

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт ИФВТ

Направление подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Кафедра ОХХТ

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка основного массообменного оборудования установки получения азота

УДК 66.096.5:661.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К32	Балло Евгения Александровна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Балмашнов М. А.	канд. техн. наук		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Рыжакина Т. Г.	канд. экон. наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Раденков Т. А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Ан В. В.	канд. техн. наук		

Томск – 2017 г.

Перечень результатов обучения (профессиональных и универсальных компетенций), запланированных к достижению выпускниками данной образовательной программы

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области энерго-ресурсосберегающих процессов и оборудования химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,15, ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-4,5,8,11, ОК-2,4), Критерий 5 АИОР (п.1.2)
P4	Проектировать и использовать новое энерго- и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-8,11,23,24), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго- и ресурсосберегающих	Требования ФГОС (ПК-1,4,5,19-22, ОК-

	процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	7,10), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
Р6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность и надежность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС (ПК-6,12,13,14,17, ОК-3,4,8) Критерий 5 АИОР (п.1.5)
Р7	Применять знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ПК-3,8,9,10,11,12,13), Критерий 5 АИОР (п.2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р8	Использовать современные компьютерные методы вычисления, основанные на применении современных эффективных программных продуктов при расчете свойств материалов, процессов, аппаратов и систем, характерных для профессиональной области деятельности; находить необходимую литературу, использовать компьютерные базы данных и другие источники информации	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,10,11,14)
<i>Общекультурные компетенции</i>		

P9	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P10	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (п.2.6)
P11	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-11), Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P12	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4,5,12), Критерий 5 АИОР (пп.1.6,2.3)

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт ИФВТ

Направление подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Кафедра ОХХТ

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Ан В.В.

(Подпись)(Дата)

(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
2К32	Балло Евгения Александровна

Тема работы:

Разработка основного массообменного оборудования установки получения азота

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 2055/с от 24.03.2017 г.
---	---------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><i>Действующая установка получения жидкого азота АО «СДС Азот» производительностью по исходной смеси 0,302 м³/с.</i></p> <p><i>Рабочее давление 0,7 МПа</i></p> <p><i>Выполнить подбор конструкции и провести технологический, тепловой и механический расчет ректификационной колонны.</i></p>
---	---

Перечень подлежащих исследованию,

проектированию и разработке Вопросов

(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в

рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).

1. Технологический расчет
 - определение оптимального флегмового числа;
 - определение действительного числа тарелок;
 - определение диаметра колонны;
 - определение высоты колонны.
2. Тепловой расчет
3. Конструктивно-механический
 - определение расчетных параметров;
 - определение толщины стенок обечайки, днища, крышки;
 - расчет фланцевых соединений;
 - укрепление отверстий;
 - расчет и подбор опор.
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение:
 - анализ производственной мощности;
 - работников;
 - анализ организации оплаты труда;
5. Социальная ответственность:
 - анализ производственной безопасности;
 - анализ экологической безопасности;
 - безопасности.

Перечень графического материала

(с точным указанием обязательных чертежей)

- Лист 1 – Технологическая схема (А1).
- Лист 2 – Сборочный чертёж (А1)
- Лист 3 – Выносные элементы (А1)
- Лист 4 – Финансовый менеджмент (А1)

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	к.э.н., доцент Рыжакина Т.Г.
Социальная ответственность	к.т.н., доцент Романцов И.И.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Балмашнов М.А.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К32	Балло Евгения Александровна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2К32	Балло Евгении Александровне

Институт	ИФВТ	Кафедра	Общей химии и химической технологии
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Энерго - и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<i>1. Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта</i>	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта</i>
<i>2. Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i>
<i>3. Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Определение производственной мощности. Расчет сырья, материалов, оборудования, фонда оплаты труда. Расчет себестоимости готового продукта. Расчет точки безубыточности.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<i>1. Расчет точки безубыточности графическим и математическим методами.</i>
<i>2. Расчет технико-экономических показателей</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К32	Балло Евгения Александровна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2К32	Балло Евгении Александровне

Институт	ИФВТ	Кафедра	ОХХТ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	МАХП

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера) 	<p>Цех разделения атмосферного воздуха АО «СДС Азот».</p> <p>Режим работы непрерывный.</p> <p>Оборудование:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Реактор; 2. Теплообменник; 3. Турбовоздуходувка; 4. Испаритель; 5. Насос.
<p>6. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>Федеральный закон № 426-ФЗ от 28 декабря 2013 года «О специальной оценке условий труда» Федеральный закон №184-ФЗ «О техническом регулировании от 27 декабря 2002 года» Федеральный закон № 123-ФЗ от 22.07.2008 г (ред. от 10.07 2012г) «Технический регламент о требованиях к пожарной безопасности»</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Опасность низких температур (средства индивидуальной защиты, спец. одежда) 2. Опасность взрыва и пожара (пострадавшего окунуть в воду или сорвать одежду) 3. Опасность термических ожогов (погружать детали медленно; при поражении промыть большим количеством воды; средства индивидуальной защиты, спец одежда) 4. Токсичность паров всех хлорированных углеводородов (обезжиривание только в спец. Помещениях по технике безопасности; рабочие помещения должны быть оборудованы протяжно-вытяжной вентиляцией, на сдувах в атмосферу – спец. уловители; аварийные шкафы с противогАЗами) 5. Наличие шума в рабочих помещениях (индивидуальные средства защиты, беруши или наушники)
--	---

<p>2. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>1. Сточные воды 2. Выбросы в атмосферу 3. Твердые отходы</p> <p>Мероприятия по устранению:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Совершенствование техпроцесса 2) Снижение потребления энергии без увеличения количества выбросов 3) Установка дополнительных систем очисток, либо замена существующих или их усовершенствование
<p>3. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<p>Типичная ЧС - возможность накопления в них взрывоопасных примесей, содержащихся в перерабатываемом воздухе.</p> <p>Взрывобезопасность должна обеспечиваться мерами взрывопредупреждения и взрывозащиты, осуществлением специальных организационных и организационно технических мероприятий в объеме требований, установленных действующими нормами взрывобезопасности.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	<p>Для работников, занятых на работе с вредными или опасными условиями труда, законодатель установил сокращенную продолжительность рабочего времени – не более 36 часов в неделю (ст.92 ТК РФ, п.1 Постановления Правительства РФ от 20.11.2008 N 870 (далее – Постановление N 870)).</p>
<p>– Перечень графического материала:</p>	
<p>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</p>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Раденков Тимофей Александрович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К32	Балло Евгения Александровна		

РЕФЕРАТ

Работа посвящена разработке основного массообменного оборудования установки получения азота на производстве ОА «СДС Азот».

В дипломной работе произведен технологический, тепловой и механический расчеты ректификационной колонны.

В разделе «Социальная ответственность» рассмотрены вредные и опасные факторы работы в цеху, техника безопасности работы на установке.

Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» включает в себя SWOT анализ, расчет себестоимости получаемого продукта и рентабельности производства.

Ключевые слова: ректификационная колонна, ситчатые тарелки, азот.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки, содержащей 95 с., 15 таб., 10 рис., и 4 листа графического материала формата А1.

ABSTRACT

The work is dedicated to the main-exchange equipment of the nitrogen production at ОА «СДС Азот».

The graduate work includes technological, thermal and mechanical calculations of the distillation column.

Harmful and dangerous factors of working and safety of work are considered in the section «Social management».

The section «Financial management, resource efficiency and resource saving» includes SWOT analysis, calculation of the product cost and production profitability.

Key words: distillation column, sieve trays, nitrogen.

The graduate qualification work consists of the explanatory note with 95 pages, 15 tables, 10 figures, and 4 pages of graphic materials (A1 format).

Содержание

Введение	12
1. Описание технологической схемы	13
2. Технологический расчет колонны	20
2.1 Определение оптимального флегмового числа	21
2.2 Определение действительного числа тарелок	29
2.3 Определение высоты колонны	29
3. Тепловой расчет колонны	30
4. Механический расчет колонны	31
4.1 Расчетное давление	31
4.2 Расчет толщины стенки эллиптической крышки и днища	33
4.3 Сливные и переливные перегородки	34
4.4 Расчет тарелок	34
4.5 Определение диаметра патрубка для исходной смеси	36
4.6 Определение диаметра патрубка для отвода кубовой жидкости	37
4.7 Определение диаметра патрубка для отвода пара-дистиллята	37
4.8 Укрепление отверстий	39
4.9 Расчет фланцевого соединения	46
4.10 Корпус колонного аппарата	57
5. Расчет опорной обечайки	61
5.1 Расчет анкерных болтов	72
6. Гидравлический расчет	73
7. Расчет тепловой изоляции	75
8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	76
9. Социальная ответственность	89
Заключение	105
Список использованных источников	106

Введение

Ректификация – это процесс разделения жидких однородных смесей на их составляющие или группы составляющих веществ в результате взаимодействия паровой и жидкой смесей. Это массообменный процесс, который осуществляется в колонных аппаратах (в основном противоточных) с контактными элементами (насадки, колпачки, тарелки).

Возможность разделения жидкой смеси на составляющие её компоненты ректификацией обусловлена тем, что состав пара, образующегося над жидкой смесью, отличается от состава жидкой смеси в условиях равновесного состояния пара и жидкости.

В данной работе процесс ректификации касается атмосферного воздуха.

Атмосферный воздух представляет собой смесь из азота, кислорода, аргона и прочих газов, не связанных между собой химически. Можно приближенно сказать, что это смесь только азота и кислорода, так как остальные составляющие в сумме дают <1 %.

Разделение воздуха на его составляющие – процесс достаточно сложный в техническом плане, особенно, если воздух находится в газообразном состоянии. Этот процесс становится проще при предварительном переводе воздуха в жидкое состояние сжатием, расширением и охлаждением. Далее уже жидкий воздух разделяется на составные части, посредством разницы температур кипения азота и кислорода (под атмосферным давлением жидкий азот кипит при $-195,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, жидкий кислород при $-182,97\text{ }^{\circ}\text{C}$). При постепенном испарении воздуха сначала будет преимущественно испаряться азот, так как он обладает более низкой температурой кипения. По мере улетучивания азота жидкость будет обогащаться кислородом. За счет этого ректификация позволяет достичь желаемой степени разделения воздуха на азот и кислород требуемых концентраций. Этот способ называется глубокой конденсацией – охлаждение воздуха до очень низких температур.

1. Описание технологической схемы

1.1. Общие сведения об установке.

В установке используется цикл среднего давления с расширением воздуха в турбо детандере. Рекуперация холода осуществляется в витых трубчатых теплообменниках, разделение воздуха проводится в колонне двукратной ректификации. Осушка воздуха и очистка его от углекислоты и углеводородов производится в цеолитовом блоке очистки. Предварительное охлаждение воздуха перед блоком очистки осуществляется в теплообменниках за счёт холода обратных потоков.

Обозначения аппаратов указаны в соответствии с технологической схемой.

1.1.1 Режим I - получение газообразного кислорода I - ого сорта и газообразного азота особой чистоты.

Атмосферный воздух после очистки от пыли сжимается в компрессорах

1,2 до давлений 4,4...5,4 МПа (45...55 кгс/см²). Во влагоотделителе А12 из него удаляется нежелательная влага и далее 63% воздуха поступает в теплообменник А15, где охлаждается потоками кислорода и фракции с 313К (40°С) до 281К (8°С). Остальной воздух охлаждается обратным потоком азота в теплообменнике А16 до той же температуры.

Пройдя теплообменники А15 и А16, воздух соединяется в один поток, проходит влагоотделитель А13 и теплообменник А17, с помощью которого поддерживается постоянная температура перед блоком очистки - 281К (8°С).

В теплообменнике А17 осуществляется теплообмен между потоками влажного (до блока очистки); сухого (после блока очистки) воздуха, хладона из холодильной машины X и воды, циркулирующей в межтрубном пространстве теплообменника А17.

Постоянная циркуляция воды из бака АЗ 0 обеспечивается насосом НЗ. Температура воды поддерживается в интервале 277...280К (4...7°C) включением и отключением холодильной машины.

Наличие в схеме теплообменника А17 позволяет снимать так называемые «пиковые» тепловые нагрузки, возникающие в момент переключения абсорберов блока очистки, когда температура сухого воздуха временно поднимается до 305К (32°C).

Пройдя влагоотделитель А14, воздух направляется в блок очистки, где осушается и очищается от углекислоты и углеводов.

При температуре 283К (10°C) воздух поступает в теплообменники блока разделения. В теплообменник А1 поступает 73% всего воздуха и охлаждается сжатым кислородом и фракцией до 139К (- 134°C). Остальной воздух охлаждается в теплообменнике А2 продукционным азотом до той же температуры.

Воздух из теплообменника А1 и часть воздуха из теплообменника А2 (всего 83% от общего количества воздуха) смешиваясь, расширяются в турбо детандере до давления 0,59 МПа (6 кгс/см²), при этом температура воздуха понижается до 102К (- 171°C).

Оставшаяся часть воздуха из теплообменника А2 дросселируется через вентиль ВР-1 до давления 0,6 МПа (6 кгс/см²) и температуры 102К (- 171°C).

Расширенный и охлаждённый воздух поступает на разделение в куб нижней колонны А7.

В нижней колонне воздух разделяется на обогащённую кислородом кубовую жидкость чистотой 23,5% O₂ и азотную флегму с содержанием кислорода 0,0001%.

Кубовая жидкость после переохладителя А5 дросселируется через вентиль ВР-2 и, пройдя переохладитель АЗ, поступает на 41-ую тарелку верхней колонны А8.

Азотная флегма из кармана нижней колонны проходит переохладитель А6, охлаждаясь от 98К (- 175°C) до 89К (- 184°C), дросселируется через

вентиль ВР-3 до 0,039 МПа (0,4 кгс/см²) и после переохладителя А4 поступает на орошение в верхнюю колонну А8.

В верхней колонне происходит окончательное разделение воздуха на газообразный азот и (60%), отбираемый из верхней части колонны, жидкий кислород (17%), отбираемый из куба колонны и аргонную фракцию (33%), отбираемую с 48-ой тарелки, считая снизу. Отбор фракции позволяет получить азот и кислород высокой чистоты.

Жидкий кислород из конденсатора поступает в переохладитель АЗ, охлаждает рубашку насоса сжиженных газов Н1, а затем подаётся во всасывающую линию этого же насоса.

Отсюда жидкий кислород под давлением 19,6 МПа (200 кгс/см²) подаётся в теплообменник А1, затем в А15 и в газообразном виде подаётся потребителю.

Газообразный азот из верхней колонны проходит последовательно переохладитель А6, теплообменники А2, А16 и подаётся потребителю.

Фракция проходит переохладитель А5, теплообменники Л], А15, затем часть её идёт на регенерацию адсорберов блока очистки, остальная часть выбрасывается в атмосферу.

1.1.2 Режим II - получение газообразного кислорода повышенной чистоты и газообразного азота особой чистоты. Повышение чистоты кислорода в этом режиме достигается уменьшением отбора его путём снижения производительности насоса Н1. Давление воздуха после компрессоров в этом режиме 4,4...5,4 МПа (45...55 кгс/см²).

1.1.3 Режим III - отличается от режима I тем, что переохлажденный кислород сливается из установки в ёмкость, при этом насос сжиженных газов отключается. Давление воздуха после компрессора в этом режиме 6,9 МПа (70 кгс/см²).

1.1.4 Режим IV - получение жидкого и газообразного азота особой чистоты. В этом режиме часть переохлажденной азотной флегмы подаётся потребителю. Насос Н1 отключен. Давление после компрессоров 5,9 МПа

(60 кгс/см⁻). В этом режиме обеспечивается слив жидкого кислорода из конденсатора АЗ 1 В теплообменник А18. Это необходимо для своевременного удаления ацетилена и других углеводородов, накопление которых возможно в жидком кислороде, кипящем в конденсаторе. В теплообменнике А18 жидкий кислород с растворёнными в нём углеводородами испаряется за счёт теплообмена с проточной водой.

1.1.5 Режим V - получение кислорода I -ого сорта под давлением 2,45 МПа (25 кгс/см⁻) и газообразного азота особой чистоты. Жидкий кислород после переохладителя АЗ подаётся в насос Н1, а затем сливается в криогенный газификатор под давлением 2,45 МПа (25 кгс/см⁻). Давление воздуха после компрессоров 6,9 МПа (70 кгс/см⁻).

Описание технологической схемы блока очистки. Воздух с температурой 281К (8°С) и давлением 4,4...6,9 МПа (45...70 кгс/см²) поступает в нижнюю часть одного из адсорберов I или II и проходит его снизу-вверх.

1.1.6 Адсорбером считается пара баллонов, соединённых между собой трубопроводами и работающих параллельно. Баллоны заполнены адсорбентом — цеолитом марки NaX. Насыщение цеолитов влагой и углекислотой происходит до определённого предела. Адсорбционная способность цеолита восстанавливается прогревом адсорбента, регенерирующим газом - сухой фракцией.

При работе одного из адсорберов в режиме очистки воздуха во втором адсорбере проходят последовательно процессы десорбции и охлаждения адсорбента. Регенерирующий газ в количестве 200 м³/ч нагретый электроподогревателем А19 до температуры 673К (400°С) проходит адсорбер сверху вниз. При достижении температуры регенерирующего газа на выходе из адсорбера 473К (200°С) электроподогреватель отключается, и адсорбер охлаждается тем же регенерирующим газом, но в количестве 420 м³/ч. Для плавного изменения давления в адсорбере служит клапан ВР-101,

а для плавного сброса давления служат продувочные вентили ВР-102 и ВР-103. Циклограмма работы блока очистки приведена на рис. 40.

1.1.7 Питание пневмосхемы панелей управления и мембранно-исполнительных механизмов регулирующих клапанов производится специально подготовленным воздухом по проекту станции. Допускается 20 отбор 80 м сжатого воздуха после блока очистки через вентиль ВЗ-20, при этом производительность установки во всех режимах снижается на 5%. При отборе воздуха на цели КИПиА после блока очистки возможны следующие варианты питания системы КИПиА воздухом.

1 Воздух из вентиля ВЗ -20 поступает в ресивер высокого давления $P_{раб} > 70$ кгс/см², а затем через редуктор подаётся в систему КИПиА.

2 Воздух из вентиля ВЗ-20 поступает на редуктор затем в ресивер с давлением $P_{раб} = 8$ кгс/см. Ресивер должен быть снабжён предохранительным клапаном на 8 кгс/см². Затем через стабилизатор воздух подаётся в систему КИПиА. Ресивер и редукторы в комплект поставки не входят.

1.1.8 Для ускорения пуска установки желательно иметь сторонний источник азота или сухого воздуха, необходимого для очистки цеолита в первый момент после наполнения им баллонов. При наличии у заказчика такого источника подключение к нему необходимо произвести через вентиль ВЗ-27. Параметры воздуха (азота) из постороннего источника: давление - 0,25 кгс/см²; температура - 20°С, количество не менее 200 м³/ч.

1.2 Блок разделения

Блок разделения предназначен для охлаждения, сжижения и разделения сжатого атмосферного воздуха на кислород и азот.

1.2.1 В состав блока разделения входят верхняя и нижняя ректификационные колонны, конденсатор; четыре переохладителя, два теплообменника, турбодетандер, насос сжиженных газов, фильтры, арматура, контрольно-измерительные приборы.

1.2.2 Все аппараты размещены в кожухе. Нижняя часть кожуха представляет жесткий стальной каркас, обшитый рифлеными листами толщиной 2,5 мм. На кожухе имеются съёмные щиты, обеспечивающие доступ к аппаратам для их осмотра и мелкого ремонта.

Верхняя часть кожуха представляет собой цилиндрическую сварную царгу толщиной 4 мм, которая соединяется с нижней частью при помощи болтов. Внутри царги размещается верхняя колонна. Её верхняя часть крепится к царге при помощи хомута и четырёх талрепов, обеспечивающих её центровку.

1.2.3 На передней панели блока разделения расположена большая часть арматуры, за исключением сливных вентилях, расположенных на боковых стенках блока, находящихся вне здания.

В нижней части передней панели размещены продувочные и отогривные вентили. Выше продувочных вентилях в специальном коробе находятся холодильные дроссельные клапаны с мембранно-пружинными исполнительными механизмами и запорные вентили.

Над коробом с клапанами расположены турбодетандер Тд, который крепится непосредственно к листу передней панели, и отсек с находящимся в нём детандерным воздушным фильтром А9, электромагнитным клапаном ПР

(см. руководство по эксплуатации турбодетандера) и обратным клапаном ОКІ. Отсек закрывается съёмной крышкой, свободное пространство его заполнено теплоизоляционным материалом - из базальтового волокна. Над турбодетандерным отсеком находится панель с манометрами, а над ней вентили на импульсных линиях для замера концентрации, сопротивления, уровня, давления.

Выше расположены предохранительные клапаны, присоединенные к общему выходному коллектору.

1.2.4 Кожух блока разделения заполнен теплоизолирующим материалом - перлитовым песком. Засыпка перлита производится через

люки Щ, высыпка - через люк Э, контролируют уровень засыпки перлита через люк Ю.

1.2.5 Насос сжиженных газов располагается в специальном кожухе, расположенном рядом с блоком разделения и соединённым с ним переходником. Кожух насоса и переходник имеют съёмные крышки, обеспечивающие свободный доступ к насосу и трубам, проходящим через переходник. В кожухе насоса находятся: цилиндровая группа насоса, фильтр жидкого кислорода А10, фильтр на линии утечки насоса А11 на обратный клапан ОК2. Всё свободное пространство в кожухе насоса и переходнике заполнено теплоизоляционным материалом - ватой минеральной марки 100.

