем месте в исправности, не скользит, и нет на полу посторонних предметов, об которые можно споткнуться;
- во время работы с конкретным видом оборудования пользоваться защитными приспособлениями – перчатками, очками, сетками и другими;
- не наклоняться близко к работающему оборудованию и пользоваться технологическими картами.

Основные правила безопасного ведения технологического процесса

Выполнение следующих правил безопасного ведения процесса, связанных с ним работ исключает возможность аварии, взрывы, пожары, травмирование людей, нарушение технологического режима.

Лица, допускаемые к производству, работ должны быть проинструктированы и обучены безопасным приемам работы, сдать экзамены и иметь при себе соответствующее удостоверение. При введении новых технологических процессов и методов труда, видов оборудования и механизмов, а также правил и инструкций, должен проводиться дополнительный инструктаж.

Не допускается загромождение и загрязнение производственных площадок, помещений, оборудования, проездов, дорог в местах где запрещен проезд транспорта должны быть вывешены предупредительные надписи и

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Дата</i>	<i>Подпись</i>		<i>Лист</i>
<i>Выполн.</i>		<i>Файзуллоев М.</i>				
<i>Руковод.</i>		<i>Хужакулов А.</i>				

знаки, дренажные и канализационные колодцы должны быть надежно закрытыми или огражденными.

Систематически должны производиться осмотр и проверка производственного оборудования и своевременный его ремонт согласно графика ППР. Каждое действующее оборудование, аппараты, сосуды должны быть оснащены полным комплектом приспособлений, приборов, предусмотренных проектом или ГОСТом.

Не допускается работа производственного оборудования с нарушением параметров, установленных технологической картой или технологическими условиями и инструкциями.

Изменения в технологическую карту (регламент) разрешается вносить только после письменного указания главного инженера предприятия, причем они должны соответствовать рабочим параметрам, указанным в паспорте оборудования.

Эксплуатация трубопроводов, оборудования, аппаратов, сосудов при не герметичности фланцевых соединений или трещин по целому материалу - запрещается, также не допускается проведение на них любых ремонтных работ при их работе.

Производственные помещения должны быть обеспечены вентиляцией, создающей в зоне пребывания рабочих состояние воздушной среды, соответствующее санитарным нормам. Эффективность вентиляционных установок проверяется систематически, один раз в год. При вынужденной остановке вентиляционных установок должны быть приняты меры по обеспечению санитарного состояния воздушной среды, согласно санитарных норм СНИП.

В инструкциях по эксплуатации вентиляционных установок перечисляются особые указания о мерах, принимаемых персоналом при внезапной загазованности или возникновении пожара.

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Дата</i>	<i>Подпись</i>		<i>Лист</i>
<i>Выполн.</i>		<i>Файзуллоев М.</i>				
<i>Руковод.</i>		<i>Хужакулов А.</i>				

Во избежание распространения пожара в сети промливневой канализации во время возгорания нефтепродуктов или пожара на производственной площадке, на канализационных сетях промстоков и производственно-ливневых стоках устанавливаются гидрозатворы.

Объекты энергоснабжения должны обслуживаться электротехническим персоналом имеющим соответствующую группу допуска. Напряжение на электрооборудование должно подаваться и сниматься дежурным электроперсоналом по указанию ответственного за эксплуатацию этого оборудования или старшего по смене. При возникновении пожара на электрооборудовании напряжение должно быть немедленно снято.

Отогревание оборудования и трубопроводов в зимнее время может производиться только паром или горячей водой.

Предохранительная арматура на аппаратах должна соответствовать предъявленным требованиям “Правил устройства и безопасной эксплуатации аппаратов, работающих под давлением”.

Пуск и работа установки с неисправной системой пожаротушения запрещается.

Все сооружения установок, в зависимости от категории, должны быть надежно заземлены при помощи заземляющих устройств от прямых ударов, вторичных проявлений молнии и статического электричества.

Оборудование, подлежащее вскрытию и ремонту, должно быть выведено из работы, освобождено от продукта, оглушено, пропарено, промыто водой и проветрено. Все подводящие трубопроводы к ремонтируемому оборудованию должны быть оглушены. Промывка водой неостывшего оборудования недопустимо. Производство работ на отключенном оборудовании и трубопроводе, разрешается только по получению анализа газовой смеси. Работы по очистке оборудования аппаратов, сосудов от шлама должны производиться только в шланговых противогазах с дублером бригадой не менее 2-х человек. Для внутреннего

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
	Выполн.	Файзуллоев М.				
	Руковод.	Хужакулов А.				

освещения аппарата, сосуда должны применяться светильники во взрывозащищенном исполнении, с напряжением не выше 12В.

Запрещается допуск к газоопасным работам лиц, не обученных безопасным приемам ведения работ, способам оказания первой доврачебной помощи пострадавшим.

