

РЕФЕРАТ

Дипломная работа 210 страниц, 25 рисунков, 18 таблиц, 31 источников, 9 листов графического материала.

Ключевые слова: контактный аппарат, механическая устойчивость, тепловой расчет, сера, серная кислота

Объектом исследования является контактно-компрессорное отделение по производству серной кислоты мощностью 500000 т/год

Цель работы — подбор и проведение поверочного расчета основного технологического оборудования при увеличении производительности на 10%.

В результате расчетов установлено, что при росте планов на переработку серной кислоты на 10% подобранный контактный аппарат сохраняет механическую прочность и обеспечивает бесперебойное течение процесса. Также были рассмотрены следующие вопросы: описание ныне действующей технологической схемы и принцип работы контактного аппарата. В разделе «социальная ответственность» описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования), отбор законодательных и нормативных документов по теме, анализ выявленных опасных и вредных факторов проектируемой производственной среды, охрана окружающей среды, правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. Разработаны мероприятия по ведению безопасного технологического процесса. В разделе «финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» произведен расчет и сравнительный анализ себестоимости до и после повышения производительности получаемого продукта.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Техно экономическое обоснование	4
2 Теоретические основы переработки серной кислоты	5
2.1 Свойства серной кислоты	5
2.2 Технические требования на серную кислоту	6
2.3 Порядок приёма и отгрузки серной кислоты	7
2.4 Требования безопасности	8
3 Аналитический обзор.....	8
3.1 Контактный способ получения серной кислоты	8
3.2 Факторы, влияющие на эффективность контактного способа получения серной кислоты	10
3.3 Контактные аппараты.....	11
4 Постановка задачи	13
5 Технологическая часть.....	14
5.1 Описание технологического процесса и технологической схемы	14
5.1.1 Описание технологического процесса	14
5.1.2 Описание технологической схемы. Окисление диоксида серы (SO ₂) в триоксид серы (SO ₃)	14
5.2 Исходные данные к проектируемой установке	19
5.2.1 Характеристика исходного сырья, реагентов, продукции.....	19
6. Технологический расчет контактного аппарата	24
7. Конструктивный расчет	133
7.1 Определение габаритных размеров аппарата	133
7.2 Определение диаметров патрубков	136
8. Механический расчет	136
8.1 Расчет толщин стенок.....	138
8.1.1 Расчет цилиндрической обечайки на устойчивость.....	139
8.2 Расчет фланцевого соединения	147
8.3 Расчет тарелок для слоев контактного аппарата	156
8.4 Укрепление отверстий.....	158
9 Технология машиностроения	166
10 Методы контроля и метрологическое обеспечение производства	176
11 Социальная ответственность	186
12 Финансовый менеджмент. Ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	199
Список используемой литературы.....	211

ВВЕДЕНИЕ

Алмалыкский горно-металлургический комбинат – это крупнейшее в Узбекистане промышленное предприятие, которое не только производит самую различную продукцию, но и является своеобразным полигоном для освоения современного высокопроизводительного оборудования и новых технологических процессов.

В нашей дипломной работе мы рассматриваем контактно-компрессорное отделение по производству серной кислоты

В процессе переработки серной кислоты, которая обладает высокой химической активностью, относится к сильным электролитам, непосредственно реагирует с металлами и аммиаком, с ценным продуктом так же образуются соли. При воздействии на соли она вытесняет также сильные, но не летучие кислоты. Наличие данных веществ значительно затрудняют транспортировку, хранение и переработку серной кислоты, приводят в негодность трубопроводы и аппаратуру и вызывают дополнительные материальные затраты.

Выбор оборудования, которым снабжен цех по переработке серной кислоты, определяется физико-химическими свойствами подготавливаемого сырья и материалов.

При росте планов на переработку серной кислоты и, соответственно, росте объемов производства серной кислоты возрастает нагрузка на оборудование переработки серной кислоты.

По отделению СК-3 сернокислотного цеха план перерабатываемой серной кислоты на конец 2015 года превышает заложенную в проекте максимально ожидаемую производительность на 10%.

В связи с этим возникает необходимость произвести технологический, механический и экономический расчёт основного оборудования на предмет повышения производительности

1 Технико экономическое обоснование

В существующих экономических условиях, в которых находится Республика Узбекистан, переработка серной кислоты является одной из перспективных отраслей промышленности.

В узбекской серно-кислотной промышленности на данный момент Алмалыкский горно-металлургический комбинат –единственное крупнейшее предприятие.

Алмалыкский горно-металлургический комбинат (АГМК) закончил разработку предварительного технико-экономического обоснования проекта по строительству нового сернокислотного цеха на медеплавильном заводе общей стоимостью \$46 млн. Реализация данного проекта, позволила увеличить мощность данного производства в 2,8 раза до 500 тысяч тонн серной кислоты в год. При росте планов на переработку серной кислоты и, соответственно, росте объемов производства серной кислоты так же возрастает нагрузка на оборудование по подготовке сырья и материалов. Поэтому проблема, являющейся темой данной выпускной квалифицированной работы, — выяснение возможности использования эксплуатируемого оборудования во все возрастающих объемах производства – является актуально и жизненно необходимой.

По отделению СК-3 сернокислотного цеха план перерабатываемой серной кислоты на конец 2015 года превышает заложенную в проекте максимально ожидаемую производительность на 10%.

В производстве используются следующие виды оборудования:

- нагнетатель сборный
- теплообменники
- аппарат контактный
- насосы
- бункеры
- фильтр – брызгоулавливатель.

Основными аппаратами на данной установке является контактный аппарат.

2 Теоретические основы переработки серной кислоты

2.1 Свойства серной кислоты

Серная кислота представляет собой химическое соединение серного ангидрида с водой. Ёе химическая формула H_2SO_4 , молекулярный вес 98,08 g/mol. Безводная серная кислота по внешнему виду представляет собой бесцветную прозрачную маслянистую жидкость, плотность при температуре 20°C равна 1,8305 т/м³. Температура кристаллизации безводной серной кислоты равна 10,45°C. При температуре 296,2°C безводная серная кислота начинает кипеть с разложением до образования смеси, содержащей 98,3% H_2SO_4 и 1,7% воды и кипящей при температуре 336,5°C.

Серная кислота смешивается во всех отношениях с водой, образуя растворы различной концентрации и способна при определенных условиях растворять в себе неограниченное количество триоксида серы. Растворение кислоты в воде, и воды в кислоте, происходит с большим выделением тепла.

В зависимости от концентрации SO_3 находятся все свойства серной кислоты: плотность, температура кипения и кристаллизации, упругость и состав паров, вязкость, удельная теплоёмкость и электропроводность, коррозионная способность и др.

Товарные сорта серной кислоты представляют собой растворы серной кислоты в воде.

Серная кислота обладает высокой химической активностью, относится к сильным электролитам, непосредственно реагирует с металлами и аммиаком, образуя соли, при воздействии на соли она вытесняет также сильные, но не летучие кислоты. Серная кислота хорошо соединяется с водой и является в ряде процессов катализатором.

Серная кислота находит применение во многих отраслях народного хозяйства:

- в производстве азотной, соляной и плавиковой кислот;
- сернокислых солей меди, цинка, магния, железа;
- в производстве взрывчатых веществ, киноплёнки, в нефтяной, коксохимической, металлургической, гидролизной, текстильной, кожевенной, пищевой, промышленности, в производстве аккумуляторов, искусственного и синтетического волокна и других отраслях.

Наиболее крупным потребителем серной кислоты является промышленность по производству минеральных удобрений.

Из отделения СК-3 серная кислота отгружается главным образом на ОАО «Аммофос», где используется для производства экстракционной фосфорной кислоты.

2.2 Технические требования на серную кислоту

Отделение СК-3 выпускает серную кислоту в соответствии с требованиями ГОСТ 2184-77 с изм. 1,2,3,4, согласно которому она должна соответствовать следующим показателям, изложенным в таблице 1

Таблица 1

Наименование показателя	Норма			
	Улучшенная	Техническая		Башенная
		1 сорт	2 сорт	
1	2	3	4	5
Массовая доля моногидрата (H ₂ SO ₄), %	92,5÷94,0	Не менее 92,5		Не менее 75,0
Массовая доля железа (Fe), % не более	0.006	0.02		0.05
Массовая доля остатка после прокаливании, % не более	0.02	0.05	Не нормируется	0.3
Массовая доля окислов азота (N ₂ O ₃), % не более	0.00005	Не нормируется		0.05
Массовая доля мышьяка (As), % не более	0.00008	Не нормируется		
Массовая доля свинца (Pb), % не более	0,001	Не нормируется		
Массовая доля хлористых соединений (Cl), % не более	0,0001	Не нормируется		

Цвет в 1 см ³ раствора сравнения, не более	1	Не нормируется
Прозрачность	прозрачная без разбавления	Не нормируется
Массовая доля нитросоединений, % не более	Не нормируется	

2.3 Порядок приёма и отгрузки серной кислоты

Серная кислота принимается партиями. Партией считают количество продукта, однородного по своим качественным показателям, сопровождаемого одним документом о качестве. При отгрузке продукции в цистернах или контейнерах за партию принимается не более 10 цистерн или контейнеров, а для контактной улучшенной кислоты и улучшенного олеума – не более одной цистерны или одного контейнера. Размер партии при отгрузке продукции в бочках – не более 20 t. При транспортировке серной кислоты по трубопроводу партией считают сменную выработку.

Документ о качестве должен содержать:

- наименование предприятия-изготовителя и (или) его товарный знак;
- наименование продукта, его вид, марку и сорт;
- обозначение настоящего стандарта;
- номер партии;
- номер цистерны, контейнера;
- дату отгрузки;
- массу нетто;
- результаты анализа или подтверждение о соответствии качества продукта требованиям настоящего стандарта;
- подпись или штамп службы технического контроля.

Допускается готовой продукцией считать серную кислоту, залитую в ёмкость на складе и принятую в установленном порядке службой технического контроля предприятия-изготовителя.

Допускается результаты анализов серной кислоты, находящейся в ёмкости на складе изготовителя, распространять на все формируемые из неё партии.

При получении неудовлетворительных результатов анализа хотя бы по одному из показателей проводят повторный анализ на удвоенном количестве проб, взятых из той же партии (для цистерн, контейнеров, резервуаров) или на удвоенной выборке (для бочек). Результаты повторного анализа распространяются на всю партию.

2.4 Требования безопасности

Серная кислота пожаро- и взрывобезопасна, пары токсичны, предельно допустимая доля паров серной кислоты в воздухе рабочей зоны 1 mg/m^3 .

При попадании на кожу человека серная кислота вызывает ссыльные, долго не заживающие ожоги, а при попадании в глаза – возможна потеря зрения.

При работе с серной кислотой необходимо одевать очки, резиновые перчатки, спецодежду и противогаз марки «БКФ» или «В».

3 Аналитический обзор

3.1 Контактный способ получения серной кислоты

Контактный способ получения серной кислоты был известен еще с первой половины XIX в.

Контактный способ получения серной кислоты является одним из самых старых, а потому наиболее хорошо изученных промышленных каталитических процесс в, многие теоретические обобщения, сделанные при его разработке и усовершенствовании, справедливы и для других процессов гетерогенного катализа

Сущность *контактного способа получения серной кислоты* состоит в том, что сернистый ангидрид SO_2 сравнительно легко присоединяет кислород в присутствии катализаторов.

Преимущество *контактного способа получения серной кислоты* по сравнению с нитрозным заключается прежде всего в том, что он дает возможность получать серную кислоту и олеум любой крепости. При работе с сернистым газом, полученным из серного колчедана, контактный способ требует более сложной аппаратуры, так как необходима тщательная очистка сернистого газа от примесей перед вводом его в контактный аппарат.

В *контактном способе получения серной кислоты* даже минимальные количества пыли, попадая на катализатор, понижают его каталитическую активность.

При *контактном способе получения серной кислоты соединения мышьяка*, попадая в катализатор, отравляют его и выводят из строя, а при нитрозном методе мышьяк и селен загрязняют и отравляют кислоту. Так же вредны пыль и капли жидкости (воды, кислоты, масла и др.), которые покрывают катализатор, загрязняют кислоту и забивают аппаратуру.

Наибольшее значение имеет *контактный способ получения серной кислоты*.

В настоящее время *контактный способ получения серной кислоты* продолжает быть предметом дальнейшего изучения и усовершенствования и, по-видимому, недалеко то время, когда он получит ведущую роль в производстве серной кислоты, оттеснив на второй план нитрозный метод производства.

Наибольшее значение имеет *контактный способ получения серной кислоты*.

На первой стадии *контактного способа получения серной кислоты* ($\text{SO}_2 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_3$) вода может образовываться из молекулярного водорода и водородсодержащих соединений в контактной башне. Эта вода может реагировать с SO_3 с образованием серной кислоты, которая вызывает коррозию оборудования. Разработанный ими метод определения воды

основан на ацидиметрическом титровании серной кислоты в присутствии избытка диоксида серы. Авторы утверждают, что воспроизводимость метода составляет 3 % при коэффициенте чувствительности 50 мг воды на 1 м³ газа. За последние 25 лет *контактный способ получения серной кислоты* получил широкое распространение. В настоящее время почти 3/4 серной кислоты (около 70 % мирового производства) вырабатывается контактным способом, и значение этого способа продолжает расти. Этому способствовал не только спрос на крепкую кислоту, но и характер сырьевой базы: около 2/3-серной кислоты в США получают из чистой элементарной серы, а в этих условиях наиболее выгоден контактный способ производства.

В качестве катализатора при *контактном способе получения серной кислоты* раньше применяли исключительно платину. В настоящее время платиновые катализаторы большей частью заменены ванадиевыми. Они дешевле и менее чувствительны к загрязнениям, присутствующим в реагирующей газовой смеси. Активным началом в ванадиевых контактных массах является ванадиевый ангидрид V₂O₅, для повышения активности которого прибавляют окислы щелочных металлов. В качестве носителя для ванадиевого катализатора применяют кремнекислоту.

Таким образом, при *контактном способе получения серной кислоты* достигают ускорения реакции окисления сернистого ангидрида в серный ангидрид, сочетая применение повышенной температуры и катализатора

3.2 Факторы, влияющие на эффективность контактного способа получения серной кислоты

Выявлены важнейшие тенденции развития производства серной кислоты контактным способом:

- 1) Интенсификация процессов проведением их во взвешенном слое, применением кислорода, производством и переработкой концентрированного газа, применением активных катализаторов;

- 2) Упрощение способов очистки газа от пыли и контактных ядов (более короткая технологическая схема);
 - 3) Увеличение мощности аппаратуры;
 - 4) Комплексная автоматизация производства;
- Снижение расходных коэффициентов по сырью и использование в качестве сырья серосодержащих отходов различных производств;
- Обезвреживание отходящих газов.

3.3 Контактные аппараты

Современные контактные аппараты, используемые для проведения каталитических процессов в промышленности, должны обладать высокой производительностью, обеспечивать непрерывность процесса при оптимальных технологических режимах, быть легкими в управлении, поддаваться автоматизации и управлению с помощью ЭВМ.

По способу взаимодействия газов с катализатором контактные аппараты подразделяются на аппараты: с фильтрующим слоем катализатора; со взвешенным (кипящим) слоем катализатора; с пылевидным катализатором. В промышленности широкое применение нашли аппараты с фильтрующим слоем катализатора. К этой группе относятся емкостные, трубчатые и полочные контактные аппараты, принцип действия которых основан на фильтрации газа через слой неподвижного катализатора (рисунок 1) На этом принципе основана работа большинства контактных аппаратов. Причем катализатор может находиться в виде металлических сеток, натянутых по ходу движения газа, трубчатых контактных аппаратов или в виде твердых тел различной формы, располагаемых на перфорированных решетках

Газы поступают в аппарат сверху или снизу. При подаче газа снизу (под решетку) его скорость не должна превышать скорость псевдоожижения катализатора, иначе он может переходить во взвешенное состояние. Достоинством этих аппаратов является простота конструкции, к недостаткам

следует отнести отсутствие теплообмена, что позволяет проводить в них только те реакции, которые сопровождаются небольшими тепловыми эффектами. Для полноты протекания процесса в одном аппарате может быть установлено несколько слоев контактной массы. Многослойные полочные контактные аппараты чаще всего устанавливают, когда имеется необходимость очищаемый газ между слоями подвергать дополнительной обработке (нагреванию, охлаждению, увлажнению и т.д.). Нагревание или охлаждение газа проводят с помощью теплообменников, монтируемых внутри аппарата между слоями катализатора. Это позволяет вести процесс при оптимальном температурном режиме на каждой полке. Для этой же цели используют трубчатые контактные аппараты, где в трубах расположен катализатор, а в межтрубном пространстве – теплоноситель или хладагент.

4 Постановка задачи

В серно – кислотном цехе контактно – компрессорного отделения применяется пятислойный контактный аппарат с компенсатором на кожухе. Для сепаратора данной конструкции характерно высокая производительность и удобство в эксплуатации

При росте планов на переработку серной кислоты и, соответственно, росте объемов производства серной кислоты возрастает нагрузка на оборудование по подготовке сырья.

Поэтому проблема, являющейся темой данной выпускной квалифицированной работы, — выяснение возможности использования эксплуатируемого оборудования во все возрастающих объемах производства — является актуально и жизненно необходимой.

По отделению СК-3 сернокислотного цеха план перерабатываемой серной кислоты на конец 2015 года превышает заложенную в проекте максимально ожидаемую производительность на 10%.

5 Технологическая часть

5.1 Описание технологического процесса и технологической схемы

5.1.1 Описание технологического процесса

Процесс получения серной кислоты состоит из следующих технологических операций (стадий):

- промывка и очистка поступающих сернистых газов от пыли и вредных примесей;
- осушка газов;
- окисление сернистого ангидрида в серный;
- абсорбция серного ангидрида;
- складирование и экспедиция серной кислоты.

5.1.2 Описание технологической схемы. Окисление диоксида серы (SO₂) в триоксид серы (SO₃)

Процесс окисления диоксида серы до триоксида производится в пятислойном контактном аппарате (поз. 306).в центре аппарата расположена опорная труба. По высоте аппарата слои разделены выпуклыми перегородками. Между корпусом и опорной трубой смонтированы радиальные балки, на которые укладываются колосниковые решетки. На колосниковых решетках натянута стальная сетка, на которую уложена контактная масса.

Снаружи контактный аппарат теплоизолирован минераловатными матами и алюминиевыми листами , с целью уменьшения потерь тепла в окружающую среду.

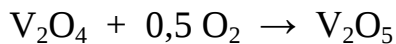
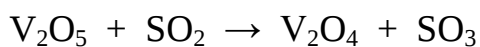
Окисление диоксида серы (SO₂) до триоксида (SO₃) происходит в присутствии ванадиевого катализатора по реакции:



Активным компонентом ванадиевых контактных масс является пентооксид ванадия V₂O₅ . Чистый пентооксид ванадия обладает слабой

каталитической активностью, резко возрастающей в присутствии щелочных металлов.

Механизм реакции окисления может быть представлен в виде



Важным показателем качества контактной массы является температура зажигания, при которой начинается быстрый разогрев контактной массы. Температура зажигания зависит от качества катализатора и от состава газовой смеси

С течением времени активность контактной массы снижается, а одним из факторов сохранения активности контактной массы в течении продолжительного времени является температурный режим в контактном аппарате.

Одним из основных показателей работы контактного узла является степень превращения – отношение количества окисленного SO_2 к количеству его в исходной газовой смеси. Степень превращения зависит от активности катализатора, состава газовой смеси, продолжительности соприкосновения газа с катализатором, давления и температурного режима.

Процесс окисления SO_2 в SO_3 происходит по схеме одинарного контактирования, в пятислойном контактном аппарате, но аппаратное оформление и схема обвязки аппарата предусматривает возможность переключения на схему с двойным контактированием.

Перемещение очищенной и осушенной газовой смеси осуществляется с помощью нагнетателя типа 2900-11-1 (поз.301), объёмная подача которого $180000 \text{ м}^3/\text{ч}$ и общий напор $35,0 \text{ кПа}$. В отделении установлены 2 нагнетателя – предусмотрена возможность обкатки на воздухе одного из нагнетателей при работе другого на газе, для чего в схеме имеется воздушная «свеча».

Количество газовой смеси регулируется с помощью дроссельной заслонки с электроприводом, установленной на всасывающем газоходке. После нагнетателя (поз. 301) газовая смесь проходит через фильтр-брызгоуловитель (поз.302) с фильтрующим слоем из колец «Рашига» 50х50х5. Здесь происходит очистка газа от небольшого количества брызг серной кислоты, образовавшихся в результате укрупнения части тумана и сепарации паров серной кислоты на быстродействующих частях нагнетателя.

При нормальном технологическом режиме промывного отделения и сушильной башни количество конденсата, удаляемого из фильтра-брызгоуловителя (поз.302) не должно превышать 5÷8 литров в сутки. Большее количество конденсата свидетельствует от отклонении режима работы промывного отделения и сушильной баш-ни от нормального. Газовая смесь после фильтра-брызгоуловителя (поз.302) нагревается от температуры 50÷75⁰С до 390÷440⁰С за счет тепла прореагированного газа в трубном пространстве теплообменника (поз.308) в межтрубном пространстве теплообменников (поз. 309, 310, 307, 305) и направляется на первый слой контактного аппарата.

На первом слое окисляется до 75 % от общего количества SO₂, поступающего на контактный аппарат. В результате чего температура газа возрастает до 550÷600⁰С.

После первого слоя газ поступает в трубное пространство теплообменника (поз.305), где охлаждается до температуры 450÷490⁰С и направляется на второй слой контактного аппарата. Здесь окисляется не менее 90 % от общего количества SO₂, поступающего на контактный аппарат. При этом температура возрастает до 510÷550⁰С.

После второго слоя газ, пройдя межтрубное пространство теплообменника (поз. 307) и охладившись до температуры 420÷440⁰С, направляется на третий слой контактного аппарата, где окисляется не

менее 96 % от общего количества SO_2 , поступающего на контактный аппарат. Температура при этом повышается до $420\div 440^\circ\text{C}$.

После третьего слоя, газ, пройдя межтрубное пространство теплообменника (поз. 308) и охладившись до температуры $410\div 430^\circ\text{C}$, направляется на четвертый слой контактного аппарата, где окисляется не менее 97 % от общего количества SO_2 , поступающего на контактный аппарат и направляется на пятый слой контактного аппарата, где температура газа повышается до $427\div 437^\circ\text{C}$. общая степень контактирования составляет не менее 98,0 %.

После пятого слоя газ охлаждается в трубном пространстве теплообменников (поз.309, 310) до температуры $170\div 200^\circ\text{C}$ и направляется в ангидридный холодильник (поз.303).

Регулирование температуры газа по слоям контактного аппарата производится с помощью дросселей, установленных на байпасных линиях теплообменников. Управление работой дросселей осуществляется дистанционно с помощью пневмопривода.

Высота и масса контактной массы по слоям контактного аппарата:

1 слой	- 500 mm	- 48 t,	в том числе:	280 mm	- 28 t	СВД(КД)
				120 mm	- 11 t	СВД(КД)
				100 mm	- 9 t	СВС-5;
2 слой	- 500 mm	- 48,4 t,	в том числе:	300 mm	- 30,4 t	СВД(КД),
СВНТ				100 mm	- 9 t	СВД(КД)
				100 mm	- 9 t	СВС-5;
3 слой	- 500 mm	- 46,8 t,	в том числе:	120 mm	- 12,0 t	СВД(КД)
прос.				280 mm	- 25,8 t	СВД(КД)
				100 mm	- 9 t	СВС-5;

4 слой - 300 mm - 28,0 t, в том числе: 100 mm - 10,0 t СВД(КД)
прос.

100 mm - 9 t СВД(КД)

100 mm - 9 t СВС-5;

5 слой - 300 mm - 29,2 t, в том числе: 200 mm - 20,0 t ИК-1-6,
СВНТ,

100 mm - 9,2 t СВС-5.

Общий вес контактной массы 200,5 тонн.

Для разогрева контактного узла при пусках, когда еще отсутствует тепло реакции и продувки горячим воздухом перед остановками предусмотрена пусковая установка, которая состоит из газифицированной топки (поз.314) и двух пусковых подогревателей (поз.312, 313).

Разогрев газа и воздуха осуществляется топочными газами путем сжигания природного газа в топке. Горячий воздух подается на первый, третий и четвертый слои контактного аппарата. По мере снижения степени конверсии (окисления) контактная масса выгружается и заменяется новой. Выгрузка контактной массы производится с помощью водокольцевого вакуум-насоса типа ВВН-50М (поз.318), который всасывающим шлангом засасывает контактную массу в циклон-отделитель (поз.313). Крупные гранулы отделяются от потока и пересыпаются в бункер (поз.316), откуда очищенный воздух выбрасывается в атмосферу, а пыль поступает в бункер (поз.317) и далее в бункер (поз.319).

5.2 Исходные данные к проектируемой установке

5.2.1 Характеристика исходного сырья, реагентов, продукции

Таблица 2

Физико-химические свойства серной кислоты

Показатели	Ед. изм.	Серная кислота, массовая доля моногидрата, %	
		92,5	94,0
1	2	3	4
Плотность при температуре 20 ⁰ С	г/см ³	1,824	1,8312
Температура кристаллизации	°С	-25,6	-30,8
Температура кипения	°С	274,7	291,4
Удельная теплоёмкость	ккал/кг·°С	0,3771	0,3672
Удельная электропроводимость при температуре 18 ⁰ С	см/м	0,1102	0,1071
Состав насыщенного пара:			
- массовая доля воды	%	17,2	28,0
- массовая доля моногидрата серной кислоты	%	87,3	72,0
Вязкость динамическая при температуре 20 ⁰ С	Па·с	23,5·10 ⁻³	23,2·10 ⁻³

Таблица 3

Характеристика сырья и основных технологических материалов

№ п/п	Наименование сырья, топлива и основных технологических материалов, НД	Технические требования и показатели, обязательные для проверки перед использованием их в производстве	Показатели пожароопасности, взрывоопасности, токсичности	Примечание
1	2	3	4	5
1.	Газы технологические	Смесь газов печи КФП и конвертеров: SO ₂ , % - 6÷9 пыль, г/м ³ - 0,5÷1,45 температура, °С - 200÷300 Конвертерные газы: SO ₂ , % - 2,5÷5,0 пыль, г/м ³ - 0,5÷1,45 температура, °С - 150÷250	Токсичен, ПДК SO ₂ - 10 мг/м ³ SO ₃ - 1 мг/м ³ Взрывобезопасны.	Газы содержат примеси фтора, мышьяка, селена, серного ангидрида, влаги и др.
2.	Природный газ Газлинского месторождения ГОСТ 5542	CH ₄ , % - 94,67 CO ₂ , % - 0,4 C ₂ H ₆ , % - 3,06 C ₃ H ₈ , % - 0,63 C ₄ H ₁₀ , % - 0,08 В цехе не анализируется. O ₂ – отсутствует. Теплотворная способность – 8329 ккал/м ³	Взрывоопасен. Пределы взрываемости: нижний – 3,8% верхний – 15,7% Категория А.	Для пусковых подогревателей при пуске и остановке контактных узлов продолжительностью более 24 часов.
3.	Природный газ Шуртанского месторождения	CH ₄ , % - 94,75 CO ₂ , % - 0,4 C ₂ H ₆ , % - 2,2 C ₃ H ₈ , % - 0,45	Взрывоопасен. Пределы взрываемости: нижний – 3,8% верхний – 15,7%	Для пусковых подогревателей при пуске и остановке контактных узлов

		C_4H_{10} , % - 0,13 C_5H_{12} , % - 0,07 C_6H_{14} , % - 0,14 H_2S , % - 0.06 Теплотворная способность – 8100 ккал/м ³	Категория А.	продолжительностью более 24 часов.
4.	Катализатор ванадиевый ИК-1-6	Массовая доля V_2O_5 , % - не менее 7,5 Массовая доля K_2O , % - не менее 12,0 Массовая доля Na_2O , % - не менее 3,0 Насыпная плотность 0,6÷0,75 г/см ³ Гранулы: диаметр - 4,5÷5,5 мм длина - 10÷15 мм Каталитическая активность в стандартных условиях: - при температуре 485 ⁰ С – 84% - при температуре 420 ⁰ С – 50%	Токсичен. ПДК : - по пыли - 0,5 мг/м ³ Взрывобезопасен. Категория Г.	Для загрузки в контактные аппараты. Качество катализатора гарантирует завод-изготовитель
5.	Катализатор ванадиевый СВД, гранулированный	Массовая доля V_2O_5 , % - не менее 6,0 Влага, % – не более 12,0 Насыпная плотность 0,69 г/см ³ Механическая прочность - 30÷40 кДж/см ³ Гранулы: диаметр - 4,0÷6,0 мм длина - 10÷15 мм Каталитическая активность в стандартных условиях: - при температуре 485 ⁰ С – 86%	Токсичен. ПДК : - по пыли - 0,9 мг/м ³ Взрывобезопасен. Категория Г.	Для загрузки в контактные аппараты. Качество катализатора гарантирует завод-изготовитель
6.	Катализатор СВС	Массовая доля V_2O_5 , % - не менее 7,5 Влага, % – не более 4,0	Токсичен. ПДК :	Для загрузки в контактные аппараты.

		Насыпная плотность $0,6 \div 0,7 \text{ г/см}^3$ Механическая прочность - $3 \div 6 \text{ кг/см}^3$ Гранулы: диаметр - $4,0 \div 5,0 \text{ мм}$ длина - $10 \div 15 \text{ мм}$ кольца $8 \times 8 \times 2,5 \text{ мм}$ Каталитическая активность в стандартных условиях: - при температуре 485°C – 84% - при температуре 420°C – 45%	- по пыли - $0,5 \text{ мг/м}^3$ Взрывобезопасен. Категория Г.	Качество катализатора гарантирует завод-изготовитель
7.	Катализатор СВНТ (КД)	Массовая доля V_2O_5, % - не менее 7,5 Влага, % – не более 4,0 Насыпная плотность $0,6 \div 0,75 \text{ г/см}^3$ Механическая прочность - $3 \div 6 \text{ кг/см}^3$ Гранулы: диаметр - $4,5 \div 5,5 \text{ мм}$ длина - $10 \div 15 \text{ мм}$ кольца $8 \times 8 \times 2,5 \text{ мм}$ Каталитическая активность в стандартных условиях: - при температуре 485°C – 86% - при температуре 420°C – 50%	Токсичен. ПДК : - по пыли - $0,5 \text{ мг/м}^3$ Взрывобезопасен. Категория Г.	Для загрузки в контактные аппараты. Качество катализатора гарантирует завод-изготовитель
8.	Породы карбонатные обожженные дробленые, негашеные. Технические условия. KSt 64-00193950-134:2006	Активные $\text{CaO} + \text{MgO}$, % - не менее 60,0	Токсична.	Для нейтрализации кислых стоков.
9.	Сода кальцинированная. ГОСТ 5100-85	Na_2CO_3 в прокаленном виде – 99 %. В цехе не анализируется.	Токсична.	Для нейтрализации кислых стоков. Качество гарантирует

				завод –изготовитель
10.	Вода свежая техническая первого цикла (артезианская)	Жесткость, моль/кг - не более 10,0 Температура – не более 25 ⁰ С Давление – не менее 2,5 кДж/см ² В цехе анализируется периодически.	Не токсична. Взрывобезопасна.	Для технологических нужд.
11.	Вода оборотная (оборотный цикл)	Жесткость, моль/кг - не более 15,0 рН – 6,5÷8,5 Сухой остаток – 675 мг/дм ³ Температура – не более 25 ⁰ С Давление – не менее 2,5 кДж/см ² В цехе анализируется периодически.	Не токсична. Взрывобезопасна.	Для охлаждения кислоты в холодильниках.

6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОНТАКТНОГО АППАРАТА

Расчет будем производить по примеру издания "Расчеты по технологии неорганических веществ" под ред. д.т.н. проф. П.В. Дыбиной.

Исходные данные:

$$P := 30000$$

Па

$$b := 14$$

об. доли кислорода

$$a := 7$$

об. доли диоксида серы

$$T_H := 420 + 273 = 693$$

K, температура газа на входе в первый слой катализатора

$$x_{1N_2} := 0.725$$

объемная доля азота

$$x_{1O_2} := 0.14$$

объемная доля кислорода

$$x_{1CO_2} := 0.065$$

объемная доля углекислого газа

$$x_{1SO_2} := 0.07$$

объемная доля двуокиси углерода $\frac{Дж}{\text{моль} \cdot K}$

$$\underline{R} := 8.314$$

универсальная газовая постоянная

Молярные массы компонентов газовой смеси:

$$M_{1N_2} := 28 \text{ кг/кмоль}$$

$$M_{1O_2} := 32 \text{ кг/кмоль}$$

$$M_{1CO_2} := 44 \text{ кг/кмоль}$$

$$M_{1SO_2} := 64 \text{ кг/кмоль}$$

$$M_{1SO_3} := 80 \text{ кг/кмоль}$$

Плотность, :

$$\rho_{1N_2} := 2.25 \text{ кг/м}^3$$

плотность азота [с.275,2]

$$\rho_{1O_2} := 1.47 \text{ кг/м}^3$$

плотность кислорода [с.274,2]

$$\rho_{1CO_2} := 1.98 \text{ кг/м}^3$$

плотность углекислого газа [с.299,2]

$$\rho_{1SO_2} := 2.63 \text{ кг/м}^3$$

плотность диоксида серы [с.69,3]

$$\rho_{1SO_3} := 1.92 \text{ кг/м}^3$$

плотность серного ангидрида [с.79,3]

$$\rho_{1H_2O} := 0.8043 \text{ кг/м}^3$$

плотность паров воды [с.509,1]

Общий объемный расход технологического газа:

$$V := 228 \frac{H_m^3}{ч}$$

Объемный расход отдельно взятого компонента

$$V_{1N2} := x_{1N2} \cdot V = 165.3 \frac{\text{Нм}^3}{\text{ч}}$$

Объемный расход азота

$$V_{1O2} := x_{1O2} \cdot V = 31.92 \frac{\text{Нм}^3}{\text{ч}}$$

Объемный расход кислорода

$$V_{1CO2} := x_{1CO2} \cdot V = 14.82 \frac{\text{Нм}^3}{\text{ч}}$$

Объемный расход углекислого газа

$$V_{1SO2} := x_{1SO2} \cdot V = 15.96 \frac{\text{Нм}^3}{\text{ч}}$$

Объемный расход двуокиси углерода

Степень превращения рассчитывается по следующей формуле:

$$X_p = \frac{K_p}{K_p + \sqrt{\frac{1}{\left(P \cdot \frac{b - 0.5 \cdot a \cdot X_p}{100 - 0.5 \cdot a \cdot X_p} \right)}}}$$

[с.199,1]

Это уравнение определяет X_p в неявном виде, что, однако, не исключает возможности расчета, поскольку величина X_p под корнем мало влияет на значение всего выражения. Обычно нетрудно оценить ожидаемую величину равновесной степени превращения и, подставив в правую часть уравнения, вычислить X_p без большой ошибки. Если найденное таким путем значение X_p значительно отличается от предварительно принятого, расчет повторяют. Второе приближение достаточно точно. Но стоит отметить, что расчет равновесной степени превращения ведут только в том случае, если невозможно воспользоваться табличными данными равновесных степени превращения газовых смесей при обжиге разного серосодержащего сырья [с.502-504, 4].

Примем значения равновесных степеней превращения, рассчитанные для газовых смесей при содержании O₂ - 14%, SO₂- 7%. Принимать значения будем в интервале температур от 420⁰ до 600⁰ .[с.505,4]

Но перед этим необходимо вычислить константу равновесия при разных температурах:

$$T_i := \begin{pmatrix} 693 \\ 713 \\ 733 \\ 753 \\ 773 \\ 793 \\ 813 \\ 833 \\ 853 \\ 873 \end{pmatrix}$$

$$i := 0..10$$

$$\lg Kp_i := \frac{4905.5}{T_i} - 7.1455 =$$

	0
0	-0.067
1	-0.265
2	-0.453
3	-0.631
4	-0.799
5	-0.959
6	-1.112
7	-1.257
8	-1.395
9	-1.526

$$K_p := 10^{\lg K_{p_i}} =$$

	0
0	0.857
1	0.543
2	0.352
3	0.234
4	0.159
5	0.11
6	0.077
7	0.055
8	0.04
9	0.03

34

Равновесные степени превращения газовой смеси при содержании O₂ - 14%,
SO₂- 7% [с.503,табл.IX-10,4]

$$X_{p420} := 0.989$$

$$X_{p520} := 0.92$$

$$X_{p440} := 0.983$$

$$X_{p540} := 0.89$$

$$X_{p460} := 0.973$$

$$X_{p560} := 0.854$$

$$X_{p480} := 0.961$$

$$X_{p580} := 0.811$$

$$X_{p500} := 0.943$$

$$X_{p600} := 0.762$$

Итого у нас получается:

Равновесная степень

превращения

Температура, К

Константа

равновесия, $\text{Па}^{-0.5}$

$K_p =$		0	$\lg K_{pi} =$		0
	0	0.857		0	-0.067
	1	0.543		1	-0.265
	2	0.352		2	-0.453
	3	0.234		3	-0.631
	4	0.159		4	-0.799
	5	0.11		5	-0.959
	6	0.077		6	-1.112
	7	0.055		7	-1.257
	8	0.04		8	-1.395
	9	0.03		9	-1.526

$T_i :=$	(693)	$X_{pi} :=$	(0.989)
	713		0.983
	733		0.973
	753		0.961
	773		0.943
	793		0.92
	813		0.89
	833		0.854
	853		0.811
	(873)		(0.762)

Оптимальная температура для каждой степени контактирования:

$$T_{\text{опт}i} = \left[\frac{4905}{\log \left[\frac{X_{pi}}{(1 - X_{pi}) \cdot \sqrt{\frac{b - 0.5 \cdot a \cdot X_{pi}}{100 - 0.5 \cdot a \cdot X_{pi}}}} \right] + 4.937} \right]$$

$$X_{pi} := \begin{pmatrix} 0.989 \\ 0.983 \\ 0.973 \\ 0.961 \\ 0.943 \\ 0.92 \\ 0.89 \\ 0.854 \\ 0.811 \\ 0.762 \end{pmatrix} \quad T_{оптi} := \begin{pmatrix} 665 \\ 683 \\ 703 \\ 721 \\ 740 \\ 758 \\ 776 \\ 794 \\ 812 \\ 830 \end{pmatrix}$$

К

Определим массовый расход каждого отдельного компонента газовой смеси:

$$G_{1N2} := V_{1N2} \cdot \rho_{1N2} = 371.925 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{1O2} := V_{1O2} \cdot \rho_{1O2} = 46.922 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{1CO2} := V_{1CO2} \cdot \rho_{1CO2} = 29.344 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{1SO2} := V_{1SO2} \cdot \rho_{1SO2} = 41.975 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Определим по справочным данным теплоемкость каждого компонента газовой смеси при средней температуре в аппарате 500°C и степени контактирования 0,8.

Теплоемкость:

Для азота

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (1.059 \quad 1.068)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{3N2} := \text{linterp}(x, y, 500) = 1.043 \quad [\text{с.500,1.}]$$

Для кислорода

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.964 \quad 0.977)^T$$

$$c_{3O_2} := \text{interp}(x, y, 500) = 0.942 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \quad [\text{с.500,1.}]$$

Для углекислого газа

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.984 \quad 1.013)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{3CO_2} := \text{interp}(x, y, 500) = 0.934 \quad [\text{с.500,1}]$$

Для двуокиси серы

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.708 \quad 0.724)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{3SO_2} := \text{interp}(x, y, 500) = 0.68 \quad [\text{с.500,1}]$$

Для серного ангидрида

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.782 \quad 0.812)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{3SO_3} := \text{interp}(x, y, 500) = 0.73 \quad [\text{с.500,1}]$$

Удельная теплота окисления двуокиси серы при 500 градусах [с.203,1]:

$$q_{SO_2} := 1474 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$\Delta T = T_K - T_H$$

$$A1 := 0.5 \cdot G_{1SO2} \cdot c_{3SO2} + 0.5 \cdot G_{1SO2} \cdot \frac{M_{1SO3}}{M_{1SO2}} \cdot c_{3SO3}$$

$$A2 := \left[G_{1O2} - 0.5 \cdot G_{1SO2} \cdot \left(\frac{M_{1SO3}}{M_{1SO2}} - 1 \right) \right] \cdot c_{3O2} + G_{1CO2} \cdot c_{3CO2} + G_{1N2} \cdot c_{3N2}$$

$$\Delta T = \frac{q_{SO2} \cdot G_{1SO2} \cdot X}{A1 + A2}$$

$$A3 := \left[G_{1O2} - 0.5 \cdot G_{1SO2} \cdot \left(\frac{M_{1SO3}}{M_{1SO2}} - 1 \right) \right] \cdot c_{3O2}$$

$$A4 := G_{1CO2} \cdot c_{3CO2} + G_{1N2} \cdot c_{3N2}$$

$$q_{SO2} \cdot G_{1SO2} = 6.187 \times 10^4$$

$$0.5 \cdot G_{1SO2} \cdot c_{3SO2} + 0.5 \cdot G_{1SO2} \cdot \frac{M_{1SO3}}{M_{1SO2}} \cdot c_{3SO3} + A3 + A4 = 488.149$$

Числитель равен:

$$X(6.187 \times 10^4)$$

Знаменатель равен:

$$488$$

$$\Delta T := \frac{(6.187 \times 10^4)}{(488)} = 126.783$$

Итого получаем:

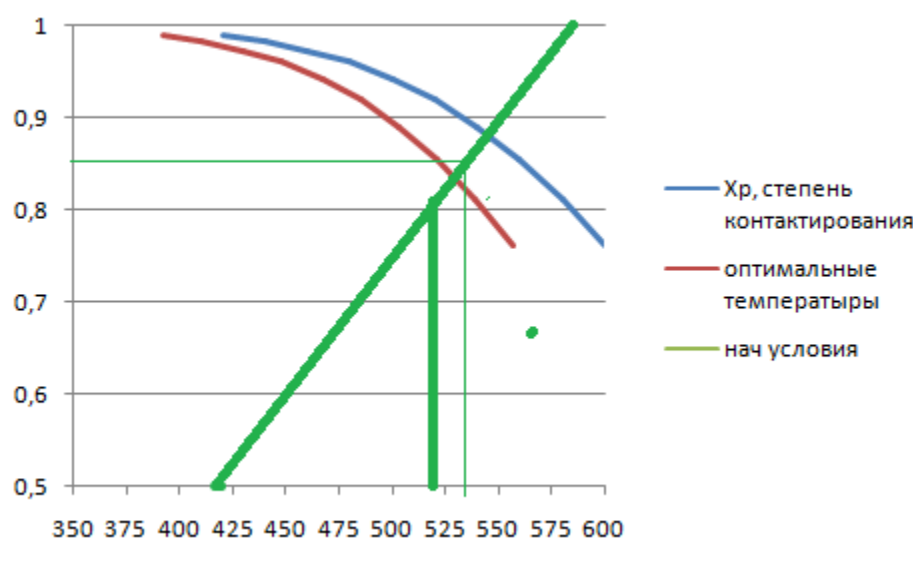
$$\Delta T = \frac{[X(6.187 \times 10^4)]}{(488)} = 127X$$

$$T_k - T_H = 124X$$

То есть при степени превращения 0.8 температура в аппарате увеличится примерно на 100⁰С (127*0.8=102)

Теперь, зная, что газы в первый слой поступают с температурой 420°C , можно построить линию превращения в первом слое, если соединим точку $t=420^{\circ}\text{C}$ и $X=0$ с точкой $t=420+102=522^{\circ}\text{C}$ и $X=0.8$ и продолжим эту линию до $X=1$. при таком проведении линии адиабаты процесса конечная точка первого слоя должна лежать между кривыми "степени контактирования" и "оптимальных температур". на основании этих данных принимаем, что на первом слое степень контактирования 0.85 и температура 535°C .