2. Технологический расчет колонны

$$G_f := \frac{1087}{3600} = 0.302 \quad \text{Производительность по исходной смеси, м}^3/\text{с}$$

$$x_{fv} := 70 \quad \text{Состав исходной смеси, \%}$$

$$x_{pv} := 99.999 \quad \text{Состав дистиллята, \%}$$

$$x_{wv} := 0.01 \quad \text{Состав кубового остатка, \%}$$

$$P := 0.7 \quad \text{Рабочее давление в колонне, МПа}$$

$$P_{pr} := 0.96 \quad \text{Пробное давление в колонне, МПа}$$

$$\rho_v := 763 \quad \text{Плотность воздуха(ж) при } -172 \text{ С (вход в колонну), кг/м}^3$$

$$T_0 := 273 \quad \text{К}$$

$$P_0 := 0. \text{ МПа}$$

Решение

Объемный расход

$$G_p := \frac{G_f \cdot (x_{fv} - x_{wv})}{x_{pv} - x_{wv}} = 0.211 \quad \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$$G_w := G_f - G_p = 0.091 \quad \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Пересчет на мольные доли

$$M_{N_2} := 28$$

$$M_{O_2} := 32$$

$$x_f := \frac{\frac{x_{fv}}{M_{N_2}}}{\frac{x_{fv}}{M_{N_2}} + \frac{100 - x_{fv}}{M_{O_2}}} = 0.727$$

$$x_p := \frac{\frac{x_{pv}}{M_{N_2}}}{\frac{x_{pv}}{M_{N_2}} + \frac{100 - x_{pv}}{M_{O_2}}} = 1$$

$$x_w := \frac{\frac{x_{wv}}{M_{N_2}}}{\frac{x_{wv}}{M_{N_2}} + \frac{100 - x_{wv}}{M_{O_2}}} = 1.143 \times 10^{-4}$$

Относительный мольный расход питания

$$F_{ww} := \frac{x_p - x_w}{x_f - x_w} = 1.375$$

$$R_{\min} := \frac{x_p - y_f}{y_f - x_f} = 1.102$$

Определяем минимальное число флегмы

$y_f := 0.857$ по t-x,y диаграмме мольная доля азота в паре, равновесном с жидкостью питания.

2.1 Определение оптимального флегмового числа

Величину оптимального флегмового числа находим из графика функции $Nt^*(R+1) = f(R)$. Значение R вычисляем из уравнения зависимости минимального и действительного флегмовых чисел, принимая различные (2-6) значения коэффициента избытка флегмы β .

На оси ординат откладывается отрезок В.В - отрезок, откладываемый на оси ординат.

Рисунок 1

$$\beta := 2$$

$$N := 40$$

$$N \cdot (R + 1) = 128.18$$

$$R := \beta \cdot R_{\min} = 2.204$$

$$B := \frac{x_p}{R + 1} = 0.312$$

Рисунок 2

$$\beta := 3$$

$$N := 34$$

$$N \cdot (R + 1) = 146.429$$

$$R := \beta \cdot R_{\min} = 3.307$$

$$B := \frac{x_p}{R + 1} = 0.232$$

Рисунок 3

$$\beta := 4$$

$$N := 31$$

$$N \cdot (R + 1) = 167.678$$

$$R := \beta \cdot R_{\min} = 4.409$$

$$B := \frac{x_p}{R + 1} = 0.185$$

Рисунок 4

$$\beta := 1.5$$

$$N := 48$$

$$N \cdot (R + 1) = 127.362$$

$$R := \beta \cdot R_{\min} = 1.653$$

$$B := \frac{x_p}{R + 1} = 0.377$$

Рисунок 5

$$\beta := 1.8$$

$$R := \beta \cdot R_{\min} = 1.984$$

$$N := 42$$

$$B := \frac{x_p}{R + 1} = 0.335$$

$$N \cdot (R + 1) = 125.33$$

$$R := 1.8353$$

Из графика зависимости $Nt^*(R+1) = f(R)$ оптимальное флегмовое число 1.8353

Для данного флегмового числа:

$$\beta := \frac{R}{R_{\min}} = 1.665$$

$$B := \frac{x_p}{R + 1} = 0.353$$

Рисунок 6

$$N := 45$$

Уравнение рабочих линий:

а) верхней, укрепляющей части колонны:

$$y := \left(\frac{R \cdot x}{R + 1} + \frac{x_p}{R + 1} \right) \quad \frac{R}{R + 1} = 0.647 \quad \frac{x_p}{R + 1} = 0.353$$

$$b := 2$$

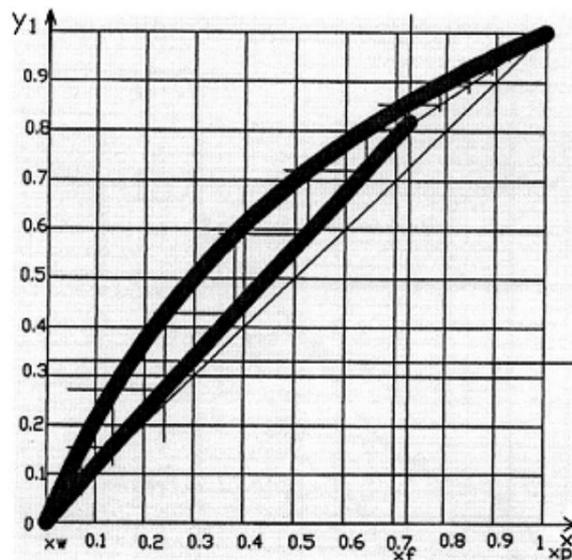


Рисунок 1. Оптимальное флегмовое число. 40 тарелок

$b := 3$

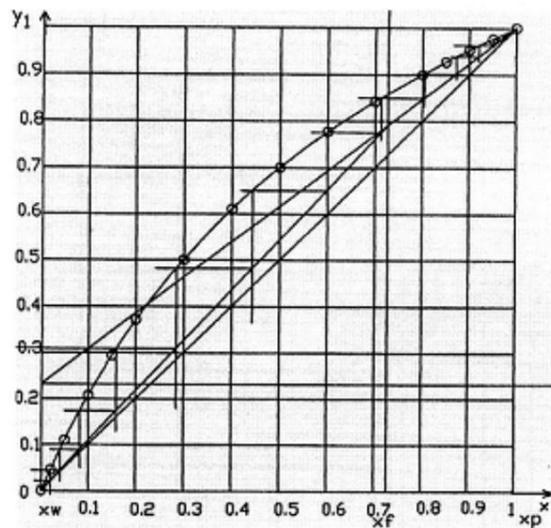


Рисунок 2. Оптимальное флегмовое число. 34 тарелки

$b := 4$

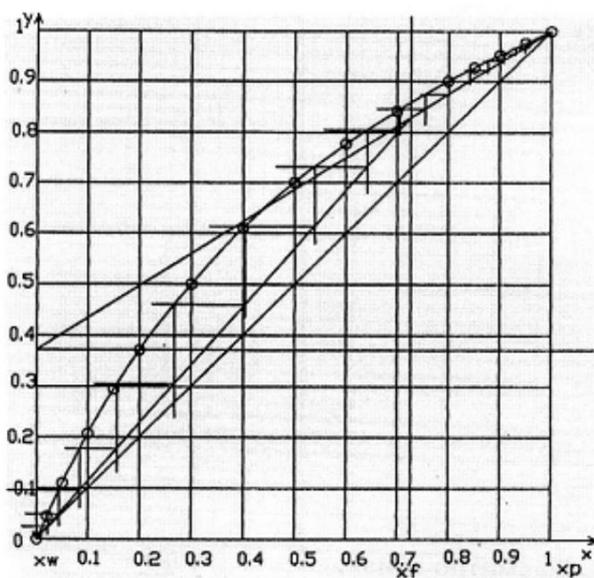


Рисунок 3. Оптимальное флегмовое число. 31 тарелка

$b := 1.5$

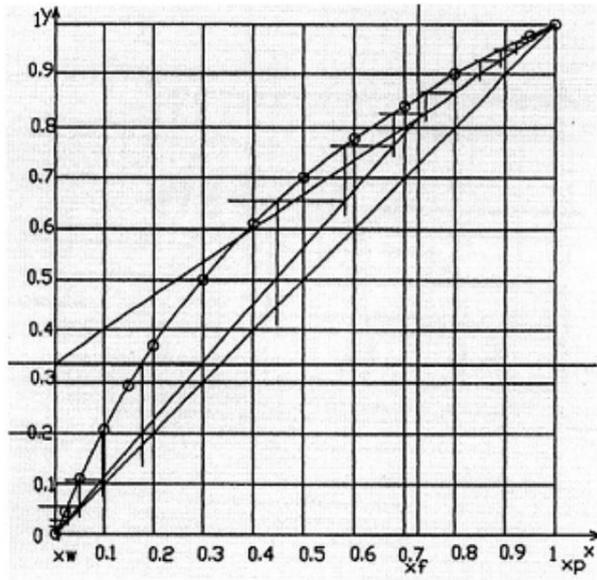


Рисунок 4. Оптимальное флегмовое число. 48 тарелок

$b := 1.8$

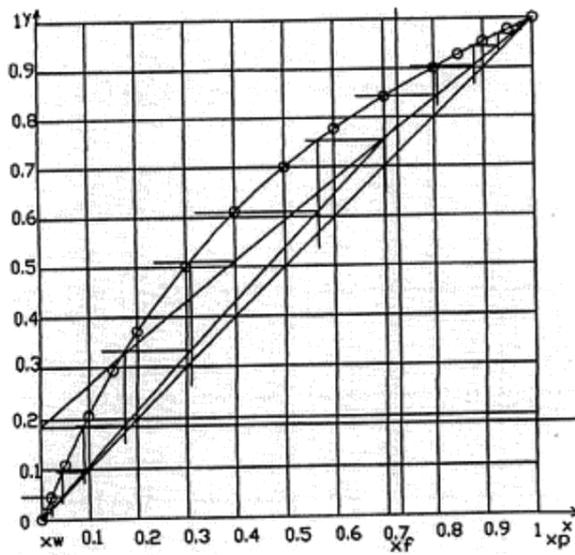


Рисунок 5. Оптимальное флегмовое число. 42 тарелки

$$b := 1.665$$

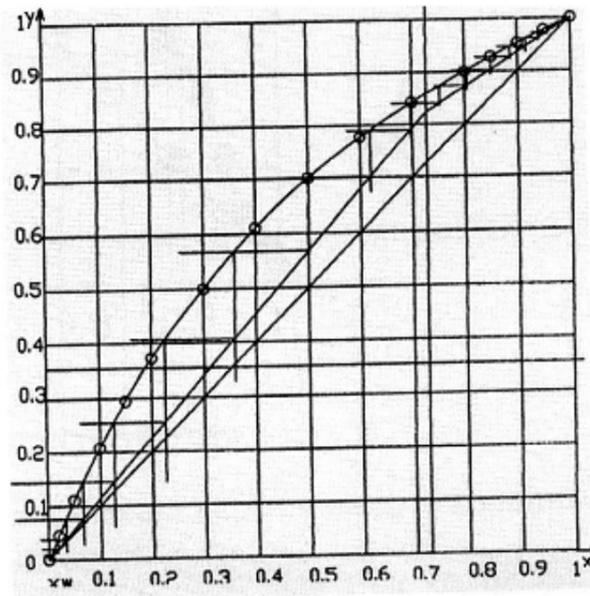


Рисунок 6. Определение оптимального флегмового числа. 45 тарелок

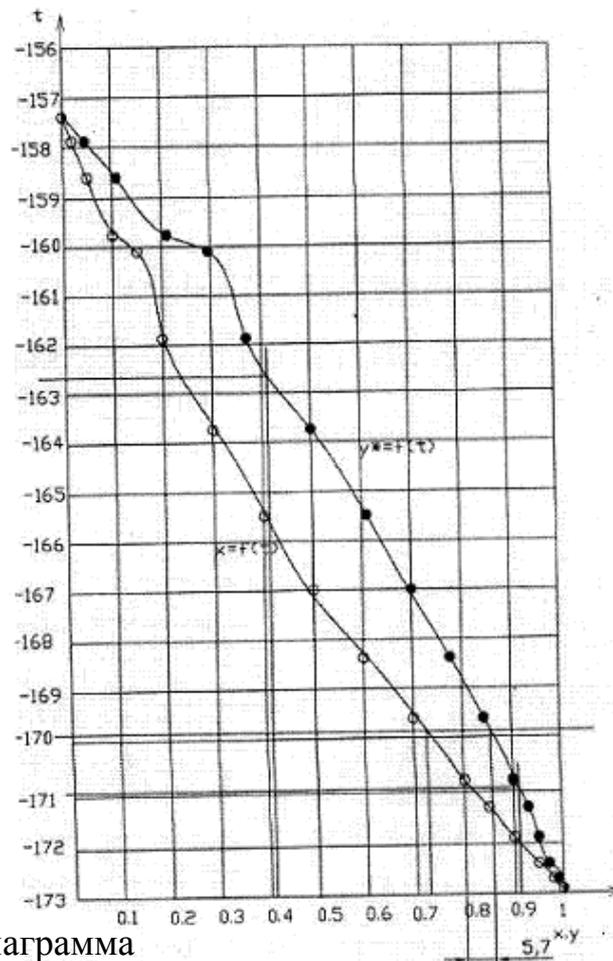


Рисунок 7. t-x,y диаграмма

$$y := 0.647 \cdot x + 0.353$$

б) нижней, исчерпывающей части колонны

$$y := \frac{(R + F) \cdot x}{R + 1} - \frac{(F - 1) \cdot x_w}{R + 1} \quad \frac{R + F}{R + 1} = 1.132 \quad \left(\frac{F - 1}{R + 1} \right) \cdot x_w = 1.512 \times 10^{-5}$$

$$y := 1.132 \cdot x + 1.512 \cdot 10^{-5}$$

Расход пара по высоте колонны:

$$G := G_p \cdot (R + 1) = 0.599 \quad \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Потоки жидкости по верхней и нижней части колонны:

$$L_v := G_p \cdot R = 0.388 \quad \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad L_n := G_p \cdot (R + F) = 0.679 \quad \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Определение скорости пара и диаметра колонны Средние концентрации жидкости:

а) в верхней части колонны

$$x_{cr1} := \frac{x_f + x_p}{2} = 0.864$$

б) в нижней части колонны

$$x_{cr2} := \frac{x_f + x_w}{2} = 0.364$$

Средние концентрации пара находим по уравнениям рабочих линий:

а) в верхней части колонны

$$y_{cr1} := 0.647 \cdot x_{cr1} + 0.353 = 0.912$$

б) в нижней части колонны

$$y_{cr2} := 1.132 \cdot x_{cr2} + 1.512 \cdot 10^{-5} = 0.412$$

Средние температуры пара определяем по t-x,y диаграмме (рис.7)

а) при $y_{cr1} = 0.912$

$$t_{cr1} := -170.93 \text{ C} \quad T_{cr1} := T_0 + t_{cr1} = 102.07 \text{ K}$$

б) при $y_{cr2} = 0.412$

$$t_{cr2} := -162.66 \text{ C} \quad T_{cr2} := T_0 + t_{cr2} = 110.34 \text{ K}$$

Средние молярные массы и плотности пара:

$$а) M_{cr1} := y_{cr1} \cdot M_{N2} + (1 - y_{cr1}) \cdot M_{O2} = 28.353 \quad \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$$

$$\rho_{cr1} := \frac{M_{cr1} \cdot T_0}{22.4 \cdot T_{cr1}} = 3.385 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$б) M_{cr2} := y_{cr2} \cdot M_{N2} + (1 - y_{cr2}) \cdot M_{O2} = 30.353 \quad \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$$

$$\rho_{cr2} := \frac{M_{cr2} \cdot T_0}{22.4 \cdot T_{cr2}} = 3.353 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Средняя плотность пара в колонне:

$$\rho_p := \frac{\rho_{cr1} + \rho_{cr2}}{2} = 3.369 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad x_p = 1$$
$$y_p := 1$$

Температура вверху колонны при

$$t_p := -170.93 \text{ C} \quad T_p := t_p + T_0 = 102.07 \text{ K}$$

в кубе испарителя при $y_w := 1$

$$t_w := -162.66 \text{ C} \quad T_w := t_w + T_0 = 110.34 \text{ K}$$

(по t-x,y диаграмме)

Плотность жидкого азота при $t_p = -170.93 \text{ C}$ $\rho_{N2} := 717 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ [с.434,1]

Плотность жидкого кислорода при $t_w = -162.66 \text{ C}$ $\rho_{O2} := 929.5 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ [с.478,1]

Принимаем среднюю плотность жидкости в колонне

$$\rho_{zh} := \frac{\rho_{N2} + \rho_{O2}}{2} = 823.25 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Определение скорости пара в колонне

Коэффициент C , зависящий от конструкции тарелок, расстояния между тарелками, рабочего давления в колонне, нагрузки колонны по жидкости (задаемса им сами):

$$C := 0.008$$

Расстояние между тарелками принимаем 200 мм:

$$h := 0.2 \text{ м}$$

$$w := C \cdot \sqrt{\frac{\rho_{zh}}{\rho_p}} = 0.125 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Нахождение объемного расхода, проходящего через колонну пара

Средняя температура в колонне:

$$t_{cr} := \frac{t_{cr1} + t_{cr2}}{2} = -166.795 \text{ C} \quad T_{cr} := T_0 + t_{cr} = 106.205 \text{ K}$$

Мольная масса дистиллята:

$$M_p := x_p \cdot M_{N_2} + (1 - x_p) \cdot M_{O_2} = 28 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$$

Тогда объемный расход проходящего через колонну пара при средней температуре в колонне составит:

$$V := \frac{G_p \cdot (R + 1) \cdot 22.4 \cdot T_{cr} \cdot P_0}{M_p \cdot T_0 \cdot P} = 0.027 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Диаметр колонны:

$$D := \sqrt{\frac{V}{0.785 \cdot w}} = 0.521 \text{ м}$$

Принимаем $D := 0.5 \text{ м}$

Тогда скорость пара в колонне:

$$w := \frac{V}{0.785 \cdot D^2} = 0.136 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2.2. Определение действительного числа тарелок

По справочным данным при расчете ректификации воздуха как бинарной смеси, КПД принимается равным 0.5.

$$\eta := 0.5$$

Действительное число тарелок: $N_d := \frac{N}{\eta} = 90$

Из них 58 в укрепляющей части колонны и 32 в исчерпывающей.

$$N_d := 92$$

Принимаем большее число тарелок с запасом:

Для укрепляющей части колонны - 59 тарелок.

Для исчерпывающей части колонны - 33 тарелки.

2.3 Определение высоты колонны

Высота тарельчатой части колонны:

$$H_t := h \cdot (N_d - 1) = 18.2$$

Высота кубовой части ректификационной колонны диаметром 400-800 мм по рекомендациям (1-3)D

Принимаем $H_k := 0.8$ м

Высота части ректификационной колонны, расположенной выше верхней тарелки принимается равной (0.5-1)D

Принимаем $H_s := 0.4$ м

Высоту колонны определяем по формуле:

$$H := H_t + H_k + H_s = 19.4 \text{ м}$$

3. Тепловой расчет

при $t_p = -170.93$ С

Удельные теплоты конденсации азота и кислорода в укрепляющей части колонны:

$$r_{N_2} := 170800 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \quad [\text{с.434,1}] \quad r_{O_2} := 207200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \quad [\text{с.478,1}]$$

$$r_p := \frac{x_{pv}}{100} \cdot r_{N_2} \cdot \left(1 - \frac{x_{pv}}{100}\right) \cdot r_{O_2} = 3.539 \times 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Расход теплоты, отдаваемой жидкому кислороду в конденсаторе-дефлегматоре:

$$Q_p := G_p \cdot 3600 \cdot (1 + R) \cdot r_p \quad Q_p = 7.635 \times 10^8 \text{ Вт}$$

4. Механический расчет колонны

По итогу технологического расчета определены внутренний диаметр колонны - 0.5 м и высота колонны - 19.4 м. Тарелки по конструкторскому решению берем неразборные. Колонну принимаем цельносварной.

Материал колонны - 12Х18Н10Т, материал тарелок - алюминиевый сплав АмцС. Тарелки ситчатой конструкции.

$$H := 19.4 \text{ м}$$

$$D = 0.5 \text{ м}$$

$$g := 9.8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

4.1 Расчетное давление

$$P_r := 0.7 \quad \text{Рабочее давление в колонне, МПа}$$

$$\text{Гидростатическое давление:} \quad P_g := \rho_{zh} \cdot g \cdot H \cdot 10^{-6} = \text{МПа}$$

Так как гидростатическое давление равно 5% от рабочего, оно не учитывается.