Газоопасные работы должны выполняться только при наличии наряд-допуска и в присутствии ответственного за проведение газоопасных работ.

Необходимо вести постоянный контроль за состоянием газовой среды, немедленно прекратить работу при загазованности выше допустимой концентрации.

Перед допуском к работе по обслуживанию блоков реагент-деэмульгатора обслуживающий персонал должен быть проинструктирован и ознакомлен с инструкциями безопасности труда. Работы, связанные с химреагентом, должны производиться строго в спецодежде, защищающей тело, руки, ноги.

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Дата</i>	<i>Подпись</i>		<i>Лист</i>
<i>Выполн.</i>		<i>Файзуллоев М.</i>				
<i>Руковод.</i>		<i>Хужакулов А.</i>				

Заключение

В данном дипломном работе была произведена технология производства сера и расчет основного оборудованиe, которая была выбрана трубчатая печь для осушки природного газа на последней стадии производства.

Работа состоял из следующих частей: технической, технологической, расчетной, охрана труда и техника безопасности.

В технической части говорится об сера и их технических характеристик, а также применение их в различных процессах.

В технологическом части приводится технологическая схема установки производства синтетического цеолита и описание её, обсуждается основной аппарат - трубчатая печь, также приводится описание лабораторной установки.

Расчет состоял из восьми этапов, на каждом из которых были получены данные, необходимые для того, чтобы спроектировать нашу трубчатую печь. Так, результатом расчетов первых двух этапов (расчет процесса горения топлива и расчет к.п.д. печи и расхода топлива) стала полная тепловая нагрузка, значение которой $Q_m = 36,44$ МВт. По этому значению в следующем этапе был подобран типоразмер печи, была выбрана печь типа СКГ1 с поверхностью нагрева радиантных труб 730 м^2 , рабочей длиной 18 м и допустимым теплонапряжением $35 \text{ Мкал/м}^2 \cdot \text{ч}$. В печах данного типа могут быть использованы горелки двух типов – ГГМ-5 или ГП. Мы выбрали горелки типа ГП. Далее, в этапе расчета камеры радиации, нашли фактическое теплонапряжение радиантных труб $q_p = 24,8 \text{ Мкал/м}^2 \cdot \text{ч}$, которое, как видим, не превышает допустимое значение, т.е. проектируемая печь работает с недогрузкой. В пятом этапе рассчитали диаметр печных труб, округлили до стандартного значения и определили соответствующие ему толщину стенки и шаг между осями труб. Расчет камеры конвекции (шестой этап), кроме всего прочего, дал нам ее высоту $h_k = 7,616$ м. Высота камеры

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
Выполн.		Файзуллоев М.				
Руковод.		Хужакулов А.				

радиации (топки) $h_T = 11,09$ м была определена в следующем этапе (гидравлический расчет змеевика). Таким образом, общая высота печи составляет 18,706 м. Это фактически соответствует табличному значению (22 м), если учитывать, что печь поднята над фундаментом на высоту до 2 м. В последнем этапе был проведен аэродинамический расчет дымовой трубы, получены ее размеры: диаметр, округленный до стандартного, $D = 2$ м и высота $h = 51,27$ м.

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ Документа</i>	<i>Дата</i>	<i>Подпись</i>		<i>Лист</i>
<i>Выполн.</i>		<i>Файзуллоев М.</i>				
<i>Руковод.</i>		<i>Хужакулов А.</i>				

Список использованных литератур

1. Вольфкович С.И. и др. Общая химическая технология. - Л.: «Химия», 1953. -Т-1. - 630 с.
2. Уильям Л. Лефлер Переработка нефти. - М.: ЗАО «Олимп бизнес», 2003. - 233 с.
3. Черножуков Н.И. Технология переработки нефти и газа. - М.: «Химия», 1979. - 410 с.
4. Эрх В.Н. Химия нефти и газа. - Л.: «Химия», 1969. - 284 с.
5. Скобло А.И., Трегубова И.А., Молоканов Ю.К. Процессы и аппараты нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. - М.: Химия, 1982. - 584 с.
6. Технологический расчет трубчатой печи на ЭВМ: Методические указания к лабораторным и практическим занятиям, курсовому и дипломному проектированию / Составитель Зиганшин Г.К., Уфа: Изд. УГНТУ, 1997. - 100 с.
7. Кузнецов А.А., Кагерманов С.М., Судаков Е.Н., Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности. - Л.: Химия, 1974. - 344 с.
8. Трубчатые печи: Каталог / Составители Бакшалов В.Е., Дребенцов В.Ф., Калинина Т.Г., Сметанкина Н.И., Ширман Е.И. - М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1985. - 34 с.

Изм.	Лист	№ Документа	Дата	Подпись		Лист
Выполн.		Файзуллоев М.				
Руковод.		Хужакулов А.				