Рисунок 1. Кривые степени контактирования и оптимальных температур



Материальный расчет первого слоя

При расчете материального и теплового баланса контактного аппарата, а также объема и массы катализатора буквенные обозначения снабжены индексами. Римские цифры I-IV обозначают величины, относящиеся к процессам в слоях контактной массы. Например X_I - степень контактирования в первом слое, $V_{кмII}$ - объем контактной массы на втором слое и т.д.

Арабские цифры означают: 1,5,9,13-вход газа соответственно в I-IV слой катализатора, 4,8,12- ввод воздуха соответственно после I-III слоя катализатора, 2,6,10,14- изменение состава и параметров газа в процессе окисления SO_2 в SO_3 соответственно в I-IV слое катализатора. Нижние правые индексы показывают, какая из составных частей рассматривается, отсутствие такого индекса означает, что рассматривается совокупность, определяемая верхним индексом.

Степень контактирования на первом слое:

$$X_I := 0.85$$

отсюда, количество двуокиси серы, окислевшееся в серный ангидрид, будет:

$$G_{2SO_2} := G_{1SO_2} \cdot X_I = 35.679 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Количество двуокиси серы в газе, уходящем из первого слоя:

$$G_{3SO_2} := G_{1SO_2} - G_{2SO_2} = 6.296 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Количество серного ангидрида, образовавшегося в слое:

$$G_{2SO_3} := G_{2SO_2} \cdot \frac{M_{1SO_3}}{M_{1SO_2}} = 44.598 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Количество кислорода, связывающегося с двуокисью серы в серный ангидрид:

$$G_{2O_2} := G_{2SO_3} - G_{2SO_2} = 8.92 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Количество кислорода, остающегося в газе:

$$G_{3O_2} := G_{1O_2} - G_{2O_2} = 38.003 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Сводный материальный баланс первого слоя

Приход			Расход				
Статья	кг/ч	Нм³/ч	Статья	кг/ч	Нм³/ч	Объемн. %	% по массе
Газ в	контактный	аппарат	Газ во	второй слой			
SO ₂	42	16	SO ₂	6,3	2,4	1,04	1,3
O ₂	47	32	SO ₃	44,6	23,23	10,02	9,1
N ₂	372	165,3	O ₂	38	25,85	11,15	7,75
CO ₂	29,3	15	N ₂	372	165,3	71,32	75,87
			CO ₂	29,3	15	6,47	5,98
Всего	490,3	228,3	Всего	490,3	231,8	100	100

Тепловой расчет первого слоя

$$G_{3SO_3} := 44.6 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{3O_2} = 38.003 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{3CO_2} := 29.3 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{3SO_2} = 6.296 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{3N_2} := 372 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Первое приближение: температура на выходе 535⁰С.

Приход тепла.

Тепло газов, поступающих в слой:

$$Q_1 := (G_{1SO_2} \cdot c_{3SO_2} + G_{1O_2} \cdot c_{3O_2} + G_{1CO_2} \cdot c_{3CO_2} + G_{1N_2} \cdot c_{3N_2}) \cdot (T_H - 273)$$

$$Q_1 = 2.05 \times 10^5 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

$$T_{cp} := \frac{(T_H - 273 + 535)}{2} = 477.5$$

средняя температура в слое

$$x := (450 \quad 500)^T$$

$$y := (1480.6 \quad 1474)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad [\text{с.205, 1}]$$

$$q_2 := \text{interp}(x, y, T_{cp}) = 1.477 \times 10^3$$

Тепло, выделяющееся при окислении двуокиси серы:

$$Q_2 := q_2 \cdot G_{2SO_2} = 5.27 \times 10^4 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

Общий приход тепла:

$$Q_1 + Q_2 = 2.577 \times 10^5 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

Расход тепла.

Тепло, уносимое отходящими газами:

$$A5 := G_{3\text{SO}_2} \cdot c_{3\text{SO}_2} + G_{3\text{O}_2} \cdot c_{3\text{O}_2} + G_{3\text{CO}_2} \cdot c_{3\text{CO}_2}$$

$$Q_3 := (A5 + G_{3\text{N}_2} \cdot c_{3\text{N}_2} + G_{3\text{SO}_3} \cdot c_{3\text{SO}_3}) \cdot 535 = 2.612 \times 10^5 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

$$Q_3 = 2.612 \times 10^5$$

Разность между приходом и расходом:

$$Q_1 + Q_2 - Q_3 = -3.411 \times 10^3$$

то есть температура в конце слоя завышена

Второе приближение. Температура в конце слоя 520 градусов:

Тепло газов, поступающих в слой:

$$Q_{11} := (G_{1\text{SO}_2} \cdot c_{1\text{SO}_2} + G_{1\text{O}_2} \cdot c_{1\text{O}_2} + G_{1\text{CO}_2} \cdot c_{1\text{CO}_2} + G_{1\text{N}_2} \cdot c_{1\text{N}_2}) \cdot (T_{\text{H}} - 273)$$

$$Q_{11} = 2.05 \times 10^5 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

$$T_{\text{ср1}} := \frac{(T_{\text{H}} - 273 + 520)}{2} = 470$$

средняя температура в слое

$$x := (450 \quad 500)^T$$

$$y := (1480.6 \quad 1474)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$q_{21} := \text{interp}(x, y, T_{\text{ср1}}) = 1.478 \times 10^3 \quad [\text{с.205, 1}]$$

Тепло, выделяющееся при окислении двуокиси серы:

$$Q_{21} := q_{21} \cdot G_{2SO_2} = 5.273 \times 10^4 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

Общий приход тепла:

$$Q_{11} + Q_{21} = 2.578 \times 10^5 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

Расход тепла.

Тепло, уносимое отходящими газами:

$$A_6 := G_{3SO_2} \cdot c_{3SO_2} + G_{3O_2} \cdot c_{3O_2} + G_{3CO_2} \cdot c_{3CO_2}$$

$$Q_{31} := (A_6 + G_{3N_2} \cdot c_{3N_2} + G_{3SO_3} \cdot c_{3SO_3}) \cdot 520 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

$$Q_{31} = 2.538 \times 10^5$$

Разность между приходом и расходом:

$$Q_{11} + Q_{21} - Q_{31} = 3.947 \times 10^3$$

Второе приближение достаточно точно.

Сводный тепловой баланс первого слоя

Приход		Расход	
Статья	Кг/ч	Статья	Кг/ч
С газами	209506	С газами	260000
Тепло реакции	52730	Невязка в балансе	2236
	262236		262236

Определение времени контактирования

$$k_0 := 7.2 \cdot 10^6$$

сек⁻¹, коэффициент для массы БАВ в виде колец

[с.207,1]

$$E := 96296$$

дж/моль, энергия активизации для массы БАВ

[с.207,1]

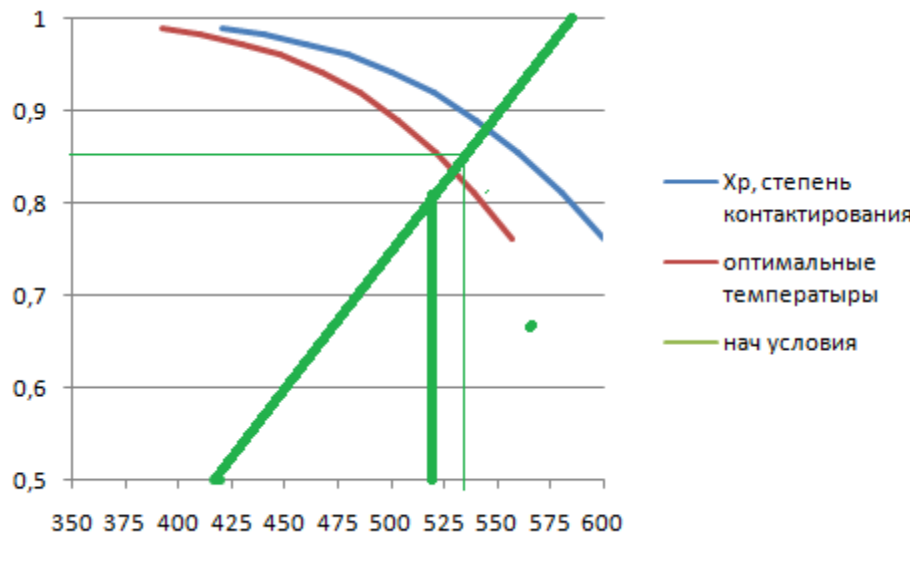
$$R = 8.314$$

дж/моль*град, газовая постоянная

[с.207,1]

По графику определяем температуру реакции для каждой степени превращения, от 0 до 0,9:

Рисунок 2. Кривые степени контактирования и оптимальных температур



45

К

$$X_i := \begin{pmatrix} 0 \\ 0.1 \\ 0.2 \\ 0.3 \\ 0.4 \\ 0.5 \\ 0.6 \\ 0.7 \\ 0.8 \\ 0.9 \end{pmatrix} \quad T_{Xi} := \begin{pmatrix} 420 + 273 \\ 435 + 273 \\ 448 + 273 \\ 455 + 273 \\ 465 + 273 \\ 478 + 273 \\ 486 + 273 \\ 502 + 273 \\ 520 + 273 \\ 530 + 273 \end{pmatrix}$$

Далее повторим ранее произведенные расчеты, и найдем равновесную степень превращения, для чего вычислим константу скорости при выше найденных температурах T_{xi} :

$$\lg K_{pT_{xi}} := \frac{4905.5}{T_{Xi}} - 7.1455$$

$$K_{pi} := 10^{\lg K_{pT_{xi}}}$$

46

$\lg K_{pT_{xi}} =$		0	$K_{pi} =$		0
	0	-0.067		0	0.857
	1	-0.217		1	0.607
	2	-0.342		2	0.455
	3	-0.407		3	0.392
	4	-0.498		4	0.317
	5	-0.614		5	0.243
	6	-0.682		6	0.208
	7	-0.816		7	0.153
	8	-0.959		8	0.11
	9	-1.037		9	0.092

$T_{Xi} :=$	$\left(\begin{array}{l} 420 + 273 \\ 435 + 273 \\ 448 + 273 \\ 455 + 273 \\ 465 + 273 \\ 478 + 273 \\ 486 + 273 \\ 502 + 273 \\ 520 + 273 \\ 530 + 273 \end{array} \right)$	$X_{1i} :=$	$\left(\begin{array}{l} 0.985 \\ 0.978 \\ 0.974 \\ 0.968 \\ 0.965 \\ 0.952 \\ 0.946 \\ 0.927 \\ 0.903 \\ 0.88 \end{array} \right)$

K

$$X_{pxi} = \frac{K_{pi}}{K_{pi} + \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{b - 0.5 \cdot a \cdot X_{1i}}{P \cdot \frac{100 - 0.5 \cdot a \cdot X_{1i}}{100}} \right)}}$$

$$T_{Xi} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 0 \\ \hline 0 & 693 \\ \hline 1 & 708 \\ \hline 2 & 721 \\ \hline 3 & 728 \\ \hline 4 & 738 \\ \hline 5 & 751 \\ \hline 6 & 759 \\ \hline 7 & 775 \\ \hline 8 & 793 \\ \hline 9 & 803 \\ \hline \end{array} \quad X_{pxi} := \begin{pmatrix} 0.985 \\ 0.978 \\ 0.974 \\ 0.968 \\ 0.965 \\ 0.952 \\ 0.946 \\ 0.927 \\ 0.914 \\ 0.91 \end{pmatrix}$$

47

Посчитаем константу скорости при разных температурах T_{xi} :

$$K_{ci} := k_0 \cdot e^{\frac{-E}{R \cdot T_{Xi}}} = \begin{array}{|c|c|} \hline & 0 \\ \hline 0 & 0.397 \\ \hline 1 & 0.566 \\ \hline 2 & 0.76 \\ \hline 3 & 0.887 \\ \hline 4 & 1.1 \\ \hline 5 & 1.443 \\ \hline 6 & 1.698 \\ \hline 7 & 2.327 \\ \hline 8 & 3.267 \\ \hline 9 & 3.918 \\ \hline \end{array}$$

С учетом данных материального баланса, по уравнению Борескова [с.207,1], рассчитаем:

$$\frac{d\tau}{dX} = \text{Time}$$

$$\text{Time}_{ei} = \frac{2a}{K_{ci}} \cdot \frac{T_{Xi}}{273} \cdot \left(\frac{X_i}{X_{pxi} - X_i} \right)^{0.8} \cdot \frac{1}{2 \cdot b - a \cdot X_i}$$

48

$$w_i := \frac{2a}{K_{ci}} =$$

	0
0	35.264
1	24.749
2	18.427
3	15.789
4	12.727
5	9.7
6	8.244
7	6.016
8	4.286
9	3.573

$$r_i := \frac{T_{Xi}}{273} =$$

	0
0	2.538
1	2.593
2	2.641
3	2.667
4	2.703
5	2.751
6	2.78
7	2.839
8	2.905
9	2.941

$$t_i := \left(\frac{X_i}{X_{pxi} - X_i} \right)^{0.8} =$$

	0
0	0
1	0.176
2	0.339
3	0.527
4	0.759
5	1.084
6	1.553
7	2.462
8	4.753
9	36.593

$$y_i := \frac{1}{2 \cdot b - a \cdot X_i} =$$

	0
0	0.036
1	0.037
2	0.038
3	0.039
4	0.04
5	0.041
6	0.042
7	0.043
8	0.045
9	0.046

$$Time_i = w_i \cdot r_i \cdot t_i \cdot y_i$$

$$Time_1 := 0.353 \cdot 2.538 \cdot 0.3.571 = 0$$

$$Time_2 := 0.247 \cdot 2.593 \cdot 0.176 \cdot 3.663 = 0.413$$

$$Time_3 := 0.184 \cdot 2.641 \cdot 0.339 \cdot 3.759 = 0.619$$

$$Time_4 := 0.158 \cdot 2.667 \cdot 0.527 \cdot 3.861 = 0.857$$

$$\text{Time}_5 := 0.127 \cdot 2.703 \cdot 0.759 \cdot 3.968 = 1.034$$

$$\text{Time}_6 := 0.097 \cdot 2.751 \cdot 1.084 \cdot 4.082 = 1.181$$

$$\text{Time}_7 := 0.082 \cdot 2.78 \cdot 1.553 \cdot 4.202 = 1.488$$

$$\text{Time}_8 := 0.06 \cdot 2.839 \cdot 2.462 \cdot 4.329 = 1.815$$

$$\text{Time}_9 := 0.043 \cdot 2.905 \cdot 4.753 \cdot 4.464 = 2.65$$

$$\text{Time}_{10} := 0.036 \cdot 2.941 \cdot 36.593 \cdot 4.608 = 17.853$$

Результаты расчета сведем в таблицу:

X	t, °C	T, °K	X_0	k_x	dt/dX
0	420	693	0.985	0.397	0
0.1	435	708	0.978	0.566	0.413
0.2	448	721	0.974	0.76	0.619
0.3	455	728	0.968	0.887	0.857
0.4	465	738	0.965	1.1	1.034
0.5	478	751	0.952	1.443	1.181
0.6	486	759	0.946	1.698	1.488
0.7	502	775	0.927	2.327	1.815
0.8	520	793	0.914	3.267	2.65
0.9	530	803	0.91	3.918	17.853

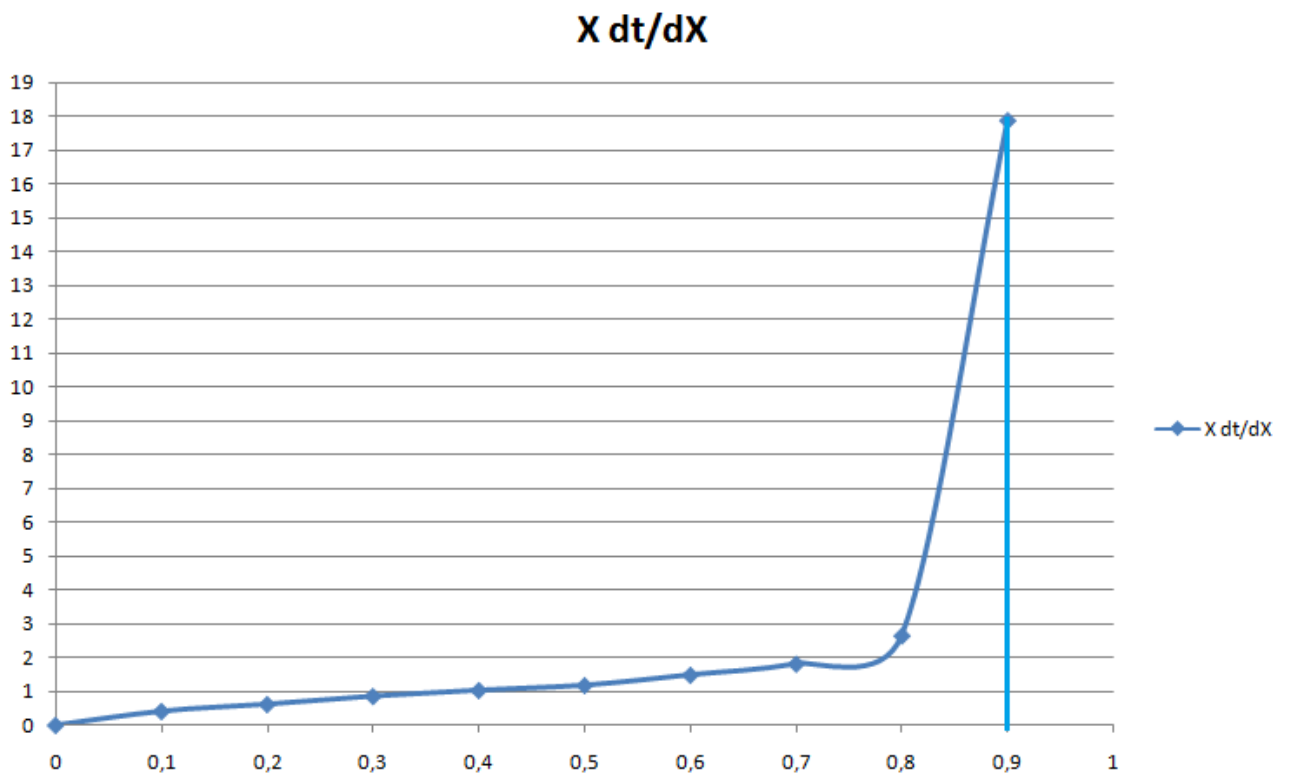
Наносим точки, соответствующие X и dt/dX , на график с масштабом: по оси абсцисс 1 см = 0,1 X, по ординат 1 см = 2 dt/dX , по площади 1 см² = 0,1 * 2 = 0,2 сек. Находим, что площадь кривой равна:

$$S_{кр} := 8.96 \text{ см}^2$$

Фиктивное время контактирования:

$$\tau_I := S_{кр} \cdot 0.2 = 1.792 \text{ сек}$$

Рисунок 3. График времени контактирования



Количество контактной массы в первом слое

ν I_{раб.к.м.}

-объем контактной массы в первом слое в рабочем состоянии, м³

$$C_I := 2$$

коэффициент запаса [с.208, 1]

$$\nu I_{сек} := \frac{228.3}{3600} = 0.063$$

- секундный объем газов, проходящих через слой, м³/сек

$$\tau_I = 1.792$$

- фиктивное время контактирования, сек

$$\nu I_{раб.к.м.} := C_I \cdot \nu I_{сек} \cdot \tau_I = 0.227 \text{ м}^3$$

Объем контактной массы при загрузке в 1,1 раза более рабочего объема.

Отсюда:

$$\nu I_{зас.к.м.} := \nu I_{раб.к.м.} \cdot 1.1 = 0.25 \text{ м}^3$$

Насыпной вес кольцевой контактной массы в рабочем состоянии:

$$d_{I\text{раб.к.м.}} := 600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

при загрузке:

$$d_{I\text{зас.к.м.}} := 450 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

В аппарат засыпается контактная масса, насыщенная соединениями серы:

$$m_{I\text{зас.к.м.}} := v_{I\text{зас.к.м.}} \cdot d_{I\text{зас.к.м.}} = 112.506 \text{ кг}$$

При работе в аппарате содержится контактной массы, насыщенной соединениями серы:

$$m_{I\text{раб.к.м.}} := v_{I\text{раб.к.м.}} \cdot d_{I\text{раб.к.м.}} = 136.371 \text{ кг}$$

Определение габаритных размеров аппарата:

Скорость газа:

$$\omega := 0.002 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

если не учитывать изменение объема газа в результате окисления

Площадь, необходимая для контактной массы:

$$F_I := \frac{v_{I\text{зас.к.м.}}}{\omega} = 125.007 \text{ м}^2$$

$$D_I := \sqrt{\frac{4F_I}{\pi}} = 12.616 \text{ м}$$

Высота слоя контактной массы:

$$h_{I\text{.к.м.}} := \frac{v_{I\text{раб.к.м.}}}{F_I} = 1.818 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Линейная скорость газов в слое при средней температуре слоя:

$$V_{I\text{час}} := 228.3$$

объем газа при нормальных условиях, м³/час

$$\alpha := \frac{1}{273}$$

коэффициент объемного расширения, град⁻¹[с.210, 1]

$$t_I := \frac{\sum T_{Xi}}{10} - 273 = 473.9$$

средняя температура газа, град

$$\omega_I := \frac{V_{I\text{час}} \cdot (1 + \alpha \cdot t_I)}{3600 \cdot F_I} = 1.388 \times 10^{-3} \frac{\text{м}}{\text{сек}}$$

Плотность газов:

$$m_{I\text{час}} := 490.3$$

часовая масса газов, кг/час

$$\rho_I := \frac{m_{I\text{час}}}{V_{I\text{час}} \cdot (1 + \alpha \cdot t_I)} = 0.785 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Гидравлическое сопротивление контактной массы первого слоя

Гидравлическое сопротивление слоя:

$$\Delta P_I := 6620 \cdot \omega_I^{1.7} \cdot \rho_I^{0.7} \cdot h_{I.K.M.} = 1.409 \times 10^{-4} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

Расчет второго слоя контактного аппарата

Принимаем, что газ на входе во второй слой имеет температуру 450⁰С. Тогда газ, поступающий из первого слоя, должен обладать следующим количеством тепла:

$$T_{H2} := 723$$

К

Температура на входе во второй слой.

Теплоемкость:

Для азота

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (1.059 \quad 1.068)^T$$

$$c_{5N_2} := \text{interp}(x, y, T_{H2}) = 1.063 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

[с.500,1]

Для кислорода

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.964 \quad 0.977)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{5O_2} := \text{interp}(x, y, T_{H2}) = 0.97$$

[с.500,1]

Для углекислого газа

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.984 \quad 1.013)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{5CO_2} := \text{interp}(x, y, T_{H2}) = 0.998$$

[с.500,1]

Для двуокиси серы

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.708 \quad 0.724)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{5SO_2} := \text{interp}(x, y, T_{H2}) = 0.716$$

[с.500,1]

Для серного ангидрида

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.782 \quad 0.812)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{5\text{SO}_3} := \text{interp}(x, y, T_{\text{H}_2}) = 0.797$$

$$[c.500, 1]$$

$$A7 := G_{3\text{SO}_2} \cdot c_{5\text{SO}_2} + G_{3\text{O}_2} \cdot c_{5\text{O}_2} + G_{3\text{CO}_2} \cdot c_{5\text{CO}_2} + G_{3\text{N}_2} \cdot c_{5\text{N}_2}$$

$$Q := (A7 + G_{3\text{SO}_3} \cdot c_{5\text{SO}_3}) \cdot (T_{\text{H}_2} - 273) = 2.258 \times 10^5 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

$$Q = 2.258 \times 10^5$$

где Q - количество тепла в газе, поступающем из первого слоя при температуре,

создающейся на входе во второй слой, кДж/ч

Фактически, газы при выходе из первого сло содержат:

$$Q_{11} + Q_{21} = 2.578 \times 10^5 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

то есть от газов необходимо отвести тепла:

$$Q_{11} + Q_{21} - Q = 3.197 \times 10^4 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

Это тепло идет на нагревание воздуха, поступающего с температурой 20⁰С влажностью 70%(т.е. с влагосодержанием 10,42*10⁻³кг воды на 1 кг сухого воздуха) при соответствующей энальпии см. табл.XIX [с.510,1], до температуры 450⁰С. При этой температуре воздух с вышеуказанным влагосодержанием имеет также соответствующую энтальпию. Энтальпия воздуха увеличивается, следовательно для поглощения тепла необходимо подать сухого воздуха:

$$i_{20} := 46.47 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

[с.510,1]

$$x := (400 \quad 500)^T$$

$$y := (516.7 \quad 557.3)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$i_{450} := \text{linterp}(x, y, 450) = 537$$

[с.510,1]

$$\Delta i := i_{450} - i_{20} = 490.53 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

сухого воздуха

$$G_{4\text{с.в.}} := \frac{(Q_{11} + Q_{21} - Q)}{\Delta i} = 65.164 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

В этом количестве сухого воздуха содержится 23% O₂ и 75,5% N₂. Воздух приносит:

$$G_{4\text{с.в.}} \cdot 10.42 \cdot 10^{-3} = 0.679 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

паров воды

$$G_{4\text{O}_2} := 0.23 \cdot G_{4\text{с.в.}} = 14.988 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{4\text{N}_2} := 0.755 \cdot G_{4\text{с.в.}} = 49.199 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

и его общая масса:

$$G_{4\text{с.в.}} \cdot 10.42 \cdot 10^{-3} + G_{4\text{с.в.}} = 65.843 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Состав газов для определения X_p , Топт и dt/dx .

Эти данные рассчитываются на основе состава газов до конверсии, потому к составу газов, поступающих в первый слой, прибавляются газы,

составляющие воздух, подаваемый для охлаждения. Имеем в $\text{кг, ч} \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$

$$G_{1\text{SO}_2} = 41.975 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{1\text{O}_2} + G_{4\text{O}_2} = 61.91 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{1\text{CO}_2} = 29.344 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{1\text{N}_2} + G_{4\text{N}_2} = 421.124 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{4\text{H}_2\text{O}} := G_{4\text{с.в.}} \cdot 10.42 \cdot 10^{-3} = 0.679$$

Соответствующие объемы газов равны:

$$V_{4\text{SO}_2} := G_{1\text{SO}_2} \cdot \rho_{1\text{SO}_2} = 110.394 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

$$V_{4\text{O}_2} := (G_{1\text{O}_2} + G_{4\text{O}_2}) \cdot \rho_{1\text{O}_2} = 91.008 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

$$V_{4\text{CO}_2} := G_{1\text{CO}_2} \cdot \rho_{1\text{CO}_2} = 58.1 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

$$V_{4\text{N}_2} := (G_{1\text{N}_2} + G_{4\text{N}_2}) \cdot \rho_{1\text{N}_2} = 947.529 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

$$V_{4\text{H}_2\text{O}} := G_{4\text{H}_2\text{O}} \cdot \rho_{1\text{H}_2\text{O}} = 0.546 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

Состав газа (об.%):

$$n_{\text{SO}_2} := \frac{V_{4\text{SO}_2}}{V_{4\text{SO}_2} + V_{4\text{O}_2} + V_{4\text{CO}_2} + V_{4\text{N}_2} + V_{4\text{H}_2\text{O}}} \cdot 100 = 9.142$$

$$n_{\text{O}_2} := \frac{V_{4\text{O}_2}}{V_{4\text{SO}_2} + V_{4\text{O}_2} + V_{4\text{CO}_2} + V_{4\text{N}_2} + V_{4\text{H}_2\text{O}}} \cdot 100 = 7.536$$

$$n_{\text{CO}_2} := \frac{V_{4\text{CO}_2}}{V_{4\text{SO}_2} + V_{4\text{O}_2} + V_{4\text{CO}_2} + V_{4\text{N}_2} + V_{4\text{H}_2\text{O}}} \cdot 100 = 4.811$$

$$n_{N_2} := \frac{V_{4N_2}}{V_{4SO_2} + V_{4O_2} + V_{4CO_2} + V_{4N_2} + V_{4H_2O}} \cdot 100 = 78.465$$

$$n_{H_2O} := \frac{V_{4H_2O}}{V_{4SO_2} + V_{4O_2} + V_{4CO_2} + V_{4N_2} + V_{4H_2O}} \cdot 100 = 0.045$$

$$n_{SO_2} + n_{O_2} + n_{CO_2} + n_{N_2} + n_{H_2O} = 100$$

Определение равновесной степени контактирования

Принятая степень контактирования:

$$X_{p2i} := \begin{pmatrix} 0.97 \\ 0.95 \\ 0.94 \\ 0.93 \\ 0.91 \\ 0.89 \\ 0.88 \\ 0.84 \\ 0.8 \\ 0.77 \end{pmatrix} \quad X_{p2} := \frac{K_{pi}}{K_{pi} + \sqrt{\frac{1}{P \cdot \frac{n_{O_2} - 0.5 \cdot n_{SO_2} \cdot X_{p2i}}{100 - 0.5 \cdot n_{SO_2} \cdot X_{p2i}}}}} =$$

	0
0	0.964
1	0.951
2	0.936
3	0.926
4	0.912
5	0.889
6	0.873
7	0.838
8	0.792
9	0.765

Полученные результаты:

Принятая степень

превращения

Полученная степень

превращения

Константа равновесия

Температура

К

$$X_{p2i} =$$

	0
0	0.97
1	0.95
2	0.94
3	0.93
4	0.91
5	0.89
6	0.88
7	0.84
8	0.8
9	0.77

$$X_{p2} =$$

	0
0	0.964
1	0.951
2	0.936
3	0.926
4	0.912
5	0.889
6	0.873
7	0.838
8	0.792
9	0.765

$$K_{pi} =$$

	0
0	0.857
1	0.607
2	0.455
3	0.392
4	0.317
5	0.243
6	0.208
7	0.153
8	0.11
9	0.092

$$T_i =$$

	0
0	693
1	713
2	733
3	753
4	773
5	793
6	813
7	833
8	853
9	873

59

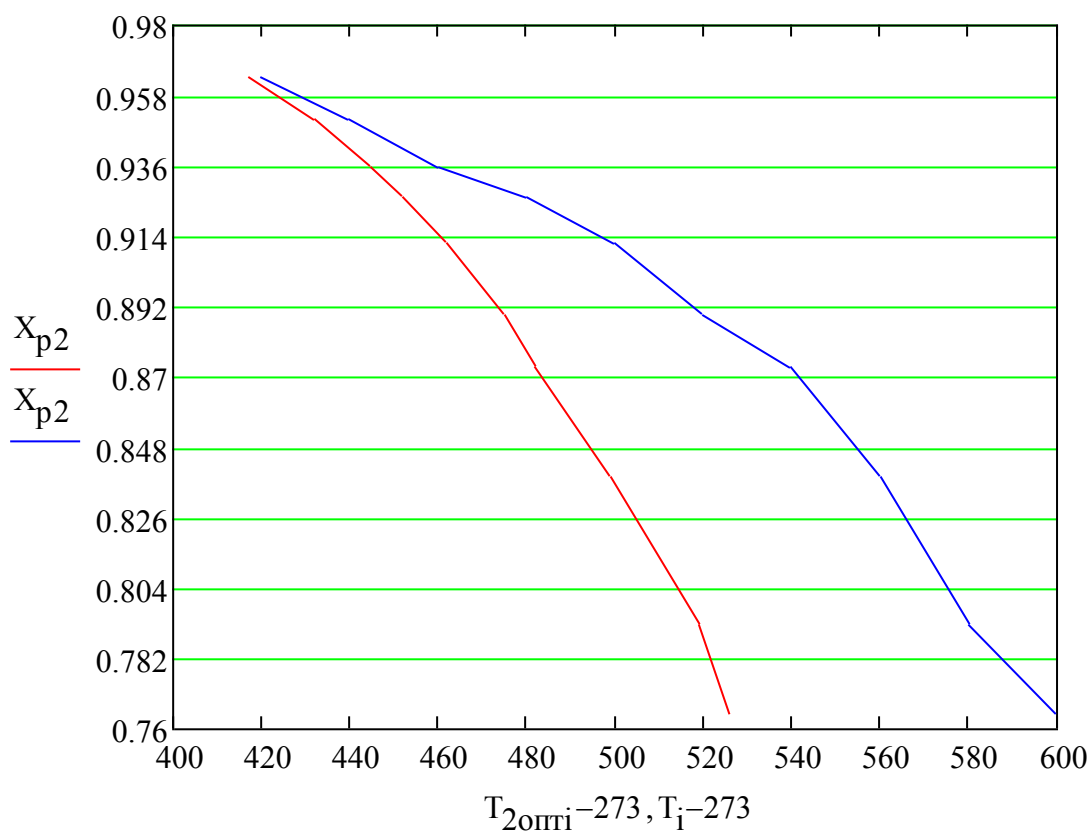
Оптимальная температура для каждой степени контактирования:

$$T_{2opti} = \frac{4905}{\log \left[\frac{X_{p2}}{(1 - X_{p2}) \cdot \sqrt{\frac{n_{O2} - 0.5 \cdot n_{SO2} \cdot X_{p2}}{100 - 0.5 \cdot n_{SO2} \cdot X_{p2}}}}} \right] + 4.937}$$

$$T_{2opt} := \begin{pmatrix} 690 \\ 705 \\ 718 \\ 725 \\ 735 \\ 748 \\ 755 \\ 772 \\ 792 \\ 799 \end{pmatrix}$$

К

Рисунок 4. Кривые степени контактирования и оптимальных температур для 2 слоя



Материальный расчет второго слоя

Во второй слой поступают газы из первого слоя и охлаждающий их воздух (в кг/ч)

$$G_{5SO_3} := G_{3SO_3} = 44.6 \text{ кг/ч}$$

$$G_{5SO_2} := G_{3SO_2} = 6.296 \text{ кг/ч}$$

$$G_{5O_2} := G_{3O_2} + G_{4O_2} = 52.991 \text{ кг/ч}$$

$$G_{5CO_2} := G_{3CO_2} = 29.3 \text{ кг/ч}$$

$$G_{5N_2} := G_{3N_2} + G_{4N_2} = 421.199 \text{ кг/ч}$$

$$G_{5H_2O} := G_{4H_2O} = 0.679 \text{ кг/ч}$$

Определение степени контактирования во втором слое:

Удельная теплота окисления двуокиси серы при 480 градусах:

$$x := (450 \quad 500)^T$$

$$y := (1480.6 \quad 1474)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$q_{2SO_2} := \text{interp}(x, y, 480) = 1.477 \times 10^3$$

$$[c.203, 1]$$

$$\Delta T = T_k - T_H$$

$$B1 := 0.5 \cdot G_{5SO_2} \cdot c_{5SO_2} + 0.5 \cdot G_{5SO_2} \cdot \frac{M_{1SO_3}}{M_{1SO_2}} \cdot c_{5SO_3}$$

$$B2 := \left[G_{5O_2} - 0.5 \cdot G_{5SO_2} \cdot \left(\frac{M_{1SO_3}}{M_{1SO_2}} - 1 \right) \right] \cdot c_{5O_2}$$

$$\Delta T = \frac{q_{2SO_2} \cdot G_{5SO_2} \cdot X}{B1 + B2 + G_{5CO_2} \cdot c_{5CO_2} + G_{5N_2} \cdot c_{5N_2}}$$

$$B3 := 0.5 \cdot G_{5SO_2} \cdot c_{5SO_2} + 0.5 \cdot G_{5SO_2} \cdot \frac{M_{1SO_3}}{M_{1SO_2}} \cdot c_{5SO_3}$$

$$B4 := G_{5CO_2} \cdot c_{5CO_2} + G_{5N_2} \cdot c_{5N_2}$$

$$q_{2SO_2} \cdot G_{5SO_2} = 9.297 \times 10^3$$

$$B3 + \left[G_{5O_2} - 0.5 \cdot G_{5SO_2} \cdot \left(\frac{M_{1SO_3}}{M_{1SO_2}} - 1 \right) \right] \cdot c_{5O_2} + B4 = 533.255$$

Числитель равен:

$$X(9.297 \times 10^3)$$

Знаменатель равен:

$$533.255$$

Итого получаем:

$$\Delta T2 := \frac{(9.297 \times 10^3)}{(533.255)} = 17.434$$

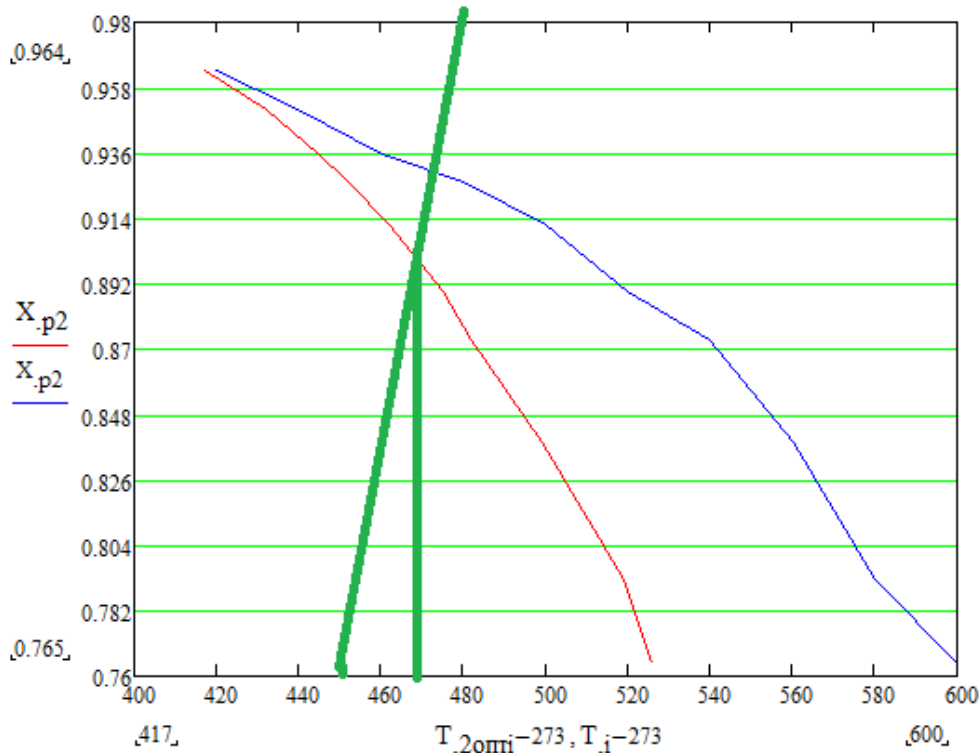
$$\Delta T2 = \frac{[X(9.297 \times 10^3)]}{(533.255)} = 18X$$

$$T_k - T_H = 18X$$

То есть при степени превращения 0.9 температура в аппарате увеличится примерно на 16⁰C (18*0.9=16.2)

Теперь, зная, что газы в первый слой поступают с температурой 450⁰C, можно построить линию превращения в первом слое, если соединим точку t=450⁰C и X=0 с точкой t=450+16.2=466.2⁰C и X=0.9 и продолжим эту линию до X=1. при таком проведении линии адиабаты процесса конечная точка первого слоя должна лежать между кривыми "степени контактирования" и "оптимальных температур". на основании этих данных принимаем, что на первом слое степень контактирования 0.915 и температура 472⁰C.

Рисунок 5. График определения оптимальной степени контактирования



Степень контактирования, достигаемая во втором слое, 0.9. Тогда в слое соответственно уменьшаются количества сернистого газа и кислорода и увеличивается количество серного ангидрида (в кг/ч).

$$G_{6SO_2} := G_{1SO_2} \cdot (0.9 - 0.85) = 2.099$$

$$G_{7SO_2} := G_{5SO_2} - G_{6SO_2} = 4.197$$

$$G_{6SO_3} := G_{6SO_2} \cdot \frac{M_{1SO_3}}{M_{1SO_2}} = 2.623$$

$$G_{7SO_3} := G_{5SO_3} + G_{6SO_3} = 47.223$$

$$G_{6O_2} := G_{6SO_3} - G_{6SO_2} = 0.525$$

$$G_{7O_2} := G_{5O_2} - G_{6O_2} = 52.466$$

Материальный баланс сведем в таблицу

Приход			Расход				
Статья	Кг/ч	Нм³/ч	Статья	Кг/ч	Нм³/ч	Объемн.%	% по массе
Газ из первого слоя			Газ из второго слоя				
SO2	6,3	2,4	SO2	4,197	1,37	0,52	0,65
SO3	44,6	23,23	SO3	47,2	25	9,43	8,65
O2	38	25,85	O2	52,5	35,6	13,43	9,42
N2	372	165,3	N2	421,2	187,2	70,63	75,88
CO2	29,3	15	CO2	29,3	15	5,66	5,28
			H2O	0,69	0,86	0,33	0,12
Всего	490,2	231,8	Всего	555,1	265,03	100	100
Воздух							
O2	15	10.2					
N2	49.2	28.87					
H2O	0.69	0.86					
	64.9	39.93					
Итого							
Всего	555.1	271.73					

Тепловой расчет второго слоя

Принимаем температуру на выходе из второго слоя 475⁰С.

$$G_{5SO3} = 44.6 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{5O2} = 52.991 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{5SO2} = 6.296 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{5N2} = 421.199 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{5CO2} = 29.3 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Первое приближение: температура на выходе 475⁰С.

Приход тепла.

Тепло газов, поступающих в слой:

$$T_2 := 475 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ср}} := \frac{(T_{\text{H2}} - 273 + T_2)}{2} = 462.5$$

средняя температура в слое

Энтальпия паров воды:

$$x := (40 \quad 500)^T$$

$$y := (412 \quad 519.2)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$i_{\text{H2O}} := \text{interp}(x, y, T_2) = 513.374$$

[с.512,1]

$$X1 := (G_{\text{SO2}} \cdot c_{\text{SO2}} + G_{\text{O2}} \cdot c_{\text{O2}} + G_{\text{CO2}} \cdot c_{\text{CO2}} + G_{\text{N2}} \cdot c_{\text{N2}}) \cdot (T_{\text{H2}} - 273)$$

$$Q_1 := X1 + G_{\text{H2O}} \cdot i_{\text{H2O}} = 2.403 \times 10^5 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

$$Q_1 = 2.403 \times 10^5$$

$$x := (450 \quad 500)^T$$

$$y := (1480.6 \quad 1474)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$q_4 := \text{interp}(x, y, T_{\text{ср}}) = 1.479 \times 10^3 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

[с.205, 1]

Тепло, выделяющееся при окислении двуокиси серы:

$$Q_2 := q_4 \cdot G_{\text{SO2}} = 9.312 \times 10^3 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

Общий приход тепла:

$$\Delta_{\text{II}} := (Q_1 + Q_2) = 2.496 \times 10^5$$

Расход тепла.