Пробное давление при гидроиспытаниях:

$$P_r \cdot 0.005 = 3.5 \times 10^{-3} \text{ МПа} \quad P_{пр} := 1.25 \cdot P_r = 0.875 \text{ МПа}$$

Расчетная температура $t_r := 20 \text{ C}$

Допускаемое напряжение стали 12Х18Н10Т при расчетной температуре:

$$t_r := 20 \text{ C} \quad \sigma_d := 184 \text{ МПа}$$

Коэффициент сварного шва для автоматической дуговой электросварки:

$$\phi := 1 \text{ [с.25,2]}$$

$$\sigma := \sigma_d \cdot \phi = 184 \text{ МПа} \quad \text{[с.11,2]}$$

При гидравлических испытаниях: $\sigma_{t20} := 240 \text{ МПа}$ - для стали 12Х18Н10Т при температуре $t_r := 20 \text{ C}$

$$\sigma_i := \frac{\sigma_{t20}}{1.1} = 218.182 \text{ МПа}$$

Прибавка к расчетной толщине стенки:

Скорость коррозии стали 12Х18Н10Т составляет $\Pi := 0.005 \frac{\text{мм}}{\text{год}}$

Срок эксплуатации ориентировочно $\tau := 20 \text{ лет}$

Для компенсации коррозии $c_k := \Pi \cdot \tau = 0.1 \text{ мм}$

Для компенсации эрозии $c_e := 0$

$$c_1 := c_k + c_e = 0.1 \text{ мм}$$

$$c_2 := 0 \quad c_3 := 0 \quad c := c_1 + c_2 + c_3 = 0.1 \text{ мм}$$

Принимаем $\underline{c} := 0.001 \text{ м}$

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки

$$\underline{s}_r := \max\left(\frac{P_r \cdot D}{2 \cdot \sigma \cdot \phi - P_r}, \frac{P_r \cdot D}{2 \cdot \sigma_i \cdot \phi - P_r}\right) = 9.529 \times 10^{-4} \text{ м}$$

$$\underline{s}_{\text{mm}} := s_r + c = 1.953 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Принимаем исполнительную толщину стенки: $\underline{S} := 0.005 \text{ м}$

Условие применимости формул для сталей:

$$\text{Usl} := \begin{cases} \text{"Условие применимости формул выполняется"} & \text{if } \frac{S - c}{D} < 0.1 \\ \text{"Условие применимости формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl = "Условие применимости формул выполняется"

Допускаемое давление в рабочем состоянии: $p := \frac{2 \cdot \sigma \cdot \phi \cdot (S - c)}{D + S - c} = 2 \text{ МПа}$

Расчетное давление в рабочем состоянии: $P_r = 0.7 \text{ МПа}$

При испытаниях: $P_{pr} := \frac{2 \cdot \sigma_i \cdot \phi \cdot (S - c)}{D + S - c} = 3.463 \text{ МПа}$

$$\text{Usl}_1 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{pr} < P_{pr} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl₁ = "Условие прочности выполняется"

Вывод: при полученной толщине стенки = 5 мм обеспечивается прочность цилиндрической обечайки корпуса в рабочем состоянии и в условиях испытания.

4.2 Расчет толщины стенки эллиптической крышки и днища

$$S_e := S_r + c = 2.004 \times 10^{-3} \text{ м}$$

$$S_r := \max\left(\frac{P_r \cdot D}{2 \cdot \sigma \cdot \phi - 0.5 \cdot P_r}, \frac{P_{pr} \cdot D}{2 \cdot \sigma_1 \cdot \phi - 0.5 \cdot P_{pr}}\right) = 1.004 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Принимаем толщину стенки: $S_e := 0.005 \text{ м}$

$$Usl_2 := \begin{cases} \text{"Условие применимости формул выполняется"} & \text{if } \frac{S_e - c}{D} < 0.1 \\ \text{"Условие применимости формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_2 = \text{"Условие применимости формул выполняется"}$

Допускаемое напряжение в рабочем состоянии

$$p_w := \frac{2 \cdot \sigma \cdot \phi \cdot (S_e - c)}{D + 0.5 \cdot (S_e - c)} = 2.932 \text{ МПа}$$

Расчетное давление $P_r = 0.7 \text{ МПа}$

$$Usl_3 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_r < p_w \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_3 = \text{"Условие прочности выполняется"}$

При испытаниях: $p_i := \frac{(2 \cdot \sigma_1 \cdot \phi) \cdot (S_e - c)}{[D + 0.5 \cdot (S_e - c)]} = 3.477 \text{ МПа}$

Расчетное пробное давление: $P_{pr} = 0.875 \text{ МПа}$

$$Usl_4 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{pr} < p_i \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_4 = \text{"Условие прочности выполняется"}$

Вывод: При исполнительной толщине эллиптической крышки и днища 5 мм условия прочности выполняются.

$$\frac{5}{500} = 0.01 \quad \text{Следовательно, аппарат тонкостенный.}$$

4.3 Сливные и переливные перегородки

Если нет переливных перегородок, то глубина погружения сливной трубы в жидкость на нижележащей тарелке должна быть меньше сливной на 10-30 мм. Если же переливные перегородки есть, то переливная перегородка меньше сливной, чтобы обеспечить гидравлический затвор и закрыть доступ пара в сливную трубу.

Высота жидкости над прорезями - 5мм

Высота сливной перегородки $h_s := 0.02$ м

Высота переливной перегородки $h_p := 0.01$ м

4.4 Расчет тарелок

Исходные данные:

Высота слоя жидкости, м

$$h := 0.02$$

Плотность среды, кг/м³

$$\rho_{zh} = 823.25$$

Диаметр отверстий на тарелке, м

$$d_0 := 0.004$$

Шаг отверстий, м

Плотность материала тарелки,

$$t := 0.012$$

кг/
м³

$$\rho_m := 2750$$

Свободное сечение тарелки

8%

Прибавка к расчетной толщине стенки, м

$$c = 1 \times 10^{-3}$$

Ускорение свободного падения, м/с²

$$g := 9.8$$

Решение

Диски тарелок бескаркасного типа можно рассматривать как тонкие, круглые пластины, опертые по контуру и нагруженные равномерной нагрузкой от собственного веса и веса жидкости.

Предел прочности материала АмцС при температуре 20 С [2]

$$\sigma_v := 120 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение материала АмцС при температуре 20С

$$\sigma_m := \frac{\sigma_v}{2.5} = 48 \text{ МПа}$$

Плотность материала АмцС

$$\rho_m = 2.75 \times 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad [2]$$

Площадь поверхности тарелки: $F := \pi \cdot \frac{(D)^2}{4} = 0.196 \text{ м}^2$

Площадь свободного сечения тарелки $f := F \cdot 0.08 = 0.016 \text{ м}^2$

Площадь слива для колонн диаметром 500 мм: $f_s := 0.007 \text{ м}^2$

Масса жидкости на тарелке: $m := (F - f_s - f) \cdot h \cdot \rho_{zh} = 2.859 \text{ кг}$

Нагрузка от веса жидкости: $Q := m \cdot g = 28.018$

Расчетная толщина тарелки в первом приближении (принимается) $s_1 = 0.002 \text{ м}$

Тогда масса тарелки: $mt := (F - f_s - f) \cdot s_1 \cdot \rho_m = 0.955 \text{ кг}$

Нагрузка от веса тарелки: $Qt := mt \cdot g = 9.359 \text{ Н}$

Равномерная нагрузка будет: $P := \frac{Q + Qt}{0.785 \cdot D^2} = 190.459 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$

Проверка выбранной толщины стенки: $S_t := D \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot P}{16 \cdot \sigma \cdot 10^6}} + c = 1.284 \times 10^{-3} \text{ м}$

Выбранной толщины хватает для необходимой нагрузки.

$S_t := 0.002 \text{ м}$ при $D = 0.5 \text{ м}$

$\mu := 0.3$ Коэффициент Пуассона [2]

Модуль упругости: $E := 0.78 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ [2]

Цилиндрическая жесткость: $N := \frac{E \cdot S_t^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} = 5.714 \times 10^{-5} \text{ МН}$

Прогиб в центре пластины:

$W := 4.08 \cdot \frac{P \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^4}{64 \cdot N} = 8.3 \times 10^{-4} \text{ м}$

$W < W_{\text{доп}}$ и $W < 3 \text{ мм}$ условие жесткости выполняется

Максимальное напряжение для тарелки, которое будет действовать по ее контуру:

$$\sigma_{\max} := \frac{3 \cdot P \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2}{4 \cdot N^2} = 2.734 \times 10^3 \text{ Па}$$

$$Usl_5 := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_{\max} < \sigma_m \cdot 10^6 \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Вывод: выбранная толщина тарелки, равная 2 мм, полностью удовлетворяет всем условиям прочности и устойчивости.

4.5 Определение диаметра патрубка для исходной смеси

Плотность жидкого азота при температуре на входе $t_f := -172 \text{ C}$

$$\rho_{fN_2} := 689 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad [\text{с.434,1}]$$

Плотность жидкого кислорода при температуре на входе $t_f := -172 \text{ C}$

$$\rho_{fO_2} := 1115 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad [\text{с.478,1}]$$

$$\text{Плотность исходной смеси: } \rho_f := \left(\frac{\frac{x_f}{100}}{\rho_{fN_2}} + \frac{1 - \frac{x_f}{100}}{\rho_{fO_2}} \right)^{-1} = 1.11 \times 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Скорость потока жидкости в штуцерах находится в интервале 0.5 - 2 м/с, примем скорость потока исходной смеси:

$$w_f := 1.5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\text{Диаметр патрубка: } d_f := \sqrt{\frac{G_f}{0.785 \cdot \rho_f \cdot w_f}} = 0.015 \text{ м}$$

Принимаем трубу наружным диаметром 25 мм и толщиной стенки 2.5 мм.
[6]

Наружный вылет патрубка - 200 мм

Внутренний вылет патрубка - 50 мм

4.6 Определение диаметра патрубка для отвода кубовой жидкости

Плотность жидкого азота при температуре внизу колонны

$$t_w = -162.66 \text{ C} \quad \rho_{wN_2} := 689 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad [\text{с.434,1}]$$

Плотность жидкого кислорода при температуре внизу колонны

$$t_f = -172 \text{ C} \quad \rho_{O_2} := 1115 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad [\text{с.478,1}]$$

Плотность исходной смеси:

$$\rho_w := \left(\frac{x_w}{100} \cdot \rho_{wN_2} + \frac{1 - \frac{x_w}{100}}{\rho_{O_2}} \right)^{-1} = 1.115 \times 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Тогда диаметр патрубка:

$$d_w := \sqrt{\frac{G_w}{0.785 \cdot \rho_w \cdot w_f}} = 8.307 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Принимаем трубу наружным диаметром 20 мм и толщиной стенки 2.5 мм. [6]

Наружный вылет патрубка - 200 мм

Внутренний вылет патрубка - 0 мм

4.7 Определение диаметра патрубка для отвода пара-дистиллята

Средний мольный состав пара:

$$y_p := 0.657 \cdot x_p + 0.343 = 1$$

Скорость потока пара в штуцерах принимается в пределах 10 - 30 м/с. Пусть

$$w_p := 15 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Мольная масса пара:

$$M_p := M_{N_2} \cdot y_p + M_{O_2} \cdot (1 - y_p) = 28 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$$

Плотность пара вычисляем по формуле:

$$\rho_p := \frac{M_p \cdot T_0}{22.4 \cdot T_p} = 3.343 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Расчетный диаметр патрубка пара-дистиллята:

$$d_p := \sqrt{\frac{G_p}{0.785 \cdot \rho_p \cdot w_p}} = 0.073 \text{ м}$$

Принимаем трубу наружным диаметром 76 мм и толщиной стенки 3 мм. [6]

Наружный вылет патрубка - 150 мм

Внутренний вылет патрубка 50 мм

Примем патрубки по ГОСТу. [6]

Для подвода флегмы принимаем патрубок, изготовленный из трубы наружным диаметром 25 мм и толщиной стенки 2.5 мм.

$$d_{fl} := 0.02 \text{ м}$$

Для манометра принимаем патрубок, изготовленный из труб наружным диаметром 12 мм и толщиной стенки 2 мм.

$$d_m := 0.008 \text{ м}$$

Для отбора жидкого азота на орошение верхней колонны принимаем патрубок, изготовленный из трубы наружным диаметром 25 мм и толщиной стенки 2.5 мм.

$$d_{otb} := 0.02 \text{ м}$$

Для уровнемера принимаем патрубок, изготовленный из трубы наружным диаметром 12 мм и толщиной стенки 2 мм.

$$d_y := 0.008 \text{ м}$$

Для предохранительного клапана принимаем патрубок, изготовленный из трубы наружным диаметром 12 мм и толщиной стенки 2 мм.

$$d_{prk} := 0.008 \text{ м}$$

Для преобразователя измерительного принимаем патрубок, изготовленный из трубы наружным диаметром 12 мм и толщиной стенки 2 мм.

$$d_i := 0.008 \text{ м}$$

Для слива лишней жидкости из куба в испаритель принимаем патрубок, изготовленный из трубы наружным диаметром 45 мм и толщиной стенки 2.5 мм.

$$d_{sliv} := 0.04 \text{ м}$$

4.8 Укрепление отверстий

$$\underline{D} := 1000 \cdot D = 500 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр цилиндрической обечайки: $D_r := 0.5 \text{ м}$

$$\underline{S} := 1000 \cdot S = 5 \text{ мм}$$

$$\underline{c} := 1000 \cdot c = 1 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр эллиптической крышки и днища

Расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптического днища:

$$\begin{aligned} r &< 0.4 \cdot D - 0.5 \cdot (d \cdot 1000 + 2 \cdot S) & r_{fl} &:= 90 \text{ мм} \\ 0.4 \cdot D - 0.5 \cdot (d_{fl} \cdot 1000 + 2 \cdot S) &= 185 \text{ мм} & r_{otb} &:= 0 \text{ мм} \\ 0.4 \cdot D - 0.5 \cdot (d_p \cdot 1000 + 2 \cdot S) &= 158.364 \text{ мм} & r_{otb} &:= 175 \text{ мм} \\ 0.4 \cdot D - 0.5 \cdot (d_{otb} \cdot 1000 + 2 \cdot S) &= 185 \text{ мм} & r_{sliv} &:= 90 \text{ мм} \\ 0.4 \cdot D - 0.5 \cdot (d_{sliv} \cdot 1000 + 2 \cdot S) &= 175 \text{ мм} & r_y &:= 175 \text{ мм} \end{aligned}$$

В расчете штуцера для уровнемера нет нужды, т.к. его параметры полностью совпадают с параметрами штуцера отбора азота на орошение верхней колонны.

Расчетный диаметр эллиптического днища:

$$\begin{aligned} D_{re_{fl}} &:= 2 \cdot D \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{r_{fl}}{D}\right)^2} = 950.158 \text{ мм} \\ D_{re_p} &:= 2 \cdot D \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{r_p}{D}\right)^2} = 1 \times 10^3 \text{ мм} \\ D_{re_{otb}} &:= 2 \cdot D \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{r_{otb}}{D}\right)^2} = 795.299 \text{ мм} \\ D_{re_{sliv}} &:= 2 \cdot D \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{r_{sliv}}{D}\right)^2} = 950.158 \text{ мм} \end{aligned}$$

Расчетные диаметры отверстий:

Параметры штуцеров для отвода кубовой жидкости полностью совпадают с параметрами штуцера ввода флегмы. Штуцеры манометра, уровнемера, преобразователя измерительного также не рассчитываем, т.к. их

параметры полностью совпадают с параметрами штуцера предохранительного клапана.

$$d_{fr} := d_f \cdot 1000 + 2 \cdot c = 17.199 \text{ мм}$$

$$d_{wr} := d_w \cdot 1000 + 2 \cdot c = 10.307 \text{ мм}$$

$$d_{pr} := d_n \cdot 1000 + 2 \cdot c = 75.272 \text{ мм}$$

$$d_{flr} := d_{fl} \cdot 1000 + 2 \cdot c = 22 \text{ мм}$$

$$d_{otbr} := d_{otb} \cdot 1000 + 2 \cdot c = 22 \text{ мм}$$

$$d_{prkr} := d_{prk} \cdot 1000 + 2 \cdot c = 10 \text{ мм}$$

$$d_{slivr} := d_{sliv} \cdot 1000 + 2 \cdot c = 42 \text{ мм}$$

Расчетные толщины стенки штуцера:

$$s_{fr} := \frac{P_r \cdot (d_f \cdot 1000 + 2 \cdot c)}{2 \cdot \phi \cdot \sigma - P_r} = 0.033 \text{ мм}$$

$$s_{pr} := \frac{P_r \cdot (d_p \cdot 1000 + 2 \cdot c)}{2 \cdot \phi \cdot \sigma - P_r} = 0.143 \text{ мм}$$

$$s_{wr} := \frac{P_r \cdot (d_w \cdot 1000 + 2 \cdot c)}{2 \cdot \phi \cdot \sigma - P_r} = 0.02 \text{ мм}$$

$$s_{flr} := \frac{P_r \cdot (d_{fl} \cdot 1000 + 2 \cdot c)}{2 \cdot \phi \cdot \sigma - P_r} = 0.042 \text{ мм}$$

$$s_{otbr} := \frac{P_r \cdot (d_{otb} \cdot 1000 + 2 \cdot c)}{2 \cdot \phi \cdot \sigma - P_r} = 0.042 \text{ мм}$$

$$s_{prkr} := \frac{P_r \cdot (d_{prk} \cdot 1000 + 2 \cdot c)}{2 \cdot \phi \cdot \sigma - P_r} = 0.019 \text{ мм}$$

$$s_{slivr} := \frac{P_r \cdot (d_{sliv} \cdot 1000 + 2 \cdot c)}{2 \cdot \phi \cdot \sigma - P_r} = 0.08 \text{ мм}$$

Расчетные величины внешних и внутренних частей штуцеров, участвующих в укреплении и учитываемые при расчете:

$$\begin{array}{llll} l1_f := 150 \text{ мм} & l1_{sliv} := 200 \text{ мм} & l1_{fl} := 90 \text{ мм} & l1_{otb} := 150 \text{ мм} \\ l2_f := 20 \text{ мм} & l2_{sliv} := 0 \text{ мм} & l3_{fl} := 90 \text{ мм} & l3_{otb} := 120 \text{ мм} \\ l1_{prk} := 60 \text{ мм} & l3_{prk} := 20 \text{ мм} & & \end{array}$$

$c = 1$ Прибавка на коррозию и эрозию

$S = 5$ Толщина стенки цилиндрической обечайки

$$l_{f_{r1}} := \min \left[l_{1f}, 1.25 \cdot \sqrt{(d_f \cdot 1000 + 2 \cdot c) \cdot (S - c)} \right] = 10.368 \text{ мм}$$

$$l_{p_{r1}} := \min \left[l_{1p}, 1.25 \cdot \sqrt{(d_p \cdot 1000 + 2 \cdot c) \cdot (S - c)} \right] = 21.69 \text{ мм}$$

$$l_{w_{r1}} := \min \left[l_{1w}, 1.25 \cdot \sqrt{(d_w \cdot 1000 + 2 \cdot c) \cdot (S - c)} \right] = 8.026 \text{ мм}$$

$$l_{prk_{r1}} := \min \left[l_{1prk}, 1.25 \cdot \sqrt{(d_{pr} + 2 \cdot c) \cdot (S - c)} \right] = 21.976 \text{ мм}$$

$$l_{fl_{r1}} := \min \left[l_{1fl}, 1.25 \cdot \sqrt{(d_{fl} \cdot 1000 + 2 \cdot c) \cdot (S - c)} \right] = 11.726 \text{ мм}$$

$$l_{otb_{r1}} := \min \left[l_{1otb}, 1.25 \cdot \sqrt{(d_{otb} \cdot 1000 + 2 \cdot c) \cdot (S - c)} \right] = 11.726 \text{ мм}$$

$$l_{sliv_{r1}} := \min \left[l_{1sliv}, 1.25 \cdot \sqrt{(d_{sliv} \cdot 1000 + 2 \cdot c) \cdot (S - c)} \right] = 16.202 \text{ мм}$$

$$l_{f_3} := \min \left[l_{3f}, 1.25 \cdot \sqrt{(d_f + 2 \cdot c) \cdot (S - c)} \right] = 3.549 \text{ мм}$$

$$l_{p_3} := \min \left[l_{3p}, 1.25 \cdot \sqrt{(d_p \cdot 1000 + 2 \cdot c) \cdot (S - c)} \right] = 20 \text{ мм}$$

$$l_{r1} := \min \left[l_{1f}, 1.25 \cdot \sqrt{(d_w \cdot 1000 + 2 \cdot c) \cdot (S - c)} \right] = 8.026 \text{ мм}$$

$$l_{w_3} := \min \left[l_{3f}, 1.25 \cdot \sqrt{(d_w \cdot 1000 + 2 \cdot c) \cdot (S - c)} \right] = 8.026 \text{ мм}$$

$$l_{prk_3} := \min \left[l_{3prk}, 1.25 \cdot \sqrt{(d_{pr} + 2 \cdot c) \cdot (S - c)} \right] = 20 \text{ мм}$$

$$l_{sliv_3} := \min \left[l_{1sliv}, 1.25 \cdot \sqrt{(d_{sliv} \cdot 1000 + 2 \cdot c) \cdot (S - c)} \right] = 16.202 \text{ мм}$$

$$l_{otb_3} := \min \left[l_{3otb}, 1.25 \cdot \sqrt{(d_{otb} \cdot 1000 + 2 \cdot c) \cdot (S - c)} \right] = 11.726 \text{ мм}$$

$$l_{fl_3} := \min \left[l_{3fl}, 1.25 \cdot \sqrt{(d_{fl} \cdot 1000 + 2 \cdot c) \cdot (S - c)} \right] = 11.726 \text{ мм}$$

Ширина зоны укрепления в обечайке и днище:

$$L_0 := \sqrt{D_r \cdot 1000 \cdot (S - c)} = 44.721 \text{ мм}$$

$$L_{0ep} := \sqrt{D_{rep} \cdot (S - c)} = 63.246 \text{ мм}$$

$$L0e_{sliv} := \sqrt{Dre_{sliv} \cdot (S - c)} = 61.649 \text{ мм}$$

$$L0e_{fl} := \sqrt{Dre_{fl} \cdot (S - c)} = 61.649 \text{ мм}$$

$$L0e_{otb} := \sqrt{Dre_{otb} \cdot (S - c)} = 56.402 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия, не требующий укрепления при отсутствии избыточной толщины стенок сосуда, днища и крышки:

$$d_{0r} := 0.4 \cdot \sqrt{Dr \cdot 1000 \cdot (S - c)} = 17.889 \text{ мм}$$

$$d_{0re} := 0.4 \cdot \sqrt{Dr \cdot 1000 \cdot (Se \cdot 1000 - c)} = 17.889 \text{ мм}$$

$$d_{0r} := 0.4 \cdot \sqrt{Dr \cdot 1000 \cdot (S - c)} = 17.889 \text{ мм}$$

Отверстия для штуцеров манометра, уровнемера, предохранительного клапана, преобразователя измерительного в укреплении не нуждаются.