Тепло, уносимое отходящими газами:

$$G_{7H_2O} := G_{5H_2O}$$

$$X_3 := G_{7SO_2} \cdot c_{5SO_2} + G_{7O_2} \cdot c_{5O_2} + G_{5CO_2} \cdot c_{5CO_2} + G_{5N_2} \cdot c_{5N_2}$$

$$Q_3 := (X_3 + G_{7SO_3} \cdot c_{5SO_3}) \cdot T_2 + G_{7H_2O} \cdot i_{5H_2O} = 2.705 \times 10^5 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

$$Q_3 = 2.705 \times 10^5$$

Разность между приходом и расходом:

$$Q_1 + Q_2 - Q_3 = -2.094 \times 10^4$$

Этой разности соответствует незначительное изменение температуры, поэтому второго перерасчета проводить не будем.

Приход		Расход	
Статья	кДж/ч	Статья	кДж/ч
Тепло, поступающее в слой	240300	С газами из 2 слоя	270552
Тепло реакции	9312	Невязка в балансе	-20940
Всего	249612	Всего	249612

Определение времени контактирования

[с.207,1]

$$k_0 := 7.2 \cdot 10^6$$

сек⁻¹, коэффициент для массы БАВ в виде колец

[с.207,1]

$$E := 96296$$

дж/моль, энергия активизации для массы БАВ

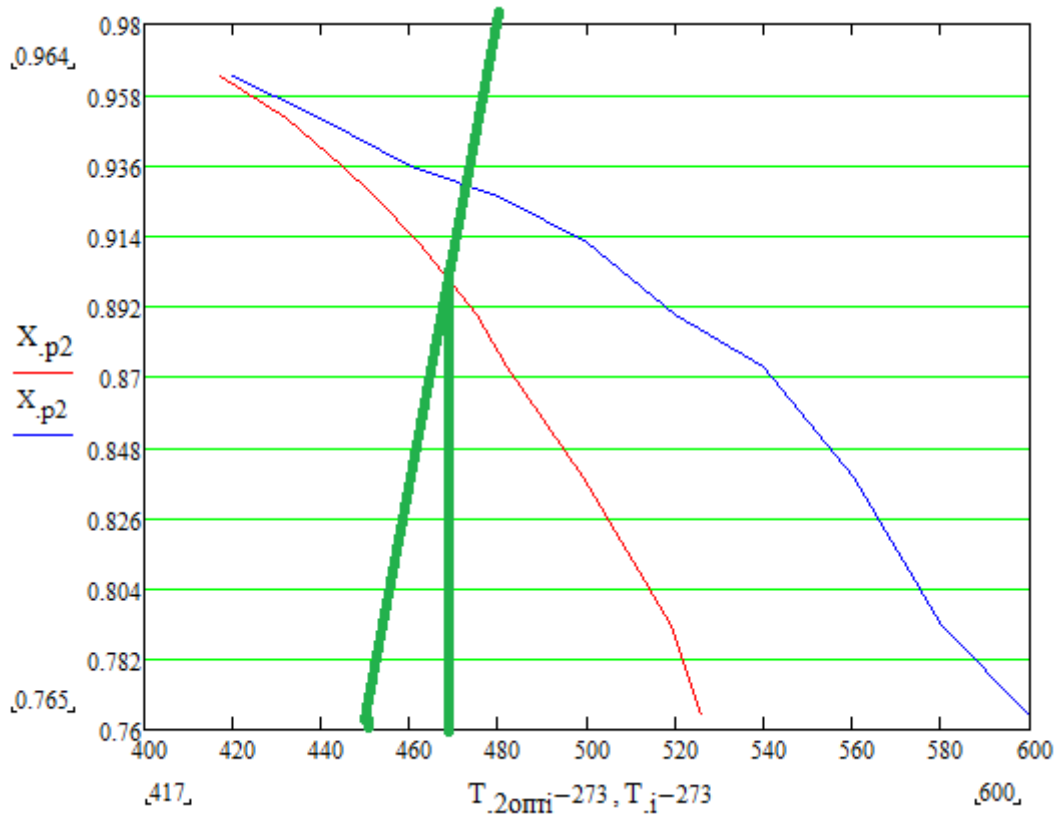
[с.207,1]

$$R = 8.314$$

дж/моль*град, газовая постоянная

По графику определяем температуру реакции для каждой степени превращения, от 0 до 0,9:

Рисунок 6. График определения температуры реакции



К

$$X_i := \begin{pmatrix} 0 \\ 0.1 \\ 0.2 \\ 0.3 \\ 0.4 \\ 0.5 \\ 0.6 \\ 0.7 \\ 0.8 \\ 0.9 \end{pmatrix} \quad T_{Xi} := \begin{pmatrix} 450 + 273 \\ 452 + 273 \\ 455 + 273 \\ 457 + 273 \\ 460 + 273 \\ 463 + 273 \\ 467 + 273 \\ 470 + 273 \\ 472 + 273 \\ 475 + 273 \end{pmatrix}$$

Далее повторим ранее произведенные расчеты, и найдем равновесную степень превращения, для чего вычислим константу скорости при выше найденных температурах T_{xi} :

$$\lg K_{p_{T_{Xi}}} := \frac{4905.5}{T_{Xi}} - 7.1455$$

$$K_{pi} := 10^{\lg K_{p_{T_{Xi}}}}$$

68

$$\lg K_{p_{T_{Xi}}} =$$

	0
0	-0.361
1	-0.379
2	-0.407
3	-0.426
4	-0.453
5	-0.48
6	-0.516
7	-0.543
8	-0.561
9	-0.587

$$K_{pi} =$$

	0
0	0.436
1	0.418
2	0.392
3	0.375
4	0.352
5	0.331
6	0.304
7	0.286
8	0.275
9	0.259

$$X_{1i} := \begin{pmatrix} 0.96 \\ 0.95 \\ 0.95 \\ 0.95 \\ 0.95 \\ 0.94 \\ 0.94 \\ 0.94 \\ 0.94 \\ 0.88 \end{pmatrix} \quad T_{Xi} := \begin{pmatrix} 450 + 273 \\ 452 + 273 \\ 455 + 273 \\ 457 + 273 \\ 460 + 273 \\ 463 + 273 \\ 467 + 273 \\ 470 + 273 \\ 472 + 273 \\ 475 + 273 \end{pmatrix}$$

$$b := 11.15$$

Содержание кислорода на входе во второй слой катализатора

$$a := 1.04$$

Содержание двуокиси серы на входе во второй слой катализатора

$$X_{pxi} = \frac{K_{pi}}{K_{pi} + \sqrt{\frac{1}{\left(P \cdot \frac{b - 0.5 \cdot a \cdot X_{1i}}{100 - 0.5 \cdot a \cdot X_{1i}} \right)}}$$

	0
0	723
1	725
2	728
3	730
4	733
5	736
6	740
7	743
8	745
9	748

$$T_{Xi} =$$

$$X_{pxi} :=$$

0.961
0.96
0.957
0.955
0.952
0.949
0.945
0.942
0.94
0.936

69

Посчитаем константу скорости при разных температурах T_{xi} :

$$K_{ci} := k_0 \cdot e^{\frac{-E}{R \cdot T_{Xi}}} =$$

	0
0	0.794
1	0.83
2	0.887
3	0.926
4	0.988
5	1.054
6	1.148
7	1.223
8	1.275
9	1.357

С учетом данных материального баланса, по уравнению Борескова [с.207,1], рассчитаем:

$$\frac{d\tau}{dX} = \text{Time}$$

$$\text{Time}_i = \frac{2a}{K_{ci}} \cdot \frac{T_{Xi}}{273} \cdot \left(\frac{X_i}{X_{pxi} - X_i} \right)^{0.8} \cdot \frac{1}{2 \cdot b - a \cdot X_i}$$

$$w_i := \frac{2a}{K_{ci}} =$$

	0
0	2.619
1	2.505
2	2.346
3	2.246
4	2.105
5	1.973
6	1.812
7	1.701
8	1.632
9	1.533

$$r_i := \frac{T_{Xi}}{273} =$$

	0
0	2.648
1	2.656
2	2.667
3	2.674
4	2.685
5	2.696
6	2.711
7	2.722
8	2.729
9	2.74

70

$$t_i := \left(\frac{X_i}{X_{pxi} - X_i} \right)^{0.8} =$$

	0
0	0
1	0.179
2	0.345
3	0.535
4	0.773
5	1.09
6	1.557
7	2.339
8	4.032
9	13.133

$$y_i := \frac{1}{2 \cdot b - a \cdot X_i} =$$

	0
0	0.045
1	0.045
2	0.045
3	0.045
4	0.046
5	0.046
6	0.046
7	0.046
8	0.047
9	0.047

$$\text{Time}_i = w_i \cdot r_i \cdot t_i \cdot y_i$$

$$\text{Time}_1 := 2.619 \cdot 2.648 \cdot 0 \cdot 0.045 = 0$$

$$\text{Time}_2 := 2.505 \cdot 2.656 \cdot 0.179 \cdot 0.045 = 0.054$$

$$\text{Time}_3 := 2.346 \cdot 2.667 \cdot 0.345 \cdot 0.045 = 0.097$$

$$\text{Time}_4 := 2.246 \cdot 2.674 \cdot 0.535 \cdot 0.045 = 0.145$$

$$\text{Time}_5 := 2.105 \cdot 2.685 \cdot 0.773 \cdot 0.046 = 0.201$$

$$\text{Time}_6 := 1.973 \cdot 2.696 \cdot 1.09 \cdot 0.046 = 0.267$$

$$\text{Time}_7 := 1.812 \cdot 2.711 \cdot 1.557 \cdot 0.046 = 0.352$$

$$\text{Time}_8 := 1.701 \cdot 2.722 \cdot 2.339 \cdot 0.046 = 0.498$$

$$\text{Time}_9 := 1.632 \cdot 2.729 \cdot 4.032 \cdot 0.047 = 0.844$$

$$\text{Time}_{10} := 1.533 \cdot 2.74 \cdot 13.133 \cdot 0.047 = 2.593$$

71

Результаты расчета сведем в таблицу:

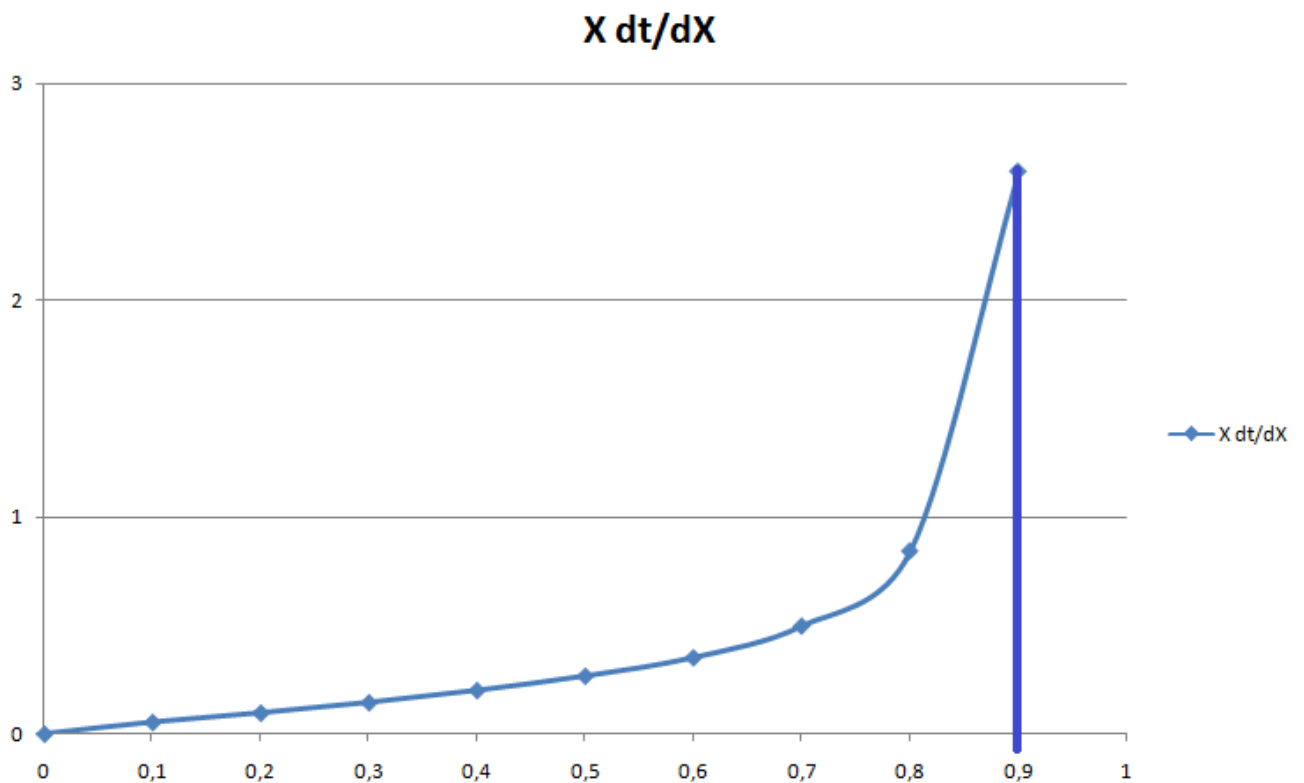
X	t, °C	T, °K	X_p	k_x	dt/dX
0	450	723	0.961	0.794	0
0.1	452	725	0.96	0.83	0.054
0.2	455	728	0.957	0.887	0.097
0.3	457	730	0.955	0.926	0.145
0.4	460	733	0.952	0.988	0.201
0.5	463	736	0.949	1.054	0.267
0.6	467	740	0.945	1.148	0.352
0.7	470	743	0.942	1.223	0.498
0.8	472	745	0.94	1.275	0.844
0.9	475	748	0.936	1.357	2.593

Наносим точки, соответствующие X и dt/dX , на график с масштабом: по оси абсцисс $1 \text{ см} = 0,1X$, по ординат $1 \text{ см} = 0,5 dt/dX$, по площади $1 \text{ см}^2 = 0,1 \cdot 0,5 = 0,05$ сек. Находим, что площадь кривой равна:

$$S_{kp} := 7.75 \text{ см}^2$$

Фиктивное время контактирования:

$$\tau_{II} := S_{kp} \cdot 0.05 = 0.388 \text{ сек}$$



Расчет объема и массы катализатора

$v_{\text{Iраб.к.м.}}$

-объем контактной массы в первом слоев рабочем состоянии, м³

$$C_{\text{II}} := 1.5$$

коэффициент запаса [с.208, 1]

$$v_{\text{Iсек}} := \frac{265.03}{3600} = 0.074$$

- секундный объем газов, проходящих через слой, нм³/сек

$$\tau_{\text{II}} = 0.388$$

- фиктивное время контактирования, сек

$$v_{\text{Iраб.к.м.}} := C_{\text{II}} \cdot v_{\text{Iсек}} \cdot \tau_{\text{II}} = 0.043 \text{ м}^3$$

Объем контактной массы при загрузке в 1,1 раза более рабочего объема.

Отсюда:

$$v_{\text{Iзас.к.м.}} := v_{\text{Iраб.к.м.}} \cdot 1.1 = 0.047 \text{ м}^3$$

Насыпной вес кольцевой контактной массы в рабочем состоянии:

$$d_{\text{Праб.к.м.}} := 600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

при загрузке:

$$d_{\text{Пзас.к.м.}} := 450 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

В аппарат засыпается контактная масса, насыщенная соединениями серы:

$$m_{\text{Пзас.к.м.}} := v_{\text{Пзас.к.м.}} \cdot d_{\text{Пзас.к.м.}} = 21.182 \text{ кг}$$

При работе в аппарате содержится контактной массы, насыщенной соединениями серы:

$$m_{\text{Праб.к.м.}} := v_{\text{Праб.к.м.}} \cdot d_{\text{Праб.к.м.}} = 25.675 \text{ кг}$$

Определение габаритных размеров аппарата:

Скорость газа:

$$\omega := 0.002 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

если не учитывать изменение объема газа в результате окисления

Площадь, необходимая для контактной массы:

$$F_{\text{II}} := \frac{v_{\text{Пзас.к.м.}}}{\omega} = 23.535 \text{ м}^2$$

$$D_{\text{II}} := \sqrt{\frac{4F_{\text{II}}}{\pi}} = 5.474 \text{ м}$$

Высота слоя контактной массы:

$$h_{\text{II.к.м.}} := \frac{v_{\text{Праб.к.м.}}}{F_{\text{II}}} = 1.818 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Линейная скорость газов в слое при средней температуре слоя:

$$V_{II\text{час}} := 265.03$$

объем газа при нормальных условиях, нм³/час

$$\alpha := \frac{1}{273}$$

коэффициент объемного расширения, град⁻¹[с.210, 1]

$$t_{II} := \frac{\sum T_{Xi}}{10} - 273 = 462.1$$

средняя температура газа, град

$$\omega_{II} := \frac{V_{II\text{час}} \cdot (1 + \alpha \cdot t_{II})}{3600 \cdot F_{II}} = 8.423 \times 10^{-3} \frac{\text{м}}{\text{сек}}$$

Плотность газов:

$$m_{II\text{час}} := 555$$

часовая масса газов, кг/час

$$\rho_{II} := \frac{m_{II\text{час}}}{V_{II\text{час}} \cdot (1 + \alpha \cdot t_{II})} = 0.778 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Гидравлическое сопротивление слоя:

$$\Delta P_{II} := 6620 \cdot \omega_{II}^{1.7} \cdot \rho_{II}^{0.7} \cdot h_{II.\text{к.м.}} = 3.002 \times 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

Расчет третьего слоя контактного аппарата

При расчете третьего и четвертого слоев аппарата необходимо учитывать, что они загружены не кольцеобразной, а гранулированной контактной массой.

Количество воздуха, необходимого для охлаждения газов.

Температура газов при входе в третий слой 470°C. Аналогично расчету второго слоя имеем

$$T_{H2} := 743$$

К

Температура на входе во третий слой.

Теплоемкость:

Для азота

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (1.059 \quad 1.068)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{9N2} := \text{interp}(x, y, T_{H2}) = 1.065$$

[с.500,1]

Для кислорода

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.964 \quad 0.977)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{9O2} := \text{interp}(x, y, T_{H2}) = 0.973$$

[с.500,1]

Для углекислого газа

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.984 \quad 1.013)^T$$

$$c_{9CO2} := \text{interp}(x, y, T_{H2}) = 1.004 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

[с.500,1]

Для двуокиси серы

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.708 \quad 0.724)^T$$

$$c_{9SO2} := \text{interp}(x, y, T_{H2}) = 0.719 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

[с.500,1]

Для серного ангидрида

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.782 \quad 0.812)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{9SO3} := \text{interp}(x, y, T_{H2}) = 0.803 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad [\text{с.500,1}]$$

$$i_{9H2O} := 3405$$

[с.514,1]

$$G_{7CO2} := G_{5CO2} = 29.3$$

$$G_{7N2} := G_{5N2} = 421.199$$

$$X5 := G_{7SO2} \cdot c_{9SO2} + G_{7O2} \cdot c_{9O2} + G_{7CO2} \cdot c_{9CO2} + G_{7N2} \cdot c_{9N2}$$

$$Q := (X5 + G_{7SO3} \cdot c_{9SO3}) \cdot (T_{H2} - 273) + G_{7H2O} \cdot i_{9H2O} = 2.703 \times 10^5$$

$$Q = 2.703 \times 10^5 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

где Q - количество тепла в газе, поступающем из второго слоя при температуре, создающейся на входе в третий слой, кДж/ч

Фактически, газы при выходе из второго слоя содержат:

$$\Delta_{II} = 2.496 \times 10^5 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

то есть газу необходимо подвести тепла:

$$\Delta Q := (\Delta H - Q) = -2.07 \times 10^4 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

При 470 °С энтальпия сухого воздуха равна:

$$x := (400 \quad 500)^T$$

$$y := (412 \quad 519.2)^T$$

$$i_{470} := \text{linterp}(x, y, T_{H2} - 273) = 487.04 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

[с.512,1]

То есть, для того, чтобы подвести тепло, мы введем дополнительно сухого воздуха при 470 °С:

$$G_{8\text{с.в.}} := \frac{(|\Delta Q|)}{i_{470}} = 42.498 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

сухого воздуха

В этом количестве сухого воздуха содержится 22% O₂ и 74,5% N₂. Воздух приносит:

$$G_{8\text{O}_2} := 0.225 \cdot G_{8\text{с.в.}} = 9.562 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{8\text{N}_2} := 0.745 \cdot G_{8\text{с.в.}} = 31.661 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Состав газов для определения X_p , $T_{\text{опт}}$ и dt/dx .

Имеем в кг,ч:

$$G_{1\text{SO}_2} = 41.975 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{1\text{O}_2} + G_{4\text{O}_2} + G_{8\text{O}_2} = 71.472 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{1\text{CO}_2} = 29.344 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{1N2} + G_{4N2} + G_{8N2} = 452.785 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{8H2O} := G_{4\text{с.в.}} \cdot 10.42 \cdot 10^{-3} = 0.679 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Соответствующие объемы газов равны:

$$V_{8SO2} := \frac{G_{1SO2}}{\rho_{1SO2}} = 15.96 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

$$V_{8O2} := \frac{G_{1O2} + G_{4O2} + G_{8O2}}{\rho_{1O2}} = 48.62 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

$$V_{8CO2} := \frac{G_{1CO2}}{\rho_{1CO2}} = 14.82 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

$$V_{8N2} := \frac{G_{1N2} + G_{4N2} + G_{8N2}}{\rho_{1N2}} = 201.238$$

$$V_{8H2O} := \frac{G_{8H2O}}{\rho_{1H2O}} = 0.844 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

Состав газа (об.%):

$$n_{SO2} := \frac{V_{8SO2}}{V_{8SO2} + V_{8O2} + V_{8CO2} + V_{8N2} + V_{8H2O}} \cdot 100 = 5.67$$

$$n_{O2} := \frac{V_{8O2}}{V_{8SO2} + V_{8O2} + V_{8CO2} + V_{8N2} + V_{8H2O}} \cdot 100 = 17.273$$

$$n_{CO2} := \frac{V_{8CO2}}{V_{8SO2} + V_{8O2} + V_{8CO2} + V_{8N2} + V_{8H2O}} \cdot 100 = 5.265$$

$$n_{N2} := \frac{V_{8N2}}{V_{8SO2} + V_{8O2} + V_{8CO2} + V_{8N2} + V_{8H2O}} \cdot 100 = 71.492$$

$$n_{H_2O} := \frac{V_{H_2O}}{V_{SO_2} + V_{O_2} + V_{CO_2} + V_{N_2} + V_{H_2O}} \cdot 100 = 0.3$$

$$n_{SO_2} + n_{O_2} + n_{CO_2} + n_{N_2} + n_{H_2O} = 100$$

Определение равновесной степени контактирования

$$T_i := \begin{pmatrix} 743 \\ 747 \\ 750 \\ 755 \\ 759 \\ 762 \\ 767 \\ 770 \\ 775 \\ 777 \end{pmatrix} \quad i := 0..10$$

80

$$\lg K_{p_i} := \frac{4905.5}{T_i} - 7.1455$$

$$\lg K_{p_i} =$$

	0
0	-0.543
1	-0.579
2	-0.605
3	-0.648
4	-0.682
5	-0.708
6	-0.75
7	-0.775
8	-0.816
9	-0.832

$$K_{p_i} := 10^{\lg K_{p_i}}$$

	0
0	0.286
1	0.264
2	0.248
3	0.225
4	0.208
5	0.196
6	0.178
7	0.168
8	0.153
9	0.147

Принятая степень контактирования:

$$X_{p2i} := \begin{pmatrix} 0.95 \\ 0.94 \\ 0.94 \\ 0.94 \\ 0.93 \\ 0.93 \\ 0.92 \\ 0.92 \\ 0.91 \\ 0.91 \end{pmatrix}$$

$$X_{p2} := \frac{K_{pi}}{K_{pi} + \sqrt{\frac{1}{\left(P \cdot \frac{n_{O2} - 0.5 \cdot n_{SO2} \cdot X_{p2i}}{100 - 0.5 \cdot n_{SO2} \cdot X_{p2i}} \right)}}} =$$

	0
0	0.95
1	0.947
2	0.943
3	0.938
4	0.933
5	0.929
6	0.923
7	0.919
8	0.911
9	0.908

81

Полученные результаты:

Принятая степень

превращения

Полученная степень

превращения

Константа равновесия

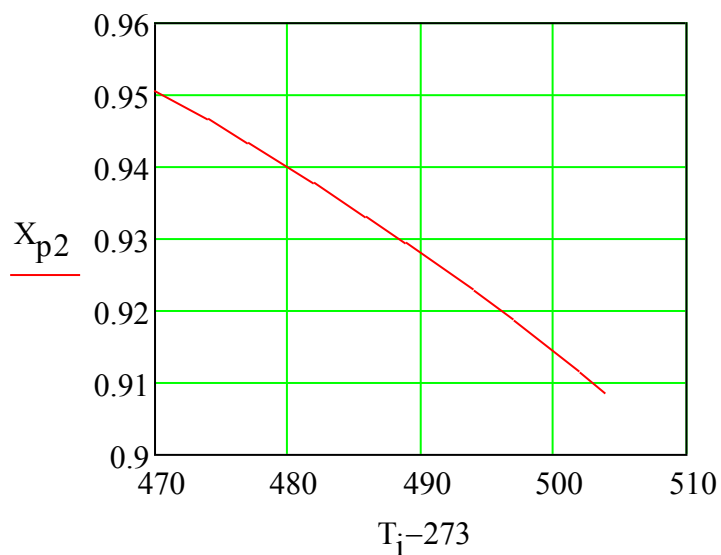
Температура

К

$X_{p2i} =$		0	$X_{p2} =$		0
	0	0.95		0	0.95
	1	0.94		1	0.947
	2	0.94		2	0.943
	3	0.94		3	0.938
	4	0.93		4	0.933
	5	0.93		5	0.929
	6	0.92		6	0.923
	7	0.92		7	0.919
	8	0.91		8	0.911
	9	0.91		9	0.908

$K_{pi} =$		0	$T_i =$		0
	0	0.286		0	743
	1	0.264		1	747
	2	0.248		2	750
	3	0.225		3	755
	4	0.208		4	759
	5	0.196		5	762
	6	0.178		6	767
	7	0.168		7	770
	8	0.153		8	775
	9	0.147		9	777

Рисунок 7. Диаграмма X-T для третьего слоя



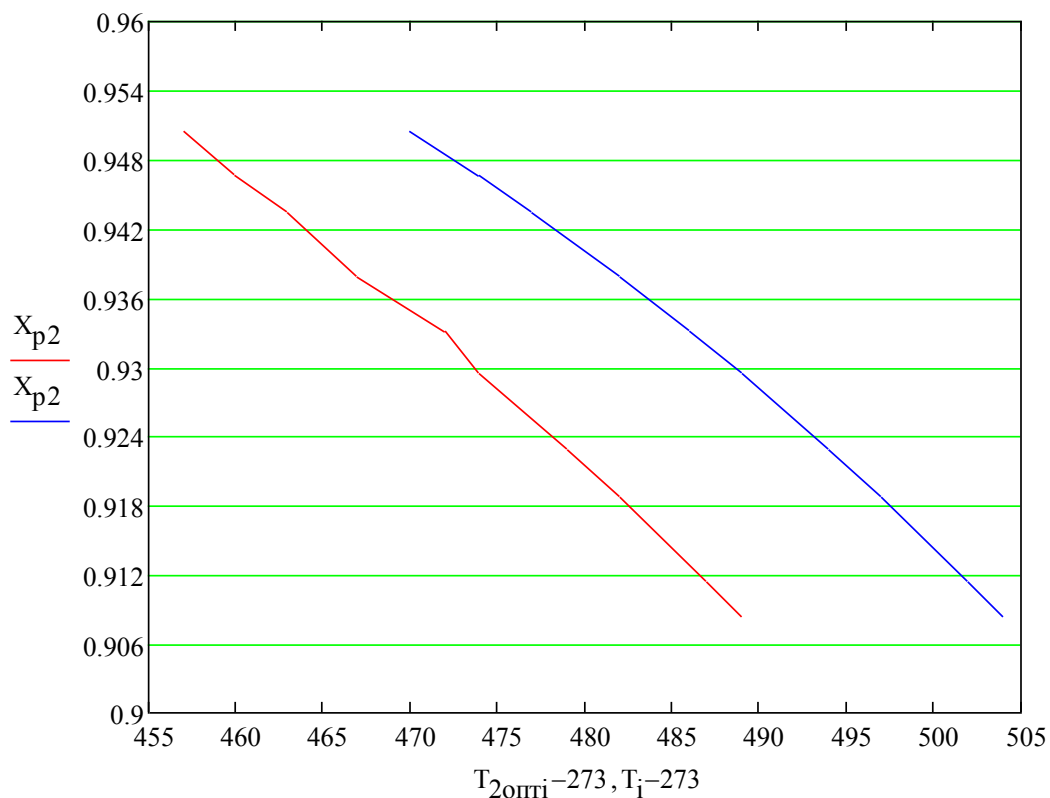
82

Оптимальная температура для каждой степени контактирования:

$$T_{2\text{опт}} = \frac{4905}{\log \left[\frac{X_{p2}}{(1 - X_{p2}) \cdot \sqrt{\frac{n_{\text{O2}} - 0.5 \cdot n_{\text{SO2}} \cdot X_{p2}}{100 - 0.5 \cdot n_{\text{SO2}} \cdot X_{p2}}}} \right]} + 4.937$$

$$T_{2\text{опт}} := \begin{pmatrix} 730 \\ 733 \\ 736 \\ 740 \\ 745 \\ 747 \\ 752 \\ 755 \\ 760 \\ 762 \end{pmatrix} \text{ K}$$

Рисунок 8. Кривые степени контактирования и оптимальных температур



Материальный расчет третьего слоя

В третий слой поступают газы из првого слоя и охлаждающий их воздух (в кг/ч)

$$G_{9SO_3} := G_{7SO_3} = 47.223 \text{ кг/ч}$$

$$G_{9SO_2} := G_{7SO_2} = 4.197 \text{ кг/ч}$$

$$G_{9O_2} := G_{7O_2} + G_{8O_2} = 62.028 \text{ кг/ч}$$

$$G_{9CO_2} := G_{3CO_2} = 29.3 \text{ кг/ч}$$

$$G_{9N_2} := G_{5N_2} + G_{8N_2} = 452.86 \text{ кг/ч}$$

$$G_{9H_2O} := G_{8H_2O} = 0.679 \text{ кг/ч}$$

Определение степени контактирования во третьем слое:

Удельная теплота окисления двуокиси серы при 470 градусах:

$$x := (450 \quad 500)^T$$

$$y := (1480.6 \quad 1474)^T$$

$$q_{2SO_2} := \text{interp}(x, y, 470) = 1.478 \times 10^3 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$[c.203, 1]$$

$$\Delta T = T_k - T_H$$

$$Z1 := 0.5 \cdot G_{9SO_2} \cdot c_{9SO_2} + 0.5 \cdot G_{9SO_2} \cdot \frac{M_{1SO_3}}{M_{1SO_2}} \cdot c_{9SO_3}$$

$$Z2 := \left[G_{9O_2} - 0.5 \cdot G_{9SO_2} \cdot \left(\frac{M_{1SO_3}}{M_{1SO_2}} - 1 \right) \right] \cdot c_{9O_2}$$

$$Z3 := 0.5 \cdot G_{9SO_2} \cdot c_{9SO_2} + 0.5 \cdot G_{9SO_2} \cdot \frac{M_{1SO_3}}{M_{1SO_2}} \cdot c_{9SO_3}$$

$$Z4 := \left[G_{9O_2} - 0.5 \cdot G_{9SO_2} \cdot \left(\frac{M_{1SO_3}}{M_{1SO_2}} - 1 \right) \right] \cdot c_{9O_2}$$

$$\Delta T = \frac{q_{2SO_2} \cdot G_{9SO_2} \cdot X}{Z1 + Z2 + G_{9CO_2} \cdot c_{9CO_2} + G_{9N_2} \cdot c_{9N_2}}$$

$$q_{2SO_2} \cdot G_{9SO_2} = 6.204 \times 10^3$$

$$Z3 + Z4 + G_{9CO_2} \cdot c_{9CO_2} + G_{9N_2} \cdot c_{9N_2} = 575.322$$

Числитель равен:

$$X(6.204 \times 10^3)$$

Знаменатель равен:

$$575.982$$

$$\Delta T_2 := \frac{(6.204 \times 10^3)}{(575.982)} = 10.771$$

Итого получаем:

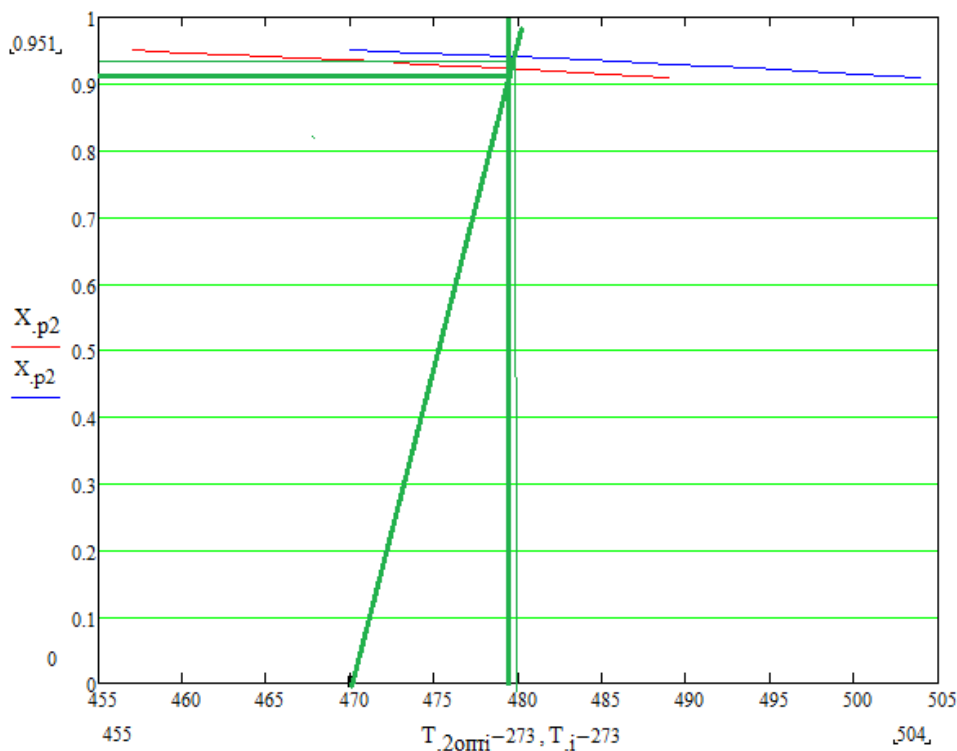
$$\Delta T_2 = \frac{[X(6.204 \times 10^3)]}{(575.982)} = 11X$$

$$T_K - T_H = 11X$$

То есть при степени превращения 0.91 температура в аппарате увеличится примерно на 11⁰C (11*0.91=9)

Теперь, зная, что газы в первый слой поступают с температурой 470⁰C, можно построить линию превращения в первом слое, если соединим точку t=470⁰C и X=0 с точкой t=470+9=479⁰C и X=0.91 и продолжим эту линию до X=1. при таком проведении линии адиабаты процесса конечная точка первого слоя должна лежать между кривыми "степени контактирования" и "оптимальных температур". на основании этих данных принимаем, что на третьем слое степень контактирования 0.934 и температура 480⁰C.

Рисунок 9. Определение температуры и степени преарращения реакции



Степень контактирования, достигаемая в третьем слое, 0.934. Тогда в слое соответственно уменьшаются количества сернистого газа и кислорода и увеличивается количество серного ангидрида (в кг/ч).

$$G_{10SO_2} := G_{1SO_2} \cdot (0.934 - 0.9) = 1.427$$

$$G_{11SO_2} := G_{9SO_2} - G_{10SO_2} = 2.77$$

$$G_{10SO_3} := G_{10SO_2} \cdot \frac{M_{1SO_3}}{M_{1SO_2}} = 1.784$$

$$G_{11SO_3} := G_{9SO_3} + G_{10SO_3} = 49.007$$

$$G_{10O_2} := G_{10SO_3} - G_{10SO_2} = 0.357$$

$$G_{11O_2} := G_{9O_2} - G_{10O_2} = 61.671$$

Материальный баланс сведем в таблицу

Приход			Расход				
Статья	Кг/ч	Нм³/ч	Статья	Кг/ч	Нм³/ч	Объемн. %	% по массе
Газ из второго слоя			Газ из третьего слоя				
SO ₂	4.2	1.6	SO ₂	2.8	1.06	0.4	0.5
SO ₃	47.2	24.6	SO ₃	49	25.5	8.9	8.2
O ₂	52.5	35.7	O ₂	61.9	42.1	14.7	10.4
N ₂	421.2	187.2	N ₂	453.3	201.4	70.5	75.9
CO ₂	29.3	14.82	CO ₂	29.3	14.82	5.2	4.9
H ₂ O	0.7	0.85	H ₂ O	0.7	0.85	0.3	0.1
Всего	555.1	264.77	Всего	597	285.73	100	100
Воздух							
O ₂	9.4	6.7					
N ₂	32.1	14.04					
H ₂ O							
Итого	42.6	20.74					
Всего	597	285.44					

Тепловой расчет третьего слоя

Принимаем температуру на выходе из второго слоя 480⁰С.

$$G_{9SO_3} = 47.223 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{O_2} = 62.028 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{SO_2} = 4.197 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{N_2} = 452.86 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{CO_2} = 29.3 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Принимаем температуру на выходе из слоя:

$$T_3 := 480 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{III} := T_3 + 273 = 753$$

К

$$T_{cp} := \frac{(T_{H_2} - 273 + T_3)}{2} = 475$$

средняя температура в слое

Энтальпия паров воды:

$$x := (400 \quad 500)^T$$

$$y := (412 \quad 519.2)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

88

$$i_{H_2O} := \text{linterp}(x, y, T_{cp}) = 492.4$$

[с.512,1]

Тепло на выходе из второго слоя:

$$\Delta Q_{II} = 2.496 \times 10^5 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

Энтальпия воздуха:

$$i_{8\text{с.в.}} := i_{20} = 46.47 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Тепло с воздухом:

$$Q_8 := G_{8\text{с.в.}} \cdot i_{8\text{с.в.}} = 1.975 \times 10^3 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

$$x := (450 \quad 500)^T$$

$$y := (1480.6 \quad 1474)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

[с.205, 1]

$$q_{10} := \text{interp}(x, y, T_{\text{ср}}) = 1.477 \times 10^3$$

Тепло реакции:

$$Q_{10} := q_{10} \cdot G_{10\text{SO}_2} = 2.108 \times 10^3 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

$$\Sigma Q_{\text{III}} := \Delta_{\text{II}} + Q_8 + Q_{10} = 2.537 \times 10^5 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

Теплоемкость:

Для азота

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (1.059 \quad 1.068)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{11\text{N}_2} := \text{interp}(x, y, T_{\text{ср}}) = 1.041$$

[с.500,1]

Для кислорода

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.964 \quad 0.977)^T$$

$$\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{11\text{O}_2} := \text{interp}(x, y, T_{\text{cp}}) = 0.938$$

$$[\text{с.500}, 1]$$

Для углекислого газа

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.984 \quad 1.013)^T$$

$$c_{11\text{CO}_2} := \text{interp}(x, y, T_{\text{cp}}) = 0.927 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$[\text{с.500}, 1]$$

Для двуокиси серы

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.708 \quad 0.724)^T$$

$$c_{11\text{SO}_2} := \text{interp}(x, y, T_{\text{cp}}) = 0.676 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$[\text{с.500}, 1]$$

Для серного ангидрида

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.782 \quad 0.812)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{11\text{SO}_3} := \text{interp}(x, y, T_{\text{cp}}) = 0.723$$

$$[\text{с.500}, 1]$$

$$G_{11\text{CO}_2} := G_{9\text{CO}_2} = 29.3 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{11\text{N}_2} := G_{9\text{N}_2} = 452.86 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{11H_2O} := G_{9H_2O} = 0.679 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$Q_{11} := (G_{11SO_3} \cdot c_{11SO_3} + G_{11SO_2} \cdot c_{11SO_2} + G_{11O_2} \cdot c_{11O_2} + G_{11CO_2} \cdot c_{11CO_2} + G_{11N_2} \cdot c_{11N_2}) \cdot T_2 + G_{11H_2O} \cdot i_{11H_2O} = 2.824 \times 10^5$$

$$Q_{11} = 2.824 \times 10^5 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

Расхождение в балансе:

$$\Delta Q_{III} := \Sigma Q_{III} - Q_{11} = -2.874 \times 10^4 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

Сводный тепловой баланс третьего слоя

Приход		Расход	
Статья	кДж/ч	Статья	кДж/ч
С газами из второго слоя	249612	С газами из третьего слоя	282435
С воздухом	1975	Невязка в балансе	-28740
Тепло реакции	2108		
Всего	253695	Всего	253695

Определение времени контактирования

$$k_0 := 9.35 \cdot 10^6$$

сек⁻¹, коэффициент для гранулированной массы БАВ

[с.207,1]

$$E := 96296$$

дж/моль, энергия активизации для массы БАВ

[с.207,1]

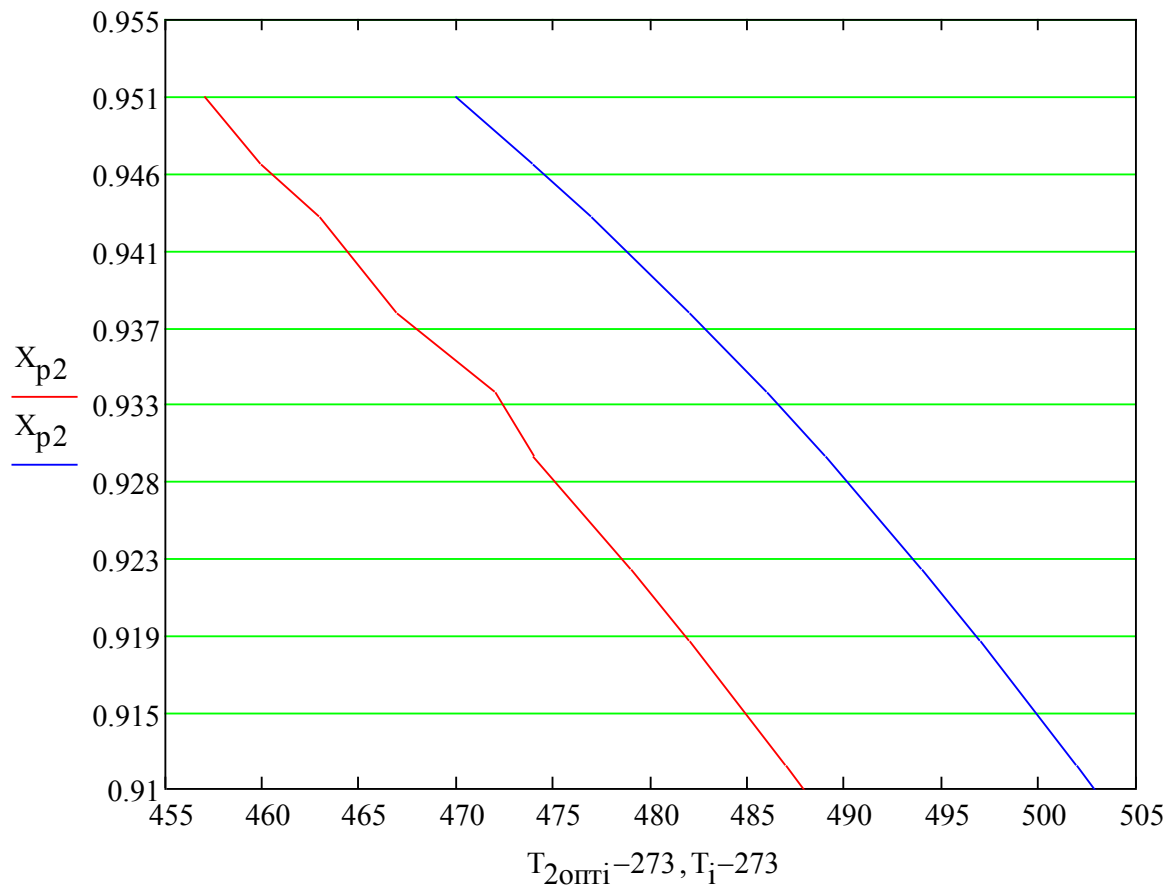
$$R = 8.314$$

дж/моль*град, газовая постоянная

[с.207,1]

По графику определяем температуру реакции для каждой степени превращения, от 0,91 до 0,95:

Рисунок 10. График для определения температуры реакции



92

$$T_{Xi} := \begin{pmatrix} 495 + 273 \\ 490 + 273 \\ 485 + 273 \\ 475 + 273 \\ 467 + 273 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 768 \\ 763 \\ 758 \\ 748 \\ 740 \end{pmatrix}$$

$$X_i := \begin{pmatrix} 0.909 \\ 0.919 \\ 0.925 \\ 0.939 \\ 0.945 \end{pmatrix}$$

K

Далее повторим ранее произведенные расчеты, и найдем равновесную степень превращения, для чего вычислим константу скорости при выше найденных температурах T_{Xi} :

$$\lg K_{pT_{Xi}} := \frac{4905.5}{T_{Xi}} - 7.1455$$

$$K_{pi} := 10^{\lg K_{pT_{Xi}}}$$

$$K_{pi} = \begin{pmatrix} 0.175 \\ 0.192 \\ 0.212 \\ 0.259 \\ 0.304 \end{pmatrix}$$

$$\lg K_{pT_{Xi}} = \begin{pmatrix} -0.758 \\ -0.716 \\ -0.674 \\ -0.587 \\ -0.516 \end{pmatrix}$$

$$T_{Xi} := \begin{pmatrix} 465 + 273 \\ 472 + 273 \\ 486 + 273 \\ 493 + 273 \\ 498 + 273 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 738 \\ 745 \\ 759 \\ 766 \\ 771 \end{pmatrix}$$

$$X_{1i} := \begin{pmatrix} 0.92 \\ 0.925 \\ 0.931 \\ 0.943 \\ 0.951 \end{pmatrix}$$

K

$$\underline{b} := 13.5$$

Содержание кислорода на входе в третий слой катализатора

$$\underline{a} := 0.6$$

Содержание двуокиси серы на входе в третий слой катализатора

$$X_{pxi} = \frac{K_{pi}}{K_{pi} + \sqrt{\frac{1}{\left(P \cdot \frac{b - 0.5 \cdot a \cdot X_{1i}}{100 - 0.5 \cdot a \cdot X_{1i}} \right)}}$$

$$X_{pxi} := \begin{pmatrix} 0.917 \\ 0.925 \\ 0.929 \\ 0.942 \\ 0.947 \end{pmatrix} \quad T_{Xi} = \begin{pmatrix} 738 \\ 745 \\ 759 \\ 766 \\ 771 \end{pmatrix}$$

Посчитаем константу скорости при разных температурах T_{Xi} :

$$K_{ci} := k_0 \cdot e^{\frac{-E}{R \cdot T_{Xi}}} = \begin{pmatrix} 1.428 \\ 1.655 \\ 2.205 \\ 2.535 \\ 2.796 \end{pmatrix}$$

С учетом данных материального баланса, по уравнению Борескова [с.207,1], рассчитаем:

$$\frac{d\tau}{dX} = \text{Time}$$

$$\text{Time}_i = \frac{2a}{K_{ci}} \cdot \frac{T_{Xi}}{273} \cdot \left(\frac{X_i}{X_{pxi} - X_i} \right)^{0.8} \cdot \frac{1}{2 \cdot b - a \cdot X_i}$$

94

$$w_i := \frac{2a}{K_{ci}} = \begin{pmatrix} 0.84 \\ 0.725 \\ 0.544 \\ 0.473 \\ 0.429 \end{pmatrix} \quad r_i := \frac{T_{Xi}}{273} = \begin{pmatrix} 2.703 \\ 2.729 \\ 2.78 \\ 2.806 \\ 2.824 \end{pmatrix}$$

$$t_i := \left(\frac{X_i}{X_{pxi} - X_i} \right)^{0.8} = \begin{pmatrix} 44.094 \\ 55.993 \\ 77.851 \\ 99.183 \\ 137.886 \end{pmatrix} \quad y_i := \frac{1}{2 \cdot b - a \cdot X_i} = \begin{pmatrix} 0.038 \\ 0.038 \\ 0.038 \\ 0.038 \\ 0.038 \end{pmatrix}$$

$$\text{Time}_i = w_i \cdot r_i \cdot t_i \cdot y_i$$

$$\text{Time}_1 := 0.84 \cdot 2.703 \cdot 44.094 \cdot 0.038 = 3.804$$

$$\text{Time}_2 := 0.7 \cdot 2.7 \cdot 55.993 \cdot 0.038 = 4.021$$

$$\text{Time}_3 := 0.544 \cdot 2.8 \cdot 78 \cdot 0.038 = 4.515$$

$$\text{Time}_4 := 0.473 \cdot 2.806 \cdot 99.183 \cdot 0.038 = 5.002$$

$$\text{Time}_5 := 0.429 \cdot 2.824 \cdot 137.886 \cdot 0.038 = 6.348$$

Результаты расчета сведем в таблицу:

X	t, °C	T, °K	X_p	k_c	$\frac{dt}{dX}$
0.909	465	738	0.917	1.428	3.804
0.919	472	745	0.925	1.655	4.021
0.925	488	759	0.929	2.205	4.515
0.939	493	766	0.942	2.535	5.002
0.945	498	771	0.947	2.796	6.348

Наносим точки, соответствующие X и dt/dX, на график с масштабом: по оси абсцисс 1 см = 0,005X, по ординат 0.5 см = 1 dt/dX, по площади

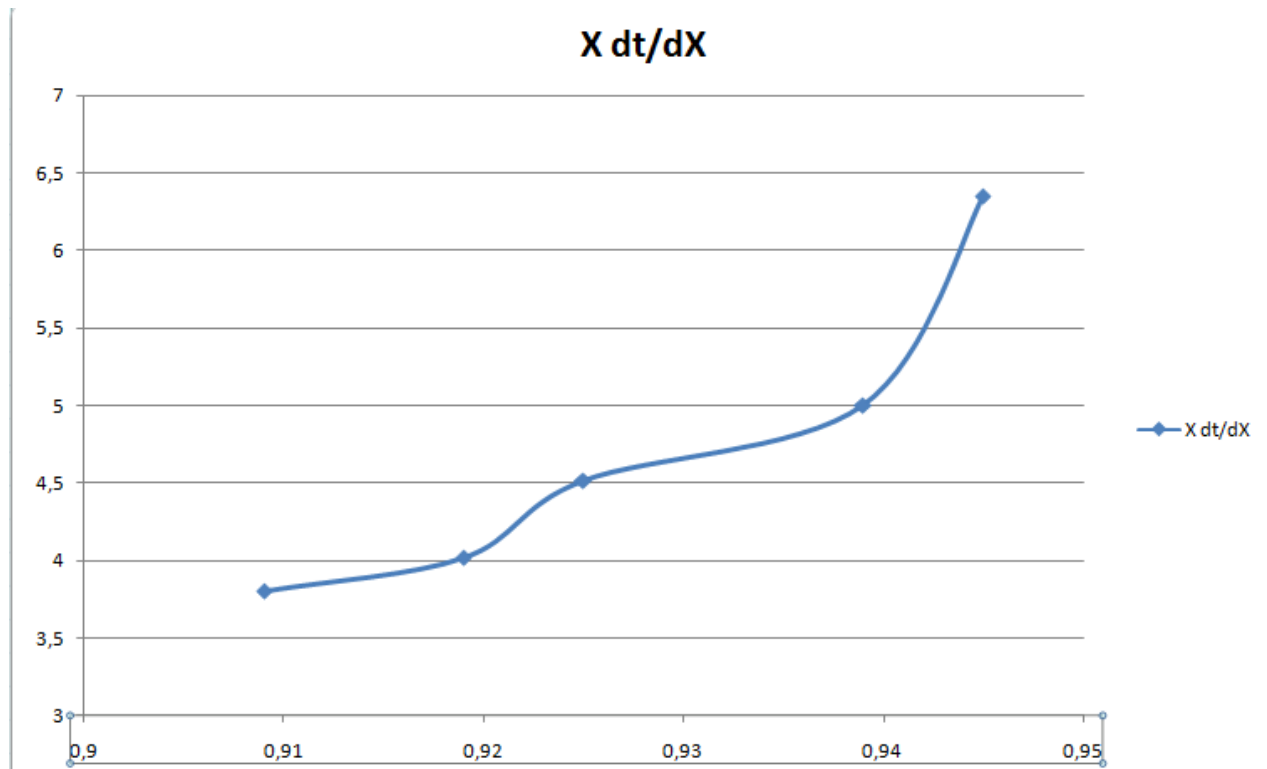
1 см² = 0,005 * 0.5 = 0,0025 сек. Находим, что площадь кривой равна:

$$S_{kr} := 36.84 \text{ см}^2$$

Фиктивное время контактирования:

$$\tau_{III} := S_{kr} \cdot 0.0025 = 0.092 \text{ сек}$$

Рисунок 11. Время контактирования



Расчет объема и массы катализатора

$v_{III \text{ раб.к.м}}$

-объем контактной массы в первом слое в рабочем состоянии, м^3

$$C_{III} := 1.2$$

коэффициент запаса [с.208, 1]

$$v_{III \text{ сек}} := \frac{264.77}{3600} = 0.074$$

- секундный объем газов, проходящих через слой, $\text{м}^3/\text{сек}$

$$\tau_{III} = 0.092$$

- фиктивное время контактирования, сек

$$v_{\text{IIIраб.к.м.}} := C_{\text{III}} \cdot v_{\text{IIIсек}} \cdot \tau_{\text{III}} = 8.128 \times 10^{-3} \text{ м}^3$$

Объем контактной массы при загрузке в 1,1 раза более рабочего объема.
Отсюда:

$$v_{\text{IIIзас.к.м.}} := v_{\text{IIIраб.к.м.}} \cdot 1.1 = 8.941 \times 10^{-3} \text{ м}^3$$

Насыпной вес гранулированной контактной массы в рабочем состоянии:

$$d_{\text{IIIраб.к.м.}} := 650 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

при загрузке:

$$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$d_{\text{IIIзас.к.м.}} := 500$$

В аппарат засыпается контактная масса, насыщенная соединениями серы:

$$m_{\text{IIIзас.к.м.}} := v_{\text{IIIзас.к.м.}} \cdot d_{\text{IIIзас.к.м.}} = 4.471 \text{ кг}$$

При работе в аппарате содержится контактной массы, насыщенной соединениями серы:

$$m_{\text{IIIраб.к.м.}} := v_{\text{IIIраб.к.м.}} \cdot d_{\text{IIIраб.к.м.}} = 5.283 \text{ кг}$$

Определение габаритных размеров аппарата:

Скорость газа:

$$w_{\text{газ}} := 0.002$$

$$\frac{\text{м}}{\text{с}}$$

если не учитывать изменение объема газа в результате окисления

Площадь, необходимая для контактной массы:

$$F_{\text{III}} := \frac{v_{\text{IIIзас.к.м.}}}{\omega} = 4.471 \text{ м}^2$$

$$D_{\text{III}} := \sqrt{\frac{4F_{\text{III}}}{\pi}} = 2.386$$

м

Высота слоя контактной массы:

$$h_{\text{III.к.м.}} := \frac{v_{\text{IIIраб.к.м.}}}{F_{\text{III}}} = 1.818 \times 10^{-3}$$

м

Линейная скорость газов в слое при средней температуре слоя:

$$V_{\text{IIIчас}} := 264.77$$

объем газа при нормальных условиях, м³/час

$$\alpha_{\text{гв}} := \frac{1}{273}$$

коэффициент объемного расширения, град⁻¹[с.210, 1]

$$t_{\text{III}} := \frac{\sum T_{\text{Xi}}}{5} - 273 = 482.8$$

средняя температура газа, град

$$\omega_{\text{III}} := \frac{V_{\text{IIIчас}} \cdot (1 + \alpha \cdot t_{\text{III}})}{3600 \cdot F_{\text{III}}} = 0.046$$

$$\frac{\text{м}}{\text{сек}}$$

Плотность газов:

$$m_{\text{III час}} := 555.1$$

часовая масса газов, кг/час

$$\rho_{\text{III}} := \frac{m_{\text{III час}}}{V_{\text{III час}} (1 + \alpha \cdot t_{\text{III}})} = 0.757$$

$$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Гидравлическое сопротивление слоя:

$$\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

$$\Delta P_{\text{III}} := 6620 \cdot \omega_{\text{III}}^{1.7} \cdot \rho_{\text{III}}^{0.7} \cdot h_{\text{III.к.м.}} = 0.052$$

Расчет четвертого слоя контактного аппарата

Температура газов при входе в четвертый слой 440°C. Аналогично расчету третьего слоя имеем

$$T_{\text{H4}} := 713$$

К

Температура на входе во четвертый слой.

Теплоемкость:

Для азота

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (1.059 \quad 1.068)^T$$

$$c_{13\text{N}_2} := \text{linterp}(x, y, T_{\text{H4}}) = 1.063 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$[c.500, 1]$$

Для кислорода

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.964 \quad 0.977)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{13\text{O}_2} := \text{linterp}(x, y, T_{\text{н4}}) = 0.969$$

[с.500,1]

Для углекислого газа

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.984 \quad 1.013)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{13\text{CO}_2} := \text{linterp}(x, y, T_{\text{н4}}) = 0.996$$

[с.500,1]

Для двуокиси серы

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.708 \quad 0.724)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{13\text{SO}_2} := \text{linterp}(x, y, T_{\text{н4}}) = 0.714$$

[с.500,1]

Для серного ангидрида

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.782 \quad 0.812)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{13\text{SO}_3} := \text{linterp}(x, y, T_{\text{н4}}) = 0.794 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

[с.500,1]

$$i_{13H_2O} := 3363$$

[с.514,1]

$$Q = 2.711 \times 10^5 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

где Q - количество тепла в газе, поступающем из третьего слоя при температуре, создающейся на входе в четвертый слой, кДж/ч

Фактически, газы при выходе из третьего слоя содержат:

$$\Sigma Q_{III} = 2.537 \times 10^5 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

то есть газу необходимо подвести тепла:

$$\Delta Q := (\Sigma Q_{III} - Q) = -1.749 \times 10^4 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

При 440 °С энтальпия сухого воздуха равна:

$$x := (400 \quad 500)^T$$

$$y := (412 \quad 519.2)^T$$

$$i_{440} := \text{linterp}(x, y, T_{H4} - 273) = 454.88 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

[с.512,1]

То есть, для того, чтобы подвести тепло, мы введем дополнительно сухого воздуха при 470 °С:

$$G_{12\text{с.в.}} := \frac{(|\Delta Q|)}{i_{440}} = 38.443 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

сухого воздуха

В этом количестве сухого воздуха содержится 22% O₂ и 74,5% N₂. Воздух приносит:

$$G_{12O_2} := 0.225 \cdot G_{12c.v.} = 8.65 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{12N_2} := 0.745 \cdot G_{12c.v.} = 28.64 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Состав газов для определения X_p , $T_{опт}$ и dt/dx .

Имеем в кг,ч:

$$G_{1SO_2} = 41.975 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{1O_2} + G_{4O_2} + G_{8O_2} + G_{12O_2} = 80.122 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{1CO_2} = 29.344 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{1N_2} + G_{4N_2} + G_{8N_2} + G_{12N_2} = 481.425 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{12H_2O} := G_{4c.v.} \cdot 10.42 \cdot 10^{-3} = 0.679 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Соответствующие объемы газов равны:

$$V_{12SO_2} := \frac{G_{1SO_2}}{\rho_{1SO_2}} = 15.96 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

$$V_{12O_2} := \frac{G_{1O_2} + G_{4O_2} + G_{8O_2} + G_{12O_2}}{\rho_{1O_2}} = 54.505 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

$$V_{12CO_2} := \frac{G_{1CO_2}}{\rho_{1CO_2}} = 14.82 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

$$V_{12N_2} := \frac{G_{1N_2} + G_{4N_2} + G_{8N_2} + G_{12N_2}}{\rho_{1N_2}} = 213.967 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

$$V_{12H_2O} := \frac{G_{12H_2O}}{\rho_{1H_2O}} = 0.844 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

Состав газа (об.%):

$$n_{SO_2} := \frac{V_{12SO_2}}{V_{12SO_2} + V_{12O_2} + V_{12CO_2} + V_{12N_2} + V_{12H_2O}} \cdot 100 = 5.318$$

$$n_{O_2} := \frac{V_{12O_2}}{V_{12SO_2} + V_{12O_2} + V_{12CO_2} + V_{12N_2} + V_{12H_2O}} \cdot 100 = 18.162$$

$$n_{CO_2} := \frac{V_{12CO_2}}{V_{12SO_2} + V_{12O_2} + V_{12CO_2} + V_{12N_2} + V_{12H_2O}} \cdot 100 = 4.938$$

$$n_{N_2} := \frac{V_{12N_2}}{V_{12SO_2} + V_{12O_2} + V_{12CO_2} + V_{12N_2} + V_{12H_2O}} \cdot 100 = 71.3$$

$$n_{H_2O} := \frac{V_{12H_2O}}{V_{12SO_2} + V_{12O_2} + V_{12CO_2} + V_{12N_2} + V_{12H_2O}} \cdot 100 = 0.281$$

$$n_{SO_2} + n_{O_2} + n_{CO_2} + n_{N_2} + n_{H_2O} = 100$$

Определение равновесной степени контактирования

$$T_i := \begin{pmatrix} 713 \\ 717 \\ 720 \\ 725 \\ 729 \\ 732 \\ 737 \\ 740 \\ 745 \\ 747 \end{pmatrix} \quad i := 0..10$$

$$\lg Kp_i := \frac{4905.5}{T_i} - 7.1455$$

$$\lg K_{pi} =$$

	0
0	-0.265
1	-0.304
2	-0.332
3	-0.379
4	-0.416
5	-0.444
6	-0.489
7	-0.516
8	-0.561
9	-0.579

$$K_{pi} := 10^{\lg K_{pi}}$$

$$K_{pi} =$$

	0
0	0.543
1	0.497
2	0.465
3	0.418
4	0.383
5	0.36
6	0.324
7	0.304
8	0.275
9	0.264

Принятая степень контактирования:

$$X_{p2i} := \begin{pmatrix} 0.975 \\ 0.97 \\ 0.97 \\ 0.965 \\ 0.96 \\ 0.96 \\ 0.955 \\ 0.95 \\ 0.95 \\ 0.945 \end{pmatrix}$$

$$X_{p2} := \frac{K_{pi}}{K_{pi} + \sqrt{\frac{1}{\left(P \cdot \frac{n_{O2} - 0.5 \cdot n_{SO2} \cdot X_{p2i}}{100 - 0.5 \cdot n_{SO2} \cdot X_{p2i}}\right)}}} =$$

	0
0	0.974
1	0.972
2	0.97
3	0.967
4	0.964
5	0.961
6	0.957
7	0.955
8	0.95
9	0.948

Полученные результаты:

Принятая степень

превращения

Полученная степень

превращения

Температура

Константа равновесия

K

$$X_{p2i} =$$

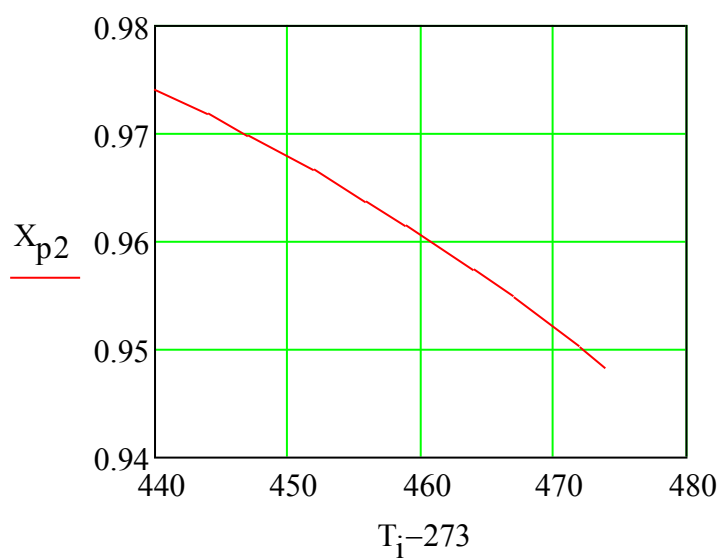
	0
0	0.975
1	0.97
2	0.97
3	0.965
4	0.96
5	0.96
6	0.955
7	0.95
8	0.95
9	0.945

$$X_{p2} =$$

	0
0	0.974
1	0.972
2	0.97
3	0.967
4	0.964
5	0.961
6	0.957
7	0.955
8	0.95
9	0.948

$K_{pi} =$	0	0.543	$T_i =$	0	713
	1	0.497		1	717
	2	0.465		2	720
	3	0.418		3	725
	4	0.383		4	729
	5	0.36		5	732
	6	0.324		6	737
	7	0.304		7	740
	8	0.275		8	745
	9	0.264		9	747

Рисунок 11. Диаграмма X-T для четвертого слоя



Оптимальная температура для каждой степени контактирования:

$$T_{2opt} = \frac{4905}{\log \left[\frac{X_{p2}}{(1 - X_{p2}) \cdot \sqrt{\frac{n_{O2} - 0.5 \cdot n_{SO2} \cdot X_{p2}}{100 - 0.5 \cdot n_{SO2} \cdot X_{p2}}}}} \right]} + 4.937$$

К

$$T_{2opti} := \begin{pmatrix} 710 \\ 713 \\ 717 \\ 721 \\ 725 \\ 729 \\ 734 \\ 736 \\ 742 \\ 744 \end{pmatrix}$$

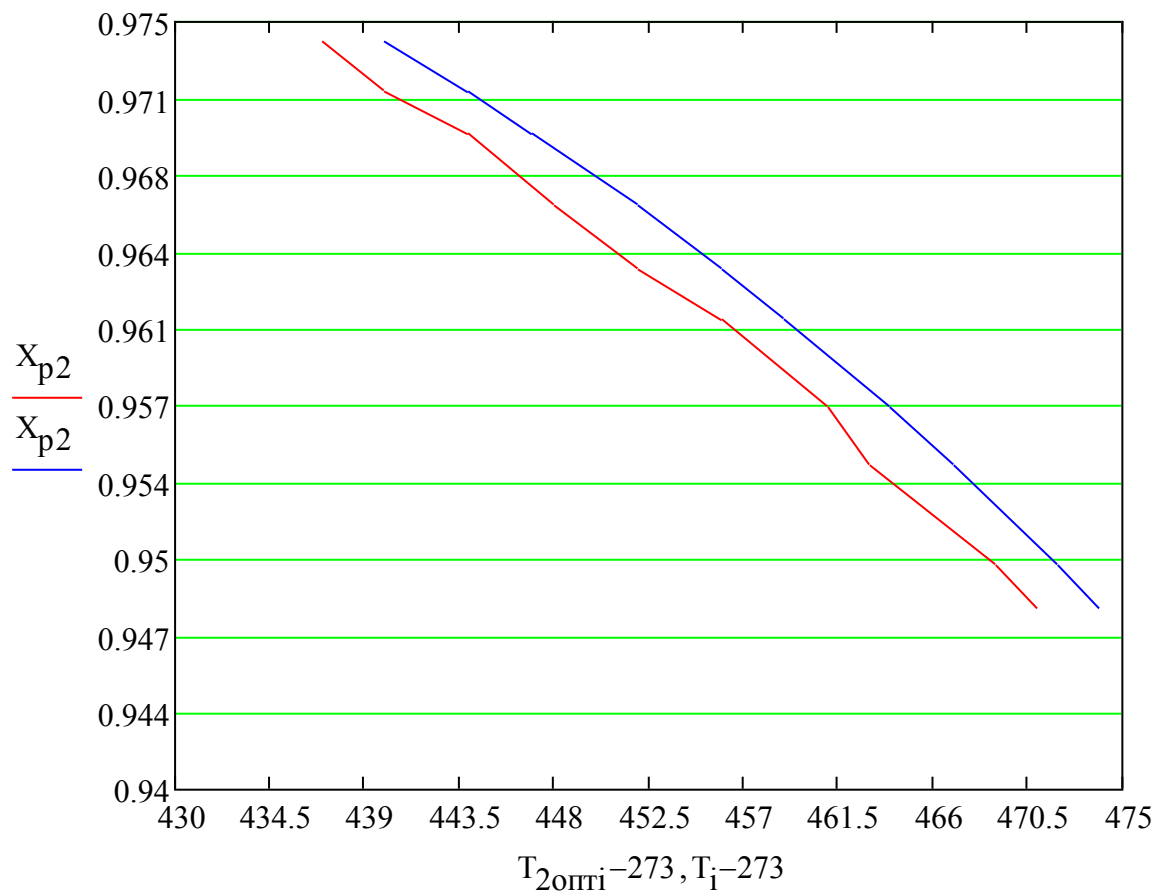


Рисунок 12. Кривые степени контактирования и оптимальных температур

Материальный расчет четвертого слоя

В четвертый слой поступают газы из третьего слоя и охлаждающий их воздух (в кг/ч)

$$G_{13SO3} := G_{11SO3} = 49.007 \text{ кг/ч}$$

$$G_{13SO_2} := G_{11SO_2} = 2.77 \text{ кг/ч}$$

$$G_{13O_2} := G_{11O_2} + G_{12O_2} = 70.321 \text{ кг/ч}$$

$$G_{13CO_2} := G_{3CO_2} = 29.3 \text{ кг/ч}$$

$$G_{13N_2} := G_{11N_2} + G_{12N_2} = 481.5 \text{ кг/ч}$$

$$G_{13H_2O} := G_{8H_2O} = 0.679 \text{ кг/ч}$$

Определение степени контактирования в четвертом слое:

Удельная теплота окисления двуокиси серы при 440 градусах:

$$x := (400 \quad 450)^T$$

$$y := (1486.6 \quad 1480.6)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$q_{2SO_2} := \text{interp}(x, y, 470) = 1.478 \times 10^3$$

[с.203,1]

$$\Delta T = T_k - T_n$$

$$\Delta T = \frac{q_{2SO_2} \cdot G_{13SO_2} \cdot X}{0.5 \cdot G_{13SO_2} \cdot c_{13SO_2} + 0.5 \cdot G_{13SO_2} \cdot \frac{M_{13O_3}}{M_{13O_2}} \cdot c_{13O_3} + \left[G_{13O_2} - 0.5 \cdot G_{13SO_2} \left(\frac{M_{13O_3}}{M_{13O_2}} - 1 \right) \right] \cdot c_{13O_2} + G_{13CO_2} \cdot c_{13CO_2} + G_{13N_2} \cdot c_{13N_2}}$$

$$q_{2SO_2} \cdot G_{13SO_2} = 4.095 \times 10^3$$

$$0.5 \cdot G_{13SO_2} \cdot c_{13SO_2} + 0.5 \cdot G_{13SO_2} \cdot \frac{M_{13O_3}}{M_{13O_2}} \cdot c_{13O_3} + \left[G_{13O_2} - 0.5 \cdot G_{13SO_2} \left(\frac{M_{13O_3}}{M_{13O_2}} - 1 \right) \right] \cdot c_{13O_2} + G_{13CO_2} \cdot c_{13CO_2} + G_{13N_2} \cdot c_{13N_2} = 610.997$$

Числитель равен:

$$X(4.095 \times 10^3)$$

Знаменатель равен:

610.997

$$\Delta T_2 := \frac{(4.095 \times 10^3)}{(610.997)} = 6.702$$

Итого получаем:

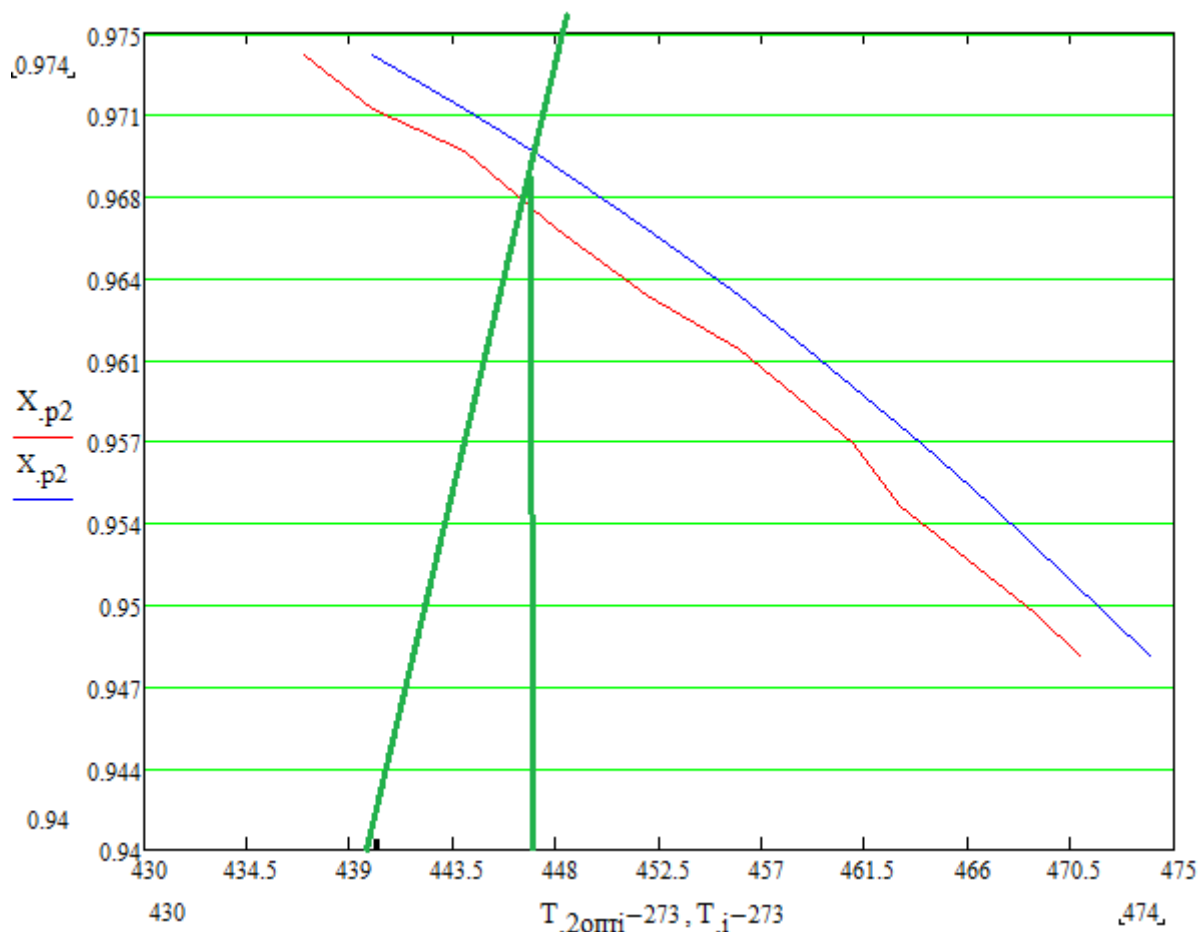
$$\Delta T_2 = \frac{[X(4.095 \times 10^3)]}{(610.997)} = 7X$$

$$T_k - T_H = 7X$$

То есть при степени превращения 0.969 температура в аппарате увеличится примерно на 7⁰C (7*0.969=6,8)

Теперь, зная, что газы в первый слой поступают с температурой 440⁰C, можно построить линию превращения в первом слое, если соединим точку t=440⁰C и X=0 с точкой t=440+6,8=446,8⁰C и X=0.969 и продолжим эту линию до X=1. при таком проведении линии адиабаты процесса конечная точка первого слоя должна лежать между кривыми "степени контактирования" и "оптимальных температур". на основании этих данных принимаем, что на третьем слое степень контактирования 0.97 и температура 447⁰C.

Рисунок 13. Определение температуры и степени превращения для реакции



Степень контактирования, достигаемая в третьем слое, 0.97. Тогда в слое соответственно уменьшаются количества сернистого газа и кислорода и увеличивается количество серного ангидрида (в кг/ч).

$$G_{14SO_2} := G_{1SO_2} \cdot (0.97 - 0.934) = 1.511$$

$$G_{15SO_2} := G_{13SO_2} - G_{14SO_2} = 1.259$$

$$G_{14SO_3} := G_{14SO_2} \cdot \frac{M_{1SO_3}}{M_{1SO_2}} = 1.889$$

$$G_{15SO_3} := G_{13SO_3} + G_{14SO_3} = 50.896$$

$$G_{14O_2} := G_{14SO_3} - G_{14SO_2} = 0.378$$

$$G_{15O_2} := G_{13O_2} - G_{14O_2} = 69.943$$

Материальный баланс сведем в таблицу

Приход			Расход				
Статья	Кг/ч	Нм³/ч	Статья	Кг/ч	Нм³/ч	Объемн. %	% по массе
Газ из третьего слоя			Газ из четвертого слоя				
SO2	2.8	1.06	SO2	1.3	0.5	0.18	0.2
SO3	49	25.5	SO3	51	26,5	9.4	8.1
O2	61.9	42.1	O2	70.5	25.6	9.1	11.1
N2	453.3	201.4	N2	481.5	214	75.82	75.9
CO2	29.3	14.82	CO2	29.3	14.82	5.2	4.6
H2O	0.7	0.85	H2O	0.7	0.85	0.3	0.1
Всего	597	285.73	Всего	634,3	282.27	100	100
Воздух							
O2	8.65	5,9					
N2	28.65	12.73					
H2O							
Итого	37.3	18.63					
Всего	634.3	304.36					

Тепловой расчет четвертого слоя

Принимаем температуру на выходе из второго слоя 447⁰С.

$$T_4 := 447 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{IV} := T_4 + 273 = 720$$

К

$$T_{cp} := \frac{(T_{H4} - 273 + T_4)}{2} = 443.5$$

средняя температура в слое

Энтальпия паров воды:

$$x := (400 \text{ } 500)^T$$

$$y := (412 \text{ } 519.2)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$i_{15H_2O} := \text{interp}(x, y, T_{cp}) = 458.632$$

[с.512,1]

Тепло на выходе из третьего слоя:

$$\Sigma Q_{III} = 2.537 \times 10^5 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

Энтальпия воздуха:

$$i_{12\text{с.в.}} := i_{20} = 46.47 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Тепло с воздухом:

$$Q_{12} := G_{12\text{с.в.}} \cdot i_{12\text{с.в.}} = 1.786 \times 10^3 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

$$x := (400 \quad 450)^T$$

$$y := (1486.6 \quad 1480.6)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$q_{14} := \text{linterp}(x, y, T_{\text{ср}}) = 1.481 \times 10^3$$

[с.205, 1]

Тепло реакции:

$$Q_{14} := q_{14} \cdot G_{14\text{SO}_2} = 2.239 \times 10^3 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

$$\Sigma Q_{IV} := \Sigma Q_{III} + Q_{12} + Q_{14} = 2.577 \times 10^5 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

Теплоемкость:

Для азота

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (1.059 \quad 1.068)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{11\text{N}_2} := \text{linterp}(x, y, T_{\text{ср}}) = 1.038$$

[с.500,1]

Для кислорода

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.964 \quad 0.977)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\underline{c_{11O_2}} := \text{linterp}(x, y, T_{\text{cp}}) = 0.934$$

$$[\text{с.500}, 1]$$

Для углекислого газа

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.984 \quad 1.013)^T$$

$$\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\underline{c_{11CO_2}} := \text{linterp}(x, y, T_{\text{cp}}) = 0.917$$

$$[\text{с.500}, 1]$$

Для двуокиси серы

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.708 \quad 0.724)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\underline{c_{11SO_2}} := \text{linterp}(x, y, T_{\text{cp}}) = 0.671$$

$$[\text{с.500}, 1]$$

Для серного ангидрида

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.782 \quad 0.812)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\underline{c_{11SO_3}} := \text{linterp}(x, y, T_{\text{cp}}) = 0.713 \quad \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

[с.500,1]

$$Q_{11} := (G_{15SO3} \cdot c_{15SO3} + G_{15SO2} \cdot c_{15SO2} + G_{15O2} \cdot c_{15O2} + G_{13CO2} \cdot c_{13CO2} + G_{13N2} \cdot c_{13N2}) \cdot T_4 + G_{11H2O} \cdot i_{15H2O} = 2.816 \times 10^5$$

$$Q_{11} = 2.816 \times 10^5$$

Расхождение в балансе:

$$\Delta Q_{IV} := \Sigma Q_{IV} - Q_{11} = -2.394 \times 10^4 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

Сводный тепловой баланс третьего слоя

Приход		Расход	
Статья	кДж/ч	Статья	кДж/ч
С газами из третьего слоя	253695	С газами из четвертого слоя	281660
С воздухом	1786	Невязка в балансе	-23940
Тепло реакции	2239		
Всего	257720	Всего	257720

Определение времени контактирования

$$k_0 := 9.35 \cdot 10^6$$

сек⁻¹, коэффициент для гранулированной массы БАВ

[с.207,1]

[с.207,1]

$$E := 96296$$

дж/моль, энергия активизации для массы БАВ

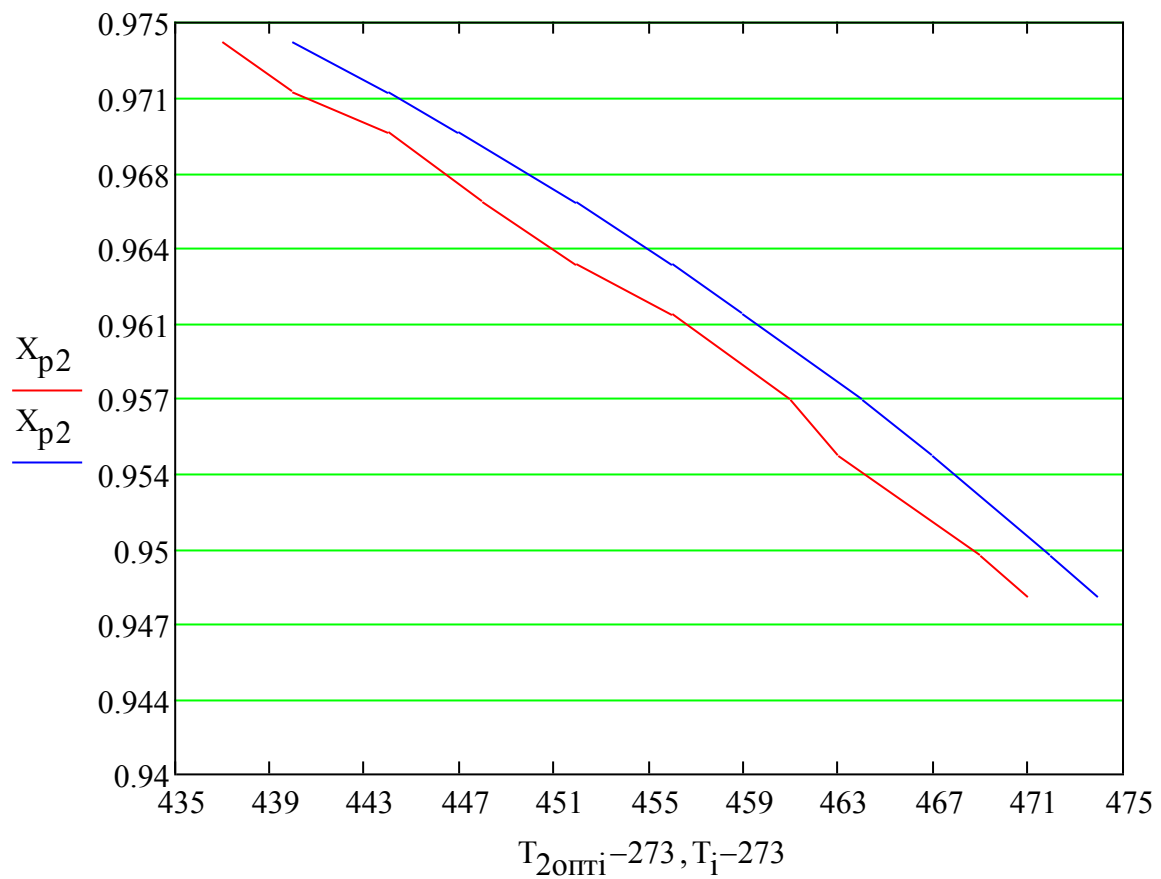
$$R = 8.314$$

дж/моль*град, газовая постоянная

[с.207,1]

По графику определяем температуру реакции для каждой степени превращения, от 0,95 до 0,97:

Рисунок 14. Определение температуры реакции



$$X_i := \begin{pmatrix} 0.95 \\ 0.955 \\ 0.956 \\ 0.957 \\ 0.958 \end{pmatrix}$$

$$T_{Xi} := \begin{pmatrix} 439 + 273 \\ 441 + 273 \\ 443 + 273 \\ 445 + 273 \\ 447 + 273 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 712 \\ 714 \\ 716 \\ 718 \\ 720 \end{pmatrix}$$