Принимаем начальную толщину укрепления $\delta_{ут} := 0 \text{ мм}$

Расчетная длина образующей оболочки в зоне укрепления:

$$L0 := \sqrt{Dr \cdot 1000 \cdot (s_{yr} + S - c)} = 44.721 \text{ мм}$$

$$L0e_p := \sqrt{Dre_p \cdot (s_{yr} + S - c)} = 63.246 \text{ мм}$$

$$L0e_{sliv} := \sqrt{Dre_{sliv} \cdot (s_{yr} + S - c)} = 61.649 \text{ мм}$$

$$L0e_{fl} := \sqrt{Dre_{fl} \cdot (s_{yr} + S - c)} = 61.649 \text{ мм}$$

$$L0e_{otb} := \sqrt{Dre_{otb} \cdot (s_{yr} + S - c)} = 56.402 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки штуцера из того же материала, что и колонна 12X18H10T

$$\sigma_{sh} := \sigma = 184 \text{ МПа}$$

$$sr_{shf} := \frac{P_r \cdot (d_f \cdot 1000 + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma \cdot \phi - P_r} = 0.033 \text{ мм}$$

$$sr_{shp} := \frac{P_r \cdot (d_p \cdot 1000 + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma \cdot \phi - P_r} = 0.143 \quad \text{MM}$$

$$sr_{shw} := \frac{P_r \cdot (d_w \cdot 1000 + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma \cdot \phi - P_r} = 0.02 \quad \text{MM}$$

$$sr_{shfl} := \frac{P_r \cdot (d_{fl} \cdot 1000 + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma \cdot \phi - P_r} = 0.042 \quad \text{MM}$$

$$sr_{shotb} := \frac{P_r \cdot (d_{otb} \cdot 1000 + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma \cdot \phi - P_r} = 0.042 \quad \text{MM}$$

$$sr_{shsliv} := \frac{P_r \cdot (d_{sliv} \cdot 1000 + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma \cdot \phi - P_r} = 0.08 \quad \text{MM}$$

$$k1 := \frac{\sigma}{\sigma_{sh}} = 1 \quad k2 := k1 = 1$$

$$sr := 1000 \cdot sr = 0.953 \quad \text{MM}$$

Используем комбинированное укрепление приварным кольцом снаружи.

$$\text{Стенки всех укрепляемых штуцеров: } S_{sh} := 2.5 \quad \text{MM}$$

$$\text{Но стенка штуцера вывода паров дистиллята: } S_{shp} := S$$

Условие укрепления отверстия комбинированным способом:

$$A := If_{r3} \cdot (S_{sh} - 2 \cdot c) + \sqrt{Dr \cdot 1000 \cdot (syr + S - c) \cdot (k2 \cdot syr + S - sr - c)} = 138.045$$

$$Z := (If_{r1} + syr + S - sr - c) \cdot (0.8 \cdot S_{sh} - sr_{shf} - c) + A = 151.02$$

$$Z_z := 0.5 \cdot (d_{fr} - d_{0r}) \cdot sr = -0.328$$

$$Usl_6 := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстий выполняется. Приварное кольцо не требуется."} & \text{if } Z_z < Z \\ \text{"Условие укрепления отверстий НЕ выполняется. Требуется приварное кольцо."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_6 = \text{"Условие укрепления отверстий выполняется. Приварное кольцо не требуется."}$$

$$A := If_{r3} \cdot (S_{sh} - 2 \cdot c) + \sqrt{Dre_{fl} \cdot (syr + S - c) \cdot (k2 \cdot syr + S - sr - c)} = 193.715$$

$$Z := (If_{r1} + syr + S - sr - c) \cdot (0.8 \cdot S_{sh} - sr_{shfl} - c) + A = 207.868$$

$$Z_z := 0.5 \cdot (d_{fr} - d_{0r}) \cdot sr = 1.959$$

$$Usl_7 := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстий выполняется. Приварное кольцо не требуется."} & \text{if } Z_z < Z \\ \text{"Условие укрепления отверстий НЕ выполняется. Требуется приварное кольцо."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl₇ = "Условие укрепления отверстий выполняется. Приварное кольцо не требуется."

$$A_{\text{slv}} := l_{r3} \cdot (S_{shp} - 2 \cdot c) + \sqrt{Dre_p \cdot (syr + S - c)} \cdot (k2 \cdot syr + S - sr - c) = 252.716$$

$$A_{\text{slv}} := l_{slvr3} \cdot (S_{sh} - 2 \cdot c) + \sqrt{Dre_{slvr} \cdot (syr + S - c)} \cdot (k2 \cdot syr + S - sr - c) = 195.952$$

$$Z_{\text{slv}} := (l_{slvr1} + syr + S - sr - c) \cdot (0.8 \cdot S_{sh} - sr_{shslvr} - c) + A = 213.661$$

$$Z_z := 0.5 \cdot (d_{slvr} - d_{0r}) \cdot sr = 11.488$$

$$Usl_9 := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстий выполняется. Приварное кольцо не требуется."} & \text{if } Z_z < Z \\ \text{"Условие укрепления отверстий НЕ выполняется. Требуется приварное кольцо."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl₉ = "Условие укрепления отверстий выполняется. Приварное кольцо не требуется."

$$A_{\text{otb}} := l_{otbr3} \cdot (S_{sh} - 2 \cdot c) + \sqrt{Dre_{otb} \cdot (syr + S - c)} \cdot (k2 \cdot syr + S - sr - c) = 177.726$$

$$Z_{\text{otb}} := (l_{otbr1} + syr + S - sr - c) \cdot (0.8 \cdot S_{sh} - sr_{shotb} - c) + A = 191.88$$

$$Z_z := 0.5 \cdot (d_{otbr} - d_{0r}) \cdot sr = 1.959$$

$$Usl_{10} := \begin{cases} \text{"Условие укрепления отверстий выполняется. Приварное кольцо не требуется."} & \text{if } Z_z < Z \\ \text{"Условие укрепления отверстий НЕ выполняется. Требуется приварное кольцо."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl₁₀ = "Условие укрепления отверстий выполняется. Приварное кольцо не требуется."

Принимаем_{sy} := 0 , то есть приварное кольцо не требуется.

Все отверстия укрепляются с помощью штуцера снаружи и изнутри.

Допускаемое внутреннее избыточное давление узла сопряжения штуцера и стенки аппарата:

k₁ = 1 для обечаек

$$\nu := \min \left[\frac{L0 \cdot (k2 \cdot syr + S - c) + [(l_{r1} + syr + S - sr - c) \cdot (0.8 \cdot S_{sh} - c) + l_{r3} \cdot (S_{sh} - 2 \cdot c)] \cdot k1}{\left[L0 + 0.5 \cdot (d_{fr} - d_{0r}) + k1 \cdot (l_{r1} + syr + 1000 \cdot s - sr - c) \cdot \frac{1000 \cdot d_f + 2 \cdot c}{Dr \cdot 1000} \right] \cdot (S - c)}, 1 \right] = 1$$

$$P_{sh} := \left(2 \cdot k1 \cdot \phi \cdot \sigma \cdot \frac{S - c}{Dr \cdot 1000 + S - c} \right) \cdot \nu = 2.921 \text{ МПа}$$

$$Usl_{11} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } P_r < P_{sh} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_{11} = \text{"Условие прочности выполняется."}$

$k1 := 2$ для выпуклых днищ

$$\nu := \min \left[\frac{L0 \cdot (k2 \cdot syr + S - c) + \left[(fl_{r1} + syr + S - sr - c) \cdot (0.8 \cdot S_{sh} - c) + fl_{r3} \cdot (S_{sh} - 2 \cdot c) \right] \cdot k1}{\left[L0 + 0.5 \cdot (d_{fl} - d_{0r}) + k1 \cdot (fl_{r1} + syr + 1000 \cdot s - sr - c) \cdot \frac{1000 \cdot d_{fl} + 2 \cdot c}{Dr \cdot 1000} \right] \cdot (S - c)}, 1 \right] = 1$$

$$P_{sh} := \left(2 \cdot k1 \cdot \phi \cdot \sigma \cdot \frac{S - c}{Dre_{fl} + S - c} \right) \cdot \nu = 3.085 \text{ МПа}$$

$$Usl_{12} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } P_r < P_{sh} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_{12} = \text{"Условие прочности выполняется."}$

$$\nu := \min \left[\frac{L0 \cdot (k2 \cdot syr + S - c) + \left[(lotb_{r1} + syr + S - sr - c) \cdot (0.8 \cdot S_{sh} - c) + lotb_{r3} \cdot (S_{sh} - 2 \cdot c) \right] \cdot k1}{\left[L0 + 0.5 \cdot (d_{otb} - d_{0r}) + k1 \cdot (lotb_{r1} + syr + 1000 \cdot s - sr - c) \cdot \frac{1000 \cdot d_{otb} + 2 \cdot c}{Dr \cdot 1000} \right] \cdot (S - c)}, 1 \right] = 1$$

$$P_{sh} := \left(2 \cdot k1 \cdot \phi \cdot \sigma \cdot \frac{S - c}{Dre_{fl} + S - c} \right) \cdot \nu = 3.085 \text{ МПа}$$

$$Usl_{13} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } P_r < P_{sh} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_{13} = \text{"Условие прочности выполняется."}$

$Usl_{13} = \text{"Условие прочности выполняется."}$

$$\nu := \min \left[\frac{L0 \cdot (k2 \cdot syr + S - c) + \left[(lsliv_{r1} + syr + S - sr - c) \cdot (0.8 \cdot S_{sh} - c) + lsliv_{r3} \cdot (S_{sh} - 2 \cdot c) \right] \cdot k1}{\left[L0 + 0.5 \cdot (d_{sliv} - d_{0r}) + k1 \cdot (lsliv_{r1} + syr + 1000 \cdot s - sr - c) \cdot \frac{1000 \cdot d_{sliv} + 2 \cdot c}{Dr \cdot 1000} \right] \cdot (S - c)}, 1 \right] = 1$$

$$P_{sh} := \left(2 \cdot k1 \cdot \phi \cdot \sigma \cdot \frac{S - c}{Dre_{sliv} + S - c} \right) \cdot \nu = 3.085 \text{ МПа}$$

$$Usl_{14} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } P_r < P_{sh} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Usl_{14} = \text{"Условие прочности выполняется."}$

Вывод: Условие прочности показывает возможность использования комбинированного укрепления отверстия штуцером с внешней стороны.

4.9 Расчет фланцевого соединения

Для примера расчета взят фланец для патрубка выхода конденсата.

Диаметр штуцера: $d_p := 0.059$ м

Допускаемое напряжение для материала болтов 12X18Н10Т [с.14,2]:

$$\sigma_b := 110 \text{ МПа}$$

Диаметр болтов фланцевого соединения:

Модуль упругости фланца [с.24,2]:

$$E := 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Нормативный зазор между втулкой и гайкой в соответствии с рекомендациями [6]:

$$u := 0.005 \text{ м}$$

Решение

Толщина втулки плоских приварных фланцев: $c := 0.001$ м

$s_0 > s$ Примем $s_0 := 0.004$ м

Высота втулки: $h_b \geq 0.5 \cdot \sqrt{d_p \cdot (s_0 - c)}$

$$h_b := 0.5 \cdot \sqrt{d_p \cdot (s_0 - c)} = 6.652 \times 10^{-3}$$

Примем значение высоты втулки: $h_b := 0.015$ м

Диаметр болтовой окружности плоских приварных фланцев: $d_b := 0.012$ м

$$D_b \geq d_p + 2 \cdot (2 \cdot s_0 + d_b + u)$$

$$D_b := d_p + 2 \cdot (2 \cdot s_0 + d_b + u) = 0.109 \text{ м}$$

Примем: $D_b := 0.120$ м

Usl₁₄ = "Условие прочности выполняется."

Наружный диаметр фланца:

Конструктивную добавку для размещения шестигранных гаек (обычных) по диаметру фланца примем по табл.4 [с.21,3]:

$$a := 0.032 \text{ м}$$

Диаметр отверстия под болт: $d := 0.014 \text{ м}$

$$D_n \geq D_b + a \quad D_n := D_b + a = 0.152 \text{ м}$$

Примем $D_n := 0.155 \text{ м}$

Наружный диаметр прокладки при нормативном параметре, зависящем от типа прокладки:

$e := 0.03 \text{ м}$, так как выбираем плоскую прокладку по табл.1.41 [с.95,8]

$$D_{np} := D_b - e = 0.09 \text{ м}$$

Средний диаметр прокладки:

ширина прокладки плоской, неметаллической по табл.1.42 [с.95,8]

$$b := 0.015 \text{ м}$$

$$D_{sn} := D_{np} - b = 0.075 \text{ м}$$

Количество болтов, необходимое для обеспечения герметичности соединения:

Шаг расположения болтов

$$t_{sh} := 4 \cdot d_b = 0.048 \text{ м}$$

$$n_b := \frac{\pi \cdot D_b}{t_{sh}} = 7.854$$

Применяем $n_b := 8 \text{ шт}$

Высота (толщина) фланца ориентировочно: По рисунку 1.40 [с.97,8] определяем коэффициент:

$$\lambda_f := 0.425$$

Эквивалентная толщина втулки: $\frac{d_p}{s_0} = 14.75$

$\beta_1 := 2.5$ по рисунку 1.39 [с.95,8]

$$s_{ek} := s_0 \cdot \left[1 + \frac{h_b \cdot (\beta_1 - 1)}{h_b + 0.25 \cdot (\beta_1 + 1) \cdot \sqrt{d_p \cdot s_0}} \right] = 7.164 \times 10^{-3} \text{ м}$$

$$h_f \geq \lambda_f \cdot \sqrt{d_p \cdot s_{ek}} \quad \lambda_f \cdot \sqrt{d_p \cdot s_{ek}} = 8.738 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Примем $h_f := 0.01 \text{ м}$

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:

$$F_d := P_r \cdot \pi \cdot \frac{D_{sn}^2}{4} = 3.093 \times 10^{-3} \text{ МН}$$

Выберем прокладку из фторопласта толщиной 2 мм,
для нее: [с.97,8]

$k_{pr} := 2.5$ коэффициент, зависящий от материала и конструкции
прокладки

Толщина

прокладки: $h_{pr} := 0.002 \text{ м}$

Минимальное давление обжатия: $P_{pr} := 10 \text{ МПа}$

Допускаемое давление обжатия прокладки: $P_{dpr} := 40 \text{ МПа}$

Модуль упругости фторопласта: $E_{pr} := 2000 \text{ МПа}$

Эффективная ширина прокладки: $b_0 := b = 0.015 \text{ м}$

Реакция прокладки: $R_p := \pi \cdot D_{sn} \cdot b_0 \cdot k_{pr} \cdot P_r = 6.185 \times 10^{-3}$

Расчетная площадь поперечного сечения болта принимается: $f_b := 1.35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$

Линейная податливость прокладки, при: $k_p := 1$

$$\lambda_f := \frac{h_f}{\sqrt{d_p \cdot s_{ek}}} = 0.486 \text{ МН}$$

Угловая податливость фланца:

$$\chi_{pr} := \frac{k_p \cdot h_{pr}}{E_{pr} \cdot \pi \cdot D_{sn} \cdot b} = 2.829 \times 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{МН}}$$

безразмерные параметры

$$\psi_1 := 1.28 \cdot \log\left(\frac{D_n}{d_p}\right) = 0.537 \quad \psi_2 := \frac{D_n + d_p}{D_n - d_p} = 2.229$$

Приведенный изгибающий момент:

$$M_0 := \max\left[0.5 \cdot [(D_b - D_{sn}) \cdot F_{b1}], 0.5 \cdot \left[[(D_b - D_{sn}) \cdot F_{b2}] + (D_{sn} - d_p - s_{ek}) \cdot F_d\right]\right]$$

$$M_0 := 1.358 \cdot 10^{-3} \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$\sigma_1 := T_f \cdot M_0 \cdot \frac{\nu}{d_p \cdot (S - c)^2} \quad \sigma_1 := 1.596 \cdot 10^{-3} \text{ МПа}$$

Максимальное напряжение в сечении, ограниченном размером S0:

$$f_f := 1 \quad \sigma_0 := f_f \cdot \sigma_1 = 1.596 \times 10^{-3} \text{ МПа}$$

Тангенциальное и меридиональное напряжение во втулке фланца от внутреннего давления:

$$\sigma_t := \frac{P_{pr} \cdot d_p}{2 \cdot (s_0 - c)} = 98.333 \text{ МПа} \quad \sigma_m := \frac{P_{pr} \cdot d_p}{4 \cdot (s_0 - c)} = 49.167 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для фланца в сечении S0, принимаемое при количестве нагружений соединения (сборка-разборка) при $P_r < 4$ МПа:

$$\sigma_{d0} := 0.003 \cdot E = 600 \text{ МПа}$$

Тогда условие прочности втулки фланца:

$$Usl_{18} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } \sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_0 + \sigma_m) \cdot \sigma_t < \phi \cdot \sigma_{d0} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_0 + \sigma_m) \cdot \sigma_t = 85.159 \text{ МПа} \quad \phi \cdot \sigma_{d0} = 600 \text{ МПа}$$

$$Usl_{18} = \text{"Условие прочности выполняется."}$$

$$\nu_{\text{eff}} := \frac{1}{1 + 0.9 \cdot \lambda_f \cdot \left(1 + \psi_1 \cdot \frac{h_f^2}{s_{ek}^2}\right)} = 0.528 \quad \lambda_{f, \text{eff}} := \frac{[1 - \nu \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda_f)] \cdot \psi_2}{h_f^3 \cdot E} = 2.692$$

Расстояние между опорными поверхностями головки болта и гайки:

$$\text{примем } l_{ob} := 0.042 \text{ м}$$

$$\text{Расчетная длина болта: } l_b := l_{ob} + 0.28 \cdot d = 0.046 \text{ м}$$

$$\text{Линейная податливость болтов: } y_b := \frac{l_b}{E \cdot f_b \cdot n_b} = 2.126 \times 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{МН}}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения:

$$k_{zh} := \frac{y_b + 0.5 \cdot y_f \cdot (D_b - d_p - s_{ek}) \cdot (D_b - D_{sn})}{y_p + y_b + 0.5 \cdot y_f \cdot (D_b - D_{sn})^2} = 1.078$$

Болтовая нагрузка в условиях монтажа: [с.93,8]

$$\sigma_{b20} := 130 \text{ МПа}$$

$$\text{Осевое растягивающее усилие: } F_1 := 0.25 \cdot \pi \cdot (d_p + 2 \cdot s \cdot 10^{-6}) \cdot P_r = 0.032 \text{ МН}$$

$$F_{b1} := \max \left[\begin{array}{l} k_{zh} \cdot (F_d - F_1) + R_p \\ 0.5 \cdot \pi \cdot D_{sn} \cdot b_0 \cdot p_{pr} \\ 0.4 \cdot \sigma_{b20} \cdot n_b \cdot f_b \end{array} \right] = 0.056 \text{ МН}$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях

Коэффициент линейного расширения материала болтов и фланцев 12X18H10T:

$$\alpha := 16.6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{C} \quad [c.21,2]$$

$$t_r := 80 \text{ C}$$

Усилие, возникающее от температурных деформаций:

$$F_t := \frac{y_b \cdot n_b \cdot f_b \cdot E \cdot (\alpha \cdot t_r - \alpha \cdot 0.97 \cdot t_r)}{y_p + y_b + 0.5 \cdot y_f \cdot (D_b - D_{sn})^2} = 5.694 \times 10^{-4} \text{ МН}$$

$$F_{b2} := F_{b1} + (1 - k_{zh}) \cdot (F_d - F_1) + F_t = 0.059 \text{ МН}$$

Условия прочности болтов $\frac{F_{b1}}{n_b \cdot f_b} = 52 \text{ МН}$

$$Usl_{15} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } \frac{F_{b1}}{n_b \cdot f_b} < \sigma_{b20} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\sigma_{b20} = 130 \text{ МПа}$$

$$Usl_{15} = \text{"Условие прочности выполняется."}$$

$$Usl_{16} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } \frac{F_{b2}}{n_b \cdot f_b} < \sigma_b \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\frac{F_{b2}}{n_b \cdot f_b} = 54.646 \text{ МПа} \quad \sigma_b = 110 \text{ МПа}$$

$$Usl_{16} = \text{"Условие прочности выполняется."}$$

Условие прочности неметаллических прокладок:

$$\frac{F_{b1}}{\pi \cdot D_{sn} \cdot b} = 15.89 \text{ МПа}$$

$$Usl_{17} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } \frac{F_{b1}}{\pi \cdot D_{sn} \cdot b} < p_{dpr} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$p_{dpr} = 40 \text{ МПа}$$

$$Usl_{17} = \text{"Условие прочности выполняется."}$$

Условие прочности втулки фланца для сечения, ограниченного размером S0:
 безразмерный параметр

$$T_f := \frac{D_n^2 \cdot \left(1 + 8.55 \cdot \log\left(\frac{D_n}{d_p}\right)\right) - d_p^2}{\left(1.05 \cdot d_p^2 + 1.945 \cdot D_n^2\right) \cdot \left(\frac{D_n}{d_p} - 1\right)} = 1.302$$