К

Далее повторим ранее произведенные расчеты, и найдем равновесную степень превращения, для чего вычислим константу скорости при выше найденных температурах T_{xi} :

$$\lg K_{pT_{Xi}} := \frac{4905.5}{T_{Xi}} - 7.1455$$

$$K_{pi} := 10^{\lg K_{pT_{Xi}}}$$

$$\lg K_{pT_{Xi}} = \begin{pmatrix} -0.256 \\ -0.275 \\ -0.294 \\ -0.313 \\ -0.332 \end{pmatrix} \quad K_{pi} = \begin{pmatrix} 0.555 \\ 0.531 \\ 0.508 \\ 0.486 \\ 0.465 \end{pmatrix}$$

$$X_{1i} := \begin{pmatrix} 0.95 \\ 0.955 \\ 0.956 \\ 0.957 \\ 0.958 \end{pmatrix} \quad T_{Xi} := \begin{pmatrix} 439 + 273 \\ 441 + 273 \\ 443 + 273 \\ 445 + 273 \\ 447 + 273 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 712 \\ 714 \\ 716 \\ 718 \\ 720 \end{pmatrix}$$

K

$$b := 9$$

Содержание кислорода на входе в третий слой катализатора

$$a := 0.2$$

Содержание двуокиси серы на входе в третий слой катализатора

$$X_{pxi} = \frac{K_{pi}}{K_{pi} + \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{b - 0.5 \cdot a \cdot X_{1i}}{P \cdot \frac{100 - 0.5 \cdot a \cdot X_{1i}}{100}} \right)}}$$

$$X_{pxi} := \begin{pmatrix} 0.966 \\ 0.965 \\ 0.963 \\ 0.962 \\ 0.96 \end{pmatrix} \quad T_{Xi} = \begin{pmatrix} 712 \\ 714 \\ 716 \\ 718 \\ 720 \end{pmatrix}$$

Посчитаем константу скорости при разных температурах T_{Xi} :

$$K_{ci} := k_0 \cdot e^{\frac{-E}{R \cdot T_{Xi}}}$$

$$K_{ci} = \begin{pmatrix} 0.805 \\ 0.843 \\ 0.882 \\ 0.923 \\ 0.965 \end{pmatrix}$$

С учетом данных материального баланса, по уравнению Борескова [с.2071], рассчитаем:

$$\frac{d\tau}{dX} = \text{Time}$$

$$\text{Time}_i = \frac{2a}{K_{ci}} \cdot \frac{T_{Xi}}{273} \cdot \left(\frac{X_i}{X_{pxi} - X_i} \right)^{0.8} \cdot \frac{1}{2 \cdot b - a \cdot X_i}$$

$$r_i := \frac{T_{Xi}}{273} = \begin{pmatrix} 2.608 \\ 2.615 \\ 2.623 \\ 2.63 \\ 2.637 \end{pmatrix} \quad w_i := \frac{2a}{K_{ci}} = \begin{pmatrix} 0.497 \\ 0.475 \\ 0.454 \\ 0.434 \\ 0.415 \end{pmatrix}$$

$$t_i := \left(\frac{X_i}{X_{pxi} - X_i} \right)^{0.8} = \begin{pmatrix} 26.235 \\ 38.371 \\ 51.084 \\ 66.92 \\ 139.402 \end{pmatrix}$$

$$y_i := \frac{1}{2 \cdot b - a \cdot X_i} = \begin{pmatrix} 0.056 \\ 0.056 \\ 0.056 \\ 0.056 \\ 0.056 \end{pmatrix}$$

$$\text{Time}_i = w_i \cdot r_i \cdot t_i \cdot y_i$$

$$\text{Time}_1 := 0.497 \cdot 2.608 \cdot 26.235 \cdot 0.056 = 1.904$$

$$\text{Time}_2 := 0.475 \cdot 2.615 \cdot 38.371 \cdot 0.056 = 2.669$$

$$\text{Time}_3 := 0.454 \cdot 2.623 \cdot 51.084 \cdot 0.056 = 3.407$$

$$\text{Time}_4 := 0.434 \cdot 2.63 \cdot 66.92 \cdot 0.056 = 4.277$$

$$\text{Time}_5 := 0.415 \cdot 2.637 \cdot 139.402 \cdot 0.056 = 8.543$$

Результаты расчета сведем в таблицу:

X	t, °C	T, °K	X_a	k_c	dt/dX
0.95	439	712	0.966	0.805	1.904
0.955	441	714	0.965	0.843	2.669
0.956	443	716	0.963	0.882	3.407
0.957	445	718	0.962	0.923	4.277
0.958	447	720	0.96	0.965	8.543

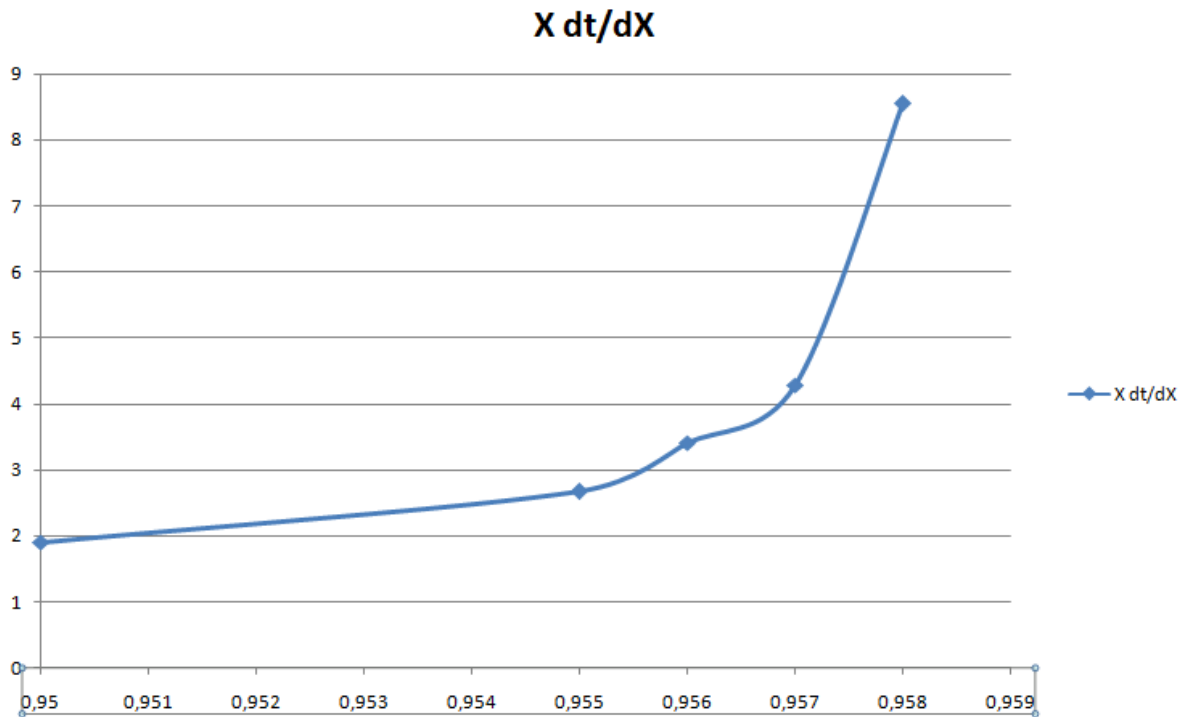
Наносим точки, соответствующие X и dt/dX, на график с масштабом: по оси абсцисс 1 см = 0,001X, по ординат 1 см = 1 dt/dX, по площади 1 см² = 0,001 * 1 = 0,001 сек. Находим, что площадь кривой равна:

$$S_{kp} := 25.32 \text{ см}^2$$

Фиктивное время контактирования:

$$\tau_{IV} := S_{kp} \cdot 0.001 = 0.025 \text{ сек}$$

Рисунок 15. Фиктивное время контактирования



Расчет объема и массы катализатора

$\nu_{IV\text{раб.к.м}}$

-объем контактной массы в первом слое в рабочем состоянии, м^3

$$C_{IV} := 1.2$$

коэффициент запаса [с.208, 1]

$$\nu_{IV\text{сек}} := \frac{285.73}{3600} = 0.079$$

- секундный объем газов, проходящих через слой, $\text{м}^3/\text{сек}$

$$\tau_{IV} = 0.025$$

- фиктивное время контактирования, сек

$$\nu_{IV\text{раб.к.м.}} := C_{IV} \nu_{IV\text{сек}} \tau_{IV} = 2.412 \times 10^{-3} \text{ м}^3$$

Объем контактной массы при загрузке в 1,1 раза более рабочего объема.

Отсюда:

$$v_{IVзас.к.м.} := v_{IVраб.к.м.} \cdot 1.1 = 2.653 \times 10^{-3} \text{ м}^3$$

Насыпной вес гранулированной контактной массы в рабочем состоянии:

$$d_{IVраб.к.м.} := 650 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

при загрузке:

$$d_{IVзас.к.м.} := 500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

В аппарат засыпается контактная масса, насыщенная соединениями серы:

$$m_{IVзас.к.м.} := v_{IVзас.к.м.} \cdot d_{IVзас.к.м.} = 1.326 \text{ кг}$$

При работе в аппарате содержится контактной массы, насыщенной соединениями серы:

$$m_{IVраб.к.м.} := v_{IVраб.к.м.} \cdot d_{IVраб.к.м.} = 1.568 \text{ кг}$$

Определение габаритных размеров аппарата:

Скорость газа:

если не учитывать изменение объема газа в результате окисления

$$\omega := 0.002 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Площадь, необходимая для контактной массы:

$$F_{IV} := \frac{v_{IVзас.к.м.}}{\omega} = 1.326 \text{ м}^2$$

$$D_{IV} := \sqrt{\frac{4F_{IV}}{\pi}} = 1.3 \text{ м}$$

Высота слоя контактной массы:

$$h_{IV.к.м.} := \frac{v_{IVраб.к.м.}}{F_{IV}} = 1.818 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Линейная скорость газов в слое при средней температуре слоя:

$$V_{IV\text{час}} := 264.77$$

объем газа при нормальных условиях, нм³/час

$$\alpha := \frac{1}{273}$$

коэффициент объемного расширения, град⁻¹[с.210, 1]

$$t_{IV} := \frac{\sum T_{Xi}}{5} - 273 = 443$$

средняя температура газа, град

$$\omega_{IV} := \frac{V_{IV\text{час}} \cdot (1 + \alpha \cdot t_{IV})}{3600 \cdot F_{IV}} = 0.145 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$$

Плотность газов:

$$m_{IV\text{час}} := 597$$

часовая масса газов, кг/час

$$\rho_{IV} := \frac{m_{IV\text{час}}}{V_{IV\text{час}} \cdot (1 + \alpha \cdot t_{IV})} = 0.86 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Гидравлическое сопротивление слоя:

$$\Delta P_{IV} := 6620 \cdot \omega_{IV}^{1.7} \cdot \rho_{IV}^{0.7} \cdot h_{IV.\text{к.м.}} = 0.408 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

Расчет пятого слоя контактного аппарата

Температура газов при входе в четвертый слой 420°C. Аналогично расчету четвертого слоя имеем

$$T_{H5} := 713$$

К

Температура на входе в четвертый слой.

Теплоемкость:

Для азота

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (1.059 \quad 1.068)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{17\text{N}_2} := \text{linterp}(x, y, T_{\text{H5}}) = 1.063$$

[с.500,1]

Для кислорода

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.964 \quad 0.977)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{17\text{O}_2} := \text{linterp}(x, y, T_{\text{H5}}) = 0.969$$

[с.500,1]

Для углекислого газа

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.984 \quad 1.013)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{17\text{CO}_2} := \text{linterp}(x, y, T_{\text{H5}}) = 0.996$$

[с.500,1]

Для двуокиси серы

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.708 \quad 0.724)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{17\text{SO}_2} := \text{linterp}(x, y, T_{\text{H5}}) = 0.714$$

[с.500,1]

Для серного ангидрида

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.782 \quad 0.812)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{17\text{SO}_3} := \text{interp}(x, y, T_{\text{H5}}) = 0.794$$

$$[c.500, 1]$$

$$i_{17\text{H}_2\text{O}} := 3363 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$[c.514, 1]$$

$$Q := (G_{15\text{SO}_2} \cdot c_{17\text{SO}_2} + G_{15\text{O}_2} \cdot c_{17\text{O}_2} + G_{13\text{CO}_2} \cdot c_{17\text{CO}_2} + G_{13\text{N}_2} \cdot c_{17\text{N}_2} + G_{15\text{SO}_3} \cdot c_{17\text{SO}_3}) \cdot (T_{\text{H5}} - 273) + G_{13\text{H}_2\text{O}} \cdot i_{17\text{H}_2\text{O}} = 2.882 \times 10^5$$

$$Q = 2.882 \times 10^5 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

где Q - количество тепла в газе, поступающем из третьего слоя при температуре, создающейся на входе в четвертый слой, кДж/ч

Фактически, газы при выходе из третьего слоя содержат:

$$\Sigma Q_{IV} = 2.577 \times 10^5 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

то есть газу необходимо подвести тепла:

$$\Delta Q := (\Sigma Q_{IV} - Q) = -3.057 \times 10^4 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

При 420 °С энтальпия сухого воздуха равна:

$$x := (400 \quad 500)^T$$

$$y := (412 \quad 519.2)^T$$

$$i_{420} := \text{interp}(x, y, T_{\text{H5}} - 273) = 454.88 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

[с.512,1]

То есть, для того, чтобы подвести тепло, мы введем дополнительно сухого воздуха при 470 °С:

$$G_{16\text{с.в.}} := \frac{(|\Delta Q|)}{i_{420}} = 67.194 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

сухого воздуха

В этом количестве сухого воздуха содержится 22% O₂ и 74,5% N₂. Воздух приносит:

$$G_{16\text{O}_2} := 0.225 \cdot G_{16\text{с.в.}} = 15.119 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{16\text{N}_2} := 0.745 \cdot G_{16\text{с.в.}} = 50.06 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Состав газов для определения X_p , $T_{\text{опт}}$ и dt/dx .

Имеем в кг,ч:

$$G_{15\text{SO}_2} = 1.259 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{10\text{O}_2} + G_{4\text{O}_2} + G_{8\text{O}_2} + G_{12\text{O}_2} + G_{16\text{O}_2} = 95.241 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{13\text{CO}_2} = 29.3 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{1\text{N}_2} + G_{4\text{N}_2} + G_{8\text{N}_2} + G_{12\text{N}_2} + G_{16\text{N}_2} = 531.484 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$G_{16\text{H}_2\text{O}} := G_{16\text{с.в.}} \cdot 10.42 \cdot 10^{-3} = 0.7 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Соответствующие объемы газов равны:

$$V_{16\text{SO}_2} := \frac{G_{15\text{SO}_2}}{\rho_{1\text{SO}_2}} = 0.479 \frac{\text{нм}^3}{\text{ч}}$$

$$V_{16O_2} := \frac{G_{1O_2} + G_{4O_2} + G_{8O_2} + G_{12O_2} + G_{16O_2}}{\rho_{1O_2}} = 64.789 \frac{\text{HM}^3}{\text{ч}}$$

$$V_{16CO_2} := \frac{G_{1CO_2}}{\rho_{1CO_2}} = 14.82 \frac{\text{HM}^3}{\text{ч}}$$

$$V_{16N_2} := \frac{G_{1N_2} + G_{4N_2} + G_{8N_2} + G_{12N_2} + G_{16N_2}}{\rho_{1N_2}} = 236.215 \frac{\text{HM}^3}{\text{ч}}$$

$$V_{16H_2O} := \frac{G_{16H_2O}}{\rho_{1H_2O}} = 0.871 \frac{\text{HM}^3}{\text{ч}}$$

Состав газа (об.%):

$$n_{SO_2} := \frac{V_{16SO_2}}{V_{16SO_2} + V_{16O_2} + V_{16CO_2} + V_{16N_2} + V_{16H_2O}} \cdot 100 = 0.151$$

$$n_{O_2} := \frac{V_{16O_2}}{V_{16SO_2} + V_{16O_2} + V_{16CO_2} + V_{16N_2} + V_{16H_2O}} \cdot 100 = 20.427$$

$$n_{CO_2} := \frac{V_{16CO_2}}{V_{16SO_2} + V_{16O_2} + V_{16CO_2} + V_{16N_2} + V_{16H_2O}} \cdot 100 = 4.673$$

$$n_{N_2} := \frac{V_{16N_2}}{V_{16SO_2} + V_{16O_2} + V_{16CO_2} + V_{16N_2} + V_{16H_2O}} \cdot 100 = 74.475$$

$$n_{H_2O} := \frac{V_{16H_2O}}{V_{16SO_2} + V_{16O_2} + V_{16CO_2} + V_{16N_2} + V_{16H_2O}} \cdot 100 = 0.274$$

$$n_{SO_2} + n_{O_2} + n_{CO_2} + n_{N_2} + n_{H_2O} = 100$$

Определение равновесной степени контактирования

$$T_i := \begin{pmatrix} 693 \\ 697 \\ 700 \\ 705 \\ 709 \\ 712 \\ 717 \\ 720 \\ 725 \\ 727 \end{pmatrix}$$

$$i := 0..10$$

$$\lg K_{pi} := \frac{4905.5}{T_i} - 7.1455$$

$$\lg K_{pi} =$$

	0
0	-0.067
1	-0.107
2	-0.138
3	-0.187
4	-0.227
5	-0.256
6	-0.304
7	-0.332
8	-0.379
9	-0.398

$$K_{pi} := 10^{\lg K_{pi}}$$

	0
0	0.857
1	0.781
2	0.728
3	0.65
4	0.593
5	0.555
6	0.497
7	0.465
8	0.418
9	0.4

Принятая степень контактирования:

$$X_{p2} := \frac{K_{pi}}{K_{pi} + \sqrt{\frac{1}{P \cdot \frac{n_{O2} - 0.5 \cdot n_{SO2} \cdot X_{p2i}}{100 - 0.5 \cdot n_{SO2} \cdot X_{p2i}}}}} =$$

	0
0	0.985
1	0.984
2	0.983
3	0.981
4	0.979
5	0.977
6	0.975
7	0.973
8	0.97
9	0.969

$$X_{p2i} := \begin{pmatrix} 0.985 \\ 0.983 \\ 0.981 \\ 0.979 \\ 0.978 \\ 0.976 \\ 0.974 \\ 0.972 \\ 0.97 \\ 0.968 \end{pmatrix}$$

Полученные результаты:

Полученная степень

превращения

Принятая степень

превращения

Константа равновесия

Температура

К

$$X_{p2i} =$$

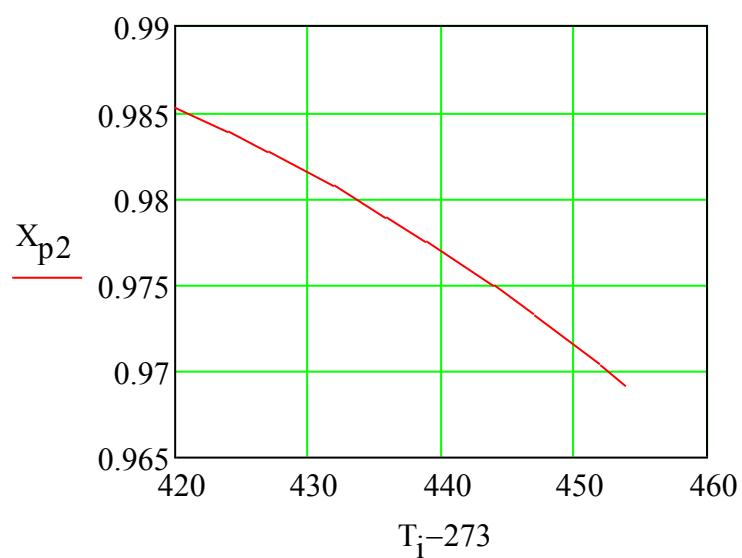
	0
0	0.985
1	0.983
2	0.981
3	0.979
4	0.978
5	0.976
6	0.974
7	0.972
8	0.97
9	0.968

$$X_{p2} =$$

	0
0	0.985
1	0.984
2	0.983
3	0.981
4	0.979
5	0.977
6	0.975
7	0.973
8	0.97
9	0.969

$K_{pi} =$	0	0.857	$T_i =$	0	693
	1	0.781		1	697
	2	0.728		2	700
	3	0.65		3	705
	4	0.593		4	709
	5	0.555		5	712
	6	0.497		6	717
	7	0.465		7	720
	8	0.418		8	725
	9	0.4		9	727

Рисунок 16. Диаграмма X-T для пятого слоя



Оптимальная температура для каждой степени контактирования:

$$T_{2opt} = \frac{4905}{\log \left[\frac{X_{p2}}{(1 - X_{p2}) \cdot \sqrt{\frac{n_{O2} - 0.5 \cdot n_{SO2} \cdot X_{p2}}{100 - 0.5 \cdot n_{SO2} \cdot X_{p2}}}}} \right] + 4.937}$$

К

$$T_{2opti} := \begin{pmatrix} 691 \\ 694 \\ 696 \\ 701 \\ 706 \\ 710 \\ 714 \\ 717 \\ 722 \\ 724 \end{pmatrix}$$

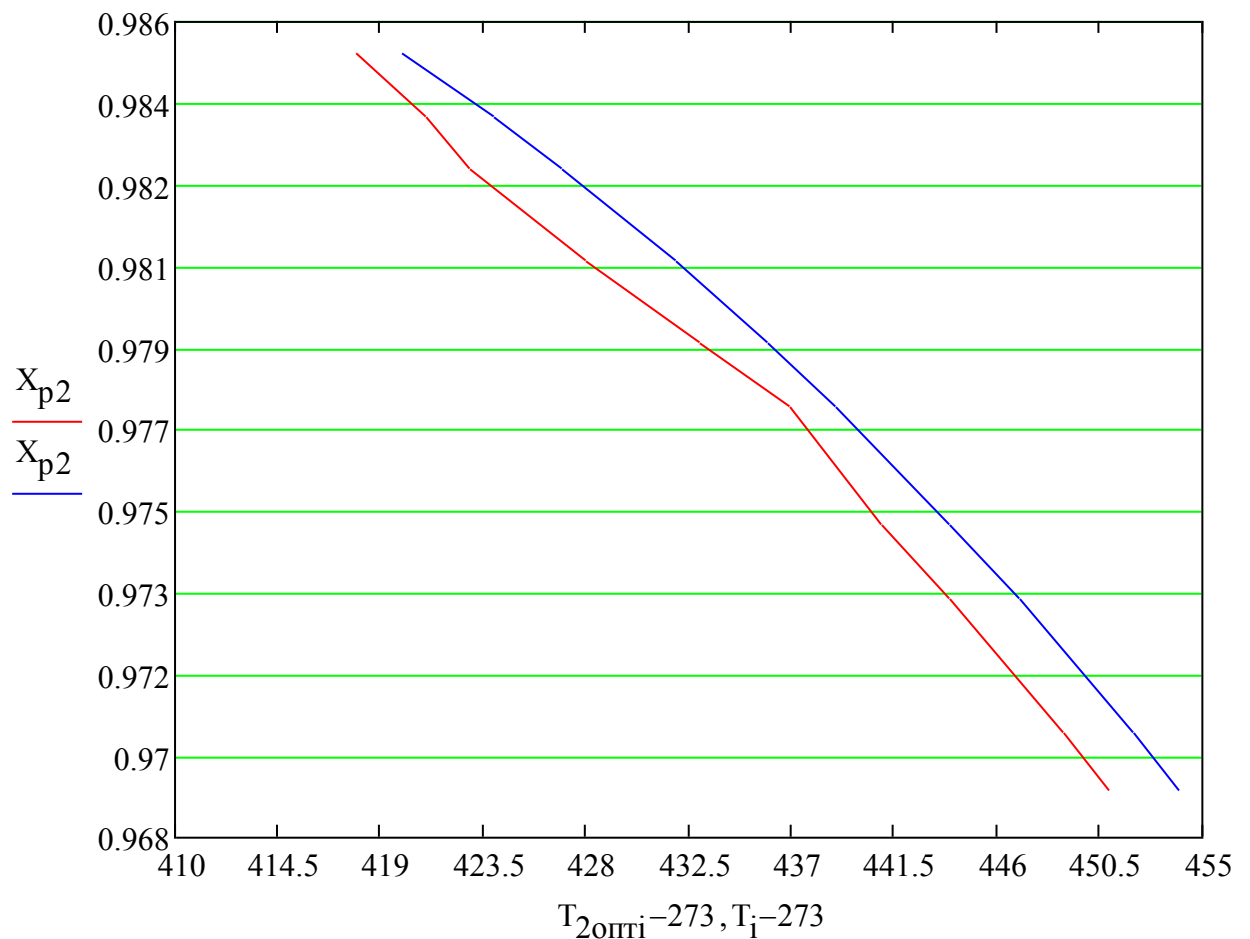


Рисунок 17. Кривые степени контактирования и оптимальных температур

Материальный расчет пятого слоя

В пятый слой поступают газы из четвертого слоя и охлаждающий их воздух (в кг/ч)

$$G_{17SO_3} := G_{15SO_3} = 50.896 \text{ кг/ч}$$

$$G_{17SO_2} := G_{15SO_2} = 1.259 \text{ кг/ч}$$

$$G_{17O_2} := G_{15O_2} + G_{16O_2} = 85.062 \text{ кг/ч}$$

$$G_{17CO_2} := G_{3CO_2} = 29.3 \text{ кг/ч}$$

$$G_{17N_2} := G_{13N_2} + G_{16N_2} = 531.559 \text{ кг/ч}$$

$$G_{17H_2O} := G_{12H_2O} = 0.679 \text{ кг/ч}$$

Определение степени контактирования в пятом слое:

Удельная теплота окисления двуокиси серы при 420 градусах:

$$x := (400 \quad 450)^T$$

$$y := (1486.6 \quad 1480.6)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$q_{2SO_2} := \text{interp}(x, y, 420) = 1.484 \times 10^3$$

[с.203,1]

$$\Delta T = T_K - T_H$$

$$\Delta T = \frac{q_{2SO_2} \cdot G_{17SO_2} \cdot X}{0.5 \cdot G_{17SO_2} \cdot c_{17SO_2} + 0.5 \cdot G_{17SO_2} \cdot \frac{M_{18O_3}}{M_{18O_2}} \cdot c_{17SO_3} + \left[G_{17O_2} - 0.5 \cdot G_{17SO_2} \cdot \left(\frac{M_{18O_3}}{M_{18O_2}} - 1 \right) \right] \cdot c_{17O_2} + G_{17CO_2} \cdot c_{17CO_2} + G_{17N_2} \cdot c_{17N_2}}$$

$$q_{2SO_2} \cdot G_{17SO_2} = 1.869 \times 10^3$$

$$0.5 \cdot G_{17SO_2} \cdot c_{17SO_2} + 0.5 \cdot G_{17SO_2} \cdot \frac{M_{18O_3}}{M_{18O_2}} \cdot c_{17SO_3} + \left[G_{17O_2} - 0.5 \cdot G_{17SO_2} \cdot \left(\frac{M_{18O_3}}{M_{18O_2}} - 1 \right) \right] \cdot c_{17O_2} + G_{17CO_2} \cdot c_{17CO_2} + G_{17N_2} \cdot c_{17N_2} = 677.37$$

Числитель равен:

$$X(1.869 \times 10^3)$$

Знаменатель равен:

677.37

$$\Delta T_2 := \frac{(1.869 \times 10^3)}{(677.37)} = 2.759$$

Итого получаем:

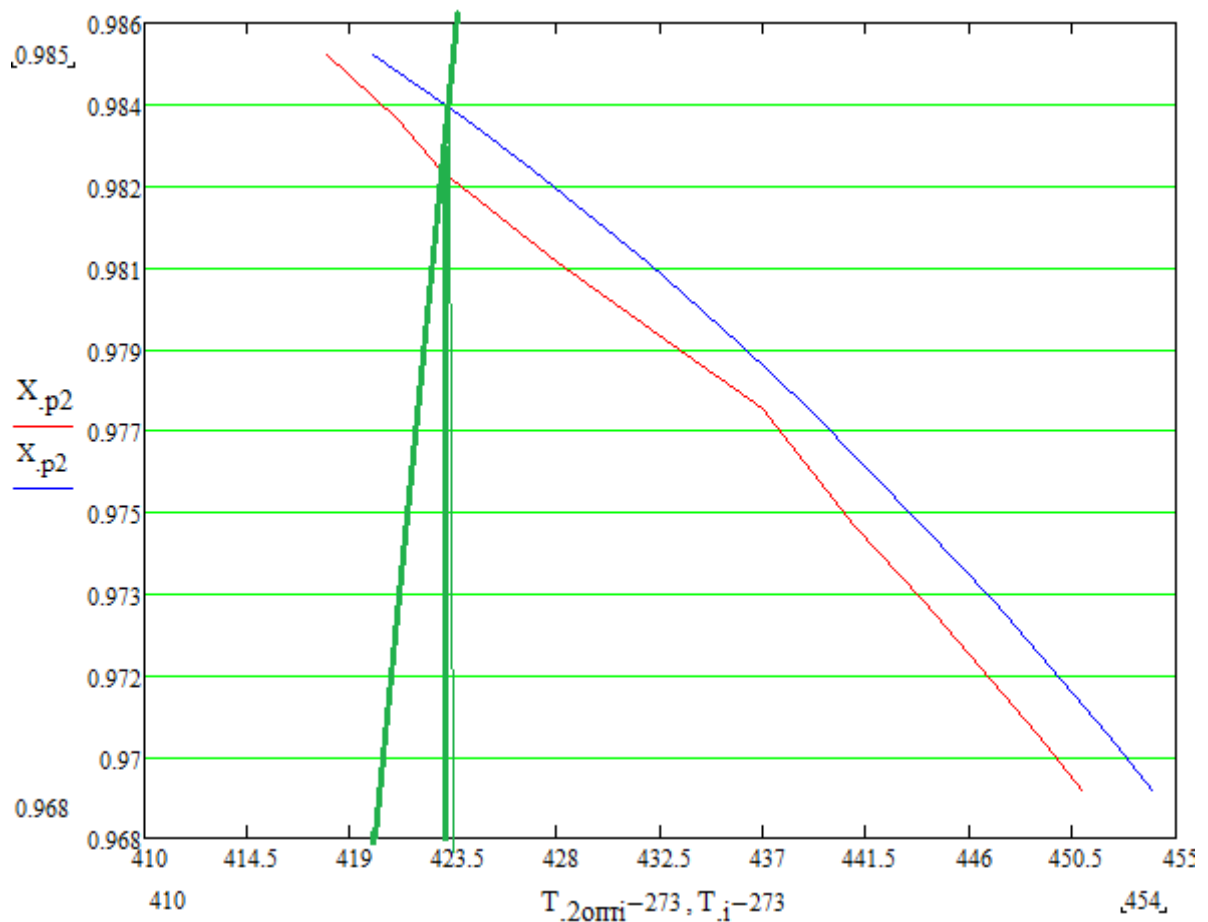
$$\Delta T_2 = \frac{[X(1.869 \times 10^3)]}{(677.37)} = 3X$$

$$T_k - T_H = 3X$$

То есть при степени превращения 0.983 температура в аппарате увеличится примерно на 3⁰C (3*0.983=2,95)

Теперь, зная, что газы в первый слой поступают с температурой 420⁰C, можно построить линию превращения в первом слое, если соединим точку t=420⁰C и X=0 с точкой t=420+2,95=422,95⁰C и X=0.983 и продолжим эту линию до X=1. при таком проведении линии адиабаты процесса конечная точка первого слоя должна лежать между кривыми "степени контактирования" и "оптимальных температур". на основании этих данных принимаем, что на пятом слое степень контактирования 0.984 и температура 423⁰C.

Рисунок 17. Определение температуры и степени контактирования реакции



Степень контактирования, достигаемая в третьем слое, 0.984. Тогда в слое соответственно уменьшаются количества сернистого газа и кислорода и увеличивается количество серного ангидрида (в кг/ч).

$$G_{18SO_2} := G_{1SO_2} \cdot (0.982 - 0.97) = 0.504$$

$$G_{19SO_2} := G_{17SO_2} - G_{18SO_2} = 0.756$$

$$G_{18SO_3} := G_{18SO_2} \cdot \frac{M_{1SO_3}}{M_{1SO_2}} = 0.63$$

$$G_{19SO_3} := G_{17SO_3} + G_{18SO_3} = 51.526$$

$$G_{18O_2} := G_{18SO_3} - G_{18SO_2} = 0.126$$

$$G_{19O_2} := G_{17O_2} - G_{18O_2} = 84.936$$

Материальный баланс сведем в таблицу

Приход			Расход				
Статья	Кг/ч	Нм³/ч	Статья	Кг/ч	Нм³/ч	Объемн.%	% по массе
Газ из четвертого слоя			Газ из пятого слоя				
SO2	1.3	0.5	SO2	0.8	0.3	0.09	0.11
SO3	51	26,5	SO3	51.5	26.8	7.96	7.4
O2	70.5	25.6	O2	84.9	57.8	17.16	12.19
N2	481.5	214	N2	531.6	236.3	70.15	76
CO2	29.3	14.8	CO2	29.3	14.8	4.39	4.2
H2O	0.7	0.85	H2O	0.7	0.85	0.25	0.1
Всего	634,3	282.25	Всего	699.5	336.85	100	100
Воздух							
O2	15.1	10.3					
N2	50.1	22.3					
H2O							
Итого	65.2	32.6					
Всего	699.5	314.85					

Тепловой расчет пятого слоя

Принимаем температуру на выходе из второго слоя 423⁰С.

$$T_5 := 423 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_V := T_5 + 273 = 696$$

К

$$T_{\text{ср}} := \frac{(T_{\text{H5}} - 273 + T_5)}{2} = 431.5$$

средняя температура в слое

Энтальпия паров воды:

$$x := (400 \quad 500)^T$$

$$y := (412 \quad 519.2)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$i_{19\text{H}_2\text{O}} := \text{interp}(x, y, T_{\text{ср}}) = 445.768$$

[с.512,1]

Тепло на выходе из четвертого слоя:

$$\Sigma Q_{IV} = 2.577 \times 10^5 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

Энтальпия воздуха:

$$i_{16\text{с.в.}} := i_{20} = 46.47 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Тепло с воздухом:

$$Q_{16} := G_{16\text{с.в.}} \cdot i_{16\text{с.в.}} = 3.123 \times 10^3 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

$$x := (400 \quad 450)^T$$

$$y := (1486.6 \quad 1480.6)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

$$[c.205, 1]$$

$$q_{18} := \text{linterp}(x, y, T_{\text{ср}}) = 1.483 \times 10^3 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

Тепло реакции:

$$Q_{18} := q_{18} \cdot G_{18\text{SO}_2} = 746.893$$

$$\Sigma Q_V := \Sigma Q_{IV} + Q_{16} + Q_{18} = 2.615 \times 10^5 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

Теплоемкость:

Для азота

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (1.059 \quad 1.068)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{15\text{N}_2} := \text{linterp}(x, y, T_{\text{ср}}) = 1.037$$

$$[c.500, 1]$$

Для кислорода

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.964 \quad 0.977)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{15\text{O}_2} := \text{linterp}(x, y, T_{\text{cp}}) = 0.933$$

[с.500,1]

Для углекислого газа

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.984 \quad 1.013)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{15\text{CO}_2} := \text{linterp}(x, y, T_{\text{cp}}) = 0.914$$

[с.500,1]

Для двуокиси серы

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.708 \quad 0.724)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{15\text{SO}_2} := \text{linterp}(x, y, T_{\text{cp}}) = 0.669$$

[с.500,1]

Для серного ангидрида

$$x := (673 \quad 773)^T$$

$$y := (0.782 \quad 0.812)^T \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_{15\text{SO}_3} := \text{linterp}(x, y, T_{\text{cp}}) = 0.71$$

[с.500,1]

$$Q_{11} := (G_{19\text{SO}_3} \cdot c_{15\text{SO}_3} + G_{19\text{SO}_2} \cdot c_{15\text{SO}_2} + G_{19\text{O}_2} \cdot c_{15\text{O}_2} + G_{17\text{CO}_2} \cdot c_{15\text{CO}_2} + G_{17\text{N}_2} \cdot c_{15\text{N}_2}) \cdot T_{15} + G_{17\text{H}_2\text{O}} \cdot i_{19\text{H}_2\text{O}} = 2.94 \times 10^5 \text{ Дж}$$

$$Q_{11} = 2.94 \times 10^5 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

Расхождение в балансе:

$$\Delta Q_V := \Sigma Q_V - Q_{11} = -3.249 \times 10^4 \frac{\text{кДж}}{\text{ч}}$$

Сводный тепловой баланс пятого слоя

Приход		Расход	
Статья	кДж/ч	Статья	кДж/ч
С газами из четвертого слоя	257720	С газами из пятого слоя	294080
С воздухом	3123	Невязка в балансе	-32490
Тепло реакции	747		
Всего	261590	Всего	261590

Определение времени контактирования

[с.207,1]

$$k_0 := 9.35 \cdot 10^6$$

сек⁻¹, коэффициент для гранулированной массы БАВ

[с.207,1]

$$E := 96296$$

дж/моль, энергия активизации для массы БАВ

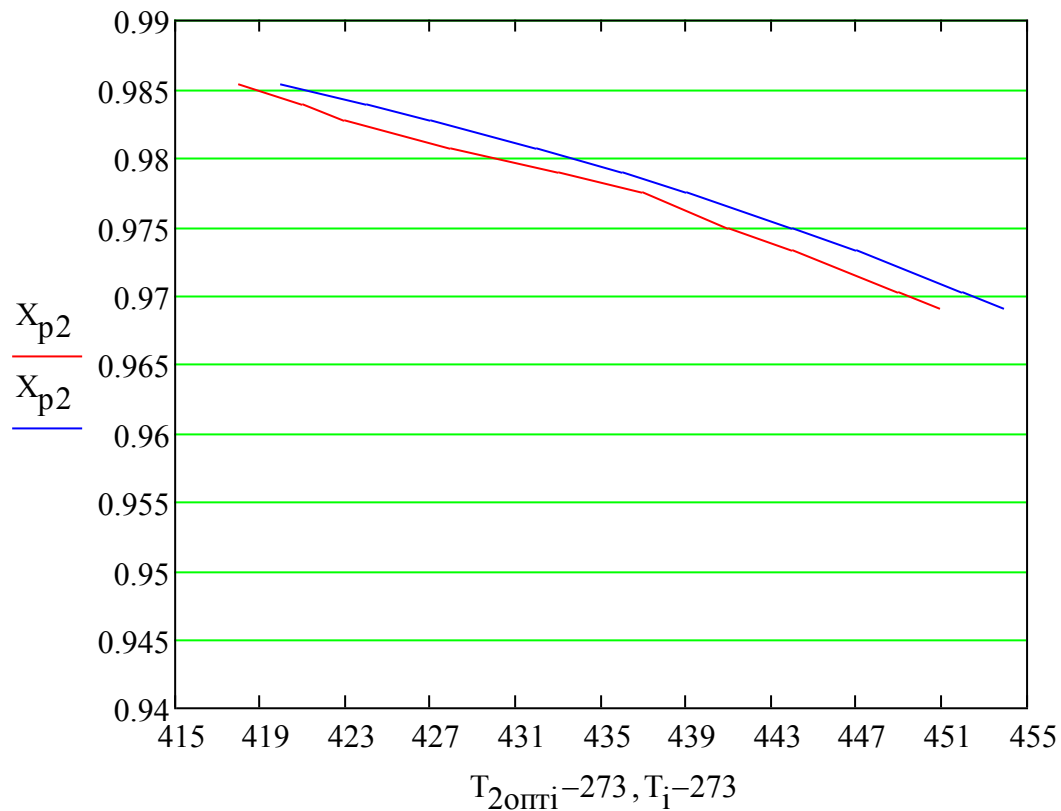
$$R = 8.314$$

дж/моль*град, газовая постоянная

[с.207,1]

По графику определяем температуру реакции для каждой степени превращения, от 0,97 до 0,98:

Рисунок 18. Определение температуры реакции



$$T_{Xi} := \begin{pmatrix} 419 + 273 \\ 420 + 273 \\ 421 + 273 \\ 422 + 273 \\ 423 + 273 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 692 \\ 693 \\ 694 \\ 695 \\ 696 \end{pmatrix}$$

$$X_i := \begin{pmatrix} 0.97 \\ 0.971 \\ 0.972 \\ 0.973 \\ 0.974 \end{pmatrix}$$

К

Далее повторим ранее произведенные расчеты, и найдем равновесную степень превращения, для чего вычислим константу скорости при выше найденных температурах T_{Xi} :

$$\lg K_{pT_{Xi}} := \frac{4905.5}{T_{Xi}} - 7.1455$$

$$K_{pi} := 10^{\lg K_{p_{Txi}}}$$

$$\lg K_{p_{Txi}} = \begin{pmatrix} -0.057 \\ -0.067 \\ -0.077 \\ -0.087 \\ -0.097 \end{pmatrix}$$

$$K_{pi} = \begin{pmatrix} 0.878 \\ 0.857 \\ 0.837 \\ 0.818 \\ 0.799 \end{pmatrix} \quad X_{1i} := \begin{pmatrix} 0.97 \\ 0.973 \\ 0.976 \\ 0.979 \\ 0.982 \end{pmatrix}$$

$$T_{Xi} := \begin{pmatrix} 419 + 273 \\ 420 + 273 \\ 421 + 273 \\ 422 + 273 \\ 423 + 273 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 692 \\ 693 \\ 694 \\ 695 \\ 696 \end{pmatrix}$$

K

$$\underline{b} := 9$$

Содержание кислорода на входе в пятый слой катализатора

$$\underline{a} := 0.2$$

Содержание двуокиси серы на входе в пятый слой катализатора

$$X_{pxi} = \frac{K_{pi}}{K_{pi} + \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{b - 0.5 \cdot a \cdot X_{1i}}{P \cdot \frac{100 - 0.5 \cdot a \cdot X_{1i}}{100}} \right)}}$$

$$X_{pxi} := \begin{pmatrix} 0.978 \\ 0.978 \\ 0.977 \\ 0.977 \\ 0.976 \end{pmatrix}$$

$$T_{Xi} = \begin{pmatrix} 692 \\ 693 \\ 694 \\ 695 \\ 696 \end{pmatrix} \quad \text{Посчитаем константу скорости при разных температурах}$$

Txi:

$$K_{ci} := k_0 \cdot e^{\frac{-E}{R \cdot T_{Xi}}} = \begin{pmatrix} 0.503 \\ 0.516 \\ 0.528 \\ 0.541 \\ 0.554 \end{pmatrix}$$

С учетом данных материального баланса, по уравнению Борескова [с.207,1], рассчитаем:

$$\frac{d\tau}{dX} = \text{Time}$$

$$\text{Time}_i = \frac{2a}{K_{ci}} \cdot \frac{T_{Xi}}{273} \cdot \left(\frac{X_i}{X_{pxi} - X_i} \right)^{0.8} \cdot \frac{1}{2 \cdot b - a \cdot X_i}$$

$$w_i := \frac{2a}{K_{ci}} = \begin{pmatrix} 0.795 \\ 0.776 \\ 0.757 \\ 0.739 \\ 0.722 \end{pmatrix}$$

$$r_i := \frac{T_{Xi}}{273} = \begin{pmatrix} 2.535 \\ 2.538 \\ 2.542 \\ 2.546 \\ 2.549 \end{pmatrix} \quad t_i := \left(\frac{X_i}{X_{pxi} - X_i} \right)^{0.8} = \begin{pmatrix} 46.446 \\ 51.725 \\ 67.757 \\ 81.067 \\ 141.261 \end{pmatrix}$$

$$Time_i = w_i \cdot r_i \cdot t_i \cdot y_i$$

$$Time_1 := 0.795 \cdot 2.535 \cdot 46.446 \cdot 0.056 = 5.242$$

$$y_i := \frac{1}{2 \cdot b - a \cdot X_i} = \begin{pmatrix} 0.056 \\ 0.056 \\ 0.056 \\ 0.056 \\ 0.056 \end{pmatrix}$$

$$Time_2 := 0.776 \cdot 2.538 \cdot 51.725 \cdot 0.056 = 5.705$$

$$Time_3 := 0.757 \cdot 2.542 \cdot 67.757 \cdot 0.056 = 7.302$$

$$Time_4 := 0.739 \cdot 2.546 \cdot 81.067 \cdot 0.056 = 8.542$$

$$Time_5 := 0.722 \cdot 2.549 \cdot 141.261 \cdot 0.056 = 14.559$$

Результаты расчета сведем в таблицу:

X	t, °C	T, °K	X_p	k_c	dt/dX
0.97	419	692	0.978	0.503	5.242
0.971	420	693	0.978	0.516	5.705
0.972	421	694	0.977	0.528	7.302
0.973	422	695	0.977	0.541	8.542
0.974	423	696	0.976	0.554	14.559

Наносим точки, соответствующие X и dt/dX , на график с масштабом: по оси абсцисс 1 см = 0,001X, по ординат 1 см = 2 dt/dX , по площади

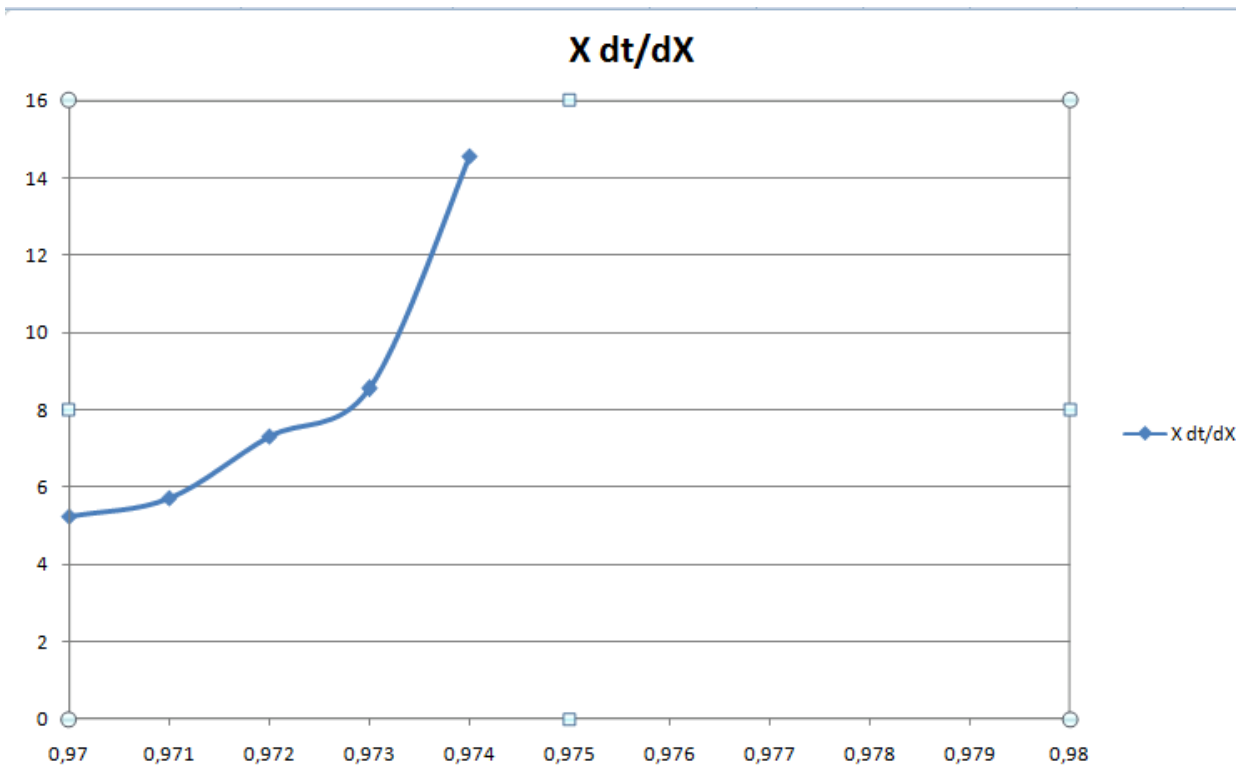
1 см² = 0,001 * 2 = 0,002 сек. Находим, что площадь кривой равна:

$$S_{кр} := 16.02 \text{ см}^2$$

Фиктивное время контактирования:

$$\tau_V := S_{kp} \cdot 0.002 = 0.032 \text{ сек}$$

Рисунок 19. Фиктивное время контактирования



• Определение толщины тепловой изоляции

Толщину тепловой изоляции находят из равенства удельных тепловых потоков через слой изоляции от поверхности изоляции в окружающую среду [с.177,12]:

$$t_{ct2} := 45^{\circ}\text{C}$$

температура изоляции со стороны окружающей среды, для аппаратов, работающих в помещении выбирают в интервале 35-45 градусов

$$t_{ct1} := 300^{\circ}\text{C}$$

- температура изоляции со стороны аппарата.

$$t_B := 20^{\circ}\text{C}$$

- температура окружающей среды

$$\lambda_H := 0.098 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

- коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала, в качестве материала для тепловой изоляции выберем совелит

$$\alpha_B := 9.3 + 0.058 \cdot t_{CT2} = 11.91 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

- коэффициент теплопередачи от внешней поверхности изоляционного материала в окружающую среду

$$\delta_H := \frac{\lambda_H \cdot (t_{CT1} - t_{CT2})}{\alpha_B \cdot (t_{CT2} - t_B)} = 0.084 \text{ м}$$

Примем толщину тепловой изоляции 85 мм.