Безразмерный параметр по рисунку 1.42 [с.101,8]

$$\chi_1 := \frac{h_b}{\sqrt{d_p \cdot s_0}} = 0.976 \quad f_f := 1$$

Приведенный изгибающий момент:

$$M_0 := \max\left[0.5 \cdot (D_b - D_{sn}) \cdot F_{b1}, 0.5 \cdot \left[(D_b - D_{sn}) \cdot F_{b2} + (D_{sn} - d_p - s_{ek}) \cdot F_d\right]\right] = 1.342 \times 10^{-3} \text{ МН} \cdot \text{м}$$

$$\sigma_1 := f_f \cdot \sigma_0 = 1.596 \times 10^{-3} \text{ МПа}$$

Тангенциальное и меридиональное напряжения во втулке фланца от внутреннего давления:

$$\sigma_t := \frac{P_{pr} \cdot d_p}{2 \cdot (s_0 - c)} = 98.333 \text{ МПа} \quad \sigma_m := \frac{P_{pr} \cdot d_p}{4 \cdot (s_0 - c)} = 49.167 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для фланца в сечении S0, принимаемое при количестве нагружений соединения (сборка-разборка) при $P_r < 4$ МПа:

$$\sigma_{d0} := 0.003 \cdot E = 600 \text{ МПа}$$

Тогда условие прочности втулки фланца:

$$U_{sl1g} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется."} & \text{if } \sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_0 + \sigma_m) \cdot \sigma_t < \phi \cdot \sigma_{d0} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{sl1g} = \text{"Условие прочности выполняется."}$

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2} - (\sigma_0 + \sigma_m) \cdot \sigma_t = 85.159 \text{ МПа} \quad \phi \cdot \sigma_{d0} = 600 \text{ МПа}$$

Условие герметичности фланцевого соединения определяется углом поворота фланца. Максимальное напряжение в кольце аппарата:

$$\sigma_k := M_0 \cdot [1 - \nu \cdot (1 + 0.9 \cdot \lambda_f)] \cdot \frac{\psi_2}{d_p \cdot h_f^2} = 122.46 \text{ МПа}$$

Допускаемый угол поворота фланца для плоских приварных:

$$\theta_d := 0.013 \text{ рад}$$

$$\theta := \left(\frac{\sigma_k}{E} \right) \cdot \left(\frac{d_p}{h_f} \right) = 3.613 \times 10^{-3} \text{ рад}$$

$$Usl_{19} := \begin{cases} \text{"Условие герметичности выполняется."} & \text{if } \theta < \theta_d \\ \text{"Условие герметичности НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_{19} = \text{"Условие герметичности выполняется."}$$

Таким образом, подобранный фланец отвечаем всем требованиям прочности. Подобным образом рассчитываются все фланцы. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Фланцы и штуцеры

Наименование штуцера	D _{вн} , мм	d _{вн} , мм	D _ф , мм	D _с , мм	D ₁ , мм	d _с , мм	z	h, мм
Штуцер для ввода исходной смеси	20	25	90	65	50	M10	4	12
Штуцер для ввода флегмы	20	25	90	65	50	M10	4	12
Штуцер для отвода кубового остатка	20	25	90	65	50	M10	4	12
Штуцер для ввода паров дистиллята	59	65	160	130	110	M12	8	13
Штуцер для отбора жидкого азота на орошение верхней колонны	20	25	90	65	50	M10	4	12
Штуцер для манометра	8	12	75	50	35	M10	4	8
Штуцер для дифманометра-уровнемера	8	12	75	50	35	M10	4	8
Штуцер к пусковому клапану	8	12	75	50	35	M10	4	8
Штуцер для преобразователя измерительного	8	12	75	50	35	M10	4	8
Штуцер для слива в испаритель	40	45	130	100	80	M12	4	10

Нормы и методы расчета на прочность [с.1,9]

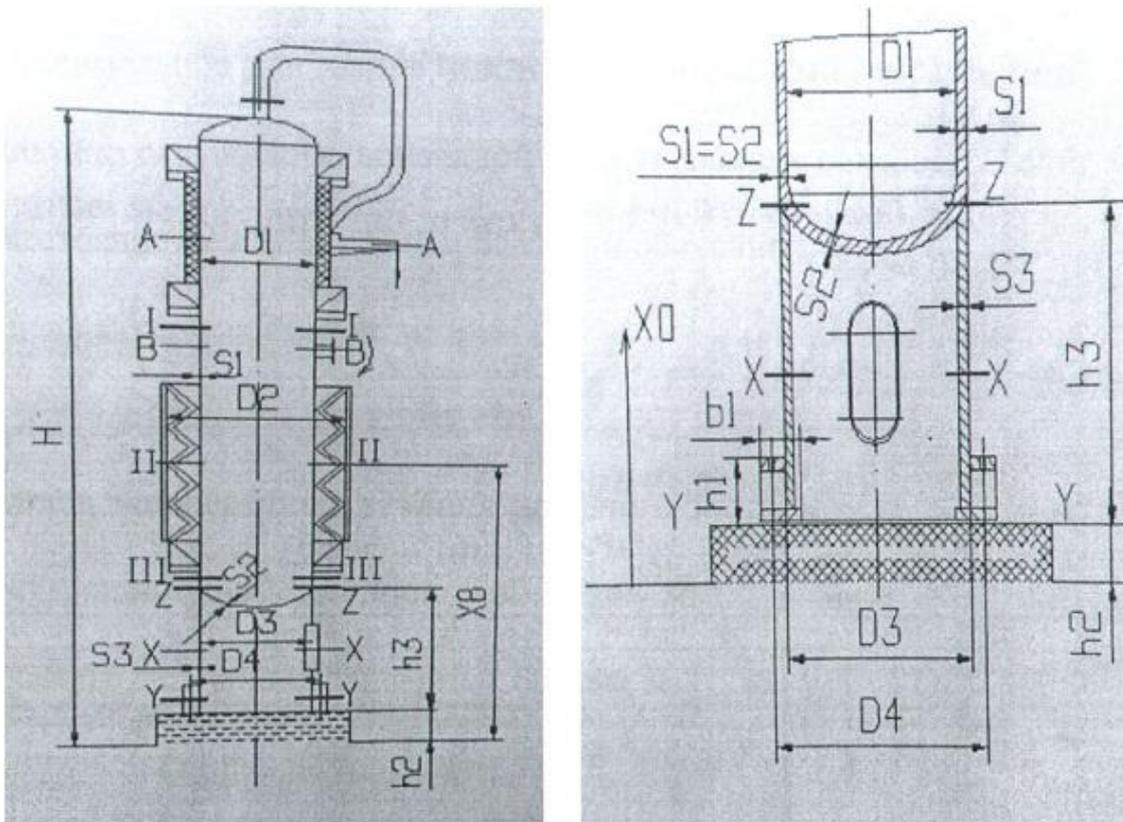
Расчетные сечения

При расчете колонного аппарата устанавливаются следующие основные расчетные сечения:

- поперечное сечение в месте присоединения опорной обечайки к корпусу колонны;
- поперечное сечение опорной обечайки в местах расположения отверстий;
- поперечное сечение в месте присоединения опорного кольца.

Рисунок 8. Расчетные сечения колонного аппарата

Рисунок 9. Цилиндрические опорные обечайки



Исходные данные:

$$\sigma_{\text{ст}} := \sigma \cdot 10^6 = 1.84 \times 10^8 \text{ Па}$$

Допускаемое напряжение для опорной обечайки, выполненной из стали ВСт3, Па [с.13,2]

$$\sigma_{\text{д0}} := 140 \cdot 10^6$$

Допускаемое напряжение в анкерных болтах, Па: $\sigma_{\text{дВ}} := 126 \cdot 10^6$

Допускаемое напряжение бетона на сжатие, Па: $\sigma_{\text{дбет}} := 30 \cdot 10^6$

Толщина сварного шва, м: $a_1 := 0.003$

Исполнительная толщина стенки опорной обечайки, м: $s_3 := 0.01$

Сумма всех прибавок к расчетным толщинам, м: $c_{\Sigma} := 0.001$

Начальный внутренний диаметр анкерных болтов, м: $d_2 := 0.02$

Ширина верхнего опорного элемента, м: $b_5 := 0.12$

Минимальное расстояние между двумя смежными ребрами, м: $b_6 := 0.2$

Максимальное расстояние между двумя смежными ребрами, м: $b_7 := 0.52$

Диаметр окружности, вписанной в шестигранник анкерного болта, м: $e_1 := 0.014$

Расстояние между анкерным болтом и обечайкой, м: $e_2 := 0.045$

Число анкерных болтов: $n := 8$

Высота опорного узла, м: $h_1 := 0.25$

Площадь поперечного сечения анкерного болта, м²: $A_{\sigma} := 3.142 \cdot 10^{-4}$

Внутренний диаметр опорной обечайки, м: $D_3 := 0.506$

Диаметр окружности анкерных болтов, м: $D_4 := 0.6$

Модуль продольной упругости, Па: $E := 2 \cdot 10^{11}$

Коэффициент сварного шва: $\phi_s := 0.6$

Коэффициент сварного шва нижнего опорного узла: $\phi_0 := 1$

Количество расчетных сечений, шт: 6

$$i := 0..5$$

$$s_1 := 0.005$$

Толщина стенки в соответствующем расчетном сечении, м:

$$x_0 := \begin{pmatrix} 3.7 \\ 3.5 \\ 2.9 \\ 2.3 \\ 1.7 \\ 0.5 \end{pmatrix}$$

Наружный диаметр колонны в соответствующем расчетном сечении, м:

Внутренний диаметр колонны в соответствующем расчетном сечении, м:

$$D := \begin{pmatrix} 0.506 \\ 0.506 \\ 0.506 \\ 0.506 \end{pmatrix}$$

$$D_1 := D - 2 \cdot s_1 = \begin{pmatrix} 0.496 \\ 0.496 \\ 0.496 \\ 0.496 \\ 0.496 \end{pmatrix}$$

$$x_0 = \begin{pmatrix} 3.7 \\ 3.5 \\ 2.9 \\ 2.3 \\ 1.7 \\ 0.5 \end{pmatrix}$$

Осевое сжимающее усилие, Н:

- в рабочих условиях $G_{r,max} := 8.145 \cdot 10^3$
- в условиях испытания $G_{p,max} := 2.549 \cdot 10^3$
- в условиях монтажа $G_{m,max} := 1.163 \cdot 10^3$

Изгибающий момент от действия эксцентрических весовых нагрузок в расчетном сечении на высоте X_0 Н*м:

- в рабочих условиях $M_{G1} := 0$
- в условиях испытания $M_{G2} := 0$
- в условиях монтажа $M_{G3} := 0$

Изгибающий момент в расчетном сечении X_0 от действия ветровой нагрузки, с учетом того, что аппарат находится в здании Н*м:

В рабочих
условиях

В условиях испытания

В условиях монтажа

$$M_{v1} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$M_{v2} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$M_{v3} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$x_0 = \begin{pmatrix} 3.7 \\ 3.5 \\ 2.9 \\ 2.3 \\ 1.7 \\ 0.5 \end{pmatrix}$$

Сочетание нагрузок

Рабочие условия:

- Давление, МПа:

- осевое сжимающее усилие, Н:

$$p_1 := P_r = 0.7$$

- расчетный изгибающий момент, Н*м: $F_{1,1} := G_{p,max} = 2.549 \times 10^3$

Условия испытания:

- Давление, МПа:

$$p_2 := P_{pr} = 0.875$$

- осевое сжимающее усилие, Н: $F_2 := G_{r,max} =$

- расчетный изгибающий момент, Н*м:

$$M_2 := M_{G2} \cdot 0.6 \cdot M_{v2} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Условия монтажа:

- Давление, МПа:

$$p_3 := 0$$

- осевое сжимающее усилие, Н: $F_3 := G_{m,max} = 1.163 \times 10^3$

- расчетный изгибающий момент, Н*м: $M_3 := \max(M_{G3} + 0.8 \cdot M_{v3}, M_{G3}) = 0$

4.10 Корпус колонного аппарата

Стенка колонного аппарата должна быть рассчитана на прочность и устойчивость.

Расчет напряжения для рабочих условий: $M_1 := \max(M_{G1} + M_{v1}, M_{G1}) = 0$

Продольные напряжения для расчетных сечений, Па:

$$\sigma_{x1} := \frac{p_1 \cdot (D_1 + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c)} - \frac{F_1}{\pi \cdot D_1 \cdot (s_1 - c)} - \frac{4 \cdot M_1}{\pi \cdot D_1^2 \cdot (s_1 - c)}$$

$$\underline{\sigma_{x1}} := -8.113 \cdot 10^5$$

$$x_0 = \begin{pmatrix} 3.7 \\ 3.5 \\ 2.9 \\ 2.3 \\ 1.7 \\ 0.5 \end{pmatrix}$$

Кольцевые напряжения для расчетных сечений, Па:

$$\sigma_y := \frac{p_1 \cdot (D_1 - s_1)}{2 \cdot (s_1 - c)}$$

$$\underline{\sigma_y} := 42.962$$

$$x_0 = \begin{pmatrix} 3.7 \\ 3.5 \\ 2.9 \\ 2.3 \\ 1.7 \\ 0.5 \end{pmatrix}$$

Эквивалентные напряжения для расчетных сечений, Па:

$$\sigma_{E1} := \sqrt{\sigma_{x1}^2 - \sigma_{x1} \cdot \sigma_y \cdot \frac{\phi_T}{\phi_P} + \left(\sigma_y \cdot \frac{\phi_T}{\phi_P} \right)^2}$$

$$\underline{\sigma_{E1}} := 8.116 \cdot 10^5$$

$$x_0 = \begin{pmatrix} 3.7 \\ 3.5 \\ 2.9 \\ 2.3 \\ 1.7 \\ 0.5 \end{pmatrix}$$

Коэффициент прочности кольцевого сварного шва: $\phi_T := 1$

Коэффициент прочности продольного сварного шва: $\phi_P := 1$

Проверка условий прочности для расчетных сечений:

$$\max(\sigma_{x1}, \sigma_{E1}) = 8.116 \times 10^5 \quad \sigma \cdot \phi_T = 1.84 \times 10^8$$

$$Usl_{20} := \begin{cases} \text{"Условие прочности в рабочих условиях выполняется."} & \text{if } \max(\sigma_{x1}, \sigma_{E1}) < \sigma \cdot \phi_T \\ \text{"Условие прочности в рабочих условиях НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_{20} = \text{"Условие прочности в рабочих условиях выполняется."}$$

Расчет напряжений для условий монтажа:

Продольные напряжения для расчетных сечений, Па:

$$\sigma_{x1} := \frac{p_3 \cdot (D_1 + s_1)}{4 \cdot (s_1 - c)} - \frac{F_3}{\pi \cdot D_1 \cdot (s_1 - c)} + \frac{4 \cdot M_3}{\pi \cdot D_1^2 \cdot (s_1 - c)}$$

Кольцевые напряжения для расчетных сечений, Па:

$$\sigma_y := \frac{p_2 \cdot (D_1 - s_1)}{2 \cdot (s_1 - c)}$$

$$\sigma_y := 108.719$$

$$x_0 = \begin{pmatrix} 3.7 \\ 3.5 \\ 2.9 \\ 2.3 \\ 1.7 \\ 0.5 \end{pmatrix}$$

Эквивалентные напряжения для расчетных сечений, Па:

$$\sigma_{E1} := \sqrt{\sigma_{x1}^2 - \sigma_{x1} \cdot \sigma_y \cdot \frac{\phi_T}{\phi_P} + \left(\sigma_y \cdot \frac{\phi_T}{\phi_P} \right)^2}$$

$$\sigma_{E1} := 7.579 \cdot 10^3$$

$$x_0 = \begin{pmatrix} 3.7 \\ 3.5 \\ 2.9 \\ 2.3 \\ 1.7 \\ 0.5 \end{pmatrix}$$

Коэффициент прочности кольцевого сварного шва:

$$\phi_T = 1$$

Коэффициент прочности продольного сварного шва:

$$\phi_P = 1$$

Проверка условий прочности для расчетных сечений:

$$\max(\sigma_{x1}, \sigma_{E1}) = 7.856 \times 10^3 \quad \sigma \cdot \phi_T = 1.84 \times 10^8$$

$$Ush_{21} := \begin{cases} \text{"Условие прочности в условиях монтажа выполняется."} & \text{if } \max(\sigma_{x1}, \sigma_{E1}) < \sigma \cdot \phi_T \\ \text{"Условие прочности в условиях монтажа НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Ush_{21} = \text{"Условие прочности в условиях монтажа выполняется."}$$

Проверка устойчивости

Проверку устойчивости следует проводить для рабочих условий, условий испытания и монтажа.

Если толщина стенки s_3 опорной обечайки меньше либо равна толщине стенки самой нижней обечайки колонны, и механические свойства материала опорной обечайки не выше соответствующих свойств материала обечайки колонны, то расчет колонного аппарата не производят.

5. Расчет опорной обечайки [с.8,9]

Расчет опорной обечайки следует проводить для рабочих условий и для условий испытания. Расчетные нагрузки в сечениях Z-Z($F_z=G_z;M_z$) и Y-Y($F_y=G_y;M_y$) следует принимать в соответствии с таблицей. Для сечения X-X используют расчетные нагрузки сечения Y-Y. Проверку прочности сварного шва, соединяющего корпус колонны с опорной обечайкой (сечение Z-Z) для рабочих условий следует проводить по формуле:

$$\sigma_x := \frac{1}{\pi \cdot D_3 \cdot a_1} \cdot \left(\frac{4 \cdot M_1}{D_3} + F_1 \right) = 5.345 \times 10^5 \text{ Па}$$

$$\phi_s \cdot \min(\sigma_{d0}, \sigma) = 8.4 \times 10^7 \text{ Па}$$

$$Ush_{22} := \begin{cases} \text{"Условие прочности сварного шва для рабочих условий выполняется."} & \text{if } \sigma_x < \phi_s \cdot \min(\sigma_{d0}, \sigma) \\ \text{"Условие прочности сварного шва для рабочих условий НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Ush_{22} = \text{"Условие прочности сварного шва для рабочих условий выполняется."}$

Проверку прочности сварного шва, соединяющего корпус колонны с опорной обечайкой (сечение Z-Z) для условий испытания следует проводить по формуле:

$$\sigma_x := \frac{1}{\pi \cdot D_3 \cdot a_1} \cdot \left(\frac{4 \cdot M_2}{D_3} + F_2 \right) \quad \sigma_x := 1.708 \times 10^6 \text{ Па}$$

$$\phi_s \cdot \min(\sigma_{d0}, \sigma) = 8.4 \times 10^7 \text{ Па}$$

$$Ush_{22} := \begin{cases} \text{"Условие прочности сварного шва для рабочих условий выполняется."} & \text{if } \sigma_x < \phi_s \cdot \min(\sigma_{d0}, \sigma) \\ \text{"Условие прочности сварного шва для рабочих условий НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Ush_{22} = \text{"Условие прочности сварного шва для рабочих условий выполняется."}$

(ψ_1, ψ_2, ψ_3) - коэффициенты

$$\psi_1 := 1 \quad \psi_2 := 0.91 \quad \psi_3 := 0.25$$

Если в сечении X-X несколько отверстий, то расчет следует проводить для наибольшего из отверстий по формуле при условии, что для остальных отверстий коэффициенты ψ_1 и ψ_2 более 0.95.