Вследствие больших габаритов аппарата опор к нему не требуется. Аппарат будет стоять на производственном месте на фундаменте.

7. Конструктивный расчет

7.1 Определение габаритных размеров аппарата

Расчет объема и массы катализатора

$^v V_{\text{раб.к.м.}}$

- объем контактной массы в первом слое в рабочем состоянии, м^3

$$C_V := 1.2$$

коэффициент запаса [с.208, 1]

$$^v V_{\text{сек}} := \frac{282.25}{3600} = 0.078$$

- секундный объем газов, проходящих через слой, $\text{м}^3/\text{сек}$

$$^{\tau} V = 0.032$$

- фиктивное время контактирования, сек

$$^v V_{\text{раб.к.м.}} := C_V \cdot ^v V_{\text{сек}} \cdot ^{\tau} V = 3.014 \times 10^{-3} \text{ м}^3$$

Объем контактной массы при загрузке в 1,1 раза более рабочего объема.
Отсюда:

$${}^v V_{\text{зас.к.м.}} := {}^v V_{\text{раб.к.м.}} \cdot 1.1 = 3.316 \times 10^{-3}$$

м^3 Насыпной вес гранулированной контактной массы в рабочем состоянии:

$$d_{V_{\text{раб.к.м.}}} := 650 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

при загрузке:

$$d_{V_{\text{зас.к.м.}}} := 500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

В аппарат засыпается контактная масса, насыщенная соединениями серы:

$$m_{V_{\text{зас.к.м.}}} := {}^v V_{\text{зас.к.м.}} \cdot d_{V_{\text{зас.к.м.}}} = 1.658 \text{ кг}$$

При работе в аппарате содержится контактной массы, насыщенной соединениями серы:

$$m_{V_{\text{раб.к.м.}}} := {}^v V_{\text{раб.к.м.}} \cdot d_{V_{\text{раб.к.м.}}} = 1.959 \text{ кг}$$

Скорость газа:

$$\omega := 0.002 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

если не учитывать изменение объема газа в результате окисления

Площадь, необходимая для контактной массы:

$$F_V := \frac{{}^v V_{\text{зас.к.м.}}}{\omega} = 1.658 \text{ м}^2$$

$$D_V := \sqrt{\frac{4F_V}{\pi}} = 1.453 \text{ м}$$

Высота слоя контактной массы:

$$h_{V_{\text{к.м.}}} := \frac{{}^v V_{\text{раб.к.м.}}}{F_V} = 1.818 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Линейная скорость газов в слое при средней температуре слоя:

$$V_{V\text{час}} := 264.77$$

объем газа при нормальных условиях, нм³/час

$$\alpha_{\text{www}} := \frac{1}{273}$$

коэффициент объемного расширения, град⁻¹[с.210, 1]

$$t_V := \frac{\sum T_{Xi}}{5} - 273 = 421$$

средняя температура газа, град

$$\omega_V := \frac{V_{V\text{час}} \cdot (1 + \alpha \cdot t_V)}{3600 \cdot F_V} = 0.113 \frac{\text{м}}{\text{сек}}$$

Плотность газов:

$$m_{V\text{час}} := 634.3$$

часовая масса газов, кг/час

$$\rho_V := \frac{m_{V\text{час}}}{V_{V\text{час}} \cdot (1 + \alpha \cdot t_V)} = 0.942 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Гидравлическое сопротивление слоя:

$$\Delta P_V := 6620 \cdot \omega_V^{1.7} \cdot \rho_V^{0.7} \cdot h_{V.K.M.} = 0.283 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

Диаметр аппарата примем по максимальному расчетному диаметру слоя аппарата:

$$D := \max(D_I, D_{II}, D_{III}, D_{IV}, D_V) = 12.616 \text{ м}$$

Принимаем

$$D_{\text{www}} := 14 \text{ м}$$

Общая высота всех слоев с учетом того, что между слоями будут размещены штуцера и люки:

$$h := 3000(h_{I.к.м.} + h_{II.к.м.} + h_{III.к.м.} + h_{IV.к.м.} + h_{V.к.м.}) = 27.273 \text{ м}$$

Принимаем

$$h := 28.5 \text{ м}$$

7.2 Определение диаметров патрубков

Имея все объемные расходы газа на входе и выходе, а также задаваясь скоростью газа, определяем диаметр патрубков.

$$d = \left(\sqrt{\frac{4 \cdot V_k}{\pi \cdot \omega \cdot 2}} \right)$$

м

По вышеуказанной формуле, задаваясь скоростью движения газов, определяем диаметры патрубков, результаты занесем в таблицу:

Слой	I	II	III	IV	V
Вход газа	2400	1400	1400	1500	1500
Выход газа	1400	1400	1400	1500	2200

8. Механический расчет

По таблице 2.1 [с.12,5] выберем сталь 12X18Н10Т

$$L_{об} := 28500 \text{ мм}$$

$$D := 14000 \text{ мм}$$

$$t := 600$$

град., температура среды

$$P_p := 0.024 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение стали при рабочей температуре:

[6]

$$x := (500 \quad 530)^T$$

$$y := (190.5 \quad 186)^T$$

$$\sigma_{t600} := (\text{interp}(x, y, 600)) = 175.5 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{t20} := 276 \text{ МПа}$$

допускаемое напряжение материала при нормальных условиях

$$\eta := 1.1$$

коэффициент запаса прочности

[6]

$$R_{02} := 240 \text{ МПа}$$

предел текучести при 20 градусах

коэффициент запаса устойчивости для рабочих условий[с.12,6]

$$\eta_y := 2.4$$

коэффициент запаса по пределу текучести для пневматических условий[табл.1,6]

$$\eta_t := 1.2$$

Для условий испытания сосудов из углеродистых, низколегированных, ферритных, аустенитно-ферритных мартенситных сталей и сплавов на железоникелевой основе допускаемое напряжение вычисляют по формуле[с.5,6]:

$$\sigma_{\text{и}} := \frac{R_{02}}{\eta_t} = 200$$

МПа

Пробное давление при испытании при рабочем давлении $p=0.2$ МПа в соответствии с Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением (ПБ 03-576-03) для сварных аппаратов:

$$p_{\text{и}} := 1.25 P_p \cdot \frac{\sigma_{t20}}{\sigma_{t600}} = 0.047 \text{ МПа}$$

8.1 Расчет толщин стенок

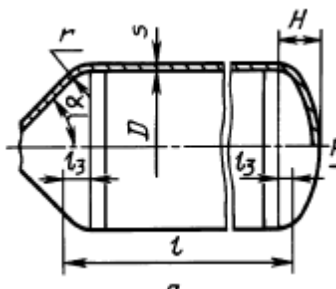


Рисунок 19. Схема обечайки

$$s \geq s_p + c \text{ [7]}$$

ϕ -коэффициент прочности продольного сварного шва

Так как сварной шов стыковой и выполняется вручную с одной стороны, а длина контролируемого шва составляет 100% от общей длины, то

$$\phi_p := 0.9 \text{ [6]}$$

$$s_{p1} := \max \left(\frac{p_{\text{и}} \cdot D}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{\text{и}} - p_{\text{и}}}, \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot \sigma_{t600} \cdot \phi_p - P_p} \right) = 2.202 \text{ мм}$$

$$s_p := \text{ceil}(s_{p1}) = 3 \text{ мм}$$

расчетная толщина стенки

$$c := 1 \text{ мм}$$

прибавка на коррозию и эрозию

$$s := s_p + c = 4 \text{ мм}$$

Принимаем конструктивно

$$s := 14 \text{ мм}$$

$$Us1 := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } \frac{s - c}{D} < 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1 = "Условие применения формул выполняется"

Допускаемое внутреннее избыточное давление:

$$p_d := \frac{2 \cdot \sigma_{t600} \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)}$$

$$p_d = 0.293 \text{ МПа}$$

Проверка на условие прочности

$$Us1 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_p \leq p_d \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1 = "Условие прочности выполняется"

8.1.1 Расчет цилиндрической обечайки на устойчивость

Расчет контактного аппарата на устойчивость.

Расчет производим по ГОСТ Р 52857.2-2007.

Исходные данные:

D := 14028 мм, внешний диаметр аппарата

s := 14 мм, толщина стенки обечайки

c := 1 мм, добавка к толщине стенки

E := $1.97 \cdot 10^5$ МПа, модуль продольной упругости для стали 12X18Н10Т [ГОСТ.2, с.21].

$n_y := 2.4$ коэффициент запаса устойчивости для рабочих условий [ГОСТ.2, с.9]

h := 5 мм, высота тарели слоя аппарата.

d := 2000 мм, внутренний диаметр тарели (вырез в тарели)

l := 5200 мм, высота обечайки

f := 2600 мм, высота до верхнего тарели аппарата до следующего нижнего.

$\sigma_d := 175.5$ МПа, допускаемое напряжение материала из предыдущих расчетов.

$$\underline{g} := 9.82 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \text{ ускорение свободного падения.}$$

Решение:

Определим отношение:

$$\frac{f}{l} = 0.5$$

Из отношения определим приведенную длину обечайки:

$$x := (0.4 \quad 0.6)^T$$

$$y := (1.47 \quad 1.23)^T$$

$$k := \text{linterp}\left(x, y, \frac{f}{l}\right) = 1.35$$

$$l_{\text{пр}} := k \cdot l = 7.02 \times 10^3 \text{ мм}$$

Найдем суммарное сжимающее усилие, действующее на аппарат:

$$M_{\text{ап}} := 50000 \text{ кг, масса аппарата без учета контактной массы}$$

$$\underline{m} := 200 \text{ кг, масса катализатора на слоях}$$

$$\underline{F} := (M_{\text{ап}} + m) \cdot g = 4.912 \times 10^6 \text{ Н}$$

Вычислим отношение:

$$\frac{l}{D} = 0.371 ,$$

так как отношение меньше 10, то нет необходимости вычислять гибкость и допускаемое осевое сжимающее усилие, определяемое из условия общей устойчивости в пределах упругости.

Определим допускаемое осевое сжимающее усилие из условия местной устойчивости в пределах упругости:

$$F_E := \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot E \cdot D^2}{n_y} \cdot \left[\frac{100(s - c)}{D} \right]^{2.5} = 1.309 \times 10^7 \text{ Н}$$

Определим допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$F_{\Pi} := \pi (D + s - c) \cdot (s - c) \cdot \sigma_{\text{д}} = 1.006 \times 10^8 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$F_{\text{д}} := \frac{F_{\Pi}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{\Pi}}{F_{\text{Е}}}\right)^2}} = 1.298 \times 10^7 \text{ Н}$$

Условие устойчивости:

$$\frac{p}{p_{\text{д}}} + \frac{F}{F_{\text{д}}} + \frac{M}{M_{\text{д}}} + \left(\frac{Q}{Q_{\text{д}}}\right)^2 \leq 1$$

$$p_{\text{д}} := 0.05$$

МПа, допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости, рассчитанное ранее:

$$p := 0.03 \text{ МПа, давление при пневматических испытаниях.}$$

Поскольку контактный аппарат работает при пониженном давлении, а также имеет вертикальное строение и расположен в помещении, то проверка на условие устойчивости сводится к следующей формуле:

$$Us1 := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{p}{p_{\text{д}}} + \frac{F}{F_{\text{д}}} \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ ВЫПОЛНЯЕТСЯ"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

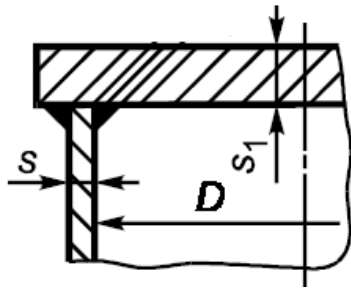
$$Us1 = \text{"Условие устойчивости выполняется"}$$

$$\frac{p}{p_{\text{д}}} = 0.6 \text{ , } \frac{F}{F_{\text{д}}} = 0.378 \text{ , } \frac{p}{p_{\text{д}}} + \frac{F}{F_{\text{д}}} = 0.978$$

Так как условие устойчивости выполняется, то нет необходимости в укреплении обечайки. Все нагрузки будут выдержаны.

Расчет толщины стенки плоского круглого днища при рабочем давлении и в условиях испытания

Рисунок 20. Плоское днище



$$D_p := D = 1.4 \times 10^4 \text{ мм}$$

$$K_1 := 0.5$$

коэффициент, зависящий от конструкции днища, выбирается [с.21,7]

$$K_0 := 1$$

т.к. в днище не имеется отверстий

Так как сварной шов стыковой с двусторонним сплошным проваром, а длина контролируемого шва составляет 100% от общей длины, то

$$\phi := 1$$

[с.22,6]

$$R_t := 123 \text{ МПа}$$

предел текучести стали 10

$$\sigma_{кр} := \frac{R_t}{\eta_t} = 102.5 \text{ МПа}$$

напряжение при условиях испытания для стали 10

$$\sigma_d := 110 \text{ МПа}$$

допускаемое напряжение для стали 10

$$s_{дн.p} := K_1 \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{(P_p)}{\phi \cdot \sigma_{кр}}} = 107.113 \text{ мм}$$

$$s_{дн} := \text{ceil}(s_{дн.p} + c) = 109 \text{ мм}$$

исполнительная толщина стенки плоского круглого днища

$$P_d := \left(\frac{s_{дн} - c}{K_1 \cdot K_0 \cdot D_p} \right)^2 \cdot \sigma_d \cdot \phi = 0.026 \text{ МПа}$$

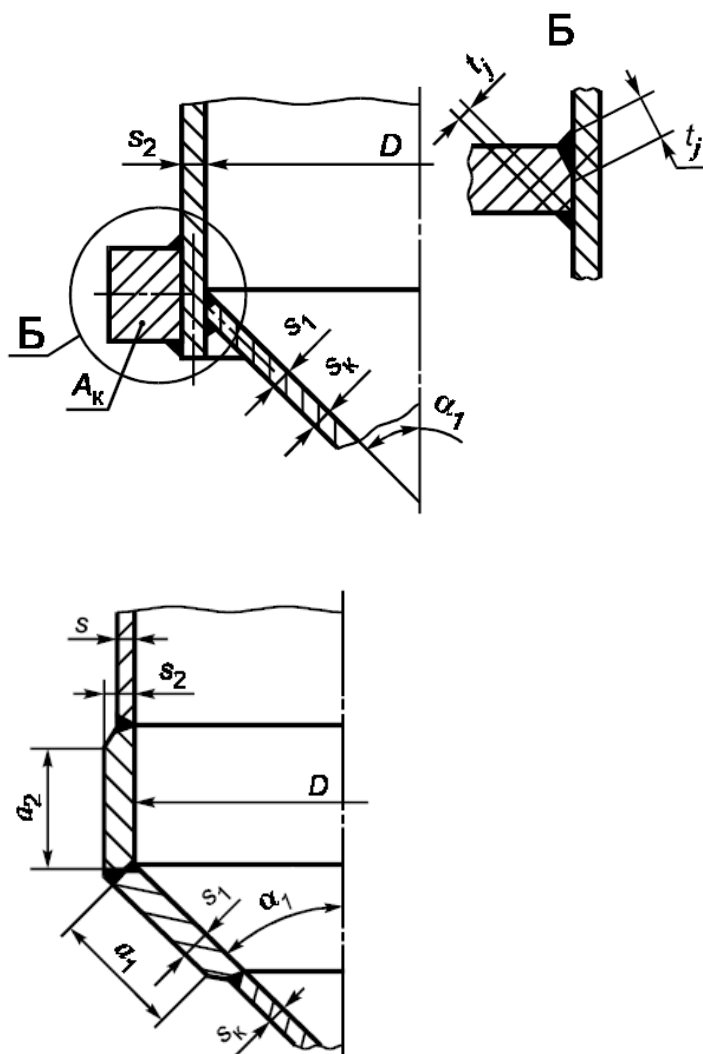
Проверка на условие прочности

$$Us1 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } (P_p) \leq P_d \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1 = "Условие прочности выполняется"

Расчет толщины стенки стандартной конической крышки при рабочем давлении и в условиях испытания

Рисунок 21. Коническая крышка



Толщины стенок переходной части цилиндрической обечайки и конической крышки должны быть не менее рассчитанной толщины стенки цилиндрической обечайки.

$$\alpha_1 := 60 \cdot \text{deg} = 1.047 \text{ рад}$$

половина угла при вершине конической крышки

$$s_1 := 35 \text{ мм}$$

толщина стенки переходной части конической крышки

$$s_2 := 20 \text{ мм}$$

толщина стенки переходной части цилиндрической обечайки

Определяем расчетные длины переходных частей

$$a_{1p} := 0.7 \cdot \sqrt{\frac{D}{\cos(\alpha_1)}} \cdot (s_1 - c) = 682.993 \text{ мм}$$

$$a_{2p} := 0.7 \cdot \sqrt{D \cdot (s_2 - c)} = 361.026 \text{ мм}$$

$$D_k := D - 1.4 \cdot a_{1p} \cdot \sin(\alpha_1) = 1.317 \times 10^4 \text{ мм}$$

Условие применения формул:

$$Us1 := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } 0.001 \leq \frac{s_1 \cdot \cos(\alpha_1)}{D} \leq 0.05 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1 = "Условие применения формул выполняется"

Проверим коническую обечайку, при нагружении наружным давлением
[7]

$$D_1 := 2400 \text{ мм}$$

диаметр меньшего основания конической крышки

Модуль продольной упругости при рабочей температуре:

$$E := 1.67 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Эффективные размеры:

$$l_E := \frac{D - D_1}{2 \sin(\alpha_1)} = 6.697 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$D_E := \max \left[\frac{D + D_1}{2 \cos(\alpha_1)}, \frac{D}{\cos(\alpha_1)} - 0.31 \cdot (D + D_1) \cdot \sqrt{\frac{D + D_1}{s - c}} \cdot \tan(\alpha_1) \right] = 1.64 \times 10^4$$

мм

Коэффициент B1:

$$B_1 := \min \left[1, 9.45 \cdot \frac{D_E}{l_E} \cdot \sqrt{\frac{D_E}{100(s - c)}} \right] = 1$$

Расчетная толщина стенки конической крышки:

$$s_{k.p.} := \max \left[1.06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D_E}{B_1} \cdot \left(\frac{P_p}{10^{-5} \cdot E \cdot D_E} \right)^{0.4}, \frac{1.2 \cdot P_p \cdot D_k}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_d - P_p \cdot \cos(\alpha_1)} \right] = 1.916$$

мм

Исполнительная толщина стенки конической крышки:

$$s_k := \text{ceil}(s_{k.p.} + c) = 3 \text{ мм}$$

Исходя из габаритов конструкции, и из того, что необходимо выполнение условия прочности, принимаем толщину стенки конической крышки 15 мм

$$s_k := 15 \text{ мм}$$

Допускаемое давление из условия прочности:

$$p_n := \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos(\alpha_1)} + (s_k + c)} = 0.117 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости:

$$p_E := \frac{2.08 \cdot 10^{-5} \cdot E \cdot D_E}{\eta_y \cdot B_1 \cdot l_E} \cdot \left[\frac{200(s_k - c)}{D_E} \right]^{2.5} = 0.043 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление:

$$p_d := \frac{p_n}{\sqrt{1 + \left(\frac{p_n}{p_E}\right)^2}} = 0.04 \text{ МПа}$$

Проверка на условие прочности

$$Us1 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } (P_p) \leq p_d \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1 = "Условие прочности выполняется"

Расчет на соединение конической обечайки с укрепляющим кольцом

$$Us1 := \begin{cases} \text{"Условие применения выполняется"} & \text{if } s_1 - c > s_2 - c \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1 = "Условие применения выполняется" [7]

$$\sigma_2 := \sigma_d = 110 \text{ МПа}$$

допускаемое напряжения для конической крышки

$$\sigma_{t1k} := 74 \text{ МПа}$$

допускаемое напряжения для цилиндрической обечайки

$$\chi := \frac{\sigma_{t1k}}{\sigma_2} = 0.673$$

коэффициент отношения напряжений

$$\sigma_k := \sigma_2 = 110 \text{ МПа}$$

допускаемое напряжение для материала ребер жесткости конической крышки

$$\phi_T := 1$$

коэффициент прочности кольцевого сварного шва, так как шов тавровый с двусторонним проваром

$$\phi_K := 1$$

коэффициент прочности сварных швов кольца жесткости, так как шов тавровый с двусторонним проваром

Определяем коэффициенты:

$$\beta_a := \left(\frac{2\sigma_{\phi_T}}{P_p} - 1 \right) \frac{(s_2 - c)}{2D} = 6.22$$

$$\beta := 0.4 \cdot \sqrt{\frac{2D}{s_2 - c}} \cdot \frac{\tan(\alpha_1)}{1 + \sqrt{\frac{1 + \chi \cdot \left[\frac{(s_1 - c)}{(s_2 - c)} \right]^2}{2 \cos(\alpha_1)} \cdot \chi \cdot \frac{(s_1 - c)}{(s_2 - c)}}}} - 0.25 = 8.77$$

Вычислим площадь поперечного сечения укрепляющего кольца:

$$A_k := \frac{P_p \cdot D^2 \cdot \tan(\alpha_1)}{8\sigma_k \cdot \phi_k} \cdot \left(1 - \frac{\beta_a + 0.25}{\beta + 0.25} \right) = 2.618 \times 10^3$$

$$\text{мм}^2$$

Требуется укрепление кольцом.

8.2 Расчет фланцевого соединения

В качестве примера произведем расчет фланца для патрубка выхода конденсата: [12]

Диаметр штуцера:

$$d_p := 0.8 \text{ м}$$

Допускаемое напряжение для материала болтов 12X18H10T:

$$\sigma_b := 110 \text{ МПа}$$

Диаметр болтов фланцевого соединения:

$$d_b := 0.027 \text{ м}$$

Модуль упругости фланца:

$$E := 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

нормативный зазор между втулкой и гайкой в соответствии с рекомендациями:

$$u := 0.005 \text{ м}$$

Решение:

Толщина втулки плоских приварных фланцев:

$$c := 0.001 \text{ м}$$

$$s_0 \geq s$$

Примем

$$s_0 := 0.015 \text{ м}$$

Высота втулки:

$$h_b := 0.5 \cdot \sqrt{d_p \cdot (s_0 - c)} = 0.053$$

Примем значение высоты втулки:

$$h_b := 0.055 \text{ м}$$

Диаметр болтовой окружности плоских приварных фланцев:

$$D_b := d_p + 2(2 \cdot s_0 + d_b + u) = 0.924 \text{ м}$$

Примем:

$$D_b := 0.925 \text{ м}$$

Наружный диаметр фланца:

Конструктивную добавку для размещения шестигранных гаек (обычных) по диаметру фланца примем по табл.4[с.95,8]:

$$a := 0.052 \text{ м}$$

Диаметр отверстия под болт:

$$d := 0.03 \text{ м}$$

$$D_n := D_b + a = 0.977 \text{ м}$$

Примем

$$D_n := 0.98 \text{ м}$$

Наружный диаметр прокладки при нормативном параметре, зависящем от типа прокладки:

$$e := 0.037$$

м, так как выбираем плоскую прокладку по табл 1.41 [с.95,9]

$$D_{np} := D_b - e = 0.888 \text{ м}$$

Средний диаметр прокладки:

шириина прокладки плоской, неметаллической по табл.1.42 [с.95,9]

$$b := 0.025$$

м

$$D_{sn} := D_{np} - b = 0.863 \text{ м}$$

Количество болтов, необходимое для обеспечения герметичности соединения:

Шаг расположения болтов

$$t_{sh} := 4 \cdot d_b = 0.108 \text{ м}$$

$$n_b := \frac{\pi \cdot D_b}{t_{sh}} = 26.907$$

Применяем

$$n_b := 27 \text{ шт}$$

Высота(толщина) фланца ориентировочно:

По рисунку 1.40 [с.97,9] определяем коэффициент:

$$\lambda_f := 0.45$$

Эквивалентная толщина втулки:

$$\frac{d_p}{s_0} = 53.333$$

$$\beta_1 := 2.15$$

по рисунку 1.39 [с.95,9]

$$s_{ek} := s_0 \cdot \left[1 + \frac{h_b \cdot (\beta_1 - 1)}{h_b + 0.25 \cdot (\beta_1 + 1) \cdot \sqrt{d_p \cdot s_0}} \right] = 0.022 \text{ м}$$

$$h_f \geq \lambda_f \cdot \sqrt{d_p \cdot s_{ek}}$$

$$\lambda_f \cdot \sqrt{d_p \cdot s_{ek}} = 0.059$$

Примем

$$h_f := 0.06 \text{ м}$$

Болтовая нагрузка, необходимая для обеспечения герметичности. Расчет сводится к определению нагрузок для двух различных состояний: при монтаже и в рабочих условиях.

Болтовая нагрузка в условиях монтажа.

Равнодействующая внутреннего давления

$$F_d := P_p \cdot \pi \cdot \frac{D_{sn}^2}{4} = 0.014 \text{ МН}$$

Выберем прокладку из фторопласта толщиной 3 мм, для нее:

$$k_{pr} := 2.5$$

Толщина прокладки:

$$h_{pr} := 0.003 \text{ м}$$

$$p_{pr} := 10 \text{ МПа}$$

Минимальное давление обжатия:

Допускаемое давление обжатия прокладки:

$$p_{dpr} := 40 \text{ МПа}$$

Модуль упругости фторопласта:

$$E_{pr} := 2000 \text{ МПа}$$

Эффективная ширина прокладки:

$$b_0 := b = 0.025 \text{ м}$$

Реакция прокладки:

$$R_p := \pi \cdot D_{sn} \cdot b_0 \cdot k_{pr} \cdot P_p = 4.067 \times 10^{-3} \text{ МН}$$

Расчетная площадь поперечного сечения болта принимается:

$$f_b := 1.35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Линейная податливость прокладки, при:

$$k_p := 1 \frac{\text{М}}{\text{МН}}$$

$$y_p := \frac{k_p \cdot h_{pr}}{E_{pr} \cdot \pi \cdot D_{sn} \cdot b} = 2.213 \times 10^{-5}$$

Угловая податливость фланца:

безразмерные параметры

$$\lambda_f := \frac{h_f}{\sqrt{d_p \cdot s_{ek}}} = 0.455$$

$$\psi_1 := 1.28 \cdot \log\left(\frac{D_n}{d_p}\right) = 0.113$$

$$\psi_2 := \frac{D_n + d_p}{D_n - d_p} = 9.889$$

$$v := \frac{1}{1 + 0.9 \cdot \lambda_f \cdot \left(1 + \psi_1 \cdot \frac{h_f^2}{s_{ek}^2}\right)} = 0.567$$

$$y_f := \frac{[1 - \nu \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda_f)] \cdot \psi^2}{h_f^3 \cdot E} = 0.055$$

$$\frac{M}{M_H}$$

Расстояние между опорными поверхностями головки болта и гайки:

примем конструктивно

$$l_{ob} := 0.12 \text{ м}$$

Расчетная длина болта:

$$l_b := l_{ob} + 0.28 \cdot d = 0.128 \frac{M}{M_H}$$

м

Линейная податливость болтов:

$$y_b := \frac{l_b}{E \cdot f_b \cdot n_b} = 2.109 \times 10^{-4}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения:

$$k_{zh} := \frac{y_b + 0.5 \cdot y_f \cdot (D_b - d_p - s_{ek}) \cdot (D_b - D_{sn})}{y_p + y_b + 0.5 \cdot y_f \cdot (D_b - D_{sn})^2} = 1.142 \text{ МПа}$$

Болтовая нагрузка в условиях монтажа:

$$\sigma_{b20} := 130$$

Осевое растягивающее усилие:

$$F_1 := 0.25 \cdot \pi \cdot (d_p + 2 \cdot s \cdot 10^{-6}) \cdot P_p = 0.015$$

МН

$$F_{b1} := \max \left[\begin{array}{l} k_{zh} \cdot (F_d - F_1) + R_p \\ 0.5 \cdot \pi \cdot D_{sn} \cdot b_0 \cdot p_{pr} \\ 0.4 \cdot \sigma_{b20} \cdot n_b \cdot f_b \end{array} \right] = 0.339 \text{ МН}$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях

Коэффициент линейного расширения материала болтов и фланцев 12X18H10T:

$$\alpha := 13.1 \cdot 10^{-6} \frac{1}{C^0}$$

$$t_r := 300 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Усилие, возникающее от температурных деформаций:

$$F_t := \frac{y_b n_b \cdot f_b \cdot E \cdot (\alpha \cdot t_r - \alpha \cdot 0.97 \cdot t_r)}{y_p + y_b + 0.5 \cdot y_f \cdot (D_b - D_{sn})^2} = 0.045$$

МН

$$F_{b2} := F_{b1} + (1 - k_{zh}) \cdot (F_d - F_1) + F_t = 0.384$$

МН

Условия прочности болтов

$$\frac{F_{b1}}{n_b \cdot f_b} = 92.976 \text{ МПа}$$

$$Usl_1 := \left| \begin{array}{ll} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \frac{F_{b1}}{n_b \cdot f_b} \leq \sigma_{b20} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{array} \right.$$

$$\sigma_{b20} = 130 \text{ МПа}$$

$$Usl_1 = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

$$Usl_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \frac{F_{b2}}{n_b \cdot f_b} \leq \sigma_b \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_2 = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

$$\frac{F_{b2}}{n_b \cdot f_b} = 105.285 \text{ МПа}$$

$$\sigma_b = 110 \text{ МПа}$$

Условие прочности неметаллических прокладок:

$$Usl_3 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \frac{F_{b1}}{\pi \cdot D_{sn} \cdot b} \leq p_{dpr} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_3 = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

$$\frac{F_{b1}}{\pi \cdot D_{sn} \cdot b} = 5 \text{ МПа}$$

$$p_{dpr} = 40 \text{ МПа}$$

Условие прочности втулки фланца для сечения, ограниченного размером S0:

безразмерный параметр

$$T_f := \frac{D_n^2 \cdot \left(1 + 8.55 \cdot \log \left(\frac{D_n}{d_p} \right) \right) - d_p^2}{\left(1.05 \cdot d_p^2 + 1.945 \cdot D_n^2 \right) \cdot \left(\frac{D_n}{d_p} - 1 \right)} = 1.827$$

Безразмерный параметр по рисунку 1.42 [с.101,9]

$$\chi_1 := \frac{h_b}{\sqrt{d_p \cdot s_0}} = 0.502$$

$$f_f := 1$$

Приведенный изгибающий момент:

$$M_0 := \max[0.5 \cdot (D_b - D_{sn}) \cdot F_{b1}, 0.5 \cdot [(D_b - D_{sn}) \cdot F_{b2} + (D_{sn} - d_p - s_{ek}) \cdot F_d]] = 0.012$$

$$M_0 = 0.012$$

МН·м

$$\sigma_1 := T_f \cdot M_0 \cdot \frac{v}{d_p \cdot \left(\frac{s}{1000} - c \right)^2} = 93.434 \text{ МПа}$$

Максимальное напряжение в сечении, ограниченном размером S0:

$$\sigma_0 := f_f \cdot \sigma_1 = 93.434 \text{ МПа}$$

Тангенциальное и меридиональное напряжения во втулке фланца от внутреннего давления:

$$\sigma_t := \frac{p_{pr} \cdot d_p}{2 \cdot (s_0 - c)} = 285.714 \text{ МПа}$$

$$\sigma_m := \frac{p_{pr} \cdot d_p}{4 \cdot (s_0 - c)} = 142.857 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для фланца в сечении S0, принимаемое при количестве нагружений соединения (сборка-разборка) при $P_r < 4 \text{ МПа}$:

$$s_0 = 0.015$$

$$\sigma_{d0} := 0.003 \cdot E = 600 \text{ МПа}$$

Тогда условие прочности втулки фланца:

$$A_s := \sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_0 + \sigma_m) \cdot \sigma_t = 264.489 \text{ МПа}$$

$$\phi \cdot \sigma_{d0} = 600 \text{ МПа}$$

$$Usl_4 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } A_s < \phi \cdot \sigma_{d0} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_4 = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

Условие герметичности фланцевого соединения определяется углом поворота фланца. Максимальное напряжение в кольце аппарата:

$$\sigma_k := M_0 \cdot [1 - \nu \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda_f)] \cdot \frac{\psi^2}{d_p \cdot h_f^2} = 8.376 \text{ МПа}$$

Допускаемый угол поворота фланца для плоских приварных:

$$\Theta_d := 0.013$$

рад

$$\Theta := \left(\frac{\sigma_k}{E} \right) \cdot \left(\frac{d_p}{h_f} \right) = 5.584 \times 10^{-4}$$

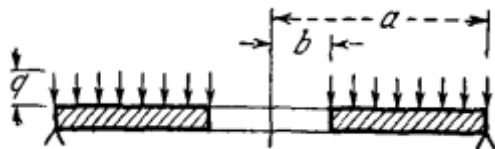
рад

$$Usl_5 := \begin{cases} \text{"Условие герметичности выполняется"} & \text{if } \Theta < \Theta_d \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_5 = \text{"Условие герметичности выполняется"}$$

8.3 Расчет тарелок для слоев контактного аппарата

Рисунок 22. Расчетная схема тарели



Исходные данные:

$$D = 1.4 \times 10^4$$

м, диаметр тарели

$$h := 0.005$$

м, толщина стенки тарели

$$d := 2$$

м, диаметр отверстия в центре тарели

Вычислим максимально возможную массу смеси, помещаемую в тарели:

$$m := \max(m_{I\text{раб.к.м.}}, m_{II\text{раб.к.м.}}, m_{III\text{раб.к.м.}}, m_{IV\text{раб.к.м.}}, m_{V\text{раб.к.м.}}) = 136.371$$

кг

Площадь тарели:

$$S := \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) = 1.539 \times 10^8 \text{ м}^2$$

Определим силу, действующую на тарель:

$$g := 9.82 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

ускорение свободного падения

$$F := m \cdot g = 1.339 \times 10^3 \text{ Н}$$

Вычислим интенсивность нагрузки на тарель:

$$P := \frac{F}{S} = 8.699 \times 10^{-6} \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

$$\mu := 0.3$$

коэффициент Пуассона для стали [с.240, 9]

$$E := 1.99 \cdot 10^{11}$$

Па, модуль продольной упругости для стали [с.24,6]

$$b := \frac{d}{2} = 1 \text{ м}$$

$$a := \frac{D}{2} = 7 \times 10^3 \text{ м}$$

$$r := a - b = 6.999 \times 10^3 \text{ м}$$

По таблице 3 [10, с.79] определяем коэффициенты:

$$k := 2.19$$

$$k_1 := 0.813$$

$$\omega_{\max} := \frac{k_1 \cdot P \cdot a^2}{(E \cdot h^3)} = 0.014 \text{ м}$$

Этот прогиб будет наблюдаться по внутреннему краю пластины, вследствие этого, по внутреннему краю пластина будет оперта на косынки.

Максимальное напряжение в пластине:

$$\sigma_{\max} := \frac{k \cdot P}{h^2} = 0.762 \text{ МПа}$$

Максимальное напряжение для тарели, которое будет действовать по ее контуру [с.71,10]:

Допускаемое напряжение для стали [с.9,6]:

$$\sigma_{\text{д}} := 25 \text{ Па}$$

Условие прочности:

$$\text{Us1_прочн} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{д}} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Us1_прочн} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

Вывод: Условия прочности при заданных нагрузках выполняются.

Напряжение, действующее на тарель меньше допустимого в 25 раз, что вполне удовлетворяет для работы аппарата. Поскольку максимальный прогиб пластины по внутреннему контуру составил 14 мм, то на центральную трубу контактного аппарата в качестве будут приварены косынки.

8.4 Укрепление отверстий

Марка стали [11]

12X18H10T

Расчетная температура

$$t := 600 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Допускаемое напряжение в рабочем состоянии при

$$t := 600^{\circ}\text{C}$$

$$\sigma_{\text{д}} := 74 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Внутреннее расчетное давление

$$P_{\text{в}} := 0.03 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Внешнее расчетное давление

$$P_{\text{н}} := 1 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$\sigma_{\text{д1}} := \sigma_{\text{д}}$$

$$\sigma_{\text{д2}} := \sigma_{\text{д}}$$

Внутренний диаметр оболочки(максимальный)

$$D := 14000 \text{ мм}$$

Длина неукрепленной части оболочки

$$l := 44000 \text{ мм}$$

Расстояние от центра укрепления отверстия до оси оболочки

$$r := 7000 \text{ мм}$$

Исполнительная ширина накладного кольца

$$B := 100 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки оболочки

$$s := 14 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина накладного кольца

$$s_2 := 4 \text{ мм}$$

$$d := 2400 \text{ мм}$$

Диаметр отверстия

Длина внешней части штуцера

$$l_1 := 200 \text{ мм}$$

Длина внутренней части штуцера

$$l_2 := 10 \text{ мм}$$

Прибавка к расчетной толщине стенки

$$c := 1 \text{ мм}$$

Коэффициент прочности сварных швов

$$\phi := 1$$

Толщину стенки штуцера принимаем

$$s_1 := s = 14 \text{ мм}$$

Половина угла раствора при вершине конической обечайки

$$\alpha := \frac{3.14 \cdot 35}{180}$$

$$\alpha = 0.611$$

Угол между осью накладного штуцера и нормалью к поверхности конической оболочки:

$$\gamma := \frac{60 \cdot 3.14}{180} = 1.047$$

Нормальный модуль упругости

$$E_1 := 1.91 \cdot 10^{11} \text{ Па}$$

коэффициент Пуассона

$$\mu_1 := 0.3$$

коэффициент запаса устойчивости

$$n_y := 2.4$$

Диаметр основания конической оболочки

$$D_1 := 2400 \text{ мм}$$

Средний диаметр оболочки у отверстия

$$D_c := 14000 \text{ мм}$$

Средний радиус оболочки у штуцера

$$d_c := 400 \text{ мм}$$

Средний диаметр штуцера

$$R_c := \frac{D_c}{2} = 7 \times 10^3 \text{ мм}$$

Выберите тип оболочки:

$n = 1$ цилиндрическая обечайка

$$\text{Тип} := \begin{cases} \text{"цилиндрическая оболочка"} & \text{if } n = 1 \\ \text{"эллиптическая оболочка"} & \text{if } n = 2 \\ \text{"коническая оболочка"} & \text{if } n = 3 \\ \text{"сферическая оболочка"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "цилиндрическая оболочка"

$$H := 1$$

Длина переходной части в конической обечайки:

$$a_1 := 0.7 \cdot \sqrt{\frac{D}{\cos(\alpha)}} \cdot (s - c) = 329.917 \text{ мм}$$

Диаметр гладкой конической обечайки без тороидального перехода:

$$D_k := D - 1.4 \cdot a_1 \cdot \sin(\alpha) = 1.374 \times 10^4 \text{ мм}$$

Диаметры укрепляемых элементов:

$$D_p := \begin{cases} D_p \leftarrow D & \text{if } n = 1 \\ D_p \leftarrow \left[\frac{D^2}{2 \cdot H} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \left(\frac{D^2 - 4 \cdot H^2}{D^4} \right) \cdot r^2} \right] & \text{if } n = 2 \\ D_p \leftarrow \frac{D_k}{\cos(\alpha)} & \text{if } n = 3 \\ D_p \leftarrow 2 \cdot R & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$D_p = 1.4 \times 10^4 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия в стенке обечайки:

$$d_p := \begin{cases} d_p \leftarrow d + 2 \cdot c & \text{if } n = 1 \\ d_p \leftarrow \frac{d + 2 \cdot c}{\sqrt{1 - \left(\frac{2 \cdot r}{D_p}\right)^2}} & \text{if } n = 2 \\ d_p \leftarrow \frac{d + 2 \cdot c}{\cos(\cos(\gamma))} & \text{if } n = 3 \\ d_p \leftarrow d + 2 \cdot c & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d_p = 2.402 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$\text{Прим} := \begin{cases} \text{"Отн-е диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \begin{cases} \left(\frac{d_p - 2 \cdot c}{D} > 1\right) & \text{if } n = 1 \\ \left(\frac{d_p - 2 \cdot c}{D} > 0.6\right) & \text{if } n = 2 \\ \left(\frac{d_p - 2 \cdot c}{D_k} > 1\right) & \text{if } n = 3 \\ \left(\frac{d_p - 2 \cdot c}{D} > 0.6\right) & \text{otherwise} \end{cases} \\ \text{"Отн-е толщны к диаметру НЕ вып-я"} & \text{if } \begin{cases} \left(\frac{s - c}{D} > 0.1\right) & \text{if } n = 1 \\ \left(\frac{s - c}{D} > 0.1\right) & \text{if } n = 2 \\ \frac{s - c}{D_k} > \frac{0.1}{\cos(\alpha)} & \text{if } n = 3 \\ \left(\frac{s - c}{D} > 0.1\right) & \text{otherwise} \end{cases} \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "цилиндрическая оболочка"

Прим = "Условия применения формул выполняются"

Расчетная толщины стенок укрепляемых элементов:

$$s_p := \begin{cases} \frac{P_B \cdot D_p}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_B} & \text{if } n = 1 \\ \frac{P_B \cdot D_p}{4 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_B} & \text{if } n = 2 \\ \frac{P_B \cdot D_p}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_B} \cdot \frac{1}{\cos(\alpha)} & \text{if } n = 3 \\ \frac{P_B \cdot D_p}{4 \cdot \phi \cdot \sigma_D - P_B} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$s_p = 2.838 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки штуцера:

$$s_{p1} := \frac{P_B \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_D \cdot \phi - P_B}$$

$$s_{p1} = 0.487 \text{ мм}$$

Расчетные длины штуцеров:

$$l_{1p} := \min \left[l_1, \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s_1 - c)} \right]$$

$$l_{1p} = 176.709 \text{ мм}$$

$$l_{2p} := \min \left[l_2, 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s - 2c)} \right]$$

$$l_{2p} = 10 \text{ мм}$$

Расчетная ширина накладного кольца:

$$l_{3p} := \min \left[l_3, \sqrt{D_p \cdot (s + s_2 - c)} \right]$$

$$l_{3p} = 100 \text{ мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайках и днищах при отсутствии торообразной вставки или вварного кольца:

$$l_p := \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 426.615 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений:

для внешней части штуцера

$$\chi_1 := \min\left(1, \frac{\sigma_{д1}}{\sigma_{д}}\right)$$

$$\chi_1 = 1$$

для внутренней части штуцера:

$$\chi_2 := \min\left(1, \frac{\sigma_{д1}}{\sigma_{д}}\right)$$

$$\chi_2 = 1$$

для накладного кольца

$$\chi_3 := \min\left(1, \frac{\sigma_{д}}{\sigma_{д}}\right)$$

$$\chi_3 = 1$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d_{0p} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)}$$

$$d_{0p} = 170.646 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления при наличии избыточной толщины стенки сосуда:

$$d_0 := 2 \cdot \left[\left(\frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)}$$

$$d_0 = 3.225 \times 10^3$$

мм

$$\text{Пров1} := \begin{cases} \text{"необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_0 < d_p \\ \text{"укрепление отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "цилиндрическая оболочка"

Пров1 = "укрепление отверстия не требуется"

Укрепление отверстия накладным кольцом:

$$A_p := 0.5 \cdot (d_p - d_{0p}) \cdot s_p$$

$$A_p = 3.167 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

$$\Phi_p := l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p1} - c) \cdot \chi_1 + l_{3p} \cdot s_2 \cdot \chi_3 + l_{2p} \cdot (s_1 - c - c) \cdot \chi_2 + l_p \cdot (s - s_p - c) = 7.066 \times 10^3$$

$$\text{Пров2} := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"} & \text{if } \Phi_p \geq A_p \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров2 = "Условие укрепления отверстия выполняются"

Расчет укрепления отверстия с помощью накладного кольца при необходимости определения площади этого кольца:

Площадь накладного кольца:

$$A_2 := s_2 \cdot l_3 = 400$$

$$\Phi_{2p} := \frac{1}{\chi_3} \cdot [0.5 \cdot (d_p - d_{0p}) \cdot s_p - l_p \cdot (s - s_p - c) - l_{1p} \cdot (s_1 - s_{p1} - c) \cdot \chi_1 - l_{2p} \cdot (s_1 - c - c) \cdot \chi_2]$$

$$\text{Пров3} := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстия выполняются"} & \text{if } A_2 \geq \Phi_{2p} \\ \text{"Условие укрепления отверстия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров3 = "Условие укрепления отверстия выполняются"

Допускаемое внутреннее избыточное давление:

Коэффициент понижение прочности:

$$K := \begin{cases} K \leftarrow 1 & \text{if } n = 1 \\ K \leftarrow 2 & \text{if } n = 2 \\ K \leftarrow 1 & \text{if } n = 3 \\ K \leftarrow 2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$K = 1$$

Тип = "цилиндрическая оболочка"

$$V := \frac{1 + \frac{l_{1p} \cdot (s_1 - c) \cdot \chi_1 + l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 + l_{3p} \cdot (s_2 - c - c) \cdot \chi_3}{l_p \cdot (s - c)}}{1 + 0.5 \cdot \frac{d_p - d_{0p}}{l_p} + K \cdot \frac{d + 2 \cdot c}{D_p} \cdot \frac{\phi}{\phi} \cdot \frac{l_{1p}}{l_p}}$$

$$V = 0.395$$

Находим допускаемое избыточное давление:

$$P_{\text{ДВ}} := \frac{2 \cdot K \cdot (s - c) \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{Д}} \cdot V}{D_p + (s - c) \cdot V}$$

$$P_{\text{ДВ}} = 5.432 \times 10^4 \text{ Па}$$

9 Технология машиностроения

Для составления маршрутной карты изготовления фланца для патрубки входе технологического газа SO₂ необходимо знать следующие размеры фланца:

Внутренний диаметр $D_{\text{н}} := 2.4 \text{ м}$

Диаметр наружный $D_{\text{ф}} := 2.54 \text{ м}$

Диаметр болтовой окружности $D_{\text{б}} := 2.5 \text{ м}$

Диаметр для втулки $D_1 := 2.48 \text{ м}$

Диаметр для болтов $d_{\text{б}} := 0.02 \text{ м}$

Фланец изготовлен из высоколегированной стали 12X18H10T. Для изготовления фланца необходимо проделать две операции: токарную и вертикально-сверильную.

Необходимое оборудование и приспособления: Токарно-карусельный станок IMT Intermato VBM 25.32 и редукторный сверильный станок JET GHD-46PF.

В качестве измерительного инструмента выбираем штангенциркуль ШЦ II Schut DIN 862.

Режущие инструменты выбираем по табл.3.1[1, с.71]:

-резцы токарные проходные упорные с пластинами из твердого сплава (ГОСТ 18880-73),применяемые для точения деталей;

-резцы токарные расточные с пластинами из твердого сплава (ГОСТ 18883-73), применяемых для растачивания глухих отверстий диаметром от 10 до 110 мм;

-Сверло по металлу ПРАКТИКА 4-20 мм ступенчатое

Технические характеристики	Параметры
Диаметр стола, мм	2500 / 2800
Максимальный диаметр устанавливаемой детали, мм	3200
Максимальная нагрузка на стол, кг	25 000
Максимальная высота обработки детали в стандартной комплектации, мм	2 000
Опциональное увеличение высоты обработки детали, до, мм	2 500 / 3 000
Максимальное усилие резания на вылете 700 мм, Нм	50 000
Максимальное усилие зажима венца Хирта, Нм	48 000
Максимальный размер хвостовика инструмента, мм	40 x 40
Рабочий стол	
Число рабочих диапазонов	2
Максимальная частота вращения, мин-1	180 / 160
Мощность главного привода, кВт	71 (105)
Максимальный крутящий момент, Нм	60 600
Подвижная траверса	
Шаг фиксированных положений, мм	200
Вертикальное перемещение траверсы, мм	1000 (1200)
Ёмкость инструментального магазина дискового типа, шт	12 (16)
Ёмкость инструментального магазина цепного типа, шт	24 / 30
Вертикальный суппорт	
Сечение ползуна, мм	280 x 280

Технические характеристики тяжелого сверлильного станка JET GHD-46PF

Характеристика	Значение
Максимальный диаметр сверления (Ст.3), мм	40/ M22
- сверление с автоподачей, мм	25
Максимальный диаметр торцевой фрезы, мм	100
Максимальный диаметр концевой фрезы, мм	25
Частота вращения шпинделя, 6, об/мин	50-1250
Конус шпинделя	МК-3/М16
Вылет шпинделя, мм	260
Ход пиноли шпинделя, мм	130, 107 (автоподача)
Автоматическая подача пиноли, 3, мм/об	0,12 / 0,18 / 0,25
Диапазон наклона головки	90° влево / 30°вправо
Расстояние шпиндель-стол, мм	690
Расстояние шпиндель-основание, мм	1469
Диаметр колонны, мм	115
Размер стола, мм	555x495
Т-образный паз, 2, мм	16
Размер основания, мм	1026x580
Объем бака СОЖ, л	8

Токарная операция 010, переход 1

Подачи при чистовом точении выбираем в зависимости от требуемых параметров шероховатости обработанной поверхности по табл.14 [2, с.268]

$R_a := 2.5 \mu\text{м}$ параметр шероховатости поверхности

Глубина резания: $t := 0.4 \text{ мм}$, в зависимости от шероховатости поверхности

подача: $s_{xx} := 1.5 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$ [2, с.266]

Расчет режима обработки

Среднее значение стойкости при одноинструментальной обработке принимается:

$T_{xx} := 40 \text{ мин}$

По таб.17 [2, с.269] принимаем значение коэффициента C_v и показателей степени x, y, m :

$C_v := 340$

$x := 0.15$

$y := 0.45$

$$m := 0.2$$

Определим коэффициент K_Γ и показатель степени n_v по табл.2 [2, с.262] для стали 12X18H10T и резцов токарных проходных с пластинами из твердой поверхности::

$$K_\Gamma := 1 \quad n_v := 1$$

$$\sigma_B := 540 \text{ МПа, предел прочности стали 12X18H10T}$$

Коэффициент, учитывающий влияние материала заготовки:

$$K_{mv} := K_\Gamma \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 1.389$$

Коэффициент, учитывающий состояние поверхности определяем по табл.5 [2, с.263]:

$$K_{nv} := 1$$

Коэффициент, учитывающий состояние материала инструмента определяем по табл.6 [2, с.263]:

$$K_{uv} := 1.4$$

Определяем коэффициент:

$$K_v := K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} = 1.944$$

Найдем скорость резания:

$$v := \frac{C_v \cdot K_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} = 322.314 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Частота определяется по формуле:

$$n := \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D_\phi \cdot 1000} = 40.234 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Расчет нормы времени

$$l := 0.5 \cdot 1000 \cdot \left(D_{\phi} - D_{\sigma} - \frac{d_{\sigma}}{2} \right) - 2 = 13 \text{ мм, величина обрабатываемой поверхности}$$

$l_1 := 4 \text{ мм, величина врезания инструмента}$ $l_2 := 1.5 \text{ мм, величина перебега инструмента}$

Расчетная длина рабочего хода инструмента:

$$L := l + l_1 + l_2 = 18.5$$

$i := 1$ число проходов инструмента

Основное (технологическое) время:

$$T_0 := \frac{L \cdot i}{n \cdot s} = 0.354 \text{ мин}$$

Коэффициент для точения при определении $T_{шт}$:

$$\phi_K := 2.14$$

$$T_{шт} := \phi_K \cdot T_0 = 0.757 \text{ мин}$$

Так как производство единичное:

$$T_{шт.к} := T_{шт} = 0.757 \text{ мин}$$

Токарная операция 010, переход 2

Поддачи при чистовом точении выбираем в зависимости от требуемых параметров шероховатости обработанной поверхности по табл.14 [2, с.268]

$$R_a := 2.5 \text{ мкм параметр шероховатости поверхности}$$

Глубина резания: $t := 0.4 \text{ мм, в зависимости от шероховатости поверхности}$

$$\text{подача: } s := 1.5 \frac{\text{мм}}{\text{об}} [2, \text{с.266}]$$

Расчет режима обработки

Среднее значение стойкости при одноинструментальной обработке принимается:

$$T := 40 \text{ мин}$$

По таб.17 [2, с.269] принимаем значение коэффициента C_v и показателей степени x, y, m :

$$C_v := 340$$

$$x := 0.14$$

$$y := 0.44$$

$$m := 0.2$$

Определим коэффициент K_Γ и показатель степени n_v по табл.2 [2, с.262] для стали 12X18H10T и резцов токарных проходных с пластинами из твердой поверхности:

$$K_\Gamma := 1 \quad n_v := 1$$

$$\sigma_B := 540 \text{ Па, предел прочности стали 12X18H10T}$$

Коэффициент, учитывающий влияние материала заготовки:

$$K_m := K_\Gamma \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 1.389$$

Коэффициент, учитывающий состояние поверхности определяем по табл.5[2, с.263]:

$$K_{mv} := 1$$

Коэффициент, учитывающий состояние материала инструмента определяем по табл.6 [2, с.263]:

$$K_{uv} := 1.4$$

Определяем коэффициент:

$$K_v := K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} = 1.944$$

Найдем скорость резания:

$$v := \frac{C_v \cdot K_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} = 322.314 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Частота определяется по формуле:

$$n := \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot (D_1 \cdot 1000 - 4)} = 41.436 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Расчет нормы времени

$l := 0.5 \cdot (D_{\phi} - D_1) \cdot 1000 - 4 = 31$ мм, величина обрабатываемой поверхности

$l_1 := 4$ мм, величина врезания инструмента

$l_2 := 1.5$ мм, величина перебега инструмента

Расчетная длина рабочего хода инструмента:

$L := l + l_1 + l_2 = 36.5$ $i := 1$ число проходов инструмента

Основное (технологическое) время:

$$T_0 := \frac{L \cdot i}{n \cdot s} = 0.678 \text{ мин}$$

$$\phi_K := 2.1$$

Коэффициент для точения при определении $T_{шт}$:

$$T_{шт} := \phi_K \cdot T_0 = 1.45 \text{ мин}$$

Так как производство единичное:

$$T_{шт} := T_{шт} = 1.45 \text{ мин}$$

Токарная операция 010, переход 3

Подачи при чистовом точении выбираем в зависимости от требуемых параметров шероховатости обработанной поверхности по табл.14 [2, с.268]

$R_a := 2.5$ мкм параметр шероховатости поверхности

Глубина резания: $t := 0.4$ мм, в зависимости от шероховатости поверхности

подача: $s := 1.2 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$ [2, с.266]

Расчет режима обработки

Среднее значение стойкости при одноинструментальной обработке принимается:

$$T := 40$$

мин

По таб.17 [2, с.269] принимаем значение коэффициента C_v и показателей степени x, y, m :

$$C_v := 340$$

$$x := 0.14$$

$$y := 0.44$$

$$m := 0.2$$

Определим коэффициент K_Γ и показатель степени n_v по табл.2 [2, с.262] для стали 12X18H10T и резцов токарных проходных с пластинами из твердой поверхности::

$$K_\Gamma := 1$$

$$n_v := 1$$

$$\sigma_B := 540$$

МПа, предел прочности стали 12X18H10T

Коэффициент, учитывающий влияние материала заготовки:

$$K_m := K_\Gamma \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 1.389$$

Коэффициент, учитывающий состояние поверхности определяем по табл.5 [2, с.263]:

$$K_{mv} := 1$$

Коэффициент, учитывающий состояние материала инструмента определяем по табл.6 [2, с.263]:

$$K_{uv} := 1.4$$

Определяем коэффициент:

$$K := K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} = 1.944$$

Найдем скорость резания:

$$v := \frac{C_v \cdot K_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} = 334.135 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Частота определяется по формуле:

$$n := \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot (D_H \cdot 1000)} = 44.316 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Расчет нормы времени

$l := 0.5 \cdot (D_1 - D_H) \cdot 1000 = 40$ мм, величина обрабатываемой поверхности

$l_1 := 4$ мм, величина врезания инструмента

$l_2 := 1.5$ мм, величина перебега инструмента

Расчетная длина рабочего хода инструмента:

$L := l + l_1 + l_2 = 45.5$ $i := 1$ число проходов инструмента

Основное (технологическое) время:

$$T_0 := \frac{L \cdot i}{n \cdot s} = 0.856 \text{ мин}$$

Коэффициент для точения при определении $T_{шт}$: $\phi_K := 2.14$

$$T_{шт} := \phi_K \cdot T_0 = 1.831 \text{ мин}$$

Так как производство единичное:

$$T_{шт} := T_{шт} = 1.831 \text{ мин}$$

Вертикально-сверильная операция

Глубина резания при сверлении:

$$t := 0.5 \cdot d_{\sigma} = 0.01 \text{ мм}$$

При сверлении отверстий без ограничивающих факторов выбираем по табд.
25 [2, с.277]:

$$s_{\text{об}} := 0.3 \left(\frac{\text{мм}}{\text{об}} \right) \text{ подача}$$

Расчет режима обработки:

Значение периода стойкости определяем по табл.30 [2, с.279]:

$$T := 20_{\text{мин}}$$

Значение коэффициента C_v и показателей степени q, u, m определяем по табл.28 [2, с.279]:

$$C_{vv} := 3.4$$

$$q := 0.4$$

$$u := 0.44$$

$$m := 0.12$$

Коэффициент K_T и n_v определяем по табл.2 [2, с.262]:

$$K_T := 1$$

$$n_{vv} := 1$$

Коэффициент, учитывающий влияние материала заготовки:

$$K_{mv} := K_T \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = 1.389$$

Коэффициент, учитывающий глубину сверления определяем по табл.5 [2, с.262]:

$$K_{lv} := 1$$

Коэффициент, учитывающий состояние материала инструмента по табл.6 [2, с.263]:

$$K_{uv} := 1.4$$

$$K_{vv} := K_{mv} \cdot K_{lv} \cdot K_{uv} = 1.944$$

Определяем скорость резания:

$$v := \frac{C_v \cdot d_6^q \cdot K_v}{T^m \cdot s^y} = 1.064 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Частота определяется по формуле:

$$n := \frac{1000v}{\pi \cdot d_6 \cdot 1000} = 16.933 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$$

Расчет нормы времени

$l := 27\text{мм}$, величина обрабатываемой поверхности

$l_1 := 5\text{мм}$, величина врезания инструмента

Расчетная длина рабочего хода инструмента:

$$L := l + l_1 = 32 \text{ мм}$$

Основное (технологическое) время:

$$T_0 := \frac{L}{n \cdot s} = 5.249 \text{ мин}$$

Коэффициент для точения при определении $T_{шт}$:

$$\phi_K := 1.7$$

$$T_{шт} := \phi_K \cdot T_0 = 9.029 \text{ мин}$$

Так как производство единичное:

$$T_{шт} := T_{шт} = 9.029 \text{ мин}$$

10 Методы контроля и метрологическое обеспечение производства

10.1 Описание методов контроля

Контроль технологического процесса производства серной кислоты ведется с помощью контрольно-измерительных приборов с периодической или непрерывной регистрацией параметров, а также с

помощью периодического отбора проб с последующим химическим анализом.

Контролируются следующие параметры: температура кислот и газа, объёмные и массовые доли основных компонентов в газах и кислотах, отходящих газах и стоках, манометрический режим, степень абсорбции и контактирования, перечень приборов автоматического контроля, частота отбора проб и методы химического анализа приведены в таблице № 4.

Для проверки качества товарной кислоты отбираются пробы один раз в смену. При отгрузке кислоты на сторону выполняется полный анализ кислоты в соответствии с требованиями ГОСТ 2184-77.

Количество отгружаемой кислоты в цистернах определяется согласно градуировочным таблицам на каждый тип цистерн и показаниям измерительной рейки.

Количество отгружаемой кислоты по кислотопроводу на ОАО «Аммофос» определяется по градуировочным таблицам ёмкостей склада кислоты, а также по показаниям уровнемеров и расходомеров, установленных на кислотопроводе.

10.2. Перечень систем автоматического регулирования, сигнализации и блокировок

1. Автоматическое регулирование уровня в сборниках (поз. 209, 2П, 213) промывной кислоты.
2. Автоматическое регулирование уровня в сборниках (поз. 262, 256, 272) сушильно-абсорбционного отделения.
3. Автоматическое регулирование массовой доли моногидрата в циклах орошения абсорбционной и сушильной башен.
4. Дистанционное регулирование температуры газа перед слоями контактного аппарата.

5. Автоматическое регулирование уровня в промежуточной ёмкости (поз.454) склада кислоты.
6. Сигнализация максимального уровня в сборниках сушильно-абсорбционного отделения и промывного отделения.
7. Сигнализация наличия жидкости (перелив) в напорных баках промывного и сушильно-абсорбционного отделений.
8. Сигнализация снижения pH оборотной воды после теплообменников.
9. Сигнализация повышения температуры подшипников нагнетателя.
10. Сигнализация понижения давления масла в системе смазки нагнетателя.
11. Сигнализация верхнего уровня в хранилищах и промежуточных ёмкостях склада кислоты.
12. Дистанционное управление задвижками и заслонками контактного узла

Таблица 4

Аналитический контроль производства

Контактно-компрессорное отделение						
1.	Газ перед фильтром-брызгоуловителем (поз.302)	Объёмная доля влаги	1 раз в смену	Не более 0,01%	РИ 0338.44.005/1 – 02	Лаборант
		Массовая доля мышьяка	1 раз в смену	Не более 0,005 мг/м ³	РИ 0338.44.005./1 – 01	

		Массовая доля тумана серной кислоты	1 раз в смену	Не более 0,005 г/м ³	МИ 0338.44.005. – 01	
2.	Газ на выходе из 5-го слоя контактного аппарата	Степень контактирования	1 раз в смену	Не менее 97,0 %	МИ 0338.44.005. – 01	Лаборант

10.3 Перечень приборов автоматического контроля, регулирования, сигнализации и блокировок (таб.5)

Таблица 5

Контактно-компрессорное отделение						
1.	Расход сернистого газа (F-501) перед нагнетателем (поз.301)	газоход	м ³ /ч	10000-13000	± 2000,0	Прибор регистрирующий по ГОСТ 7164, входной сигнал 4÷20 мА, шкала 0÷20000 м ³ /ч, кл.т. 0,5 в комплекте с преобразователем разности давлений, выходной сигнал 4÷20 мА, предел измерения - 0÷20000м ³ /ч 5,0, δ _к - 5,0%, Δ = (±1000) м ³ /ч,
2.	Температура газа (Т-548)	газоход	°С	50÷75	± 6,0	Прибор показывающий ГОСТ 12997, многоточечный, шкала 0÷800°С, гр. ХК, кл.т. 0,5 в комплекте с термопреобразователем термоэлектрическим L-1000 мм, ГОСТ 6616, δ _к -0,6 %, Δ =(±4,8)°С

3.	Расход газа (F-502) после фильтра брызгоуловителя (поз.302) к сушильной башне	газоход	м ³ /ч	40000-70000	± 3200	Прибор регистрирующий по ГОСТ 7164, входной сигнал 4÷20 мА, шкала 0÷80000 м ³ /ч, кл.т. 0,5 в комплекте с преобразователем разности давлений, выходной сигнал 4÷20 мА, предел измерения - 0÷80000м ³ /ч, диафрагма бескамерная, кл.т. 0.5, δ_k -2%, $\Delta = (\pm 1600)$ м ³ /ч,
4.	Температура газа (Т-505) после фильтра-брызгоуловителя (поз.302)	газоход	°C	50÷70	± 10	Прибор показывающий ГОСТ 12997, многоточечный, шкала 0÷800 ⁰ C, гр. ХА, кл.т. 0,5 в комплекте с термопреобразователем термоэлектрическим L-800 мм, ГОСТ 6616, δ_k - 0,6 %, $\Delta = (\pm 4,2)$ ⁰ C
5.	Давление газа (Р-503) после фильтра-брызгоуловителя (поз.302)	газоход	кПа	24÷30	±1,0	Прибор регистрирующий по ГОСТ 7164, входной сигнал 4÷20 мА, шкала 0÷40 кПа, кл.т. 1,0 в комплекте с преобразователем давления, ГОСТ 18140 перепад 40 кПа, Кл.т. 0,5 δ_k -1,1%, $\Delta = (\pm 0,4)$ кПа,
6.	Объёмная доля диоксида серы (Q-501)	газоход	%SO ₂	4÷10	Не норм.	Прибор регистрирующий по ГОСТ 7164, входной сигнал 0÷5 мА, кл.т. 1,0 в комплекте с преобразователем диск – 107 ТУ 75, выходной сигнал 0÷5 мА, шкала - 0÷10% SO ₂ , кл.т. 1.0, предел измерений 0÷10 % SO ₂ , индикатор
7.	Температура газа (Т-521) после теплообменника (поз.303, 309) до смешения с	газоход	°C	120÷160	± 10	Прибор показывающий ГОСТ 12997, многоточечный, шкала 0÷800 ⁰ C, гр. ХК, кл.т.

	газом по байпасному газоходу					0,5 в комплекте с термопреобразователем термоэлектрическим L-1250 мм, ГОСТ 6616 ,кл.т. 0,5, δ_k -0,7%, $\Delta = (\pm 5,6)^{\circ}\text{C}$
8.	Температура газа (Т-529) после теплообменника (поз.310 к поз. 307)	газоход	$^{\circ}\text{C}$	250÷290	± 10	Прибор показывающий ГОСТ 12997, многоточечный, шкала 0÷800 $^{\circ}\text{C}$, гр. ХК, кл.т. 0,5 в комплекте с термопреобразователем термоэлектрическим L-1250 мм, ГОСТ 6616 ,кл.т. 0,5, δ_k -0,7%, $\Delta = (\pm 5,6)^{\circ}\text{C}$
9.	Температура газа (Т-524) после теплообменника (поз.307) до смешения с газом по байпасному газоходу	газоход	$^{\circ}\text{C}$	370÷410	± 10	Прибор показывающий ГОСТ 12997, многоточечный, шкала 0÷800 $^{\circ}\text{C}$, гр. ХК, кл.т. 0,5 в комплекте с термопреобразователем термоэлектрическим L-1250 мм, ГОСТ 6616, кл.т. 0,5, δ_k -0,7%, $\Delta = (\pm 5,6)^{\circ}\text{C}$
10.	Температура газа (Т-511) в газоходе перед теплообменником (поз.309 от поз.308) после смешения с газом по байпасному газоходу	газоход	$^{\circ}\text{C}$	130÷170	± 10	Прибор показывающий ГОСТ 12997, многоточечный, шкала 0÷800 $^{\circ}\text{C}$, гр. ХК, кл.т. 0,5 в комплекте с термопреобразователем термоэлектрическим L-1250 мм, ГОСТ 6616, кл.т. 0,5, δ_k -0,7%, $\Delta = (\pm 5,6)^{\circ}\text{C}$
11.	Температура газа (Т-522) в газоходе теплообменника(поз.309) до смешивания с газом по байпасному газоходу	газоход	$^{\circ}\text{C}$	190÷230	± 10	Прибор показывающий ГОСТ 12997, многоточечный, шкала 0÷800 $^{\circ}\text{C}$, гр. ХК, кл.т. 0,5 в комплекте с термопреобразователем термоэлектрическим L-1250 мм, ГОСТ 6616 ,кл.т. 0,5, δ_k -0,7%, $\Delta = (\pm 5,6)^{\circ}\text{C}$

12.	Температура газа (Т-527) перед теплообменником (поз.310) после смешения от поз. 309	газоход	°C	190÷230	± 102	Прибор показывающий ГОСТ 12997, многоточечный, шкала 0÷800°C, гр. ХК, кл.т. 0,5 в комплекте с термопреобразователем термоэлектрическим L-1250 мм, ГОСТ 6616, кл.т. 0,5, δ_k -0,7%, $\Delta = (\pm 5,6)^\circ\text{C}$
13.	Температура газа (Т-518) в газоходе на выходе из межтрубного пространства теплообменника (поз.303)	газоход	°C	370÷410	± 10	Прибор показывающий ГОСТ 12997, многоточечный, шкала 0÷800°C, гр. ХК, кл.т. 0,5 в комплекте с термопреобразователем термоэлектрическим L-1250 мм, ГОСТ 6616, кл.т. 0,5, δ_k -0,7%, $\Delta = (\pm 5,6)^\circ\text{C}$
14.	Температура газа (Т-508) в газоходе после теплообменника (поз.305 к поз. 306)	газоход	°C	390÷440	± 10	Потенциометр показывающий ГОСТ 7164, многоточечный, шкала 0÷800°C, гр. ХК, кл.т. 0,5 в комплекте с термопреобразователем термоэлектрическим L-1250 мм, ГОСТ 6616, кл.т. 0,5, δ_k -0,7%, $\Delta = (\pm 5,6)^\circ\text{C}$
15.	Температура газа (Т-509) в газоходе перед контактным аппаратом (поз.306) на первый слой	газоход	°C	390÷440	± 10	Прибор регистрирующий по ГОСТ 7164, многоточечный, шкала 0÷600°C, гр. ХК, кл.т. 0,5 в комплекте с термопреобразователем термоэлектрическим L-1250 мм, кл.т. 0,5, δ_k -0,7%, ГОСТ 6616. $\Delta = (\pm 4,2)^\circ\text{C}$
16.	Температура газа (Т-509) в газоходе перед контактным аппаратом (поз.306) на первый	газоход	°C	± 10,0 от заданного	Не нормируется	Пневматический задатчик ГОСТ 13053, дроссельная заслонка поз. 514, регулирующий

	слой			значе- ния		с исполнительным механизмом пневматическим на байпасном газоходе теплообменника поз.309.
17	Температура газа (Т-510) в газоходе на второй слой контактного аппарата	Газоход контактного аппарата	°C	450÷490	± 10	Прибор регистрирующий по ГОСТ 7164, многоточечный, шкала 0÷600°C, гр. ХК, кл.т. 0,5 в комплекте с термопреобразователем термоэлектрическим Л-1250 мм, ГОСТ 6616 кл.т. 0,5, δ _к -0,7%, Δ =(±4,2) ⁰ C
18.	Температура газа (Т-512) в газоходе на третий слой контактного аппарата	Газоход контактного аппарата	°C	420÷440	± 10	Прибор регистрирующий по ГОСТ 7164, многоточечный, шкала 0÷600°C, гр. ХК, кл.т. 0,5 в комплекте с термопреобразователем термоэлектрическим Л-1250 мм, ГОСТ 6616 кл.т. 0,5, δ _к -0,7%, Δ =(±4,2) ⁰ C
19.	Температура газа (Т-514) в газоходе на четвертый слой контактного аппарата	Газоход контактного аппарата	°C	420÷430	± 10	Прибор регистрирующий по ГОСТ 7164, многоточечный, шкала 0÷600°C, гр. ХК, кл.т. 0,5 в комплекте с термопреобразователем термоэлектрическим Л-1250 мм, ГОСТ 6616δ _к кл.т. 0,5, -0,7%, Δ =(±4,2) ⁰ C
20.	Температура газа (Т-513) в газоходе на пятый слой контактного аппарата	Газоход контактного аппарата	°C	425÷435	± 10,0	Потенциометр регистрирующий по ГОСТ 7164, многоточечный, шкала 0÷600°C, гр. ХК, кл.т. 0,5 в комплекте с

						термопреобразователем термоэлектрическим L-1250 мм, ГОСТ 6616 кл.т. 0,5, δ_k -0,7%, $\Delta = (\pm 4,2)^{\circ}\text{C}$
21.	Температура газа (Т-525) в газоходе на выходе из межтрубного пространства теплообменника (поз.311)	газоход	$^{\circ}\text{C}$	400÷420	$\pm 10,0$	Потенциометр показывающий ГОСТ 12997, многоточечный, шкала 0÷800 $^{\circ}\text{C}$, гр. ХК, кл.т. 0,5 в комплекте с термопреобразователем термоэлектрическим L-1250 мм, ГОСТ 6616, кл.т. 0,5, δ_k -0,7%, $\Delta = (\pm 4,2)^{\circ}\text{C}$
22.	Температура газа (Т-515) в газоходе на выходе из первого слоя контактного аппарата	газоход	$^{\circ}\text{C}$	550÷600	$\pm 10,0$	Прибор показывающий ГОСТ 12997, многоточечный, шкала 0÷800 $^{\circ}\text{C}$, гр. ХК, кл.т. 0,5 в комплекте с термопреобразователем термоэлектрическим L-1250 мм, ГОСТ 6616, кл.т. 0,5, δ_k -0,7%, $\Delta = (\pm 5,6)^{\circ}\text{C}$
23.	Температура газа (Т-526) в газоходе на выходе из второго слоя контактного аппарата	газоход	$^{\circ}\text{C}$	510÷550	$\pm 10,0$	Прибор показывающий ГОСТ 12997, многоточечный, шкала 0÷800 $^{\circ}\text{C}$, гр. ХК, кл.т. 0,5 в комплекте с термопреобразователем термоэлектрическим L-1250 мм, ГОСТ 6616, кл.т. 0,5, δ_k -0,7%, $\Delta = (\pm 5,6)^{\circ}\text{C}$
24.	Температура газа (Т-517) в газоходе на выходе из третьего слоя контактного аппарата	газоход	$^{\circ}\text{C}$	425÷450	$\pm 10,0$	Прибор показывающий ГОСТ 12997, многоточечный, шкала 0÷800 $^{\circ}\text{C}$, гр. ХК, кл.т. 0,5 в комплекте с термопреобразователем термоэлектрическим L-1250 мм, ГОСТ 6616, кл.т. 0,5, δ_k -0,7%, $\Delta = (\pm 5,6)^{\circ}\text{C}$

25.	Температура газа (Т-528) в газоходе на выходе из четвертого слоя контактного аппарата	газоход	°C	425÷435	± 10,0	Прибор показывающий ГОСТ 12997, многоточечный, шкала 0÷800°C, гр. ХК, кл.т. 0,5 в комплекте с термопреобразователем термоэлектрическим L-1250 мм, ГОСТ 6616, кл.т. 0,5, δ-0,7%, Δ=(±5,6)°C
26.	Температура газа (Т-530) в газоходе на выходе из пятого слоя контактного аппарата	газоход	°C	427÷437	± 10,0	Прибор показывающий ГОСТ 12997, многоточечный, шкала 0÷800°C, гр. ХК, кл.т. 0,5 в комплекте с термопреобразователем термоэлектрическим L-1250 м, ГОСТ 6616, кл.т. 0,5, δ _к -0,7%, Δ=(±5,6)°C
27.	Температура газа (Т-537,547,538,539, 540,541,542,543,544,545,548) перед 1,3,4,5 слоями контактной массы, газ после 1,2,3,4,5 слоёв контактной массы в контактном аппарате(поз.306)	Контактный аппарат	°C	550÷600 510÷550 425÷450 425÷435 427÷437	± 10,0	Прибор регистрирующий по ГОСТ 7164, многоточечный, шкала 0÷800°C, гр. ХА, кл.т. 0,5 в комплекте с преобразователем термоэлектрическим, ГОСТ 6616 δ _к -0,7%, Δ=(±5,7)°C
28.	Температура газа (Т-531) после теплообменника (поз.310 к поз.309) после контактного аппарата	газоход	°C	320÷360	± 10,0	Прибор показывающий ГОСТ 12997, многоточечный, шкала 0÷800°C, гр. ХК, кл.т. 0,5 в комплекте с термопреобразователем термоэлектрическим L-1250 мм, ГОСТ 6616, δ _к -0,7%, Δ=(±5,5)°C
29.	Температура газа (Т-549) после теплообменника (поз.309) к ангидриднему холодильнику (поз.303)	газоход	°C	170÷200	± 10,0	Прибор показывающий ГОСТ 12997, многоточечный, шкала 0÷800°C, гр. ХК, кл.т. 0,5 в комплекте с термопреобразователем термоэлектрическим L-1250 мм, ГОСТ 6616, δ _к -

						0,7%, $\Delta = (\pm 5,5)^{\circ}\text{C}$
30.	Давление газа (Р-1, Р-2, Р-3, Р-4, Р-5, Р-6) на входе в 1,2,3,4,5 слои контактного аппарата (поз.306) и на выходе из пятого слоя	слои контактного аппарата	кПа	0÷40 8÷10 6÷7,5 4÷5,5 3÷4,5 2,5÷3,5	± 2 $\pm 1,2$ ± 1 $\pm 0,5$ $\pm 0,3$ $\pm 0,15$	Прибор измерительный по ГОСТ 2405. Кл.т. 2,5 Предел измерений: Р-1 - 0÷40 кПа; Р-2 - 0÷25 кПа; Р-3 - 0÷16 кПа; Р-4 - 0÷10 кПа; Р-5 - 0÷6,3 кПа; Р-6 - 0÷6 кПа;

11 Социальная ответственность

В данной дипломной работе производился расчет контактного аппарата. Основные размеры сконструированного контактного аппарата: высота – 31500 м, диаметр – 14000 м.

Процесс окисления диоксида серы до триоксида производится в пятислойном контактном аппарате в центре аппарата расположена опорная труба. По высоте аппарата слои разделены выпуклыми перегородками. Между корпусом и опорной трубой смонтированы радиальные балки, на которые укладываются колосниковые решетки. На колосниковых решетках натянута стальная сетка, на которую уложена контактная масса. Применяются в процессах с высоким положительным или отрицательным эффектом.

Снаружи контактный аппарат теплоизолирован минераловатными матами и алюминиевыми листами, с целью уменьшения потерь тепла в окружающую среду.

Окисление диоксида серы (SO_2) до триоксида (SO_3) происходит в присутствии ванадиевого катализатора по реакции:



11.1 Производственная безопасность

Таблица 6

Опасные и вредные факторы при выполнении работ по оценке
технического состояния контактно-компрессорного отделения
по ГОСТ 12.0.003-74

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Пуск и обслуживание топки 2. Работа с ванадиевой контактной 3. Обеспечение на всех возможных режимах плотность аппаратов и коммуникаций. 4. Установка и снятие заглушек на пожаро- и взрывоопасных линиях 5.Управления работой и обеспечения нормальных условий эксплуатации сосудов, работающих под давлением	1. Наличие шума в рабочих помещениях. 2. Токсичность диоксида серы и природного газа. 3. Токсичность пыли ванадиевой контактной массы.	1. Опасность поражения электрическим током. 2. Опасность термических ожогов. 3. Опасность взрыва и пожара.	1. Параметры шума в рабочих помещениях устанавливаются СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки. 2. Токсичность диоксида серы и природного газа устанавливается - РИ 0338.44.005/1 – 03 «Рабочая инструкция по отбору проб и определению сернистого ангидрида в технологическом газе сернокислотного цеха» - определение диоксида серы в газе. 3. Опасность взрыва и пожара регулируется ВНТП 3-85, ПБ 08-624- 03 «Общие Правила противопожарного режима в Российской Федерации». 4. Опасность поражения электрическим током регулируется ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

11.2 Описание вредных веществ, источники возникновения, воздействие на человека и предлагаемые средства защиты

1) Токсичность диоксида серы (SO_2)

Источники возникновения: получение диоксида серы в результате сжигания в топке сероводородного газа в производстве серной кислоты

Воздействие на организм: Токсичен, вызывает раздражение кожи, слизистых оболочек глаз, верхних дыхательных путей. Длительное вдыхание приводит к хроническим заболеваниям дыхательных путей, анемии, поражению печени.

Средства защиты: Фильтрующий промышленный противогаз с фильтром. Защитные маски для глаз, специальная одежда для защиты кожи. [3]

2) Токсичность пыли ванадиевой контактной массы

Источники возникновения: к смеси щелочного раствора пятиокиси ванадия и жидкого стекла добавляется хлористый калий, из расчета 4 моля хлористого калия на 1 моль пятиокиси ванадия. Смешивание компонентов производится в барабанах, затем массу формуют и сушат обычным образом. Получается выброс токсичной пыли

Воздействие на организм: Ядовита, вызывает изменения в кроветворной системе и органах дыхания, конъюнктивы глаз, дерматиты кожи.

Средства защиты: Защитные маски для органов дыхания, респираторы, спец одежда [3].

11.3 Характеристика опасных веществ на производстве: меры защиты и профилактики

1) Опасность термических ожогов

Источники возникновения: Возникают в результате воздействия высоких температур

Свойства: характерное повреждение тканей человеческого организма.

Воздействие на организм: Покраснение кожи, возникновение пузырей, повреждение слое эпидермиса

Средства защиты: Противоожоговые средства, мази, повязки [17].

2) Опасность взрыва и пожара

Источники возникновения: взрывы резервуаров с горючими веществами и аварийно-химически опасными веществами, обрушение элементов строительных конструкций, замыкание электрических сетей

Свойства вещества: открытое пламя, искра, электрические дуги, нагретые поверхности и др.

Воздействие на организм: Потеря видимости вследствие задымления, пониженная концентрация кислорода

Средства защиты: Электропроводку во избежание возникновения короткого замыкания, способного привести к пожару, изолируют. Изолируют от влаги розетки, расположенные в санузлах и на внешних стенах. Устанавливают УЗО и автоматические предохранители. Теплоизолируют газовые и электрические плиты от деревянной мебели. Для тушения окурков используют пепельницы, а свечи зажигают в подсвечниках[3]

11.4 Экологическая безопасность

В результате деятельности производство по переработке серной кислоты оказывает воздействие на атмосферу в виде сернистого ангидрида, но до состояния атмосферы города до уровней ПДК в связи со строительством нового сернокислотного цеха и новой плавильной печи; [3]

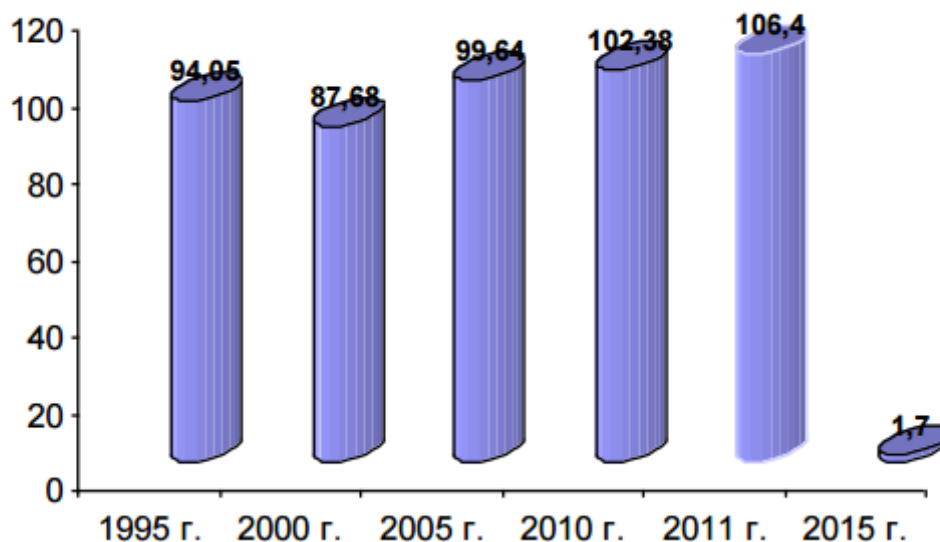


Рис. 1. Динамика выбросов сернистого ангидрида после строительства нового сернокислотного цеха и новой плавильной печи

на литосферу оказывает воздействие в виде нарушения земель в связи с отработкой карьеров, шахт, складирование пустых пород, забалансовых руд, хвостов переработки обогатительных фабрик, шлаков и клинкеров заводов, представляющих собой техногенные образования; [3]

на гидросферу оказывает воздействие в виде сбросов загрязняющих веществ в водоемы и на рельеф местности с карьерными и шахтными водами .[3]

В таблице 7 представлена экологическая безопасность производства согласно Технологического регламента «Производство серной кислоты СК-3» [3].

Таблица 7

Характеристика отходов производства, сточных вод и газовых выбросов [3]

Наименование отходов	Краткая характеристика	Нормируемое кол-во	Массовая доля вредных примесей, %		Примечание
			норма	Факт	
Кислые стоки: конденсат от электрофильтров, от промывки отходящих газов, оборудования.	Содержание, концентрация, г/дм ³ : H ₂ SO ₄ -серная кислота Cu - медь Fe - железо As - мышьяк Sb - сурьма Bi - висмут Mn - марганец Pb - свинец F - фтор Zn - цинк Re- рений	360 м ³ /сутки	H ₂ SO ₄ Не более 40 г/л Cu 0.1 – 3.0 г/л Fe 0.1 – 2,0 г/л As 0,1 – 1,5 г/л Sb 0,1 – 0,6 г/л Bi -0,05 – 0,1 г/л Mn 0,01 – 0,03 г/л Pb 1,0 – 20,2 мг/л F - 0,01 – 2,0 г/л Zn 0,1 – 1,5 г/л Re - 0,002 – 0,4 мг/л	21,5 г/л 0,7 г/л 0,55 г/л 0,5 г/л 0,2 г/л 0,05 г/л 4,3 мг/л 0,05 г/л 0,6 г/л 0,03 мг/л	Выводится на очистные сооружения и нейтрализуется раствором карбонатных пород (известковым молоком).
Шлам свинцово-висмутовый	Массовая доля: Pb - свинец Bi - висмут	2500÷5000 т/год	Pb - 40÷60% Bi - 0,1÷0,5%	46,1 % 0,23 %	Складировается на территории очистных сооружений
Выхлопные газы	SO ₂ - сернистый ангидрид SO ₃ - серный ангидрид	120000 м ³ /ч СК-3 60000 м ³ /ч СК-2	Массовая доля: в соответствии с технологической инструкцией SO ₂ не более 0,3% SO ₃ не более 0,0035% В соответствии с томом ПДВ: SO ₂ - 25,725т/г. SO ₃ - 11,432 т/г.	0,40% 0,0065%	Выбрасываются через выхлопную трубу Н – 180 м в атмосферу.

Примечание: Контроль за отходами ведется лабораторией комбината (ЦЭАЛ) согласно графика и цеховой лабораторией согласно режимных карт.

11.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.

Правила аварийной остановки производства, возможные аварийные состояния производства, способы их предупреждения и устранения

Неполадки и аварийные состояния производства могут возникнуть при:

- прекращение подача электроэнергии;
- прекращение подачи сернистого газа из металлургического цеха;
- прекращение подачи воды водооборотного цикла;
- разрушение коммуникаций, аппаратуры, ёмкостей;
- возникновение пожара, грозящего безопасности обслуживающего

персонала, выводу из строя действующего оборудования.[14]

Во всех аварийных ситуациях обслуживающий персонал обязан действовать согласно «Плана локализации аварийных ситуаций» и инструкций по рабочим местам с незамедлительным уведомлением диспетчера завода и начальника цеха. [3]

В таблице 8 изложены возможные причины, которые могут привести к возникновению аварийных ситуаций на сооружениях промысла, причины их возникновения и способы устранения. [3]

Таблица 8

Возможные виды аварийного состояния производства и способы их
устранения

Контактно-компрессорное отделение			
1.	Резкое увеличение давления в системе контактирования	1.1 Закрытие одного из дросселей на газоходах контактного узла	1.1.1 Проверить положение дросселей и отрегулировать давление в системе.
2.	Увеличение сопротивления слоев контактной массы в контактном аппарате.	2.1 Засорение контактной массы, механическое разрушение, спекание	2.1.1 Во время капитального ремонта контактную массу просеять, дополнить новой или заменить полностью.
3.	Повышение температуры на выходе из 1-го слоя контактного аппарата выше 600°C	3.1 Повышение температуры газа перед контактным аппаратом. 3.2 Повышение объемной доли SO ₂ в газе перед контактным аппаратом 3.3 Снижение нагрузки по газу на контактный аппарат.	3.1.1 Отрегулировать температуру газа перед контактным аппаратом. 3.2.1 Отрегулировать объемную долю SO ₂ в газе дросселированием воздуха перед отдувочной башней. 3.3.1 Проверить работу нагнетателя и отрегулировать нагрузку по газу.
4.	Понижение температуры газа на выходе из 1-го слоя контактного аппарата ниже 550°C	4.1 Понижение температуры газа перед контактным аппаратом. 4.2 Понижение объемной доли SO ₂ в газе перед контактным аппаратом 4.3 Повышение нагрузки по газу на контактный аппарат.	4.1.1 Отрегулировать температуру газа перед контактным аппаратом. 4.1.2 При необходимости запустить в работу пусковую установку 4.2.1 Отрегулировать объемную долю SO ₂ в газе дросселированием воздуха перед отдувочной башней. 4.3.1 Проверить работу нагнетателя и отрегулировать нагрузку по газу.
5.	Высокая температура газа на выходе из 2-го слоя контактного аппарата выше 550°C	5.1 Повышение температуры газа на входе во 2-ой слой. 5.2 Снижение степени контактирования, активности катализатора 1-го слоя.	5.1.1 Проверить работу теплообменника поз.305 и отрегулировать температуру. 5.2.1 Подобрать оптимальный температурный режим для данных условий. 5.2.2 Во время капитального ремонта контактную массу просеять, дополнить новой или заменить полностью на 1-м слое.
6.	Повышение температуры вкладышей подшипников выше 60°C	6.1 Повышение температуры масла, подаваемого во вкладыши. 6.2 Падение давления масла в системе.	6.1.1 Увеличить расход воды в маслоохладитель. 6.1.2 Проверить загрязненность пучков маслоохладителя, провести очистку.

		6.3 Повышение температуры воды, охлаждающей масло. 6.4 Нарушение рабочего режима нагнетателя. 6.5 Загрязнение смазочного масла. 6.6 Накопление грязи в муфте и её заклинивание.	6.2.1 Проверить и отрегулировать работу редукционного клапана. 6.3.1 Увеличить расход воды в маслоохладитель. 6.3.2 Связаться с аппаратчиком водооборотного цикла. 6.4.1 Отрегулировать рабочий режим нагнетателя в соответствии с паспортными характеристиками. 6.5.1 Произвести анализ масла, при необходимости заменить. 6.5.2 Произвести очистку фильтров. 6.6.1 Остановить нагнетатель, перейти на резервный агрегат. 6.6.2 Очистить муфту от грязи и проверить поступление масла.
7.	Помпаж	7.1 Закрытие дроссельной заслонки на всасывающем газоходе или самопроизвольное закрытие задвижек на газоходе	7.1.1 Открыть полностью дроссельную задвижку, при необходимости агрегат остановить. 7.1.2 Устранить причины отказа в работе запорной арматуры.

Если неполадки не приводят к расширению зоны аварийной ситуации, нарушению техники безопасности, то их необходимо устранять вахтовым персоналом. При необходимости временного изменения технологического режима решение принимает начальник смены, доложив об этом начальнику промысла.

Если возникшие неполадки вызывают повышенную опасность, то принимается решение к остановке техпроцесса до устранения неполадок. [3]

11.6 Пожарная безопасность

Пожарная безопасность объекта обеспечивается рядом противопожарных мероприятий, предусмотренных в соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" [4]

Работники, обслуживающие промысел, обязаны пройти противопожарный инструктаж и занятия по пожарно-техническому минимуму.

При работе на взрыво- пожароопасном производстве безопасность работающего персонала должна обеспечиваться:

- конструктивно-планировочным решением помещений, гарантирующим возможность осуществления быстрой эвакуации людей и ограничивающим распространение пожара;
- постоянным содержанием в надлежащем состоянии специального оборудования, способствующего успешной эвакуации людей в случае пожара (системы экстренного оповещения, аварийное освещение, знаки безопасности);
- ознакомлением всех работающих с основными требованиями пожарной безопасности и мерами личной предосторожности, которые необходимо соблюдать при возникновении пожара, а также планом эвакуации людей из помещения;
- установлением со стороны администрации систематического контроля за строжайшим соблюдением мер предосторожности при ремонтных работах, эксплуатации электроприборов, электроустановок и отопительных систем.

Для локализации и ликвидации пожара должны использоваться стационарные средства пожаротушения.

Размещение оборудования противопожарного водоснабжения и пожаротушения на площадке цеха выполнено согласно требованиям Федерального закона № 384-ФЗ от 30.12.2009, Федерального закона № 123-ФЗ от 22.07.2008, с учетом ГОСТ 31385-2008.

Расстановка противопожарных резервуаров $V=700 \text{ м}^3$ (2 шт.), водозаборного колодца на водопроводной сети, блок-боксапожаринвентаря и мотопомп, первичных средств пожаротушения обеспечивает пожаротушение любого обслуживаемого здания, сооружения, Энергоблока.

На объекте предусмотрено применение оборудования пенного и порошкового пожаротушения, а также первичных средств пожаротушения.

Противопожарное водоснабжение

Противопожарное водоснабжение цеха включает в себя два РВС $V=700 \text{ м}^3$ с тупиковым водопроводом ($d=219 \times 6 \text{ мм}$, $L=43 \text{ м}$) и водозаборным колодцем.

Запроектированные резервуары противопожарного запаса воды $V=700 \text{ м}^3$ удовлетворяют потребность в запасе воды. Радиус обслуживания резервуарами – 150 м. Для увеличения радиуса обслуживания резервуарами предусмотрен тупиковый трубопровод длиной 43 м и диаметром 219 мм для заполнения водозаборного колодца. Контроль не снижаемого противопожарного уровня запаса воды осуществляется датчиками уровня. При снижении уровня воды в резервуарах до нижнего на артезианских скважинах, расположенных на площадке водозабора, запускаются погружные электронасосные агрегаты ЭЦВ6-6,3-85. [15]

Пенное пожаротушение

Для пожаротушения резервуаров РВС $V=400 \text{ м}^3$ предусматривается установка пеногенераторов ГПСС-600, подключаемых по сухотрубной системе пожарными рукавами к передвижным средствам пожаротушения.

Пожаротушение осуществляется передвижной пожарной техникой. Для этих целей предусмотрены мотопомпы типа «Гейзер-1600» $Q=20 \text{ л/сек}$, $H=190 \text{ м}$. Мотопомпы укомплектованы установками комбинированного тушения пожара

УКТП «Пурга-10.10.20» (производительностью 20 л/сек, дальность подачи струи – 35 м).

11.7 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Правила работы с веществами, применяемыми в производстве, средства защиты работающих

Газо-, взрыво- и пожароопасность, опасность термических и химических ожогов, отравлений в производстве серной кислоты определяется наличием горячих газов (диоксида и триоксида серы), серной кислоты, ванадиевой контактной массы, возможностью образования взрывоопасных концентраций природного газа, водорода. [13]

При работе с этими веществами необходимо соблюдать следующие меры предосторожности:[3]

1. Постоянно иметь при себе фильтрующий противогаз марки «БКФ» или «В», которыми пользоваться во всех случаях загазованности и при работе, где возможны выделения вредных газов и жидкостей.

2. На рабочем месте находиться только в спецодежде: суконный костюм, резиновые сапоги, суконные рукавицы, резиновые перчатки, респиратор, защитные очки в соответствии с нормами.

3. Поддерживать в герметичном состоянии все фланцевые соединения на аппаратах и трубопроводах, пропуски газов и жидкостей немедленно устранять.

4. Работа над баками, резервуарами, сборниками, наполненными серной кислотой, производится только при наличии на них надежных крышек, предохраняющих от попадания каких-либо предметов в кислоту.

5. Вся тара, предназначенная для серной кислоты, должна быть чисто вымыта, пропарена, просушена.

6. При смешении серной кислоты с водой в открытых сосудах нужно кислоту лить в воду, а не наоборот, во избежание разбрызгивания кислоты.

7. Перед ремонтом аппараты и трубопроводы должны быть нейтрализованы, промыты и продуты.

8. При отборе проб необходимо надевать резиновые перчатки и защитные очки, пользоваться для отбора проб специальными пробоотборниками.

9. Осмотр кислотопроводов, а также аппаратов и ёмкостей с кислотой необходимо выполнять в защитных очках и резиновых перчатках.

10. Проливы кислот должна быть немедленно нейтрализованы известью или содой, насухо подсушены опилками, после чего все нужно убрать лопатой.

11. При термическом ожоге пострадавший должен немедленно обратиться в медпункт, запрещается отдирать от кожи пригоревшие остатки одежды, обрезать обгоревшую кожу, прокалывать ожоговые волдыри и промывать водой пораженные участки кожи.

12. Во избежание несчастных случаев необходимо соблюдение требований общецеховой инструкции по технике безопасности.

12 Финансовый менеджмент. Ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

12.1 Расчет производственной мощности предприятия

Под производственной мощностью химического предприятия понимается максимально возможный годовой выпуск продукции в номенклатуре и ассортименте:

$$M = \Pi_{\text{час}} * T_{\text{эф}} * K_{\text{об}},$$

$$M = 22730 * 8000 * 1 = 181840000 \text{ кг/год}$$

где $\Pi_{\text{час}}$ - часовая производительность оборудования в натуральных единицах;

$T_{\text{эф}}$ - эффективный фонд времени работы оборудования;

$K_{\text{об}}$ - количество однотипного оборудования.

Эффективный фонд времени оборудования:

$$T_{\text{эф}} = T_{\text{ном}} - T_{\text{ппр}} - T_{\text{то}}$$

$$T_{\text{эф}} = 365 - 31,6 - 0 = 333,4$$

где $T_{\text{ном}}$ - номинальный фонд работы оборудования;

$T_{\text{ппр}}$ - время простоя в ремонтах за расчетный период;

$T_{\text{то}}$ - время технологических остановок.

$$T_{\text{ном}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}$$

$$T_{\text{ном}} = 365 - 0 - 0 = 365$$

где $T_{\text{вых}}$ - количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ - количество праздничных дней в году.

Таблица 9

Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени	365 (8760)
Режимные потери рабочего времени	
• выходные	0(0)
• праздники	0(0)
Номинальный фонд рабочего времени	365(8760)
Простой оборудования в ремонтах	31,6 (760)
Эффективное время работы оборудования	333(8000)

Для анализа использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования находим по формуле:

$$K_{\text{экс}} = T_{\text{эф}} / T_{\text{н}}$$

$$K_{\text{экс}} = 8000/8760 = 0,913$$

Коэффициент экстенсивного использования оборудования:

$$K_{\text{инт}} = Q_{\text{пп}}/Q_{\text{max}}$$

$$K_{\text{инт}} = 70956,1/81599,51 = 0,869$$

$Q_{\text{пп}}$ – производительность единицы оборудования в единицу времени;

Q_{max} – максимальная производительность в единицу времени.

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{им}} = K_{\text{экс}} * K_{\text{инт}} = 0,913 * 0,869 = 0,793$$

Для определения фактического выпуска продукции рассчитывается производственная программа ($N_{\text{год}}$):

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им}} * M$$

$$N_{\text{год}} = 0,793 * 181840000 = 144199,120 \text{ т}$$

12.2 Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству

12.2.1 Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала

Таблица 10

Расчет численности персонала

Наименование должности	Категория	Тарифный разряд	Число штатных единиц	Количество смен в сутках
Главный технолог	ИТР	Высшее	1	1
Механик установки	ИТР	Высшее	1	1
Энергетик установки	ИТР	Высшее	1	1
Инженер КИП и АСУ	ИТР	Высшее	1	1
Итого:			4	
Старший оператор	Производственный рабочий	6 разр.	4	3
Оператор установки	Производственный рабочий	5 разр.	9	3
Помощник оператора	Вспомогательный персонал	4 разр.	4	3
Итого:			17	
Дежурный слесарь по ремонту оборудования	Ремонтный персонал	4 разр.	4	3
Дежурный слесарь-электрик	Ремонтный персонал	4 разр.	4	3
Дежурный слесарь КИП	Ремонтный персонал	4 разр.	4	3
Итого:			12	
Итого:			33	

12.2.2 Расчет баланса эффективного годового времени одного среднесписочного работника (табл.11)

Таблица 11

Баланс эффективного годового времени одного среднесписочного работника

№	Показатели	Дни	Часы
1	Календарный фонд рабочего времени	365	8760
2	Нерабочие дни		
	Выходные	104	832
	Праздники	12	96
3	Номинальный фонд рабочего времени	249	7832
4	Планируемые невыходы		
	• очередные и дополнительные отпуска	28	224
	• невыходы по болезни	14	112
	• декретные отпуска	0	0
	• отпуск в связи с учебой без отрыва от производства	0	0
	• выполнение гос. обязанностей	0	0
5	Эффективный фонд рабочего времени	207	7496

12.2.3. Количество выходных дней в году, ночных смен определяется из графика сменности (пример графика сменности представлен в табл. 12).

Таблица 12

График сменности

Номер смены	Часы работы	Дни месяца														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	09:00-17:00	А	А	А	Г	Г	Г	В	В	В	Б	Б	Б	А	А	А
2	17:00-01:00	Б	Б	Б	А	А	А	Г	Г	Г	В	В	В	Б	Б	Б
3	01:00-09:00	В	В	В	Б	Б	Б	А	А	А	Г	Г	Г	В	В	В
	Отдых	Г	Г	Г	В	В	В	Б	Б	Б	А	А	А	Г	Г	Г

12.2.4 Расчет годового фонда зарплаты ИТР, служащих и МОП

Расчет годового фонда зарплаты ИТР, служащих и МОП производится на основании их окладов согласно штатному расписанию.

Общий фонд заработной платы рабочих за год:

$$З_{\text{год}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}$$

Производственных рабочих:

$$З_{\text{год}} = 53418,57 + 10838,09 = 64256,66 \text{ тыс.руб.}$$

ИТР:

$$З_{\text{год}} = 86194,03 + 17487,91 = 103681,94 \text{ тыс.руб.}$$

Вспомогательного персонала:

$$З_{\text{год}} = 263833,41 + 315348,25 = 317362,57 \text{ тыс.руб.}$$

Ремонтного персонала:

$$З_{\text{год}} = 134578,58 + 27304,65 = 161883,23 \text{ тыс.руб.}$$

где $З_{\text{осн}}$ – основной фонд заработной платы рабочих, тыс.руб;

$З_{\text{доп}}$ – дополнительный фонд заработной платы рабочих, тыс.руб.

Основной фонд заработной платы для рабочих повременников:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{тар}} + \text{Пр} + Д_{\text{н.вр.}} + Д_{\text{пр.дни}} + Д_{\text{бриг.}}$$

Производственных рабочих:

$$З_{\text{осн}} = 53418,57 \text{ тыс.руб.}$$

ИТР:

$$З_{\text{осн}} = 103681,4 \text{ тыс.руб.}$$

Вспомогательного персонала:

$$З_{\text{осн}} = 317362,57 \text{ тыс.руб.}$$

Ремонтного персонала:

$$З_{\text{осн}} = 134578,58 \text{ тыс.руб.}$$

где $З_{\text{тар}}$ – тарифный фонд заработной платы, тыс.руб;

Пр – оплата премий (50%), тыс.руб.;

$Д_{\text{н.вр.}}$ – доплата за работу в ночное время (50%), тыс.руб.;

$Д_{\text{пр.дни}}$ – оплата за работу в праздничные дни (20%), тыс.руб.;

$Д_{\text{бриг.}}$ – доплата не освобожденным бригадирам, тыс.руб.

Тарифный фонд заработной платы:

$$З_{\text{тар}} = \sum Ч_{\text{сп}} * Т_{\text{ст}} * Т_{\text{эф.раб}}$$

Производственных рабочих:

$$З_{\text{тар}} = 24281,17 \text{ тыс.руб.,}$$

ИТР:

$$З_{\text{тар}} = 47128,15 \text{ тыс.руб.,}$$

Вспомогательного персонала:

$$З_{\text{тар}} = 144255,71 \text{ тыс.руб.,}$$

Ремонтного персонала:

$$З_{\text{тар}} = 61172,08 \text{ тыс.руб.}$$

где $Ч_{\text{сп}}$ – списочная численность рабочих данного разряда, чел.;

$Т_{\text{сп}}$ – дневная тарифная ставка данного разряда, тыс.руб.

Размер премий принимаем равным 20-70% от тарифного фонда заработной платы.

По отношению к тарифному фонду заработной платы доплата за праздничные дни составит 40%.

Дополнительная зарплата:

$$З_{\text{доп}} = (Д_{\text{н}} * З_{\text{осн}}) / Т_{\text{эфф}}$$

Производственных рабочих:

$$З_{\text{доп}} = (42 * 53418,57) / 333 = 10838,09 \text{ тыс.руб.},$$

ИТР:

$$З_{\text{доп}} = (42 * 1013681,94) / 333 = 17387,91 \text{ тыс.руб.},$$

Вспомогательного персонала:

$$З_{\text{доп}} = (42 * 317362,57) / 333 = 315348,25 \text{ тыс.руб.},$$

Ремонтного персонала:

$$З_{\text{доп}} = (42 * 134578,58) / 333 = 57304,65 \text{ тыс.руб.}$$

где $Д_{\text{н}}$ – количество дней невыхода на работу по планируемым причинам (отпуск, учеба)

Районный коэффициент для Узбекистана, г. Алмалык– 1,6

12.3 Расчет затрат на производство продукции

12.3.1 Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Определение затрат на сырье и материалы производим исходя из принятого объема производства, удельных норм расхода сырья и планово-заготовительных цен.

Таблица 13

Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Наименование сырья	Ед. изм.	Цена, тыс.руб.	Расход, т		Затраты, тыс.руб.	
			На единицу готовой продукции	На весь объем производства	На единицу готовой продукции	На весь объем производства
Серная кислота товарная	т	17,5		181840		3182200

12. 3.2 Расчет амортизационных отчислений

Таблица 14

Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных средств	Стоимость, тыс.руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления, тыс.руб
1.Здания			
1.1.АБК	3500	5	175
1.2.Операторная	7000	5	350

Итого:			525
2. Оборудование			
2.1. Нагнетатель сборный	180000	10	18000
2.2. Фильтр - брызгоулавливатель	10000	10	1000
2.3. Теплообменник	9000	10	900
2.4. Аппарат контактный	900	10	90
2.5. Пусковой подогреватель	900	10	90
2.6 Рукавный фильтр	900	10	90
2.7. Насос центробежный	900	10	90
2.8. Вентилятор сборный	350	10	35
2.9. Таль электрическая	350	10	35
2.10. Кран мостовой	3000	10	300
2.11. Топка	150	10	15
Итого:	206450		20645
Итого:	211700		21170

Таблица 15

Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства Q=144199 т

Статьи затрат	Ед.изм.	Затраты на единицу готовой продукции (на т)	Затраты на весь объем (за год)
1. Сырье	тыс.руб.	17,6928	2551284,07
2. Электроэнергия на технологические нужды	тыс.руб.	0,004	576,79
Итого условно -переменных издержек	тыс.руб	17,6968	2551284,07
3. Общепроизводственные накладные расходы;			
3.1. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:			
• Амортизация оборудования	тыс.руб	0,1412	20366,09
• Ремонт оборудования	тыс.руб	0,01138	1640,98

3.2.Заработная плата ремонтного персонала	тыс.руб	0,8902	128365
• Отчисление на соц. нужды ремонтного персонала (30%)	тыс.руб.	0,26707	38511,22
3.3. Заработная плата ИТР	тыс.руб	0,5701	82207,84
• Отчисление на соц.нужды ИТР (27,1%)		0,17105	24665,23
3.4. Заработная плата производственных рабочих	тыс.руб	0,35336	50954,15
• Отчисление на соц.нужды производственных рабочих (30 %)		0,106	15285
3.4. Заработная плата вспомогательного персонала	тыс.руб	1,74528	251667,631
Отчисление на соц.нужды вспомогательного персонала (30%)		0,52358	75499,71
Итого условно-постоянных издержек	тыс.руб	4,7502	684974
Цеховая себестоимость	тыс.руб	22,25419	3209031,94
4. Управленческие расходы (3% от цеховой себестоимости)	тыс.руб	0,667	96180,73
Заводская себестоимость	тыс.руб	23,151	3338351
5. Коммерческие расходы (1% от заводскойсебестоимости)	тыс.руб	0,223	32156,37
Полная себестоимость	тыс.руб	23,583	3400645,017
Итого условно -переменных издержек	тыс.руб	17,6968	2551857,71
Итого условно-постоянных издержек	тыс.руб	5,8862	848787,3

12.3.3 Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = C * (1 + P/100)$$

$$Ц = 23,583 * (1 + 25/100) = 31,978 \text{ тыс.руб.}$$

где С – полная себестоимость единицы готовой продукции;

Р – рентабельность продукции (25%)

$$В_{пр} = 31,978 * 181840 = 5814879 \text{ тыс.руб.}$$

12.3.4 Анализ безубыточности по действующему производству

Цель анализа – определение **точки безубыточности**, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков.

Определение точки безубыточности аналитическим способом:

$$Q_{кр} = \frac{Изд_{пост}}{Ц_{1,zn} - Изд_{пер}}$$

$Q_{кр} = 848787,3 / (31,978 - 17,697) = 59434,7$ тонн -

Определение точки безубыточности графическим способом:

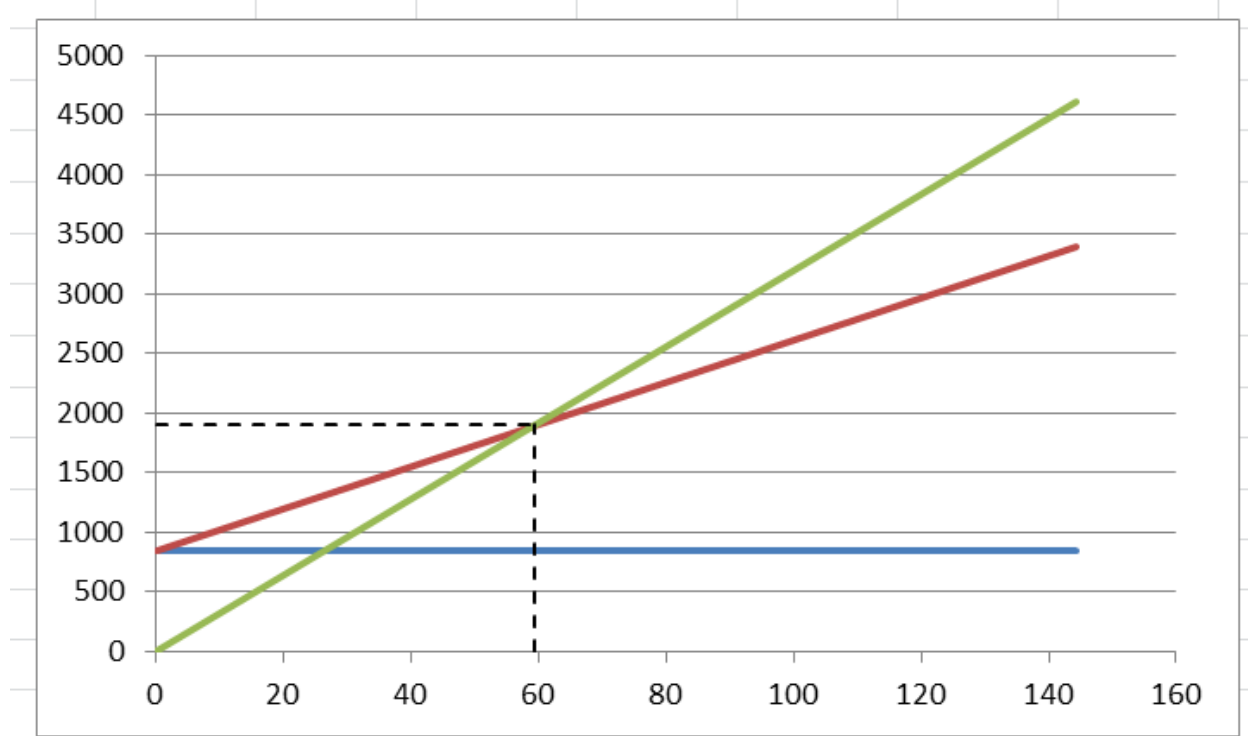


Рис. 2. График безубыточности действующего производства

Расчет производственной мощности на плановый период при увеличении объема производства на 10%

Таблица 16

Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Наименование сырья	Ед.изм.	Цена, тыс.руб.	Расход, т		Затраты, тыс.руб.	
			На единицу готовой продукции	На весь объем производства	На единицу готовой продукции	На весь объем производства
Серная кислота товарная	т	17,5	1,0110831	200000	17,69282	3500000

12.3.5 Расчет себестоимости готового продукта в проектном году

Таблица 17

Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства (увеличенного на 20%) $Q = 181840$ т/год

Статьи затрат	Ед.изм.	Затраты на единицу готовой продукции (на т)	Затраты на весь объем (за год)
1. Сырье	тыс.руб.	17,69282	3217258,75
2. Электроэнергия на технологические нужды	тыс.руб.	0,00364	661,89
Итого условно -переменных издержек	тыс.руб	17,6968	3217986
3. Общепроизводственные накладные расходы;			
3.1. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:			
• Амортизация оборудования	тыс.руб	0,10183	18516,76
• Ремонт оборудования	тыс.руб	0,010346	1881,31
3.2.Заработная плата ремонтного персонала	тыс.руб	0,809416	17184,2
• Отчисление на соц. нужды ремонтного персонала (30%)	тыс.руб.	0,242825	44155,29
3.3. Заработная плата ИТР	тыс.руб	0,518405	94274,94
• Отчисление на соц.нужды ИТР (30%)		0,155523	28280
3.4. Заработная плата производственных рабочих	тыс.руб	0,321283	58422,1
• Отчисление на соц.нужды производственных рабочих (27.1%)		0,096385	17526,64
3.4. Заработная плата вспомогательного персонала	тыс.руб	1,586813	288546
Отчисление на соц.нужды вспомогательного персонала (27,1%)		0,476044	86563,84
Итого условно-постоянных издержек	тыс.руб	4,3188	785330,592
Цеховая себестоимость	тыс.руб	21,23352	3861103,28
4. Управленческие расходы (3% от цеховой себестоимости)	тыс.руб	0,607021	110380,7
Заводская себестоимость	тыс.руб	22,14052	4026032
5. Коммерческие расходы (1% от заводской себестоимости)	тыс.руб	0,22405	40741,252
Полная себестоимость	тыс.руб	22,3646	4066778,86
Итого условно -переменных издержек	тыс.руб	17,6968	3217991,56
Итого условно-постоянных издержек	тыс.руб	4,6678	848787,3

12.3.6 Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = C * (1 + P/100)$$

$$Ц = 28,938 \text{ тыс.руб.}$$

где C – полная себестоимость единицы готовой продукции;

P – рентабельность продукции (25%)

$$В_{пр} = 28,938 * 200000 = 5787600$$

12.3.7 Анализ безубыточности при увеличении производительности на 10%

Определение точки безубыточности

Аналитический способ:

$$Q_{кр} = \frac{Изд_{пост}}{Ц_{12п} - Изд_{пер}}$$

$$Q_{кр} = 848787,3 / (31,978 - 17,697) = 59434,7 \text{ тонн}$$

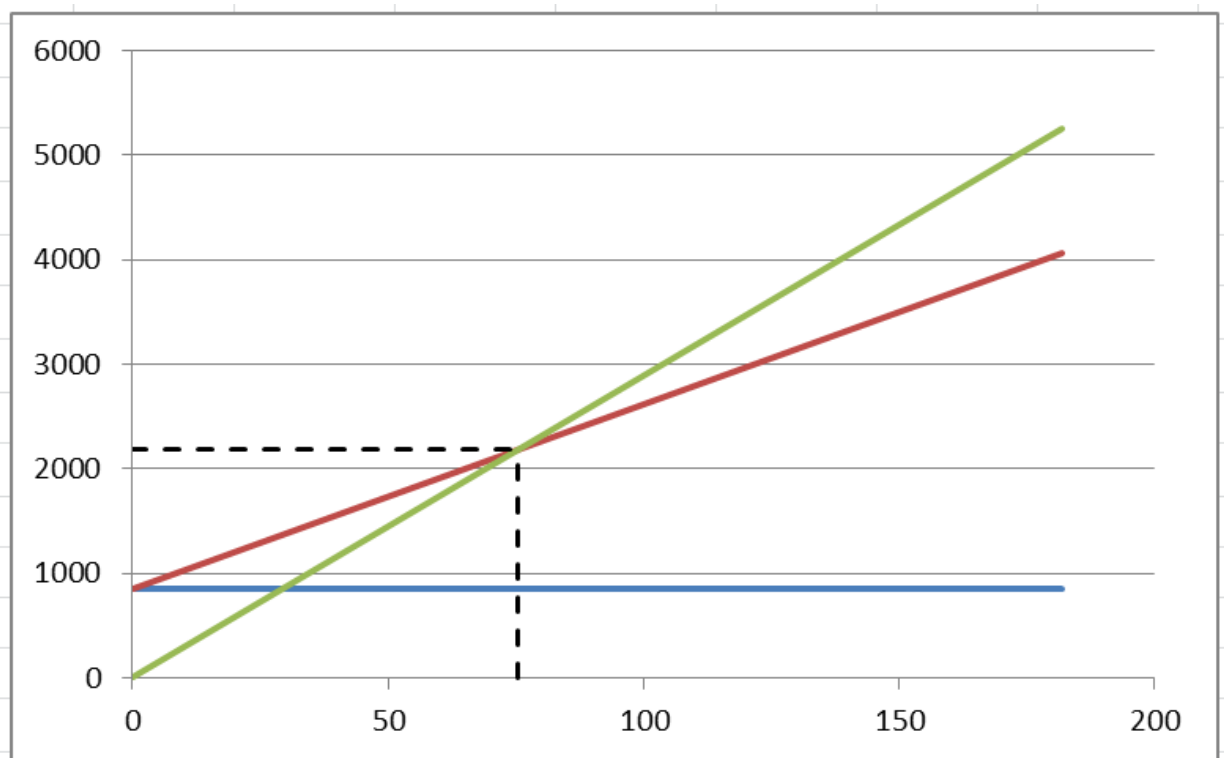


Рис. 3. График безубыточности производства при повышении загрузки на 10%

Из графика мы видим, что снижается себестоимость на единицу продукции, т.е. происходит «эффект масштаба».

12.4 Определение технико-экономических показателей

Таблица 18

Технико-экономические показатели

Наименование показателя	Ед.изм.	Отчетный год	Плановый год
1. Объем производства	т	144120	181840
2. Объем продаж	т	144120	181840
3. Цена 1 тонны	тыс.руб.	28,938	28,938
4. Выручка от продажи (2*3)	тыс.руб.	4170544,56	5262085,92
5. Суммарные издержки	тыс.руб.	3400645,017	4066778,86
5.1. Издержки переменные	тыс.руб.	2551857,71	3217991,56
5.2. Издержки постоянные	тыс.руб.	848787,3	848787,3
6. Операционная прибыль (4-5)	тыс.руб.	769899,55	1195307,06
7. Налог на прибыль (6*20%)	тыс.руб.	153979,91	239061,4
8. Чистая прибыль (6-7)	тыс.руб.	615919,64	956245,66
9. Себестоимость 1 тонны	тыс.руб.	23,583	22,364
10. Стоимость основных средств	тыс.руб.	211700	211700
11. Численность основных рабочих	чел.	33	33
12. Фондовооруженность (10/11)	тыс.руб./чел	6415,15	6415,15
13. Фондоотдача (4/10)	руб/руб.	24,85	27,34
14. Фондоемкость (10/4)	руб/руб.	0,0402	0,0365
15. Производительность труда (4/11)	тыс.руб./чел	126380,13	159457,149
16. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	18,11	23,51
17. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	14,76	18,17
18. Критический объем продаж($Q_{кр}$)	т	59434,7	59434,7
19. Критический объем продаж($Q_{кр}$)	тыс.руб.	856454	108052

Вывод:

В результате увеличения загрузки производственной мощности на 10% и, соответственно, использования «эффект масштаба», мы получили следующий экономический эффект:

- себестоимость 1 тонны продукции на плановый период уменьшится на 0,786 тысяч рублей относительно текущего периода;
- чистая прибыль на плановый период увеличится на 166171,25 тысяч рублей относительно текущего периода;
- фондоотдача увеличится на 2,49 относительно текущего периода;
- рентабельность производства планового периода увеличится на 2,10%;

Заключение:

В данной дипломной работе произведен расчет пятислойного контактного аппарата.

Произведены: технологический, конструктивный и механический расчеты.

В разделе социальная ответственность были рассмотрены производственная безопасность, экологическая безопасность, безопасность в чрезвычайных ситуациях и правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

В разделе финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение мы провели расчет с учетом производительности на 10%.

Список используемой литературы.

1. П.В. Дыбина, Расчеты по технологии неорганических веществ, Москва, 1967 год, 520 с.
2. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов ядерной техники/1967 год.
3. Б.П. Никольский, Справочник химика/ Том1/ Общие сведения, строение вещества, свойства важнейших веществ, лабораторная техника/ Ленинград, Москва, 1966 год.
4. К.М. Малина, Справочник сернокислотчика, издание 2-е дополненное и переработанное, Москва 1971 год, 744 с.
5. Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. М.: ООО ИД «Альянс», 2008. 752 с.
6. ГОСТ Р 52857.1-2007 Нормы и методы расчета. Общие требования.
7. ГОСТ Р 52857.2-2007. Нормы и методы расчета. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.
8. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств/ Примеры и задачи под общей редакцией д.т.н. проф. М.Ф. Михалева. Ленинград, 1984 год.
9. Голубева О.В. Теоретическая механика. М.: Высш. школа, 1968
10. С.П. Тимошенко. Пластины и оболочки, изд. второе, стереотипное. Москва, 1966 год.
11. ГОСТ Р 52857.3-2007. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в днищах и обечайках при внутреннем и внешнем давлении. Расчет на прочность обечайки днища при внешних статических нагрузках на штуцер.
12. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию- 5-изд., стереотипное. - М.: ООО ИД «Альянс», 2010. 496 с.
13. Справочник конструктора-инструментальщика под ред. к.т.н. В.И. Баранчиковой /Москва/Машиностроение/1994 г.
14. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х томах С74 Т.2/ Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова.-4-е изд., перераб. и доп.-М.: Машиностроение, 1985, 496 с., ил.
15. Социальная ответственность организации. Требования: Международный стандарт ISO 26000 : 2011.
16. Кукин П.П., Лапин В.Л. и др. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств: учеб. пособие.- М.: Высшая школа, 1999. – 318с.
17. Технологический регламент «Производство серной кислоты СК-3»

18. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"
19. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация».
20. ВНТП 3-85, ПБ 08-624-03 «Общие Правила противопожарного режима в Российской Федерации».
21. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация».
22. № 384-ФЗ от 30.12.2009 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
23. ГОСТ 12.4.220-2002 «Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты».
24. ГОСТ Р 12.4.218-99 «Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная. Общие технические требования».
25. ГОСТ 12.4.183-91 «Перчатки резиновые диэлектрические бесшовные».
26. ГОСТ 12.1.007-76 «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».
27. ГОСТ 4204-77 «Реактивы. Кислота серная. Технические условия»
28. ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в ЧС. Основные положения.
29. СП 10.13130.2009 «Системы противопожарной защиты» Внутренний противопожарный водопровод
30. ГОСТ Р 50571.3-94 Защита от поражения электрическим током.
31. ГОСТ Р 52423-2005 Опасность, возникающая при горении, повышенной температуре поверхности и (или) повышенной температуре вдыхаемого газа.
- ГОСТ Р 50571.3-94. Защита от поражения эле