Проверку устойчивости опорной обечайки в зоне отверстия (сечение X-X) следует проводить по формуле:

$$\frac{F_y}{\psi_1 \cdot F_d} + \frac{M_y + F_y \cdot \psi_3 \cdot D_3}{\psi_2 \cdot M_d} \leq 0.1$$

$$\frac{0.012 - c}{s_3 - c} = 1.222 \quad \frac{0.15}{D_3} = 0.296 \quad \frac{0.5}{D_3} = 0.988$$

Обечайки, нагруженные осевым сжимающим усилием

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности:

$$F_{дП} := \pi \cdot (D_3 + s_3 - c) \cdot (s_3 - c) \cdot \sigma_{д0} = 2.039 \times 10^6 \text{ Па}$$

Осевое сжимающее усилие, определяемое из условия местной устойчивости в пределах упругости по формуле: [с.7,2]

$$n_y := 2.4$$

$$F_{дЕ1} := \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot D_3^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_3 - c)}{D_3} \right]^{2.5} = 2.791 \times 10^7 \text{ Па}$$

$$D_1 := 0.5$$

Для условий

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия испытания прочности:

$$F_{дП} := \pi \cdot (D_3 + s_3 - c) \cdot (s_3 - c) \cdot \sigma_{д0} = 2.039 \times 10^6 \text{ Па}$$

Осевое сжимающее усилие, определяемое из условия местной устойчивости в пределах упругости:

$$n_y := 1.1 \quad \text{для условий испытаний [с.7,2]}$$

$$F_{дЕ1} := \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot D_3^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_3 - c)}{D_3} \right]^{2.5} \quad F_{дЕ1} = 6.089 \times 10^7 \text{ Па}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие в пределах упругости из условий устойчивости:

$$F_{дЕ} := \begin{cases} F_{дЕ1} & \text{if } \frac{1}{D_1} < 10 \\ \min(F_{дЕ1}, F_{дЕ1}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_{дЕ} = 6.089 \times 10^7$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие для рабочих условий:

$$F_{д2} := \frac{F_{дП}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{дП}}{F_{дЕ}}\right)^2}} \quad F_{д2} = 2.037 \times 10^6 \text{ Па}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности:

$$M_{дП} := \frac{\pi}{4} \cdot D_3 \cdot (D_3 + s_3 - c) \cdot (s_3 - c) \cdot \sigma_{д0} = 2.579 \times 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости:

$$n_{у.} := 1.1 \quad \text{для условий испытания} \\ \text{[с.7,2]}$$

$$M_{дЕ} := \frac{D_3}{3.5} \cdot \left[\frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_{у.}} \cdot D_3^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_3 - c)}{D_3} \right]^{2.5} \right] = 8.803 \times 10^6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Допускаемый изгибающий момент:

$$M_{д2} := \frac{M_{дП}}{\sqrt{1 + \left(\frac{M_{дП}}{M_{дЕ}}\right)^2}} = 2.578 \times 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для рабочих условий допускаемый изгибающий момент:

$$n_{у.} := 2.4 \quad \phi_3 := 0.88 \quad \text{[с.7,2]}$$

$$M_{д1} := \frac{\pi}{4} \cdot D_3 \cdot (D_3 + s_3 - c) \cdot (s_3 - c) \cdot \sigma_{д0} \cdot \phi_3 = 2.269 \times 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\frac{D_3}{s_3 - c} = 56.222 \quad \frac{\sigma_{д0} \cdot 10^3}{E} = 0.7$$

1) Условие устойчивости опорной обечайки в зоне отверстия для рабочих условий (сечение X-X):

$$\Phi := \frac{F_1}{\psi_1 \cdot F_{д1}} + \frac{M_1 + F_1 \cdot \psi_3 \cdot D_3}{\psi_2 \cdot M_{д1}} = 2.815 \times 10^{-3}$$

$$Usl_{24} := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется."} & \text{if } \Phi \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_{24} = \text{"Условие устойчивости выполняется."}$$

2) Условие устойчивости опорной обечайки в зоне отверстия для условий испытания (сечение X-X):

$$\Phi := \frac{F_2}{\psi_1 \cdot F_{д2}} + \frac{M_2 + F_2 \cdot \psi_3 \cdot D_3}{\psi_2 \cdot M_{д2}} \quad \Phi := 0.04$$

$$Ush_{25} := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется."} & \text{if } \Phi \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Ush_{25} = \text{"Условие устойчивости выполняется."}$

Если в опорной обечайке есть кольцевой шов:

$$\frac{1}{\pi \cdot D_3 \cdot (s_3 - c)} \cdot \left[\frac{4 \cdot (M_Y + F_Y \cdot \psi_3 \cdot D_3)}{\psi_2 \cdot D_3} - \frac{F_Y}{\psi_1} \right] \leq \phi_T \cdot \sigma_{д0}$$

Если кольцевой шов находится в зоне отверстий, то коэффициенты:

$$\psi_1 = 1 \quad \psi_2 := 1 \quad \psi_3 := 0$$

в рабочих условиях

$$\sigma_x := \frac{1}{\pi \cdot D_3 \cdot (s_3 - c)} \cdot \left[\frac{4 \cdot (M_1 + F_1 \cdot \psi_3 \cdot D_3)}{\psi_2 \cdot D_3} - \frac{F_1}{\psi_1} \right] \quad \sigma_x = -1.782 \times 10^5 \text{ Па}$$

$$\phi_T \cdot \sigma_{д0} = 1.4 \times 10^8 \text{ Па}$$

$$Ush_{26} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется."} & \text{if } \sigma_x \leq \phi_T \cdot \sigma_{д0} \\ \text{"Условие НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Ush_{26} = \text{"Условие выполняется."}$

в условиях испытания

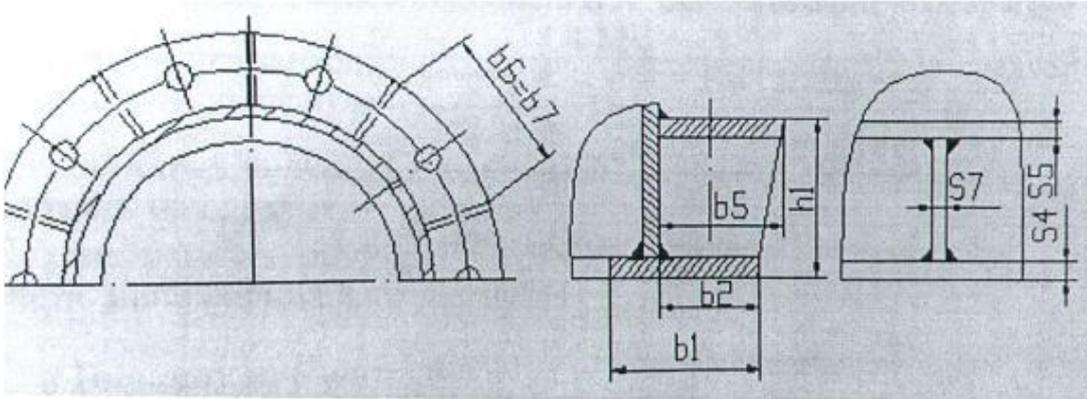
$$\sigma_x := \frac{1}{\pi \cdot D_3 \cdot (s_3 - c)} \cdot \left[\frac{4 \cdot (M_2 + F_2 \cdot \psi_3 \cdot D_3)}{\psi_2 \cdot D_3} - \frac{F_2}{\psi_1} \right] \quad \sigma_x := -2.562 \times 10^6 \text{ Па}$$

$$\phi_T \cdot \sigma_{д0} = 1.4 \times 10^8 \text{ Па}$$

$$Ush_{27} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется."} & \text{if } \sigma_x \leq \phi_T \cdot \sigma_{д0} \\ \text{"Условие НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Ush_{27} = \text{"Условие выполняется."}$

Расчет нижнего опорного узла [с.11, 9]



Расчет нижнего опорного узла следует проводить для рабочих условий и для условий испытания.

Расчетные нагрузки и принимают в соответствии с разделом 3.

Выбираем тип опорного кольца исполнения С.

Ширина нижнего опорного кольца b_1 устанавливается конструктивно, при этом необходимо соблюдать условие формулы:

$$b_{1R} := \frac{1}{\pi \cdot D_4 \cdot \sigma_{дбет}} \cdot \left(\frac{4 \cdot M_1}{D_4} + F_1 \right) = 4.508 \times 10^{-5} \text{ м}$$

Ширину нижнего опорного кольца b_1 принимаем 0.1 м

Ширина нижнего опорного кольца b_1 больше расчетной b_{1R} . Выступающая ширина нижнего опорного кольца b_2 должна удовлетворять условию:

$$2d_2 + 0.03 \leq b_2 \leq b_1 \cdot \frac{2}{3}$$

Выбираем b_2 в пределах от $2 \cdot d_2 + 0.03 = 0.07$ до $b_1 \cdot \frac{2}{3} = 0.1$

Пусть $b_2 := 0.09$ м

Выступающая ширина нижнего опорного кольца b_2 удовлетворяет условию. Напряжение сжатия в бетоне:

$$\sigma_{бет} := \sigma_{дбет} \cdot \frac{b_{1R}}{b_1} = 9.015 \times 10^3 \text{ Па}$$

Напряжение в сварном шве нижнего опорного кольца

Для опорного кольца в исполнении А:

$$\frac{1}{\pi \cdot D_3 \cdot 2 \cdot a_2} \cdot \left(\frac{4 \cdot M_Y}{D_3} - F_Y \right) \leq 0.6 \cdot \sigma_{д0}$$

Для опорных колец в исполнении В, С, D проверку проводить не нужно.

Для выбранного опорного кольца исполнения С не требуется расчета напряжения в сварном шве.

Толщина нижнего опорного кольца в исполнениях А, В, С, D:

$$s_4 \leq \max \left(\chi_1 \cdot b_2 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot \sigma_{бер}}{\sigma_{д0}}} + c, 1.5 \cdot s_3 \right)$$

$\chi_1 := 1$ для опорного кольца исполнения А

Для исполнения В, С, D:

$$\chi_1 := \left[\frac{1 + 1.81 \cdot \left(\frac{b_2}{b_7} \right)^3}{1 + 2.97 \cdot \left(\frac{b_2}{b_7} \right)^3} \right]^2 = 0.988$$

$$\max \left(\chi_1 \cdot b_2 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot \sigma_{бер}}{\sigma_{д0}}} + c, 1.5 \cdot s_3 \right) = 0.015 \quad \text{м}$$

Выбираем толщину нижнего опорного кольца:

$s_4 := 0.02 \quad \text{м}$, что удовлетворяет условию.

Для опорного кольца исполнения А:

$$s_4 \geq \sqrt{\left(\frac{4 \cdot M_Y}{D_3} - F_Y \right) \cdot \frac{4 \cdot l_2}{\pi \cdot \sigma_{д0} \cdot D_3}} + c$$

Если по формулам будет получена величина $s_4 > 2 \cdot s_3$ следует применять конструкции нижнего опорного узла исполнения С и D.

Толщина верхнего опорного элемента-кольца:

Коэффициент:

$$\chi_2 := \frac{3 \cdot \frac{b_5}{b_6}}{1 + \frac{\left(\frac{b_5}{b_6}\right)^2}{e_1}} = 1.139$$

$$s_5 \geq \max\left(\chi_2 \cdot \sqrt{\frac{A_\sigma \cdot \sigma_{дВ}}{\sigma_{д0}}} + c, 1.5 \cdot s_3\right)$$

$$\max\left(\chi_2 \cdot \sqrt{\frac{A_\sigma \cdot \sigma_{дВ}}{\sigma_{д0}}} + c, 1.5 \cdot s_3\right) = 0.02 \text{ м}$$

Принимаем $s_5 := 0.03 \text{ м}$, что соответствует условию.

Толщина ребра $\chi_3 := 1$ для исполнения опорного узла С.

Для конструкции ребер с соотношением $b_2/b_7 < 20$, ребра необходимо дополнительно проверять на устойчивость.

$$s_7 := \max\left(\frac{A_\sigma \cdot \sigma_{дВ}}{\chi_3 \cdot b_2 \cdot \sigma_{д0}} + c, 0.4 \cdot s_4\right) = 8 \times 10^{-3} \text{ м}$$

$\frac{b_2}{s_7} = 11.25$ так как отношение меньше 20, то ребра дополнительно на устойчивость проверять не надо.

Нагрузки стенки опорной обечайки от верхнего опорного элемента-кольца

Местное напряжение изгиба:

коэффициент $\chi_4 := 0.0106$

$$\sigma_{1x} := \frac{6 \cdot \chi_4 \cdot A_\sigma \cdot \sigma_{дВ} \cdot e_2}{(s_3 - c)^2 \cdot h_1} = 5.595 \times 10^4 \text{ Па}$$

Для опорного узла исполнения С вместо b_4 принимается b_5 , а для исполнения D - $(b_6 + b_7)$.

$K_{21} := 1$
 $n_T := 1.5$ коэффициент для условий монтажа
 при условиях испытания

Определим предельное напряжение изгиба:

$$v := \frac{K_{21}}{n_T} \cdot \frac{1}{\sigma_{д0} \cdot \phi_0} \cdot \frac{1}{3.14 \cdot D_3 \cdot (s_3 - c)} \cdot \left(\frac{4 \cdot M_2}{D_3} - F_1\right) \quad v := -3.82 \times 10^{-3}$$

$$\sigma_{дП} := \frac{K_{20} \cdot \sigma_{д0} \cdot n_{Г}}{K_{21}} = 3.15 \times 10^8 \text{ Па}$$

$$U_{sl_{28}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется."} & \text{if } \sigma_{1x} \leq \sigma_{дП} \\ \text{"Условие НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{sl_{28}} = \text{"Условие выполняется."}$

Местное напряжение изгиба не превышает допустимое.

Для опорного узла исполнения С вместо b4 принимается b5, а для исполнения D - (b6+b7). Проверку следует проводить по формуле $\sigma_{1x} < \sigma_{дП}$, где $\sigma_{дП}$ - предельное напряжение изгиба принимается по действующей нормативно-технической документации.

Высота нижнего опорного узла исполнения С и D

Высота h1 опорного узла при выполнении условия:

$$b_2 := b_5 = 0.12 \text{ м}$$

$$h_1 > \frac{D_4 \cdot e_2 \cdot b_1}{2 \cdot (s_5 - c) \cdot b_5} \cdot \frac{\sigma_{бер}}{\sigma_{д0}} \cdot \left(\frac{1}{\chi_5} + \frac{6.58}{n^2 \cdot \chi_6} \cdot \frac{D_4}{b_5} \right)$$

$$\chi_7 := \frac{1.56 + \sqrt{D_3 \cdot (s_3 - c)}}{b_5} \cdot \frac{s_3 - c}{s_5 - c} = 4.209$$

$$\chi_6 := 1 + 2 \cdot \chi_7 \cdot \left(1 + \frac{s_3 - c}{b_5} - \frac{\chi_7}{2} \right) = -7.666$$

$$\chi_5 := 1 + \chi_7 = 5.209$$

$$\frac{D_4 \cdot e_2 \cdot b_1}{2 \cdot (s_5 - c) \cdot b_5} \cdot \frac{\sigma_{бер}}{\sigma_{д0}} \cdot \left(\frac{1}{\chi_5} + \frac{6.58}{n^2 \cdot \chi_6} \cdot \frac{D_4}{b_5} \right) = 4.681 \times 10^{-6}$$

$h_1 = 0.25 \text{ м}$, что удовлетворяет условию.

Коэффициент χ_4 определяем по номограмме:

$$\frac{b_5}{D_3} = 0.237 \quad \frac{D_1}{s_3 - c} = 55.556$$

Расчет нижнего опорного узла для условий испытания

Выбираем тип опорного кольца С.

Ширина нижнего опорного кольца b1 определяется конструктивно, при этом необходимо соблюдать условие формулы:

$$b_{1R} := \frac{1}{\pi \cdot D_4 \cdot \sigma_{дбет}} \cdot \left(\frac{4 \cdot M_1}{D_4} + F_1 \right) = 4.508 \times 10^{-5} \text{ м}$$

Ширину нижнего опорного кольца b_1 принимаем $b_1 = 0.15 \text{ м}$

Ширина нижнего опорного кольца b_1 больше расчетной b_{1R} .

Выступающая ширина нижнего опорного кольца b_2 должна удовлетворять условию:

$$2d_2 + 0.03 \leq b_2 \leq \frac{2}{3}b_1$$

Выбираем b_2 в пределах $2 \cdot d_2 + 0.03 = 0.07 - \frac{2}{3} \cdot b_1 = 0.1$
 $b_2 := 0.09 \text{ м}$

Выступающая ширина нижнего опорного кольца b_2 удовлетворяет условию.

Напряжение сжатия в бетоне:

$$\sigma_{бет} := \sigma_{дбет} \cdot \frac{b_{1R}}{b_1} \quad \sigma_{бет} = 9.015 \times 10^3 \text{ Па}$$

Напряжение в сварном шве нижнего опорного кольца

Для опорного кольца в исполнении А:

$$\frac{1}{\pi \cdot D_3 \cdot 2 \cdot a_2} \cdot \left(\frac{4 \cdot M_Y}{D_3} - F_Y \right) \leq 0.6 \cdot \sigma_{д0}$$

Для опорных колец в исполнении В, С и D (черт.8) проверку не проводим.

Для выбранного опорного кольца в исполнении С не требуется расчета напряжения в сварном шве.

Толщина нижнего опорного кольца в исполнениях А, В, С и D:

$$s_4 \leq \max \left(\chi_1 \cdot b_2 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot \sigma_{бет}}{\sigma_{д0}}} + c, 1.5 \cdot s_3 \right)$$

$\chi_1 := 1$ для опорного кольца исполнения А

Для исполнения В, С, D:

$$\chi_1 := \frac{\left[1 + 1.81 \cdot \left(\frac{b_2}{b_7} \right)^3 \right]^2}{\left[1 + 2.97 \cdot \left(\frac{b_2}{b_7} \right)^3 \right]} = 0.988 \quad \max \left(\chi_1 \cdot b_2 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot \sigma_{бет}}{\sigma_{д0}}} + c, 1.5 \cdot s_3 \right) = 0.015$$

Выбираем толщину нижнего опорного кольца

$s_4 := 0.02 \text{ м}$, что удовлетворяет условию.

Дополнительное условие для s_4 для опорного кольца исполнения А:

$$s_4 \geq \sqrt{\left(\frac{4 \cdot M_Y}{D_3} - F_Y \right) \cdot \frac{4 \cdot l_2}{\pi \cdot \sigma_{д0} \cdot D_3}} + c$$

Если по формулам будет получена величина $s_4 > 2 \cdot s_3$ следует применять конструкции нижнего опорного узла исполнений С и D.

Толщина верхнего опорного элемента-кольца:

Коэффициент:

$$\max \left(\chi_2 \cdot \sqrt{\frac{A_\sigma \cdot \sigma_{дВ}}{\sigma_{д0}} + c, 1.5 \cdot s_3} \right) = 0.023 \text{ м}$$

$$s_5 \geq \max \left(\chi_2 \cdot \sqrt{\frac{A_\sigma \cdot \sigma_{дВ}}{\sigma_{д0}} + c, 1.5 \cdot s_3} \right)$$

$$1 + \left[\begin{array}{l} | \frac{b_6}{b_7} | \\ | \frac{1}{1 - \frac{v_1}{\nu}} | \\ \chi_3 = 1 \end{array} \right] s_5 := 0.03 \text{ м}$$

Принимаем $s_5 := 0.03 \text{ м}$, что соответствует условию.

для исполнения опорного узла

Для конструкции ребер с соотношением $b_2/b_7 < 20$, ребра необходимо дополнительно проверять на устойчивость.

$$s_7 := \max \left(\frac{A_\sigma \cdot \sigma_{дВ}}{\chi_3 \cdot b_2 \cdot \sigma_{д0}} + c, 0.4 \cdot s_4 \right) = 8 \times 10^{-3} \text{ м}$$

$\frac{b_2}{s_7} = 11.25$, так как отношение меньше 20, то ребра дополнительно на устойчивость проверять не нужно.

Нагрузки стенки опорной обечайки от верхнего опорного элемента- кольца

Местное напряжение изгиба:

$$\chi_4 := 0.0106$$

$$\sigma_{1x} := \frac{6 \cdot \chi_4 \cdot A_\sigma \cdot \sigma_{дВ} \cdot e_2}{(s_3 - c)^2 \cdot h_1} = 5.595 \times 10^6 \text{ Па}$$

Для опорного узла исполнения С вместо b4 принимается b5, а для исполнения D - (b6+b7):

$$K_{21} = 1 \quad \text{коэффициент для условий монтажа} \quad K_{20} = 1.5$$

$$n_\Gamma := 1.1 \quad \text{при условиях испытания}$$

Определим предельное напряжение изгиба:

$$v := \frac{K_{21}}{n_\Gamma} \cdot \frac{1}{\sigma_{д0} \cdot \phi_0} \cdot \frac{1}{3.14 \cdot D_3 \cdot (s_3 - c)} \cdot \left(\frac{4 \cdot M_2}{D_3} - F_2 \right) \quad v := -0.017$$

$$\sigma_{дП} := \frac{K_{20} \cdot \sigma_{д0} \cdot n_\Gamma}{K_{21}} = 2.31 \times 10^8 \text{ Па}$$

$$U_{sl29} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется."} & \text{if } \sigma_{1x} \leq \sigma_{дП} \\ \text{"Условие НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{sl29} = \text{"Условие выполняется."}$$

Местное напряжение изгиба не превышает допустимое.

Для опорного узла исполнения С вместо b4 принимается b5, а для исполнения D - (b6+b7).

Проверка по условию условию $\sigma_{1x} < \sigma_{дП}$, где $\sigma_{дП}$ - предельное напряжение изгиба принимается по действующей нормативно- технической документации.

Высота нижнего опорного узла исполнений С и D

Высота h_1 опорного узла при выполнении условия:

$$b_2 := b_5 = 0.12 \text{ м}$$

$$h_1 > \frac{D_4 \cdot e_2 \cdot b_1}{2 \cdot (s_5 - c) \cdot b_5} \cdot \frac{\sigma_{бер}}{\sigma_{д0}} \cdot \left(\frac{1}{\chi_5} + \frac{6.58}{n^2 \cdot \chi_6} \cdot \frac{D_4}{b_5} \right)$$

$$\chi_7 := \frac{1.56 + \sqrt{D_3 \cdot (s_3 - c)}}{b_5} \cdot \frac{s_3 - c}{s_5 - c} = 4.209$$

$$\chi_6 := 1 + 2 \cdot \chi_7 \cdot \left(1 + \frac{s_3 - c}{b_5} - \frac{\chi_7}{2} \right) = -7.666$$

$$\chi_5 := 1 + \chi_7 = 5.209$$

$$\frac{D_4 \cdot e_2 \cdot b_1}{2 \cdot (s_5 - c) \cdot b_5} \cdot \frac{\sigma_{бер}}{\sigma_{д0}} \cdot \left(\frac{1}{\chi_5} + \frac{6.58}{n^2 \cdot \chi_6} \cdot \frac{D_4}{b_5} \right) = 4.681 \times 10^{-6}$$

$$h_1 = 0.25 \text{ м}, \text{ что удовлетворяет условию.}$$

5.1 Расчет анкерных болтов [с.15,9]

Расчет прочности анкерных болтов следует производить для рабочих условий и условий монтажа.

Число анкерных болтов n устанавливается конструктивно, при этом $n=4,6,8,10,12,16 \dots$ далее кратно 4.

Внутренний диаметр резьбы анкерных болтов для рабочих условий колонн, устанавливаемых на бетонных фундаментах:

$$d_2 \geq \chi_8 \cdot \sqrt{\frac{M_Y + 0.44 \cdot F_Y \cdot D_4}{n \cdot \sigma_{дВ} \cdot D_4}} + c \quad \text{где } \chi_8 := 2.25 \text{ коэффициент.}$$

$$\chi_8 \cdot \sqrt{\frac{M_1 + 0.44 \cdot F_1 \cdot D_4}{n \cdot \sigma_{дВ} \cdot D_4}} + c = 3.373 \times 10^{-3} \quad d_2 = 0.02 \text{ м}$$

Принимаем $n=8$ болтам М20.

6. Гидравлический расчет

Гидравлическое сопротивление для верхней части колонны:

Коэффициент сопротивления для неорошаемых ситчатых тарелок со свободным сечением 7 - 10 % (в данном случае 8%) от общей площади тарелки:

$$\zeta := 1.82$$

Площадь паровых патрубков найдена ранее - $f_{\text{пр}} := 0.035 \text{ м}^2$

Скорость пара: $w = 0.136 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Плотность паров вверху колонны: $\rho_{\text{cr1}} = 3.385 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Плотность жидкости вверху колонны: $\rho_{\text{N2}} = 717 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Высота слоя жидкости на тарелке по уровню сливной перегородки: $h_s = 0.02$

Сопротивление сухой тарелки в верхней части колонны:

$$\Delta P_{\text{sy}} := \frac{\zeta \cdot w^2 \cdot \rho_{\text{cr1}}}{2 \cdot f^2}$$

$$\Delta P_{\text{sy}} = 46.352 \text{ Па}$$

Сопротивление слоя жидкости на тарелке:

$$\Delta P_{\text{zhy}} := \rho_{\text{N2}} \cdot g \cdot h_s = 140.532 \text{ Па}$$

Сопротивление за счет поверхностного натяжения тарелок мало и им пренебрегают.

Общее гидравлическое сопротивление для верха колонны:

$$\Delta P_y := \Delta P_{\text{sy}} + \Delta P_{\text{zhy}} = 186.884 \text{ Па}$$

Гидравлическое сопротивление нижней части колонны:

Плотность пара внизу колонны: $\rho_{\text{cr2}} = 3.353 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Плотность жидкости внизу колонны: $\rho_{\text{O2}} = 1.115 \times 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Сопротивление сухой тарелки в нижней части колонны:

$$\Delta P_{si} := \frac{\zeta \cdot w^2 \cdot \rho_{cr2}}{2 \cdot f^2} = 45.903 \text{ Па}$$

Сопротивление слоя жидкости на тарелке: $\Delta P_{zhi} := \rho_{O2} \cdot g \cdot h_s = 218.54 \text{ Па}$

Сопротивление за счет поверхностного натяжения тарелок мало и им пренебрегают.

Общее гидравлическое сопротивление для верха колонны:

$$\Delta P_i := \Delta P_{si} + \Delta P_{zhi} = 264.443 \text{ Па}$$

Гидравлическое сопротивление всей колонны будет равно гидравлическому сопротивлению верха колонны, т.к. исчерпывающей части в ней нет.

$$\Delta P := \Delta P_y = 186.884 \text{ Па}$$

Проверим, соблюдается ли при выбранном ранее расстоянии между тарелками 200 мм условие, необходимое для нормальной работы тарелок:

$$h := 0.2 \text{ м}$$

$$Usl_{30} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется."} & \text{if } h > 1.8 \cdot \frac{\Delta P}{\rho_{zh} \cdot g} \\ \text{"Условие НЕ выполняется."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_{30} = \text{"Условие выполняется."}$$

Условие нормальной работы выполняется.

7. Расчет тепловой изоляции

$$D := 0.5 \text{ м}$$

$$S = 5 \text{ м}$$

$$H := 3.315 \text{ м}$$

В качестве теплоизоляции служит вспученный перлитовый песок.

Плотность вспученного перлитового песка:

$$\rho_{iz} := 150 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Коэффициент теплопроводности материала: $\lambda_{iz} := 0.039 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}}$

Поверхность теплоотдачи:

$$F_{iz} := \pi \cdot (D + 2 \cdot S) \cdot H + \frac{\pi \cdot (D + 2 \cdot S)^2}{2} = 282.531 \text{ м}^2$$

Температура внутреннего слоя изоляции: $t_{wiz} := -180 \text{ }^\circ\text{C}$

Требуемую температуру наружного слоя изоляции принимаем

$$t_{niz} := 5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Температура окружающей среды: $t_{okr} := 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Суммарный коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha := 9.47 + 0.07 \cdot (t_{niz} - t_{okr}) = 8.42 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}}$$

8. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

I. Предпроектный анализ

Потенциальные потребители

Продукт: азот жидкий

Целевой рынок: строительные, фармацевтические компании, различные виды производства.

II. SWOT-анализ

Качественный подход к описанию рисков заключается в детальном и последовательном рассмотрении содержательных факторов, несущих неопределенность, и завершается формированием причин основных рисков и мер по их снижению. Одной из методик анализа сильных и слабых сторон предприятия, его внешних благоприятных возможностей и угроз является SWOT-анализ.

Таблица 1 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	<p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии</p> <p>С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p>	<p>Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с оборудованием</p> <p>Сл2. Большое количество конкурентов</p>

<p>Возможности:</p> <p>В1. Создание новых технологий получения целевого продукта</p> <p>В2. Развивающиеся конкурентные отношения</p> <p>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>В4. Сокращение численности безработных</p>		<p>1. Повышение квалификации кадров</p> <p>2. Привлечение новых заказчиков</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p>	<p>1. Продвижение новой технологии с целью появления спроса</p> <p>2. Применение технологии к альтернативным источникам</p>	<p>1. Повышение квалификации кадров</p> <p>2. Привлечение новых заказчиков</p> <p>3. Дефицит молодых специалистов</p> <p>4. Выход из строя производственного оборудования</p>

III. Анализ эффективности действующего производства

Расчет производственной мощности оборудования цеха

Для расчета производственной мощности предварительно устанавливаем:

а) режим работы отделения непрерывной рабочей неделей, цех работает в 2 смены, продолжительность смены 12 часов;

б) эффективный фонд времени оборудования $T_{\text{кал}}$ равен 360 дням или 8640 часам.

Номинальный фонд времени работы оборудования $T_{\text{ном}}$ при работе по непрерывной неделе составляет:

$$T_{\text{ном}} = T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}} ,$$

Где $T_{\text{вых}} = 104$ дн. – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 12$ дн. – количество праздничных дней в году.

В нашем случае оборудование работает и в выходные и праздничные дни, соответственно, при расчете номинального фонда рабочего времени их в учет не принимаем, т.е.:

$$T_{\text{ном}} = T_{\text{кал}} = 360 \text{ дней} = 8640 \text{ часов.}$$

Эффективный фонд рабочего времени оборудования равен номинальному времени за вычетом остановок на ремонты $T_{\text{рем}}$, производимые в рабочее время в соответствии с установленной системой планово-предупредительного ремонта (ППР) и определяется по формуле:

$$T_{\text{эф}} = T_{\text{ном}} - T_{\text{рем}} .$$

Продолжительность простоя оборудования в ремонтах $T_{\text{рем}}$ определяем по формуле:

$$T_{\text{рем}} = 2\% * T_{\text{ном}} ;$$

$$T_{\text{рем}} = 0,02 * 8640 = 172,8 \text{ часов.}$$

Эффективный фонд времени оборудования составляет по формуле:

$$T_{\text{эф}} = 8640 - 172,8 = 8467,2 \text{ часов.}$$

На основе расчетов составляем баланс времени работы оборудования.

Таблица 2 – Баланс рабочего времени оборудования.

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени	360 (8640)
Номинальный фонд рабочего времени	360 (8640)
Простой оборудования в ремонтах	7,2 (172,8)
Эффективное время работы оборудования за год	352,8 (8467,2)

$$M = P_{\text{час}} * T_{\text{эф}} * K_{\text{об}} ,$$

где $P_{\text{час}}$ – часовая производительность оборудования в натуральных единицах;

$T_{\text{эф}}$ – эффективный фонд времени работы оборудования;

$K_{\text{об}}$ – количество однотипного оборудования.

Текущая мощность составляет:

$$M = 18897 * 8467,2 * 1 = 160\,000\,000 \text{ кг/год} = 160\,000 \text{ т/год}$$

Для анализа использования оборудования рассчитаем экстенсивный и интенсивный коэффициенты.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования:

$$K_{\text{экс}} = T_{\text{эф}} / T_{\text{ном}} ;$$

$$K_{\text{экс}} = 8467,2 / 8640 = 0,98.$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования:

$$K_{\text{инт}} = Q_{\text{пп}} / Q_{\text{max}} ;$$

$Q_{\text{пп}}$ – производительность единицы оборудования в ед. времени;

Q_{max} – максимальная производительность в ед. времени;

$$K_{\text{инт}} = 14761/16530 = 0,893.$$

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{им}} = K_{\text{экс}} * K_{\text{инт}} ;$$

$$K_{\text{им}} = 0,98 * 0,893 = 0,875.$$

Для определения фактического выпуска продукции рассчитывается производственная программа ($N_{\text{год}}$):

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им}} * M = 0,875 * 160\ 000 = 140\ 000 \text{ т/год} .$$

Вывод: максимально возможно годовой выпуск – 160 000 т/год; действительный выпуск продукции – 140 000 т/год. Установка работает на неполную мощность, степень загрузки – 87,5%

3.1 Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству

Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала

1. Расчет численности персонала (табл.3)

- основных рабочих;
- вспомогательных рабочих;
- ИТР;
- служащих;
- МОП.

Таблица 3 – Расчет численности персонала

Наименование должности	Категория	Тарифный разряд	Число штатных единиц	Кол-во 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	2
Оператор установки	Производственный рабочий	5 разр.	9	2
Помощник оператора	Вспомогательный рабочий	4 разр.	4	2
Итого:			17	
Дежурный слесарь по ремонту оборудования	Ремонтный персонал	4 разр.	4	2
Дежурный слесарь- электрик	Ремонтный персонал	4 разр.	4	2
Дежурный слесарь КИП	Ремонтный персонал	4 разр.	4	2
Итого:			12	
Итого:			33	

2. Расчет баланса эффективного годового времени одного среднесписочного работника (табл. 4).

Таблица 4 – Примерный баланс рабочего времени одного среднесписочного рабочего

Наименование затрат рабочего времени	Дни	Часы
Календарное время	360	
Номинальный фонд рабочего времени	360	
Планируемые невыходы:		
очередные и дополнительные отпуска	36	
невыходы по болезни	3	
декретные отпуска	-	
отпуск в связи с учебой без отрыва от производства	-	
выполнение гос. обязанности	3	
Эффективный фонд рабочего времени	318	
Эффективный фонд рабочего времени		7632

3.Количество выходных дней в году, ночных смен определяется из графика сменности (табл. 5)

Таблица 5 – График сменности

Номер смены	Часы работы	Дни месяца															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0 - 12	А	А	А	А	Б	Б	Б	Б	В	В	В	В	Г	Г	Г	Г
2	12 – 24	В	В	В	Г	Г	Г	Г	А	А	А	А	Б	Б	Б	Б	Б
Отдых		БГ	БГ	БГ	БВ	АВ	АВ	АВ	ВГ	БГ	БГ	БГ	АГ	АВ	АВ	АВ	АВ

Расчет годового фонда зарплаты ИТР, служащих и МОП производится на основании их окладов согласно штатному расписанию.

4. Расчет сменооборота и количества выходных дней в году (табл. 4,5).

5.Общий фонд заработной платы рабочих за год:

$$Z_{\text{год}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} ,$$

где $Z_{осн}$ – основной фонд заработной платы рабочих, тыс. руб.;

$Z_{доп}$ – дополнительный фонд заработной платы рабочих, тыс. руб.

Основной фонд заработной платы для рабочих повременников:

$$Z_{осн} = Z_{тар} + Пр + D_{н.вр} + D_{пр.дни} + D_{бриг} ,$$

где $Z_{тар}$ – тарифный фонд заработной платы, тыс. руб.;

Пр – оплата премий, тыс. руб.;

$D_{н.вр}$ – доплата за работу в ночное время, тыс. руб.;

$D_{пр.дни}$ – доплата за работу в праздничные дни, тыс. руб.;

$D_{бриг}$ – доплата не освобожденным бригадирам, тыс. руб.

Тарифный фонд заработной платы:

$$Z_{тар} = \sum Ч_{сп} * T_{ст} * T_{эф.раб} ,$$

где $Ч_{сп}$ – списочная численность рабочих данного разряда, человек;

$T_{сп}$ – дневная тарифная ставка данного разряда, руб.

Размер премий принимаем равным 10% от тарифного фонда заработной платы.

Дополнительная заработная плата:

$$Z_{доп} = (D_{н} * Z_{осн}) / T_{эфф} .$$

Фонд дополнительной заработной платы принимаем равным 10% от фонда основной заработной платы. Здесь также учитываем доплату по районному коэффициенту $K = 1,3$.

По отношению к тарифному фонду заработной платы доплата за ночные составит 40%.

Расчет затрат на производство продукции

Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Определение затрат на сырье и материалы производим исходя из принятого объема производства, удельных норм расхода сырья и материалов и планово-заготовительных цен.

Таблица 6 – Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Наименование сырья	Ед. изм.	Цена, тыс. руб.	Расход, т		Сумма затрат, тыс. руб.	
			На единицу готовой продукции	На весь объем производства	На единицу готовой продукции	На весь объем производства
азот	т	30	0,507	70980	15,21	2129400

Расчет затрат на электроэнергию

$$Z_{\text{эн.}} = T_{\text{э}} \cdot N_{\text{т}} \cdot T_{\text{р. об.}}$$

где $T_{\text{э}}$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб. (0,974 руб.);

$N_{\text{т}}$ – суммарная мощность электродвигателей, кВт (125 кВт);

$T_{\text{р. об}}$ – время работы оборудования в год, час (8173 час.).

$$Z_{\text{эн.}} = 0,974 \cdot 125 \cdot 8173 = 995\,063 \text{ руб.}$$

Расчет амортизационных отчислений

Для расчета амортизационных отчислений необходимо учесть:

- полную стоимость зданий;
- полную стоимость оборудования;
- нормы амортизационных отчислений.

Таблица 7 - Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных средств	Стоимость, тыс. руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления, тыс. руб.
Здания			
.Цех по производству	5000	5	250
. Операторная	6000	5	300
Итого:			550
Оборудование			
2.1.Реактор	200 000	10	200 000
.Теплообменник	70 000	10	70 000
.Турбовоздуходувка	20 000	10	20 000
.Испаритель	1000	10	1000
.Насос	200	10	200
Итого:	206450		29120
Итого общее:	211700		29670

Таблица 8 – Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства (**140 000** т/год)

Наименование статьи расходов	Ед. измерения	Затраты тыс. руб.	
		На 1 т.	На N год
Сырье	тыс. руб.	15,21	2129400,00
Энергия на технологические нужды	тыс. руб.	7,1076	995063,00
ЗП основных производственных рабочих	тыс. руб.	0,1273	17822,00
Отчисления на СН (30%)	тыс. руб.	0,0382	5348,00
Итого условно-переменных издержек	тыс. руб.	22,4831	3147634,00
Общепроизводственные накладные расходы	тыс. руб.		

1. РСЭО:	тыс. руб.	1,166	
- Амортизация оборудования	тыс. руб.	0,908	127120,00
- Ремонт оборудования	тыс. руб.	0,102	14280,00
- ЗП ремонтного персонала	тыс. руб.	0,120	16800,00
- Отчисление на соц. нужды ремонтного персонала (30%)	тыс. руб.	0,036	5040,00
5.2. ЗП ИТР	тыс. руб.	0,093	13020,00
- Отчисление на соц. нужды ИТР (30%)	тыс. руб.	0,0279	3906,00
3. ЗП вспомогательного персонала	тыс. руб.	0,0362	5068,00
- Отчисление на соц. нужды вспомогательного персонала (30%)	тыс. руб.	0,01086	1520,40
5.4 Прочие накладные расходы		2,00	280000
Итого условно-постоянных издержек	тыс. руб.	3,33396	466754,40
Цеховая (производственная) себестоимость (1+2+3+4+5)	тыс. руб.	25,81706	3614388,40
Управленческие расходы (5% от цеховой себестоимости)	тыс. руб.	1,290853	180719,42
Заводская себестоимость (цеховая себестоимость + стр.6)	тыс. руб.	27,1079	3795106,00
Коммерческие расходы (1% от заводской себестоимости)	тыс. руб.	0,271079	37951,06
Полная себестоимость (заводская себестоимость + стр.7)	тыс. руб.	27,378979	3833057,06
Условно-переменные издержки	тыс. руб.	22,4831	3147634,00
Условно-постоянные издержки	тыс. руб.	4,895879	685423,06

1.2. Определение цены готовой продукции

Цена продукта определяется по формуле:

$$Ц = C * (1 + P/100),$$

где C – полная себестоимость единицы готовой продукции;

P – рентабельность продукции (25 %).

$$Ц = 27,378979 * 1,25 = 34,22 \text{ тыс. руб./т.}$$

1.3. Анализ безубыточности по действующему производству

Цель анализа – определение точки безубыточности, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков.

1) Определение точки безубыточности аналитическим способом:

$$Q_{кр} = \frac{\text{Изд}_{\text{пост}}}{Ц_{1\text{гп}} - \text{Изд}_{\text{пер}}}$$

$$Q_{кр} = 685423,06 / (34,22 - 22,48) = 58383,56 \text{ тыс. т/год}$$

2) Определение точки безубыточности графическим способом:

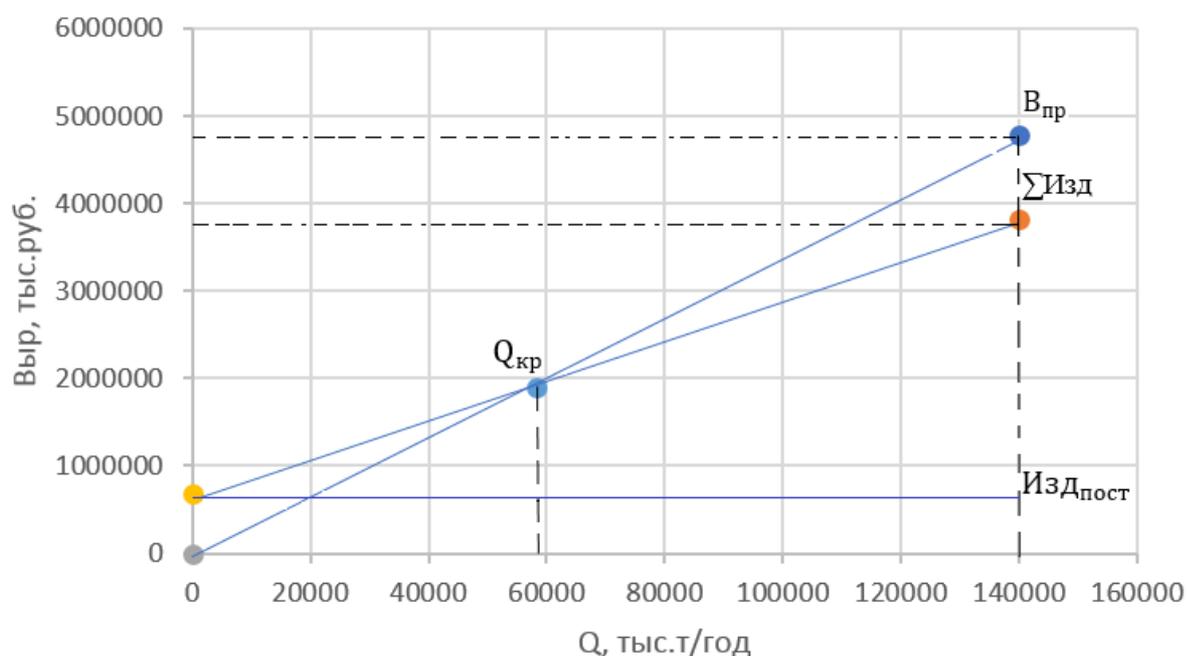


Рис.1 График безубыточности

По графику безубыточности определяется $Q_{кр} = 58380,00$ тыс. т/год.

1.4. Определение технико-экономических показателей

Таблица 9 - Техничко-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Плановый год
1. Объем производства	тыс. т	140,00
2. Объем продаж	тыс. т	140,00
3. Цена одной тонны	тыс. руб.	34,2237
4. Выручка от продажи (2*3)	тыс. руб.	4791318,00
5. Суммарные издержки	тыс. руб.	3833057,06
5.1. Издержки условно-переменные	тыс. руб.	3147634,00
5.2. Издержки условно-постоянные	тыс. руб.	685423,06
6. Операционная прибыль (4-5)	тыс. руб.	958260,94
7. Налог на прибыль (6*20%)	тыс. руб.	191652,188
8. Чистая прибыль (6-7)	тыс. руб.	766608,752
9. Себестоимость 1 тонны	тыс. руб.	27,378979
10.Стоимость основных средств	тыс. руб.	211700
11.Численность основных рабочих	чел.	33
12.Фондовооруженность (10/11)	тыс. руб./чел.	6415,15
13.Фондоотдача	руб./руб.	62,719
14.Фондоемкость	руб./руб.	0,202
15.Производительность труда (4/11)	тыс. руб./чел.	145191,45
16.Рентабельность производства (8*100%/5)	%	19,9
17.Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	15,9
18.Критический объем продаж ($Q_{кр}$)	тыс. т	58383,56
19.Критический объем продаж ($Q_{кр}$)	тыс. руб.	1705,94

9. Социальная ответственность

Введение

В данной дипломной работе производится расчет ректификационной колонны разделения воздуха.

Атмосферный воздух представляет собой смесь из азота, кислорода, аргона и редких газов, не связанных между собой химически. Приблизительно воздух можно рассматривать как смесь лишь из кислорода и азота, поскольку аргона и редких газов в нем содержится менее 1%; в этом случае округленно принимают содержание азота равное 79% и кислорода – 21% по объему.

На представленной рабочей площадке размещается несколько оборудования (ректификационная колонна, охладители, насосы ...). Данное оборудование создает опасные и вредные факторы. Поэтому необходимо строго соблюдать указанную технику безопасности и применять различные меры для обеспечения рабочего персонала.

В этом разделе выпускной квалификационной работы будут проанализированы условия труда с точки зрения возникновения вредных и опасных факторов, рассмотрены мероприятия по технике безопасности и производственной санитарии, а также мероприятия по противопожарной профилактике на рабочем месте сотрудников данного предприятия.

9.1 Производственная безопасность

Анализ вредных факторов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Опасные и вредные факторы при разделении воздуха по ГОСТ 12.0.003-74

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа с криогенными жидкостями	Токсичность паров всех хлорированных углеводородов	Опасность низких температур	ГОСТ 21957-76 Техника криогенная
Работа с кислородом	Наличие шума в рабочих помещениях	Опасность взрыва и пожара	ГОСТ 5583-78 Кислород технический
Обезжиривание оборудования		Опасность термических ожогов	ОСТ 26-04-312-83 Методы обезжиривания оборудования. Общие требования к технологическим процессам
Хранение и обращение с растворителями			Хранение растворителей по ГОСТ 9980.5-86
Обращение с водными моющими растворами			Параметры шума в рабочих помещениях устанавливаются СН 2.2.4/2.1.8.562-96
			ГОСТ 22567.5-93 Средства моющие синтетические и вещества поверхностно-активные

Опасность воздействия низких температур

Возникает при работе с криогенными жидкостями.

Все наиболее важные процессы протекают в аппаратах воздухоразделительных установок при температуре от -183 до -173°C ($90 - 100\text{K}$). В этом же интервале находится температура жидких криогенных продуктов, выводимых из установок. Опасность столь низких температур проявляется в случае соприкосновения незащищенного тела с криогенными жидкостями, металлическими охлажденными деталями и газами при криогенных температурах.

Поражение тела очень напоминает ожог, степень которого зависит от времени контакта с охлажденными предметами или криогенными жидкостями и ряда других факторов. Недостаточно защищенные части тела при соприкосновении с неизолированными поверхностями, охлажденными до криогенных температур, могут быстро к ним примерзнуть, а при отдергивании возможно значительное повреждение кожного покрова.

Работа с криогенными продуктами во влажной одежде или рукавицах является опасной, так как это может привести к обмороживанию.

Особую чувствительность к низким температурам имеют слизистые оболочки глаз, носа, полости рта и гортани. Поэтому очень опасным является вдыхание холодного воздуха.

Первым признаком обмороживания является потеря чувствительности, сопровождающаяся обычно изменением цвета обмороженных участков тела до воскового и бледно-желтого. После оттаивания обмороженное место становится болезненным, на коже появляются пузыри, весьма подверженные инфекции.

При работе с криогенными жидкостями необходимо защищать глаза лицевым щитком или защитными очками, имеющими боковые щитки.

Верхняя одежда должна быть наглухо закрыта, а брюки должны закрывать обувь. Опасно прикосновение руками к предметам и стенкам сосудов, охлажденных криогенными жидкостями. В связи с этим операции по заливанию, переливанию и переноске криогенных жидкостей следует производить в асбестовых, кожаных или брезентовых рукавицах, которые должны надеваться на руку свободно, чтобы при необходимости их можно было легко сбросить. При попадании криогенных жидкостей на незащищенный участок тела его следует немедленно обмыть водой. [ГОСТ 12.1.007-76]

Опасность взрыва и пожара

Возникает при работе с кислородом. Возможность загорания материалов в контакте с кислородом резко возрастает при повышении давления и температуры, причем загорание одних материалов может инициировать загорание других. Наиболее опасным является загорание материалов в том случае, если при этом имеются условия для самоподдерживающегося горения, которое продолжается до тех пор, пока не выгорит весь материал или не изменятся в определенной степени условия горения (снизится давление, уменьшится концентрация кислорода).

Наибольшая опасность для персонала при работе с кислородом возникает при попадании кислорода в помещение, где работают люди. В результате происходит пропитывание одежды кислородом, и ткани долго остаются легко воспламеняемыми. Загорание одежды может произойти от искры папиросы, от разряда статического электричества, возникающего при трении одежды из синтетических материалов, шерсти и шелка.

Опасность воспламенения одежды значительно возрастает в тех случаях, когда огневые работы проводят в местах, где возможно повышенное содержание кислорода. Воспламенения пропитанной кислородом одежды от искр, возникающих от ударов и трения

металлических предметов, подкованных сапог, а также немало несчастных случаев произошло при курении и зажигании спичек в недозволенных местах.

Пострадавшего для тушения на нем одежды следует немедленно окунуть в воду или сорвать одежду. Необходимые для этого ванны или душевые устройства должны быть согласно нормативам во всех помещениях, где возможно повышение концентрации кислорода в воздухе. Нельзя для прекращения горения закутывать пострадавшего, так как доступ кислорода к горячей одежде при этом не прекратится.

Учитывая изложенное, обслуживающему персоналу, включая и лаборантов, которым даже временно приходится находиться в атмосфере, обогащенной кислородом, следует носить хлопчатобумажную одежду и белье.

После пребывания в атмосфере, обогащенной кислородом, запрещается в течение 20-30 минут подходить к открытому огню, электроплиткам, курить и зажигать спички. [ГОСТ 12.1.007-76]

Опасность термических ожогов

Учитывая достаточно высокую температуру применяемых водных моющих растворов, при работе с ними следует принимать необходимые меры, исключая ожоги. Погружать детали в ванны следует медленно, не допуская выплескивания моющего раствора. Все работы, связанные с загрузкой и выгрузкой деталей из ванн, следует проводить в защитной спецодежде и очках. При случайном попадании моющего средства на кожу, обожженное место следует промыть большим количеством воды. Особое внимание должно быть обращено на приготовление моющих растворов, в состав которых входит каустическая сода.

При растворении и разведении каустической соды выделяется значительное количество тепла, при приготовлении раствора сначала в емкость заливают необходимое количество воды, а потом добавляют

щелочь. Выделяющееся при этом тепло распределяется в значительном количестве воды. Если к щелочи добавлять воду, то первые порции воды могут нагреться до кипения, что приведет к разбрызгиванию раствора. Не рекомендуется растворять щелочь в горячей воде.

Работа с каустической содой и её водными растворами, используемыми на некоторых установках при очистке воздуха от двуокиси углерода. Особо опасным является попадание едкой щелочи в глаза и на кожные покровы. Поэтому персонал, работающий на аппаратах для химической очистки воздуха от диоксида углерода и занимающийся приготовленным раствором едкой щелочи и отбором проб для анализов, должен знать и безусловно выполнять правила безопасности.

Допускается работа только на исправных аппаратах и насосах, нашедных всеми необходимыми контрольно-измерительными приборами. Все разъёмные соединения аппаратов и трубопроводов должны быть плотными, сальники щёлочных насосов и анализные вентили не должны пропускать раствор. Все операции по уходу за щелочным оборудованием (в том числе пуск и остановку насосов) следует производить в резиновых перчатках и защитных очках. Приготовление щелочного раствора и отбор проб на анализ необходимо производить в резиновых сапогах, фартуках, защитных очках, перчатках и шлеме. Концы рукавов спецодежды должны плотно прилегать к телу, брюки должны быть выпущены из сапог.

Токсичность паров всех хлорированных углеводородов

Пары всех хлорированных углеводородов, применяемых при обезжиривании, ядовиты и относятся к сильнодействующим веществам. При вдыхании воздуха с большой их концентрацией даже в течение короткого срока или с малой концентрацией в течение длительного срока наступает отравление.

Последствия отравления могут быть временными и исчезать после пребывания в течение нескольких часов на свежем воздухе. В тоже время при длительном и систематическом пребывании в атмосфере, загрязнённой

хлорированными углеводородами, могут быть серьезные поражения печени и почек.

Предельно допустимые концентрации некоторых хлорированных углеводородов и других растворителей в воздухе рабочих помещений при восьмичасовом рабочем дне, установленные санитарными нормами проектирования промышленных предприятий (СН 245-71), характеризуется следующими величинами, мг/м³:

Вещество	ПДК (мг/м³)	Класс опасности
Трихлорэтилен	10	3
Тетрахлорэтилен	10	3
Хладон-113	3000	4
Бензин Б-70	1001	4
Керосин	300	3

Отравление растворителями возможно не только при вдыхании из паров, но и при длительном соприкосновении жидких растворителей с южным покровом. Чрезвычайно опасно также попадание хлорированных углеводородов в организм человека.

Обезжиривание нужно проводить по утвержденной руководством предприятия специальной инструкции по обезжириванию оборудования и технике безопасности, составленной на основании инструкции завода-изготовителя с учётом местных производственных условий.

Рабочие помещения, где происходят работы с растворителями, должны быть оборудованы протяжно-вытяжной вентиляцией, обеспечивающей максимальное удаление паров растворителей (чтобы их концентрация в воздухе было меньше санитарных норм. На сдувах растворителей в атмосферу должны быть установлены специальные уловители.

Кроме того, помещение необходимо оборудовать аварийным шкафом с противогазами. Рабочие, непосредственно проводящие обезжиривание и работающие с растворителями, должны быть обеспечены спецодеждой: брезентовыми фартуками, брезентовыми рукавицами и кожаной обувью, которые должны храниться в специальном проветриваемом помещении отдельно от другой спецодежды.

Хлорированные углеводороды при соприкосновении с открытым пламенем или нагретыми предметами разлагаются с выделением фосгена, являющегося отравляющим веществом. Поэтому в помещениях, где проводят работы с растворителями, категорически запрещаются работы с огнём и курение.

При обезжиривании бензином и другими огнеопасными растворителями особое внимание должно уделяться вопросам пожарной безопасности.

При работе с легколетучими растворителями, например, фреоном-113, возможно состояние удушья от недостатка кислорода при высоком содержании паров растворителя в воздухе. Поэтому количество фреона-113, заливаемого в обезжириваемые системы или во вспомогательное оборудование, не должно превышать 0,3 кг на 1 м³ помещения. [ГОСТ 12.1.007-76]

Повышенный уровень шума на производстве

Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий по ГОСТ 12.1.003.88 определены допустимые уровни параметров шума и вибрации. Норма равна 80 дБ. [ГОСТ 12.1.003.88]

Наиболее шумным из помещений, где расположено оборудование по разделению воздуха, является помещение, где работают поршневые воздушные установки, где уровень звукового давления во всех частотах превышает допустимые уровни для производственных помещений с постоянным пребыванием людей. Для этого отделения, где нет постоянного

рабочего места и пребывание человека в смену не превышает один час, применяются индивидуальные средства защиты антифоны, беруши или наушники. [ГОСТ 12.1.003.88]

9.2 Охрана окружающей среды

Сточные воды

Сточные воды азотно-кислородной станции представляют собой воду, отводимую от охлаждения компрессоров, конечных холодильников и испарителей, относятся к условно-чистым стокам и включены в оборотную систему завода.

Данные о сточных водах приведены в таблице 3.

Выбросы в атмосферу

Выбросы в атмосферу от азотно-кислородной станции состоят из:

- кислородной фракции разделения воздуха;
- азотной фракции из блока разделения воздуха;
- влажного воздуха после регенерации цеолита в блоке очистки воздуха.

Данные о выбросах приведены в таблице 2.

Твердые и жидкие отходы

Твердые отходы представляют собой отработанное масло после компрессоров, детандера и влагоотделителей.

Из маслоотстойника жидкие отходы сдаются в виде отработки на нефтебазу. Отработанный цеолит отправляется на отвал.

Характеристика отходов приводится в таблице 4.

Таблица 2 – Выбросы в атмосферу

Наименование выброса, аппарат, диаметр, высота сброса	Кол-во источников	Суммарный объем отходящего газа, м ³ *ч	Периодичность	Температура С	Состав выброса, мг/ м ³ или % об.	Допустимое количество вредных компонентов
---	-------------------	--	---------------	---------------	--	---

						В, сбрасываем ых в атмосферу, кг/ч
Кислородная фракция из блока разделения воздуха А-15, Н=5м, Д=100мм	1	0,22	постоянно	13-38	Кислород 25-20%	Вредные вещества отсутствуют
Азотная фракция из блока разделения воздуха А-16, Н=5м, Д=100мм	1	0,68	постоянно	13-38	Кислород 25- 0,001%	Вредные вещества отсутствуют
Влажный азот после регенерации блока сушка воздуха А- 24,А-26, Н=5м, Д=80мм	1	0,2	3 р/сутки	200-220	СО ₂ 20	Вредные вещества отсутствуют

Таблица 3 – Сточные воды

Наименование стока, аппарата	Куда сбрасываются	Количество стоков, м ³ /сутки	Периодичность сброса	Состав сброса, мг/л (по компонентам)	Допускаемое количество сбрасываемых вредных веществ, кг/сутки
Условно-чистый сток	Водооборотная система предприятия	1080	Постоянно	pH 7.8; хпк 7.4; Метанол 0.2; Формальдегид 0.002	6.5-8.5 3.28 0.05 1.09 0.22 2.19 0.11

Таблица 4 – Твердые и жидкие отходы

Наименование отхода, аппарат	Куда складывается, транспорт, тара	Количество отходов в сутки	Периодичность образование	Примечание
Отработанное масло из компрессоров	Емкость из маслоотстойника Мусорный контейнер	1.37	24 р/сутки 1 р/год	Производится замена цеолита

В качестве технических мероприятий по снижению пагубного воздействия на экологию, нужно выделить в первую очередь совершенствование техпроцесса. Это обеспечит снижение затрат на очистку выбросов и увеличения качества продукции или эффективность

используемого процесса. В качестве этого можно использовать повышение скорости расплава благодаря более сильному излучению и более высокой эффективности использования энергии обогащенного кислородом сгорания, а также возможность уменьшить количество выбросов с помощью кислородных форсунок.

Вторым мероприятием может быть снижение потребления энергии без увеличения количества выбросов. К этому можно отнести добавление потока кислорода в отверстие для отходящих газов в роторной печи с фиксированной осью значительно сокращает количество вредных компонентов в отходящем газе.

Следующим мероприятием для снижения воздействия данного аспекта – это установка дополнительных систем очисток, либо замена существующих или их усовершенствование.

9.3 Защита в чрезвычайных ситуациях

Одной из наиболее важных специфических особенностей воздуходелительных установок является возможность накопления в них взрывоопасных примесей, содержащихся в перерабатываемом воздухе. В тех случаях, когда процесс происходит в аппаратах, где имеется жидкий кислород или жидкость, обогащенная кислородом, создаются предпосылки для возникновения взрыва. Он также может произойти, если в установке или вне её имеет место контакт жидкого кислорода или жидкости, обогащенной кислородом, с различными органическими веществами.

Пожарная безопасность зданий и сооружений в организациях, связанных с разделением воздуха, должна соответствовать проекту, установленным требованиям пожарной безопасности и настоящим Правилам.

Взрывобезопасность технологических процессов, в которых присутствуют вещества способные образовывать взрывоопасную среду, должна обеспечиваться мерами взрывопреупреждения и взрывозащиты, осуществлением специальных организационных и организационно-технических мероприятий в объеме требований, установленных действующими нормами взрывобезопасности.

При возгорании кислородного оборудования необходимо прекратить поступление кислорода в помещение и вывести обслуживающий персонал в безопасную зону.

Для тушения загоревшихся технических устройств и коммуникаций следует пользоваться системами и средствами пожаротушения, предусмотренными проектом.

Помещения, в которых расположены кислородные компрессоры и газификаторы, наполнительные и примыкающие к ним склады кислородных баллонов, кислородные разрядные коллекторы, раципиденты, кислороднорегулирующие пункты, узлы регулирования кислорода, гаражи

для транспортных сосудов жидких ПРВ, оснащаются средствами связи в соответствии с нормами проектирования.

Средствами связи (телефонные аппараты и др.) необходимо устанавливать вблизи мест размещения и обслуживания указанных технических устройств.

В цехах разделения воздуха, в отделениях получения и очистки редких газов, в компрессорном отделении, в газгольдерном помещении, в отделениях хранения, газификации и наполнения кислорода, а также в местах, где проходят кислородные трубопроводы и производятся работы с кислородом, курение и применение открытого огня не допускается, о чем на наружной стороне дверей и в местах, где проводятся работы с кислородом и проходят кислородопроводы, должны быть установлены соответствующие знаки безопасности.

В помещениях производства – места расположения кислородных компрессоров, насосов и газификаторов жидкого кислорода, блоков разделения воздуха, резервуаров с жидким кислородом, наполнительных и разрядных коллекторов кислородных баллонов, кислородно-распределительных пунктов, у выхода из помещений кислородных тканевых газгольдеров, а также около эвакуационных выходов, необходимо устанавливать ванны, заполненные водой. Допускается устройство противопожарных душевых кабин с автоматической подачей воды при входе человека в кабину.

При установке в цехе кислородных центробежных компрессоров или компрессоров другого назначения при единичной вместимости маслобака, превышающей 5 м³, аварийный слив масла из маслобаков компрессоров осуществляется в бак аварийного слива, вместимость которого должна быть не меньше вместимости наибольшего маслобака компрессора, установленного в цехе. [СП 10.13130.2009]

9.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Для работников, занятых на работе с вредными или опасными условиями труда, законодатель установил сокращенную продолжительность рабочего времени – не более 36 часов в неделю (ст.92 ТК РФ, п.1 Постановления Правительства РФ от 20.11.2008 N 870 (далее – Постановление N 870)). При этом максимально допустимая продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать (ст.94 ТК РФ):

- при 36-часовой рабочей неделе – 8 часов;
- при 30-часовой рабочей неделе и менее – 6 часов.

Коллективным договором может быть предусмотрено увеличение смены при условии соблюдения предельной еженедельной продолжительности рабочего времени и гигиенических нормативов условий труда.

Также сотрудникам, занятым на работах с вредными или опасными условиями труда, положено предоставлять ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск продолжительностью не менее 7 календарных дней (ст. 117 ТК РФ, п.1 Постановления N 870). [ТК РФ]

К регулированию труда женщин применяют дополнительные правила и особые ограничения (ст. 251 ТК РФ). Труд сотрудниц ограничивается на работах с вредными или опасными условиями труда, а также на подземных работах, за исключением нефизических работ или работ по санитарному и бытовому обслуживанию (ст. 251 ТК РФ).

В соответствии со статьей 222 Трудового кодекса Российской Федерации (на работах с особо вредными условиями труда предоставляется бесплатно по установленным нормам лечебно-профилактическое питание).

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе объектом разработки является ректификационная колонна для получения жидкого азота на производстве АО «СДС Азот» г. Кемерово.

В ходе работы были проведены технологический, тепловой и механический расчеты. Была выбрана ректификационная цельносварная колонна с неразборными ситчатыми тарелками (они лучше всего подходят для разделения незагрязненной жидкости с постоянной нагрузкой).

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены основные опасные и вредные факторы работы в цехе получения жидкого азота, разобраны основные требования соблюдения техники безопасности. В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были рассчитаны себестоимость готовой продукции, технико-экономические показатели, найдена точка безубыточности.

Список использованных источников

- 1) Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. Изд. «Наука» / под редакцией В. А. Алексеева/ - М., 1972/ - 720 с. с илл.
- 2) ГОСТ Р 52857.1 – 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы их расчета на прочность. Общие требования.
- 3) ГОСТ Р 52857.2 – 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.
- 4) ГОСТ Р 52857.3 – 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцерах.
- 5) ГОСТ Р 52857.4 – 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.
- 6) ГОСТ 24190-80 Патрубки. Конструкция
- 7) Лазинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник. – 2-е изд. – Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.
- 8) Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Учебное пособие / под ред. М. Ф. Михалева – М.: Машиностроение, 1984. – 302 с.
- 9) ГОСТ 24757-81 Сосуды и аппараты. Аппараты колонного типа. Нормы и методы расчета на прочность.
- 10) Романков П. Г., Фролов В. Ф., Флисюк О. М., Курочкина М. И. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии. Спб.: Химия 1993/ - 496 с.
- 11) [http://thermalinfo.ru/publ/gazy/neorganicheskie_gazy/vjazkost_plotnost_teploemkost_vozdukha/27-1-0-3]

- 12) Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л.: Химия 1981/ - 560 с.
- 13) ГОСТ 14249 – 89 Сосуды и аппараты. Нормы и методы их расчета на прочность.
- 14) ГОСТ 52857.7 – 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Теплообменные аппараты.
- 15) ГОСТ Р 52630-2012 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия
- 16) Канторович З.Б. Основы расчета химических машин и аппаратов. – М.: Машиностроение, 1960. – 744 с.
- 17) Смирнов Г. Г., Толчинский А. Р., Кондратьева Т. Ф. Конструирование безопасных аппаратов для химических и нефтехимических производств. Справочник. – Л.: Машиностроение, 1988. – 303 с.
- 18) Топтуненко Е. Т. Основы конструирования и расчета химических аппаратов и машин. – Харьков: Изд. ХГУ, 1968. – 376 с.
- 19) Беляев В. М. Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли. Ч.1: Тонкостенные сосуды и аппараты химических производств: Учеб. Пособие / В. М. Беляев, В. М. Миронов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, - 2011. – 300 с.
- 20) Епифанова В. И., Аксельрод Л. С. Разделение воздуха методом глубокого охлаждения. Технология и оборудование. Т. 2. Промышленные установки, машинное и вспомогательное оборудование. Изд. 2-е, переработанное и дополненное. М., «Машиностроение», - 1973, - с. 568.
- 21) Арханов А. М., Арханов И. А., Беляков В. П. Криогенные системы: Учебник для студентов вузов. Т.2 Основы проектирования аппаратов, установок и систем, - 2-е изд., перераб. и доп., - М.: Машиностроение, 1999, - с. 720, с илл.
- 22) Алексеев В. П. и др. Расчет и моделирование аппаратов криогенных установок. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987, - с. 280, с илл.

- 23) Федеральный закон № 426-ФЗ от 28 декабря 2013 года «О специальной оценке условий труда»
- 24) Федеральный закон №184-ФЗ «О техническом регулировании от 27 декабря 2002 года.
- 25) Федеральный закон № 123-ФЗ от 22.07.2008 г (ред. от 10.07 2012г) «Технический регламент о требованиях к пожарной безопасности»
- 26) "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 03.07.2016)
- 27) СП 10.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Внутренний противопожарный трубопровод. Требования пожарной безопасности.
- 28) ГОСТ Р 22.0.01-94 Безопасность в ЧС. Основные положения.
- 29) ГОСТ 12.1.007-76 Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
- 30) ГОСТ 12.1.003.88 Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны