

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



Институт Электронного обучения
 Направление подготовки Машины и аппараты химических производств
 Кафедра Общей химической технологии

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
Разработка основного оборудования установки полимеризации в производстве полиэтилена

УДК 678.742.23.05:665.6(571.16)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5001	Прокофьев И.С.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов В.В.	к.т.н. доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т.Г.			

По разделу «Безопасность жизни деятельности»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич О.А.	к.б.н. доцент		

По разделу «Механо-технологический раздел»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семакина О.К.	к.т.н. доцент		

По разделу «Конструктивно-механический раздел»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	к.т.н. доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов В.В.	к.т.н. доцент		

Томск – 2016 г.

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

Институт Электронного образования
 Направление подготовки (специальность) Машины аппараты химического производства
 Кафедра Общая химия химическая технология

УТВЕРЖДАЮ:
 И.О.Зав. кафедрой

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломного проекта.

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5001	Прокофьев Иван Сергеевич

Тема работы:

Разработка основного оборудования установки полимеризации в производстве полиэтилена
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	25.04.2016 г.,
---	----------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2016г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материала 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>	Материалы преддипломной практики
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(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).</i>	- Введение; - Описание технологической схемы; - Технологический расчет холодильника возвратного газа; - Конструктивный расчет холодильника возвратного газа; - Механический холодильника возвратного газа; - Технологический расчет ОВД; - Конструктивный расчет ОВД; - Механический расчет ОВД; - Социальная ответственность - Техничко-экономические показатели.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1 лист технологическая схемы, лист 2-3 общий вид ОВД, лист 4 общий вид сепаратор возвратного газа, лист 5 общий холодильника возвратного газа, лист 6 сборочный чертеж возвратного газа, , лист 8 схема монтажа, лист 9 технико-экономические показатели
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	

<i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Экономический	Рыжакина Т.Г.
Социальный	Антоневич О.А.
Монтаж оборудования	Семакина О.К.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	02.02.2016
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тихонов В.В.	к.т.н.		02.02.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5001	Прокофьев Иван Сергеевич		02.02.2016

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5001	Прокофьев Иван Сергеевич

Институт	ИнЭО	Кафедра	ОХХТ
Уровень образования	Специалитет	Направление/специальность	МАХП

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала(с точным указанием обязательных чертежей):

1. Расчет точки безубыточности графическим и математическим методами.
2. Расчет технико-экономических показателей
3. Расчёт чистого денежного потока
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности проекта

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
3-5001	Прокофьев Иван Сергеевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5001	Прокофьев Иван Сергеевич

Институт	ИнЭО	Кафедра	ОХХТ
Уровень образования	Специалитет	Направление/специальность	МАХП

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Установка получения полиэтилена
---	---------------------------------

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность: 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: - физико-химическая природа вредности, её связь с обрабатываемой 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). 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: - механические опасности (источники, средства защиты); - термические опасности (источники, средства защиты); - электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты)	1.1. Вредные производственные факторы при выполнении работ на установке получения полиэтилена: - повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны; - повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте; - токсические и раздражающие; 1.2. Опасные производственные факторы при выполнении работ на установке получения полиэтилена: - опасность поражения электрическим током; - движущиеся части оборудования; - опасность взрыва и пожара.
2. Экологическая безопасность: - защита селитебной зоны - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);	Отработанное смазочное масло вывозится за пределы предприятия и подвергается регенерации на специальных регенерирующих установках. Смазочное масло, которое не подлежит регенерации, утилизируется. В результате утилизации отработанное масло преобразуется в гидрофобный порошок, обладающий высокими силикатными свойствами, который можно использовать в строительстве при изготовлении гидрозащитных оснований, площадок, при строительстве хранилищ, отстойников, обсыпок дорог и др <u>-защита гидросферы:</u> В цехе предусмотрена ливневая и хозяйственная канализация. В нее поступают сточные воды от мытья полов в помещениях. Основным загрязнителем сточных вод являются следы масел, по содержанию не

	превышающие ПДК. Все сточные воды подвергаются механической и химической очистке на очистных сооружениях предприятия
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: - перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	В соответствии с классификацией производств по пожарной опасности (ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности") [21], зданию цеха полиэтилена высокого давления присвоена категория пожарной опасности В, которая включает в себя производства, связанные с обработкой или применением твердых сгораемых веществ и материалов, а также жидкостей с температурой вспышки паров выше 120° С (смазочное масло). Возможные источники и причины пожаров и взрывов на рабочем месте: • загорание смазочных масел и обтирочного материала при неправильном их хранении; • загорание промасленной спецодежды и материалов при соприкосновении их открытым огнем или горячими частями оборудования и трубопроводов; • загорание промасленной одежды и смазочных масел от попадания на них искр.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Согласно статье 224ТК РФ работодатель обязан соблюдать ограничения на привлечение отдельных категорий работников к выполнению тяжелых работ, во вредных и (или) опасных условиях. Выбор места сооружения радиационных объектов должен отвечать требованиям ОСПОРБ-99 и настоящих правил. Для предприятий и объектов атомной промышленности в зависимости от их категории потенциальной опасности, согласно п. 3.2.8. ОСПОРБ-99, устанавливаются санитарно-защитная зона и зона наблюдения.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич О. А.	к.б.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5001	Прокофьев Иван Сергеевич		

РЕФЕРАТ

Дипломный проект 99 с., 4 рис., 18 табл., 24 источника,
9 листов графического материала.

Сепаратор возвратного газа, холодильник возвратного газа, отделитель высокого давления.

Объектом исследования является узел охлаждения и очистки возвратного газа.

Цель работы – проектирование основного оборудования узла охлаждения и очистки возвратного газа.

В работе представлены технологический и механический расчеты:

- отделителя высокого давления, включающие в себя выбор материала, определение пробного давления для гидроиспытаний, определение пробного давления в змеевике и рубашке, расчет корпуса, расчет кармана термопары, расчет днища, расчет фланца, расчет шпилек, расчет крышки, расчет коллектора, расчет опор, а также гидравлический расчет.

-сепаратора, включающие в себя выбор материала, расчет цилиндрической обечайки, расчет конического днища, расчет плоской крышки, расчет укрепления отверстий.

- теплообменника «труба в трубе», включающие в себя выбор материала, расчет кожуховых труб, расчет труб высокого давления, расчет колен труб высокого, расчет укрепления отверстий.

Также рассмотрены:

-организация монтажа теплообменника «труба в трубе»;
-выбор схемы автоматического контроля и регулирования процесса;
-основные элементы производства, формирующие вредные и опасные факторы, а также разработка мероприятий по снижению их воздействия;
-расчет технико-экономических показателей, анализ безубыточности и срок окупаемости инвестиций.

ABSTRACT

Graduation project 99 p., 4 fig., 18 tab., 24 sources, 9 sheets of graphic material.

Separator of return gas, refrigerator of return gas, high-pressure separator.

The object of research is cooling and cleaning return gas.

The purpose of this work is design of the main equipment for cooling and cleaning return gas.

In a project presents the technological and mechanical calculations:

- high-pressure separator, comprising the choice of material, defining hydro test pressure, determining the pressure in the probe coil and the jacket, the calculation housing, computation pocket for thermocouple, computation bottoms, computation flange, computation pins, computation cap, computation collector, computation supports and the hydraulic calculation.
- separator, including material selection, calculation of cylindrical shell, calculation of the conical bottom, calculation of the cover plate, calculation strengthens holes.
- heat exchanger "tube in tube", including material selection, calculation external pipes, calculation high-pressure pipes, pipe bends high calculation, calculation strengthen holes.

Also considered:

- Organization of the installation of the heat exchanger "tube in tube";
- Select scheme of automatic control and regulation of the process;
- Key elements of production, forming harmful and dangerous factors and the development of measures to reduce their impact;
- calculation technical and economic indicators, break-even analysis, and payback period.

Введение

Сегодня сложно представить мир без пластика, такого одновременно простого, но при этом крайне полезного изобретения. Как сам пластик, так все прочие подобные материалы делают нашу жизнь проще и комфортабельнее, помогая в транспортировке, хранении товаров, а также различных областях техники и науки. Места, в которых применяется пластик можно перечислять очень долго, также как и разнообразные предметы, которые изготавливаются на его основе. Остановимся только на одном таком изделии – разнообразной пленки из полиэтилена, которая используется во многих областях нашей жизни. Производство полиэтилена играет особую роль в развитии отечественной экономики. Рассмотрим вопрос модернизации основного оборудования узла очистки и охлаждения возвратного газа. Цель дипломного проекта разработать оборудование, которое увеличит степень очистки и охлаждения газа, не вступившего в реакцию в реакторном блоке, что приведет к увеличению производительности производства полиэтилена; проработать вопросы социальной ответственности, промышленной и экономической безопасности; разработать схему автоматизации технологического процесса и монтажа оборудования. Своевременная модернизация и увеличение производительности в области стремительно развивающейся химической промышленности имеет огромное значение не только для ООО «Томскнефтехим», но и для холдинга «Сибур» в целом и ведет к лидерству, как на отечественном рынке, так и за рубежом.

1 Технология производства

Технологический процесс включает следующие основные стадии:

- смешение этилена с возвратным газом и кислородом;
- двухстадийное сжатие газовой смеси;
- полимеризация этилена в трубчатом реакторе;
- разделение полимера и непрореагировавшего этилена;
- грануляция полимера.

2.1 Неполная конверсия этилена в реакторе обуславливает необходимость отделения полимера и возвращения непрореагировавшего этилена в цикл. Разделение осуществляется, как правило, в две ступени: в отделителе высокого давления, где отделяется основная масса этилена, и в отделителе низкого давления.

Поступающая в отделитель высокого давления реакционная смесь при давлении 25-30 МПа и температуре 250 °С расслаивается на две фазы - жидкую, состоящую из расплавленного полиэтилена и растворенного в нем этилена (до 20% от количества полиэтилена), и газовую - этилен, содержащий незначительное количество низкомолекулярного полиэтилена.

Газовая фаза из ОВД с температурой (180-280)⁰С поступает в сепаратор Б-500/1 обогреваемый паром 2,2 МПа, который подается в рубашку аппарата. В сепараторе происходит частичное выделение низкомолекулярного полиэтилена (НМПЭ) из газовой фазы. НМПЭ из сепаратора Б-500/1, через систему запорной арматуры, ежечасно сбрасывается в сепаратор газа промежуточного давления Б-507. Из сепаратора Б-500/1 частично очищенный газ поступает в горизонтальные холодильники Б-503/Н,Н1. В теплообменниках Б-503Н/503Н1 газ охлаждается горячей водой, которая подается в межтрубное пространство со станции горячей воды с температурой (130-170)⁰С и давлением до 3 МПа.

2. Отделитель высокого давления

Отделитель представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат. Ввод смеси осуществляется через верхнюю крышку или днище аппарата (в зависимости от конструкции отделителя) по касательной к оси аппарата для облегчения отделения расплавленного полиэтилена от этилена. Отделитель снабжен термопарами для замера температуры по высоте, манометрами, предохранительным устройством от превышения давления, уровнемером. Жидкая фаза (расплав полиэтилена), уровень которой поддерживается постоянным, непрерывно выводится через регулирующий клапан из нижней части отделителя в отделитель низкого давления. Отделившийся этилен выводится из верхней части отделителя в систему очистки возвратного газа промежуточного давления.

2.1 Технологический расчет

Материальный баланс:

Производительность аппарата:

$$N = 115000 \text{ т/г}$$

Количество рабочих дней в году:

$$D = 323$$

Суточная производительность по готовому продукту без учета потерь:

$$P_c := \frac{N}{D}$$

$$P_c = 356 \text{ т/сут}$$

Часовая производительность по готовому продукту без учета потерь:

$$P_{ch} := \frac{P_c \cdot 10^3}{24}$$

$$P_{ch} = 14834,9 \text{ кг/час}$$

Массовая доля полиэтилена в исходной смеси, поступающей в отделитель:

$$X_H = 0,268$$

Количество исходной смеси, поступающей в отделитель:

$$G_H := \frac{Пч}{X_H}$$

$$G_H = 55354 \text{ кг/час}$$

Массовая доля полиэтилена в конечной смеси:

$$X_K = 0,796$$

Количество конечной смеси:

$$W := G_H * \left(1 - \frac{X_H}{X_K}\right)$$

$$W = 36717,2 \text{ кг/ч}$$

2.2 Механический расчет основного аппарата

2.2.1 Выбор материала

Технические характеристики:

Отделитель высокого давления предназначен для отделения расплава полиэтилена от этилена.

Емкость – 5 м³. Среда:

- в корпусе – этилен, пропан, полиэтилен (взрывопожароопасная);
- в рубашке и в змеевике – водяной пар Давление рабочее:
- в корпусе – 28 МПа;
- в змеевике – 2,2 МПа;
- в рубашке – 2,2 Мпа.

Давление расчетное:

- в корпусе – 45 МПа;
- в змеевике – 2,5 МПа;
- в рубашке – 2,5 МПа.

Температура рабочая:

- в корпусе – +270 °С;
- в змеевике - +216 °С;
- в рубашке - +216 °С.

Температура расчетная:

- в корпусе – +299 °С;
- в змеевике - +225 °С;
- в рубашке - +225 °С.

При выборе конструкционного материала основным критерием является его химическая и коррозионная стойкость в заданной среде. Обычно выбирают материал абсолютно или достаточно стойкий в среде при её рабочих параметрах и к расчётным толщинам добавляют на коррозию соответствующие прибавки в зависимости от срока службы аппарата. Поэтому, в соответствии с рабочими условиями выбираем рекомендуемую марку углеродистой конструкционной стали 20Х2МА.

2.2.2 Расчет давления пробного для гидроиспытаний в корпусе[7]

Пробное давление определяется по формуле:

$$P_{np} = 1,25 * \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_t} * p$$

где: p – расчетное давление – 45 МПа,

материал корпуса и крышки – сталь 20Х2МА,

$[\sigma]_{20}$ - допускаемое напряжение для материала корпуса при $t = 20$ °С, МПа.

Принимается меньшее из двух значений:

$$[\sigma]_{20} = \eta * \min \left\{ \frac{\sigma_{\sigma 20}}{P_{\sigma}}, \frac{\sigma_{m 20}}{P_m} \right\}$$

σ_{B20} - предел прочности для материала корпуса из стали 20Х2МА при $t = 20$ °С, МПа – 550;

σ_{T20} - предел текучести для материала корпуса из стали 20Х2МА при $t = 20^{\circ}\text{C}$, МПа – 400;

Пв – запас прочности по пределу прочности – 2,2;

Пт - запас прочности по пределу текучести – 1,5;

η - поправочный коэффициент – 1.

$$[\sigma]_{20} = 1,0 * \min \left\{ \frac{550}{2,2} = 250 \text{ МПа}; \frac{400}{1,5} = 266 \text{ МПа} \right\} = 250 \text{ МПа}$$

σ_{B300} – допускаемое напряжение для материала корпуса при $t = 300^{\circ}\text{C}$, МПа;

$$[\sigma]_{300} = \eta * \min \left\{ \frac{\sigma_{B300}}{Пв}; \frac{\sigma_{T300}}{Пт} \right\}$$

σ_{B300} – предел прочности для материала корпуса при $t = 300^{\circ}\text{C}$, МПа – 500;

σ_{T300} – предел текучести для материала корпуса при $t = 300^{\circ}\text{C}$, МПа – 350;

$$[\sigma]_{300} = 1,0 * \min \left\{ \frac{500}{2,2} = 227,3; \frac{350}{1,5} = 233,3 \right\} = 227,3 \text{ МПа}$$

$$P_{пр} = 1,25 \cdot 250 / 227,3 \cdot 45 = 61,9 \text{ МПа}$$

Принятое давление пробное

$$P_{пр} = 61,9 \text{ МПа}$$

2.2.3 Определение пробного давления в змеевике и рубашке

по формуле[7]:

$$P_{пр} = 1,25 * \frac{[\sigma_{20}]}{[\sigma]_t} * p$$

где Р – расчетное давление в змеевике и рубашке, МПа – 2,5;

$[\sigma]_{20}$ – допускаемое напряжение для материала стали при $t = 20^{\circ}\text{C}$, МПа – 147;

$[\sigma]_t$ – допускаемое напряжение для материала стали при $t = 300^{\circ}\text{C}$, МПа – 119;

$$P_{пр} = 1,25 \cdot 147 / 119 \cdot 2,5 = 3,86 \text{ МПа}$$

$$R_{пр} = 3,86 \text{ МПа}$$

2.2.4 Расчет корпуса

Материал корпуса – сталь 20Х2МА

$$\sigma_{B20} = 550 \text{ МПа} \quad \sigma_{B300} = 500 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{T20} = 400 \text{ МПа} \quad \sigma_{T300} = 350 \text{ МПа}$$

Расчетная толщина стенки корпуса определяется по формуле [12, стр. 13]:

$$S_p = 0,5 \cdot D \cdot (\beta_p - 1), \text{ по [25]}$$

где p – расчетное давление, МПа – 45;

D – внутренний диаметр корпуса, мм – 1200;

β_p – расчетный коэффициент толстостенности.

$$\ln \beta_p = \frac{p}{Y \cdot \sigma_{доп}} = \frac{45}{2273} = 0,197976$$

$\sigma_{доп}$ – допускаемое напряжение для материала корпуса при $t = 300^\circ\text{C}$, МПа – 227,3 (см. расчет давления пробного),

$$\beta_p = 1,2189.$$

$$S_p = 0,5 \cdot 1200 \cdot (1,2189 - 1) = 131,34 \text{ мм.}$$

$$S = S_p + C = 131,34 + 3 = 134,34 \text{ мм.}$$

C – прибавка на коррозию, мм – 3.

Толщина стенки корпуса: $S = 140 \text{ мм.}$

Проверка толщины стенки корпуса на пробное давление:

$$S_{pn} = 0,5 \cdot D \cdot (\beta_{pn} - 1),$$

$R_{пр}$ – давление пробное, МПа – 61,9 (см. расчет давления пробного),

β_{pn} – расчетный коэффициент толстостенности при пробном давлении:

$$\ln \beta_p = \frac{Pnp}{\sigma_{допн}}$$

$\sigma_{допн}$ – допускаемое напряжение для материала корпуса при $t = 20^\circ\text{C}$ в условиях гидроиспытания, МПа – 363,7;

$$\sigma_{доп} = \sigma_{т20} \setminus n_{пр} = 400 \setminus 1,1 = 363,7 \text{ МПа},$$

$\sigma_{т20}$ – предел текучести материала корпуса при $t = 20^\circ\text{C}$, МПа – 400;

$$\ln \beta_p = \frac{Pnp}{\sigma_{допн}} = \frac{61,9}{363,7} = 0,1702$$

$$\beta_{pn} = 1,1855$$

$$S = 0,5 \cdot 120 \cdot (1,1855 - 1) = 111,3 \text{ мм}.$$

Принятая толщина стенки корпуса: $S = 140$ мм.

2.2.5 Расчет кармана термопары

Толщина стенки кармана на наружное давление определяется по формуле

[3, стр 66]:

$$S = \frac{P * D_n}{140 * [\sigma] + P} + C_1$$

где D_n – наружный диаметр термопары - 50,

$\sigma_{доп}$ – допускаемое напряжение для материала при $t = 300^\circ\text{C}$, МПа,

Принимается меньшее из двух значений

$$[\sigma]_{доп} = \eta * \min \left\{ \frac{\sigma_B}{P_\beta}; \frac{\sigma_{0,2}}{P_m} \right\}$$

σ_B – предел прочности для трубы из стали 20 при $t = 20^\circ\text{C}$, МПа – 420,

$\sigma_{0,2}$ – предел текучести для трубы из стали 20 при $t = 300^\circ\text{C}$, МПа – 180,

P_β – запас прочности по пределу прочности – 2,6,

Пт – запас прочности по пределу текучести – 1,5.

$$[\sigma]_{\text{дон}} = 1,0 * \min \left\{ \frac{420}{2,6} = 161,5; \frac{180}{1,5} = 120 \right\} = 120 \text{ МПа}$$

P – расчетное давление, МПа – 45,

C₁ – прибавка к расчетной толщине стенки, мм.

$$C_1 = A_1 \cdot (S - c),$$

где A₁ – коэффициент, зависящий от величины минусового отклонения по толщине стенки трубы – 0.11,

$$C_1 = 0,11 \cdot 10,56 = 11,6 \text{ мм.}$$

$$S = \frac{45 * 50}{140 * 12 + 45} + 1,16 = 11,72 \text{ мм}$$

Принято S = 12 мм.

Толщина стенки кармана при пробном давлении

$$S = \frac{P_{\text{пр}} * D_{\text{н}}}{140 * [\sigma]_{\text{пр}} + P_{\text{пр}}}$$

P_{пр} – пробное давление, МПа – 61,9 (см. расчет давления пробного),

σ_{доп} – допускаемое напряжение для материала трубы в условиях гидроиспытаний, кгс/см²,

$$\sigma_{\text{доп}} = \frac{\sigma_T}{P_{\text{пр}}} = \frac{240}{1,1} = 218,2 \text{ МПа}$$

σ_T – предел текучести для трубы из стали 20 при t = 20 °С, МПа – 240,

$$S = \frac{61,9 * 50}{140 * 21,82 + 61,9} = 8,4 \text{ мм}$$

2.2.6 Расчет днища

Материал: сталь 20Х2МА

$$\sigma_{\text{В20}} = 550 \text{ МПа} \quad \sigma_{\text{В300}} = 500 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{T20}} = 400 \text{ МПа} \quad \sigma_{\text{T300}} = 350 \text{ МПа}$$

Расчет толщины конической стенки днища проводим как для цилиндрической обечайки с приведенным диаметром:

$$D_p = \frac{D - 2r}{\cos \alpha} = \frac{120 - 2 \cdot 14}{0.707} = 1301.3 \text{ мм}$$

где α - угол раствора конуса – 90° ,

D – внутренний диаметр днища, мм – 200,

r – радиус отбраковки, мм – 140.

Толщина стенки днища определяется по формуле:

$$S_{1p} = 0,5 \cdot D_p \cdot (\beta_p - 1),$$

β_p – расчетный коэффициент толстостенности – 1,2189,

P – расчетное давление в аппарате, МПа – 45,

$\sigma_{\text{доп}}$ – допускаемое напряжение для материала днища, МПа – 227,3,

$$S_{1p} = 0,5 \cdot 130,13 \cdot (1,2189 - 1) = 132.4 \text{ мм},$$

$$S_1 = S_{1p} + C = 14,24 + 0,3 = 135.4 \text{ мм}.$$

Принятая толщина стенки днища $S = 140$ мм.

Считаем разницу допустимой, т.к. расчетное давление 45 МПа значительно превышает рабочее 28 МПа.

Проверка толщины стенки днища на пробное давление в условиях гидроиспытания:

$$S_{1p} = 0,5 \cdot D_p \cdot (\beta_p - 1),$$

β_{rp} – расчетный коэффициент толстостенности при пробном давлении,

$$\beta_{rp} = 1,1855 \text{ (см. расчет корпуса)}$$

P_{rp} – пробное давление, МПа – 61,9 (см. расчет давления пробного),

$\sigma_{\text{доп}}$ – допускаемое напряжение для материала корпуса при $t = 20^\circ\text{C}$ в условиях гидроиспытания, МПа – 363,7 (см. расчет корпуса),

$$S = 0,5 \cdot 130,13 \cdot (1,1855 - 1) = 120.69 \text{ мм.}$$

Толщина стенки принятая $S = 140$ мм больше расчетной.

2.2.7 Расчет фланца

Материал: сталь 20Х2МА

$$\sigma_{B20} = 550 \text{ МПа} \quad \sigma_{B300} = 500 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{T20} = 400 \text{ МПа} \quad \sigma_{T300} = 350 \text{ МПа}$$

Диаметр окружности центров шпилек определяется по формуле:

$$D\delta \geq \max \left\{ D + d\delta + 2m; \frac{t}{\sin \frac{180}{z}} \right\}$$

D – внутренний диаметр корпуса, мм – 1200,

d – диаметр резьбы шпильки, мм – 140,

t – шаг шпилек, мм – 300,

z – число шпилек – 16,

m – расстояние от внутренней поверхности фланца до края отверстия под шпильку, мм – 95.

$$D\delta \geq \max \left\{ 120 + 14 + 2 \cdot 95; \frac{300}{\sin \frac{180}{16}} \right\} = \max \{1530; 1530,840\} \text{ мм}$$

Принято $D\delta = 1530$ мм.

Наружный диаметр фланца:

$$D\phi \geq D\delta + 2d\phi = 1530 + 2 \cdot 140 = 1810 \text{ мм.}$$

Принято $D\phi = 1870$ мм.

Высота фланца при $\gamma = 45^\circ$ (угол наклона образующей конической части фланца)

$$H \geq Y_2 + 0,75 \cdot d_p = 22 + 0,75 \cdot 14 = 325 \text{ мм.}$$

Y_2 – глубина нарезки резьбы, мм – 220.

Прочность фланца при пробном давлении проверяется по формуле [12, стр. 45]:

$$\sigma_{\max} = P_{\text{пр}} * \frac{D_\phi^2 + D^2}{D_\phi^2 - D^2} + \frac{Q_d^* (D_\phi - D - S) + Q_v^* (D_\phi - D_{\text{ср}})}{h_1^2 * D * \ln \frac{D_{\text{ср}}}{D}}$$

где

$$h_1 = H + \frac{(D_\phi - D)^2 - 4 * S^2}{4(D_\phi - D) * \text{tg} \gamma} = 50,5 + \frac{(181 - 120)^2 - 4 * 14^2}{4(181 - 120)} = 64,3 \text{ мм.}$$

$P_{\text{пр}}$ – пробное давление, МПа – 61,9

Q_d^* – равнодействующая внутреннего давления, Н:

$$Q_d^* = 0,785 \cdot D_{\text{ср}}^2 \cdot P_{\text{пр}} = 0,785 \cdot 121,6^2 \cdot 61,9 = 7185011,3 \text{ Н.}$$

$D_{\text{ср}}$ – средний диаметр уплотнительной поверхности, см – 121,6,

Q_v^* – осевая составляющая равнодействующей внутреннего давления, Н:

$$Q_v^* = 0,06 \cdot 7185011,3 = 431100 \text{ Н.}$$

$$\sigma_{\max} = 61,9 * \frac{181^2 + 120^2}{181^2 - 120^2} + \frac{7185011,3(153 - 120 - 14) + 431100(153 - 121,6)}{64,3^2 * 120 * \ln \frac{187}{120}} = 221,5 \text{ МПа}$$

Напряжения ниже допускаемых $[\sigma]_{\text{пр}} = 363,7 \text{ МПа}$ (см. расчет корпуса),

Определение расчетного усилия для затвора с двухконусным обтюратором

Расчетное усилие для затвора с двухконусным обтюратором определяется по формуле [12, стр. 30]:

$$Q = Q_d + Q_v,$$

где Q_d – равнодействующая внутреннего давления на крышку, Н,

$$Q_d = 0,785 \cdot D_{cp}^2 \cdot P = 0,785 \cdot 121,6^2 \cdot 450 = 5223352 \text{ Н},$$

где D_{cp} – средний диаметр уплотнительной поверхности, мм – 1216,

P – расчетное давление, МПа – 45,

Q_v – осевая составляющая равнодействующей внутреннего давления, Н:

$$Q_v = 0,06 \cdot Q_d = 0,06 \cdot 5223352 = 313401 \text{ Н}.$$

$$Q = 5223352 + 313401 = 5536753 \text{ Н}.$$

2.2.8 Расчет шпилек

Материал: сталь 25Х1МФКП75

Диаметр стержня шпилек определяется по формуле [12, стр. 37]:

$$d_{cp} = \sqrt{\frac{4 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot Q}{\pi \cdot z \cdot \sigma_{доп}}} + d_M^2$$

где z – число шпилек – 16,

d_M – диаметр центрального отверстия в шпильке, мм – 18,

Q – расчетное усилие, Н – 5223352 (см. определение расчетного усилия),

$\sigma_{доп}$ – допускаемое напряжение для материала шпильки при $t = 300^\circ\text{C}$, МПа,

$$\sigma_{доп} = \frac{\sigma_T}{n} = \frac{600}{1,5} = 400 \text{ МПа}$$

σ_T – предел текучести для материала шпильки при $t = 300^\circ\text{C}$, МПа – 600,

n – запас прочности по пределу текучести – 1,5,

K_2 – коэффициент, учитывающий тангенциальные напряжения в шпильке при затяжке – 1,0,

K_3 – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки между шпильками – 1,5,

$$d_{cp} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 5223352}{3,14 \cdot 16 \cdot 4000}} + 1,8^2 = 129, \text{ мм}$$

Принята шпилька М14ОХ6, диаметр стержня шпильки $d_s = 131,0$ мм.

Расчет резьбы корпуса на смятие

$$\sigma_{см} = \frac{P}{\pi \cdot d_2 \cdot z \cdot n \cdot h} = [\sigma]_{см} \quad [2, \text{стр } 42]$$

$P = Q$ – расчетное усилие на шпильке, $H = 5223352$ (см. определение расчетного усилия),

d_2 – средний диаметр резьбы, мм – 136.103,

h – глубина профиля резьбы, мм – 3.247,

n – число шпилек – 16,

z – число витков резьбы:

$$z = \frac{H}{S} = \frac{22}{0.6} = 36,6 \text{ витка}$$

H – глубина гнезда под шпильку, мм – 220.

$$\sigma_{см} = \frac{5223352}{3,14 \cdot 13,6103 \cdot 16 \cdot 36 \cdot 0,3247} = 69,3 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение смятия для материала корпуса из легированной стали (гайка навинчивается под нагрузкой)

$$[\sigma]_{см} = 80 \text{ МПа} \quad [1, \text{стр } 72]$$

Напряжение ниже допускаемых.

Определение крутящего момента на ключе при затяжке шпилек М14ОХ6

$$M_{кл} = 0,2 \cdot Q_0 \cdot d_0, \quad [6, \text{стр } 2]$$

где: Q_0 – усилие затяжки на одну шпильку:

$$Q_0 = Q_3/n = 564989/16 = 35311 \text{ Н},$$

Q_3 – усилие затяга для 2-х конусного обтюратора, кгс,

$$Q_3 = \frac{\sigma_{см} * \pi * D_{ср} * l_p * \sin(\alpha + \rho)}{\cos \rho} \quad [12, \text{стр } 35]$$

где $\sigma_{см}$ – герметизирующее напряжение смятия прокладки из алюминия, МПа – 70,

ρ – угол трения – 15° ,

$$l_p = \frac{h_1 - h_2}{2 \cos \alpha} = \frac{10,0 - 5,0}{2 * 0,866} = 28,868 \text{ мм},$$

$$Q_3 = \frac{70 * 3,14 * 121,6 * 2,8868 * 0,707}{0,966} = 564989 \text{ Н}$$

d_0 – наружный диаметр резьбы, мм – 140.

$$M_{кл} = 0,2 \cdot 14 \cdot 35311 = 9887 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2.2.9 Расчет крышки

Материал крышки: сталь 20Х2МА

$$\sigma_{В20} = 600 \text{ МПа} \quad \sigma_{В300} = 500 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{Т20} = 450 \text{ МПа} \quad \sigma_{Т300} = 350 \text{ МПа}$$

Расчетная толщина стенки определяется по формуле [12, стр 48]:

$$H_p = 0,45 \sqrt{\frac{3,8 * Q(D_б - D_{ср}) + P * D_{ср}^3}{(D_a - 2d_0 - d_1) * \sigma_{доп}}}$$

где: Q – расчетное усилие, Н – 5223352 (см. определение расчетного усилия),

P – расчетное давление МПа – 45,

$\sigma_{доп}$ – допускаемое напряжение для материала крышки, МПа – 227,3 (см. расчет пробного давления),

$$H_p = 0,45 \sqrt{\frac{3,8 * 5223352 * (153 - 121,6) + 450 * 121,6^3}{(182 - 2 * 14,6 - 7) * 2273}} = 300_{мм}$$

Принято $H = 330$ мм.

Минимальная толщина крышки в месте расположения паза под уплотнение

$$H_{1p} = 0,45 \sqrt{\frac{3,8 * Q(D_b - D_{cp}) + P * D_{cp}^3 * \frac{1,5P}{\sigma_{дон}}}{D_{cp} * \sigma_{дон}} - 6H^2 \frac{D_a - D_{cp} - 2d}{D_p}}$$

$$H_p = 0,45 \sqrt{\frac{3,8 * 5223352 * (153 - 121,6) + 45 * 121,6^3 * \frac{45 * 1,5}{227,3}}{121,6 * 227,3} - 6 * 33^2 * \frac{182 - 121,6 - 2 * 14,6}{121,6}} = 179_{мм}$$

Принято $H_1 = 260$ мм.

Толщина крышки для условий гидроиспытания

$$H_{p2} = 0,45 \sqrt{\frac{3,8 * Q_{np}(D_b - D_{cp})_{np} + P * D_{cp}^3}{(D_a - 2d_0 - d_T) * \frac{\sigma_T}{n_2}}}$$

$Q_{пр}$ – расчетное усилие при пробном давлении:

$$Q_{пр} = Q_d^* + Q_v^* = 7185011,3 + 431100 = 7616111,3 \text{ Н,}$$

где, Q_d^* - равнодействующая внутреннего давления при пробном давлении,

H – 7185011,3 (см. расчет фланца),

Q_v^* - осевая составляющая, H – 431100 (см. расчет фланца).

$$H_p = 0,45 \sqrt{\frac{3,8 * 7616111,3 * (153 - 121,6) + 61,9 * 121,6^3}{(182 - 2 * 14,6 - 7) * \frac{4500}{1,1}}} = 262_{мм}$$

$R_{пр}$ – давление пробное, МПа – 61,9 (см. расчет давления пробного),

n_2 – запас прочности по пределу текучести в условиях гидроиспытаний – 1,1.

Принятая толщина крышки больше расчетной.

2.2.10 Расчет коллектора

Материал - сталь 20 ГОСТ 8731-74.

Толщина стенки определяется по формуле [3, стр 18]:

$$S = \frac{P \cdot D_n}{2 \cdot Y[\sigma] + P} + C_2 + C_1 + C_3$$

где, P – расчетное давление, МПа – 2.5,

D_n – наружный диаметр трубы, мм – 57,

Y – коэффициент прочности сварного шва – 1.0,

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение для материала трубок из стали 20 при расчетной температуре $t = 300^\circ\text{C}$, МПа – 119

C_2 – прибавка для гнутых труб, мм:

$$C_2 = A_2(S - C) \cdot 1,6 \cdot 0,5925 = 0.949 \text{ мм},$$

S – принятая толщина стенки трубы, мм – 3.5,

A_2 – коэффициент, зависящий от овальности гнутого участка $\alpha = 10\%$ и величины $S_0/D = 0.5925/57 = 0.0104$,

S_0 – минимальная толщина стенки, мм:

$$S = \frac{P \cdot D_n}{200 \cdot [\sigma] + P} = \frac{25 \cdot 57}{200 \cdot 11.9 + 25} = 0.5925 \text{ мм}$$

$$\underline{A_2 = 1,6.}$$

C_1 – прибавка, см: $C_1 = A_1(S - C)$,

A_1 – коэффициент, зависящий от величины минусового отклонения по толщине стенки трубы и радиуса изгиба,

R – радиус изгиба, мм – 1065,

$$\frac{R}{D_n} = \frac{1065}{57} = 18.68$$

$$A_1 = 0,12; C_1 = A_1 \cdot S_0 = 0,12 \cdot 0,5925 = 0.07 \text{ мм}.$$

C_3 – прибавка на коррозию, мм – 1,0.

$C = C_1 + C_2 + C_3 = 0,949 + 0,07 + 1 = 2.6115$ мм.

$$S = \frac{2.5 * 57}{200 * 1.0 * 11.9 + 25} + 2.019 = 2.6115 \text{ мм}$$

Принята толщина стенки $S = 3,5$ мм.

Расчет трубок $38 * 3,5$ (гнутой участок).

Материал трубы – сталь 20 ГОСТ 8733-74.

Толщина стенки определяется по формуле:

$$S = \frac{P * D_n}{200 * Y[\sigma] + P} + C$$

где, P – расчетное давление, МПа – 2.5,

D_n – наружный диаметр трубы, мм – 38,

Y – коэффициент прочности сварного шва – 1.0,

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение для материала трубок из стали 20 при расчетной температуре $t = 300$ °C, МПа – 1,19

C – прибавка, мм: $C = C_1 + C_2 + C_3$,

C_3 – прибавка на коррозию, мм – 1.0,

C_1 – прибавка на гнутом участке, мм: $C_1 = A_1(S - C)$,

A_1 – коэффициент, зависящий от величины минусового отклонения по толщине стенки трубы и относительно радиуса изгиба, находится по таблице 5 в зависи-

мости от $\frac{R}{D_n} = \frac{99}{38} = 2.605$

R – радиус гiba, мм – 99,

Минусовое отклонение по толщине стенки трубы – 10 %.

$A_1 = 0.15$,

$C_1 = A_1 \cdot S_0 = 0,15 \cdot 0,395 = 0.059$ мм.

C_2 – прибавка для гнутых труб, мм:

$$C_2 = A_2(S - C),$$

S – принятая толщина стенки трубы, мм – 3.5,

A_2 – коэффициент, зависящий от овальности гнутого участка $\alpha = 100 \%$ и величины $S_0/D = 0.395/38 = 0.01$,

S_0 – расчетная минимальная толщина стенки, мм:

$$S = \frac{P \cdot D_n}{200 \cdot [\sigma] + P} = \frac{2.5 \cdot 38}{200 \cdot 11.9 + 25} = 0.395 \text{ мм}$$

$$\underline{A_2 = 1.6.}$$

$$C_2 = 1,6 \cdot 0,395 = 0.632 \text{ мм},$$

$$C = 0,059 + 0,632 + 1 = 1.691 \text{ мм}$$

Принятая толщина стенки трубы: $S = 3.5$ мм.

Расчет фланца ду-60

Материал крышки: сталь 25ХМФ

$$\sigma_{B20} = 760 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{T20} = 640 \text{ МПа}$$

Шпильки М52 – сталь 25Х1МФ.

Определение расчетного усилия линзового уплотнения [7, стр. 32]:

$$Q = Q_d + Q_n,$$

Q_d – равнодействующая внутреннего давления:

$$Q_d = 0,785 \cdot D_k^2 \cdot p,$$

P - расчетное давление, МПа - 250,

D_k – диаметр контакта сферы линзы с конусом трубы, мм:

$$D_k = 2 \cdot R \cdot \sin Y = 2 \cdot 13 \cdot 0.342 = 88.92 \text{ мм} \approx 89 \text{ мм},$$

R – радиус сферы линзы, мм – 130,

$$Q_d = 0,785 \cdot 8,9^2 \cdot 250 = 155450 \text{ Н},$$

Q_n – реакция прокладки в рабочих условиях:

$$Q_n = \pi \cdot D_k \cdot q = 3,14 \cdot 8,9 \cdot 320 = 8943 \text{ Н}.$$

q – минимальная реакция линзы, определяется по графику МПа - 32.

$$Q = 155450 + 8943 = 164393 \text{ Н}.$$

Определение усилия затяга, Н [6]:

$$Q_z = 0,785 \cdot D_k^2 \cdot P + \frac{\sigma_{\max}^2 \cdot \sin(\alpha + \rho) \cdot D_k^2}{0,112 \cdot E \cdot \cos \rho \cdot \sin \beta}$$

$$\sigma_{\max} = 60 \cdot P^{-0,0202} = 60 \cdot 2500^{-0,0202} = 5,122 \text{ МПа}$$

E – модуль упругости материала линзы, МПа - $1,91 \cdot 10^5$

$$\alpha = 70^\circ, \quad \beta = 20^\circ = Y,$$

ρ – угол трения – $8^\circ 30'$

$$Q_z = 0,785 \cdot 8,9^2 \cdot 2500 + \frac{5122^2 \cdot 0,9799 \cdot 8,9^2}{0,112 \cdot 1,91 \cdot 10^6 \cdot 0,989 \cdot 0,34202} = 158612 \text{ Н}$$

Расчет шпилек

Диаметр стержня шпильки определяется по формуле [7]

$$dp = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot z \cdot [\sigma] \cdot \phi_{оп}}}$$

где, Q – усилие расчетное, Н – 164393,

z – число шпилек -6,

$\sigma_{доп}$ – допускаемое напряжение для материала из стали 25Х1МФ при $t = 300^\circ\text{C}$, МПа,

P_v – запас по пределу прочности для данной стали – 4,0,

$$\sigma_{доп} = \sigma_{B300} / P_v = 7000 / 4,0 = 195 \text{ МПа},$$

σ_{T20} – предел текучести для стали 25Х1МФ при $t = 20^\circ\text{C}$, МПа - 750

σ_{B20} - предел прочности при $t = 20^{\circ}\text{C}$, МПа - 850,

σ_{B300} - предел прочности для стали 25Х1МФ при $t = 300^{\circ}\text{C}$, МПа - 700,

$$dp = \sqrt{\frac{4 \cdot 164393}{3.14 \cdot 6 \cdot 195}} = 42.3 \text{ мм}$$

Приняты шпильки М52*5, $d_B = 46,587$ мм, $d_c = 44$ мм.

Расчет резьбы М140*4 фланца [7]

$$Q_{\text{среза}} = K_m \cdot \pi \cdot d \cdot k \cdot H \cdot \tau_B \geq Q_p$$

где, K_m – безразмерный коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки по виткам, - 0.56,

d – наружный диаметр резьбы, мм – 140,

k – коэффициент полноты резьбы, для метрической резьбы – 0.87,

H – высота фланца, мм – 90,

τ_B – предел прочности материала фланца при $t = 300^{\circ}\text{C}$, МПа - 650,

Q_p – расчетная нагрузка, Н – 164393,

$$Q_{\text{среза}} = 0,56 \cdot 3,14 \cdot 140 \cdot 0,87 \cdot 90 \cdot 6500 = 751747 \text{ Н} \geq Q_p = 164393 \text{ Н.}$$

Условие прочности выполняется.

Расчет фланца.

Толщина фланца определяется по формуле [7, стр. 14]:

$$h = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{Q}{Y \cdot K \cdot [\sigma]_{\phi}^t}}$$

где, Q – расчетное усилие, Н,

$\sigma_{\text{доп}}$ – допускаемое напряжение для материала фланца из стали 25Х1МФ при

$t = 300^{\circ}\text{C}$, МПа,

$$\sigma_{\text{доп}} = \frac{\sigma_{T300}}{P_T} = \frac{610}{4,0} = 153 \text{ МПа}$$

σ_{T300} – предел текучести для материала фланца при $t = 300$ °С, МПа - 610

Пт – запас прочности по пределу текучести для данной стали - 4.0,

Y, K – коэффициенты,

$$K = 1 + \frac{\frac{D\phi}{D\delta} - 1}{\frac{D\phi}{Dp} - 1} = 1 + \frac{\frac{35}{25} - 1}{\frac{25}{14} - 1} = 1,51$$

$$Y = 1 - \frac{d_0}{0,5(D\delta - D\phi)} = 1 - \frac{5,6}{0,5(35 - 14)} = 0,47$$

$$h = 0,7 * \sqrt{\frac{164393}{0,47 * 1,51 * 1530}} = 86,1 \text{ мм}$$

Принятая толщина фланца $h = 90$ мм.

Определение крутящего момента на шпильки [5, стр. 3]:

$$M_{кп} = 0,2 \cdot d_p \cdot Q_0,$$

Q_0 – усилие затяга на одну шпильку

$$Q_0 = \frac{Q_3}{z} = \frac{158612}{6} = 26435 \text{ Н}$$

Z – число шпилек – 6,

d_p – диаметр резьбы, см – 5.2,

$$M_{кп} = 0,2 \cdot 6 \cdot 26435 = 275 \text{ Н·м}$$

2.2.11 Расчет опор

Определение ветровой нагрузки.

Вес отделителя незаполненного $y = 43170$ кг,

Вес опор $y_{оп} = 2784$ кг

Вес отделителя без опор $y_1 = 40386$ кг,

Изгибающий момент в расчетном сечении аппарата определяется по формуле [9, стр. 6]:

$$M_{\theta} = \sum_{i=1}^{n_0} P_i (X_i - X_0)$$

где, P_i – горизонтальная сила от действия ветра на участок, кг,

$$P_i = 0,6 \cdot \beta_i \cdot g_i \cdot D_i \cdot h_i,$$

g_i – нормативный скоростной напор, МПа – 4,5

β_i – коэффициент увеличения скоростного напора по участкам:

$$\beta_i = 1 + E \cdot m_i = 1 + E \cdot 0,35$$

m_i – коэффициент пульсации скоростного напора ветра в точке I (при высоте аппарата $H = 10$ м), - 0,35,

E – коэффициент динамичности, зависит от периода колебаний,

T – период собственных колебаний аппарата.

$$T = 2\pi \cdot H \sqrt{\frac{Q_0 \cdot K_c^2 + Q_1 \cdot K_1^2}{g(\gamma \cdot \frac{H}{2EJ_1} + Y_0)}}$$

K_i – относительное перемещение центров тяжести участков:

$$K_i = \gamma \frac{H}{2EJ_1} A_i + Y_0 \alpha_i$$

Y_0 – угол поворота опорного сечения, 1/Н·см,

$$Y_0 = \frac{1}{C_y \cdot J_{\phi}^x} = \frac{1}{10 \cdot 50,42 \cdot 10^6} = 1,98 \cdot 10^{-9}$$

C_y – коэффициент упорного неравномерного сжатия грунта, Н/см – 10,

J_{ϕ} – момент опорного кольца, см⁴,

$$J_{\phi} = 0,05(D_H^4 - D_B^4) = 0,05(187^4 - 121^4) = 50,42 \cdot 10^6 \text{ см}^4,$$

$D_B = 1210$ мм, $D_H = 1870$ мм, - диаметры наружный и внутренний опорного кольца,

$$J_1 - 0,05(D_1^4 - D^4) = 0,05(148^4 - 120^4) = 13,62 \cdot 10^4 \text{ мм}^4,$$

E – модуль упругости материала, МПа – $1,99 \cdot 10^5$,

H – высота аппарата, мм – 75480,

g – ускорение свободного падения, м/сек² – 9.81,

γ – коэффициент определяемый в зависимости от схемы аппарата –

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{13,62 \cdot 10^4}{1,978 \cdot 10^4} = 688$$

$$J_2 = 3 \cdot 0.05(D_T^4 - D_{BT}^4) = 3 \cdot 0.05(21,9^4 - 17,7^4) = 1978 \text{ м}^4$$

$D_T = 21,9$ см, $D_{BT} = 177$ мм, - диаметры наружный и внутренний труб,

$$\frac{H_1}{H} = \frac{574,8}{754,8} = 0,7615$$

$$\gamma = 4,0,$$

α_i – относительные координаты центров тяжести:

$$\alpha_i = \frac{X_1}{H} = \frac{467,4}{754,8} = 0,619$$

$$\alpha_0 = \frac{X_0}{H} = \frac{90}{754,8} = 0,119$$

A_i – безразмерный коэффициент,

$$A_1 = 0,375, A_0 = 0,026,$$

$$K_1 = 4,0 \frac{754,8}{2 \cdot 1,99 \cdot 10^6 \cdot 13,62 \cdot 10^6} \cdot 0,375 + 1,98 \cdot 10^{-9} \cdot 0,619 = 1,227 \cdot 10^{-9}$$

$$K_0 = 4,0 \frac{754,8}{2 \cdot 1,99 \cdot 10^6 \cdot 1,978 \cdot 10^4} \cdot 0,026 + 1,98 \cdot 10^{-9} \cdot 0,119 = 1,233 \cdot 10^{-9}$$

Q_0 – вес опор, кг – 2784.

Q_1 – вес незаполненного участка, Н – 40386.

Q^1 – вес заполненного участка, Н – 65386.

Период колебаний незаполненного аппарата:

$$T = 2 \cdot 3,14 \cdot 754,8 \cdot \sqrt{\frac{40,368 \cdot (1,227 \cdot 10^{-9})^2 + 2784(1,233 \cdot 10^{-9})^2}{981(4 \cdot \frac{754,8}{2 \cdot 1,99 \cdot 10^6 \cdot 13,62 \cdot 10^6} + 1,98 \cdot 10^{-9})}} = 0,827 \text{ сек}$$

Для заполненного аппарата:

$$T_{зан} = 2 \cdot 3,14 \cdot 754,8 \cdot \sqrt{\frac{65368 \cdot (1,227 \cdot 10^{-9})^2 + 2784(1,233 \cdot 10^{-9})^2}{981(4 \cdot \frac{754,8}{2 \cdot 1,99 \cdot 10^6 \cdot 13,62 \cdot 10^6} + 1,98 \cdot 10^{-9})}} = 1,075 \text{ сек}$$

$$E_z = 1,83, \beta_{iz} = 1,64$$

Для незаполненного аппарата:

$$E = 1,67, \beta_i = 1,585$$

Ветровая нагрузка для незаполненного аппарата:

$$P_1 = 0,6 \cdot 1,585 \cdot 45 \cdot 10^{-4} \cdot 148 \cdot 574,8 = 3640 \text{ Н,}$$

$$P_0 = 0,6 \cdot 1,585 \cdot 45 \cdot 10^{-4} \cdot 21,9 \cdot 574,8 = 675 \text{ Н.}$$

Ветровая нагрузка для заполненного аппарата:

$$P_{1з} = 0,6 \cdot 1,64 \cdot 45 \cdot 10^{-4} \cdot 148 \cdot 574,8 = 3770 \text{ Н,}$$

$$P_{0з} = 0,6 \cdot 1,585 \cdot 45 \cdot 10^{-4} \cdot 21,9 \cdot 574,8 = 700 \text{ Н.}$$

Изгибающий момент в месте присоединения опор к колонне:

$$\text{(заполненный): } M_{1з} = P_{1з} (X_1 - h_2) = 377(467,4 - 150) = 11966 \text{ Н}\cdot\text{м,}$$

$$\text{(незаполненный): } M_1 = P_1 (X_1 - h_2) = 364(467,4 - 150) = 11553 \text{ Н}\cdot\text{м,}$$

Изгибающий момент в опорном сечении:

$$\text{(заполненный): } M_з = P_{0з}X_0 + P_{1з}X_1 = 377 \cdot 467,4 + 70 \cdot 90 = 18251 \text{ Н}\cdot\text{м,}$$

$$\text{(незаполненный): } M = P_0X_0 + P_1X_1 = 364 \cdot 467,4 + 67,5 \cdot 90 = 17621 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Расчет опорного кольца:

Толщина опорного кольца (при укреплении его косынками) определяется по формуле [8, стр. 11]:

$$S_k = 1,41 \cdot b \cdot \sqrt{K_4 \frac{3\sigma_2}{[\sigma]}}$$

K_4 – коэффициент:

$$K_4 = f(b/e),$$

$$b/e = 16,9/40,90 = 0,41,$$

$$K_4 = 0,35,$$

l – расстояние между косынками, мм:

$$l = \pi \cdot 50/360 \cdot r = 3,14 \cdot 50/360 \cdot 93,5 = 409 \text{ мм.}$$

r – радиус опорного кольца, мм – 935,

b – расстояние от наружного края кольца до трубы опоры, мм – 165,

$[\sigma]$ – допускаемое напряжение для колец опор из стали 20К, МПа,

$$[\sigma] = 1,1 \cdot \sigma_{\text{доп}} = 1,1 \cdot 1470 = 161,5 \text{ МПа,}$$

$\sigma_{\text{доп}}$ – нормативное допускаемое напряжение для стали 20К при $t = 20^\circ\text{C}$ – 147,

$$\sigma_2 = \sigma_c \cdot \frac{t'_k}{t_k}$$

t'_k – расчетная ширина нижнего кольца [8, стр. 8]:

$$t'_k = \frac{\frac{4M}{D\delta} + N}{\pi \cdot D\delta \cdot \sigma_c}$$

σ_c – допускаемое напряжение сжатия бетона МПа,

$D\delta$ – диаметр болтовой окружности, мм – 154 ,

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_c \cdot \frac{\frac{4M}{D\delta} + N}{\pi \cdot D\delta \cdot \sigma_c}}{t_k} = \frac{\frac{4M}{D\delta} + N}{\pi \cdot D\delta \cdot t_k}$$

t'_k – ширина нижнего кольца, мм – 330,

M_3 – момент в опорном сечении (для заполненного аппарата):

$$\sigma_2 = \frac{\frac{4 \cdot 182510}{154} + 68170}{3,14 \cdot 154 \cdot 33} = 0,457 \text{ МПа}$$

$$S_k = 1,41 \cdot 16,5 \cdot \sqrt{0,35 \cdot \frac{3 \cdot 4,57}{1615}} = 12,7 \text{ мм}$$

Принято $S_k = 40 \text{ мм}$

Расчет болтов крепления опоры к фундаменту [8, стр 16] .

При $0,4 \cdot N \cdot D_b > M_v$

где, N – осевая сила, $N = 681700$,

D_b – диаметр болтовой окружности, $\text{мм} = 1540$,

M_v – ветровой изгибающий момент для заполненного аппарата, $\text{МПа} = 18251$.

$$0,4 \cdot 68170 \cdot 154 = 41992 \text{ Н} \cdot \text{м} > M_{v3} = 18251 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для незаполненного аппарата:

$$0,4 \cdot 43170 \cdot 154 = 26592720 \text{ Н} \cdot \text{см} > M_{v3} = 17621 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

При выполнении условия рекомендуется принимать $P_b = 4$; $d_b = 27 \text{ мм}$ для аппаратов с $D \leq 140$.

D – внутренний диаметр аппарата, $\text{мм} = 1200$.

Принято : P_b – число болтов – 4,

d_b – диаметр болта, $\text{мм} = 36$.

Материал болтов – сталь 35.

2.3 Гидравлический расчет

Произведем расчет потерь напора при движении смеси от реактора в отделитель высокого давления.

Рассчитаем массовые расходы полиэтилена и этилена в исходной смеси:

$$G_{пэ} = G_H \cdot X_H$$

$$G_{пэ} = 14834,9 \text{ кг/час}$$

$$G_{\text{э}} = G_{\text{н}} * (1 - X_{\text{н}})$$

$$G_{\text{э}} = 40519,2 \text{ кг/час}$$

Рассчитаем физические свойства смеси:

Плотность расплава полиэтилена:

$$\rho_{\text{пэ}} = 920 \text{ кг/м}^3$$

Плотность этилена при нормальных условиях:

$$\rho_{\text{эну}} = 1,26 \text{ кг/м}^3$$

Плотность этилена в отделителе высокого давления:

$$\rho_{\text{э}} := \frac{\rho_{\text{эну}} * 273}{(t + 273)} * \frac{P * 10^6}{101325}$$

$$\rho_{\text{эну}} = 1780,3 \text{ кг/м}^3$$

Объемные расходы полиэтилена и этилена в исходной смеси:

$$V_{i \text{ ý}} := \frac{G_{i \text{ ý}}}{\rho_{i \text{ ý}}} \text{ м}^3/\text{час}$$

$$V_{\text{пэ}} = 16,1 \text{ м}^3/\text{час}$$

$$V_{\text{ý}} := \frac{G_{\text{ý}}}{\rho_{\text{ý}}} \text{ м}^3/\text{час}$$

$$V_{\text{э}} = 22,8 \text{ м}^3/\text{час}$$

Объемный расход смеси:

$$V_{\text{см}} = V_{\text{пэ}} + V_{\text{э}}$$

$$V_{\text{см}} = 38,9 \text{ м}^3/\text{час}$$

Объемные доли компонентов:

$$\phi_{\text{пэ}} := \frac{V_{\text{пэ}}}{V_{\text{см}}} \quad \phi_{\text{пэ}} = 0,415$$

$$\phi_{\text{э}} := \frac{V_{\text{э}}}{V_{\text{см}}} \quad \phi_{\text{э}} = 0,585$$

Плотность смеси:

$$\rho_{\text{см}} := \frac{1}{\left(\frac{\phi_{\text{пэ}}}{\rho_{\text{пэ}}} + \frac{\phi_{\text{э}}}{\rho_{\text{э}}} \right)} \quad \rho_{\text{см}} = 1282,8 \text{ кг/м}^3$$

Диаметр подводной трубы:

$$d = 100 \text{ мм}$$

Диаметр трубы:

$$L = 20 \text{ м}$$

Площадь сечения подводной трубы:

$$S := \frac{\pi * (d * 10^{-3})^2}{4} \quad S = 0,0079 \text{ м}^2$$

Скорость течения смеси в трубе:

$$\omega := \frac{V_{см}}{3600 * S} \quad \omega = 1,375 \text{ м/с}$$

Коэффициент динамической вязкости расплава полиэтилена:

$$\mu_{пэ} = 13,5 \text{ МПа} \cdot \text{с}$$

Коэффициент динамической вязкости этилена:

$$\mu_{э} = 0,47 \text{ МПа} \cdot \text{с}$$

Коэффициент динамической вязкости смеси:

$$\mu_{см} := \frac{1}{\left(\frac{\phi_{пэ}}{\mu_{пэ}} + \frac{\phi_{э}}{\mu_{э}} \right)} \quad \mu_{см} = 0,78 \text{ МПа} \cdot \text{с}$$

Число Рейнольдса:

$$Re := \omega * \frac{d * \rho_{см}}{\mu_{см}} \quad Re = 225131,2$$

Т.к. число Рейнольдса больше 10000, значит режим течения жидкости – турбулентный.

Принимаем среднее значение шероховатости труб:

$$e = 0,2 \text{ м}$$

Относительная шероховатость

$$\varepsilon := \frac{e}{d} \quad \varepsilon = 0,002$$

$$\text{Т.к. } \frac{10}{\varepsilon} = 5000 < Re < \frac{560}{\varepsilon} = 280000$$

значит имеем турбулентный режим в шероховатых трубах.

Гидравлический коэффициент трения:

$$\lambda := \frac{1}{\left[2 * \log \left[0,27 * \varepsilon + \left(\frac{6,81}{\text{Re}} \right)^{0,9} \right] \right]^2} \quad \lambda = 0,024$$

Местные сопротивления:

Коэффициент местного сопротивления входа:

$$\xi_{\text{вх}} = 0,5$$

Коэффициент сопротивления на выходе из внутреннего трубопровода:

$$\xi_{\text{вых}} = 1$$

Коэффициент местного сопротивления плавного поворота газохода на угол 90 градусов:

$$\xi_{\text{пов}} = 1,131$$

число поворотов:

$$n = 3$$

Потери напора на трение по длине и в местных сопротивлениях во внутреннем трубопроводе – требуемая разница уровней сосудов:

$$H_{\text{тр}} := \left(\xi_{\text{вых}} + \xi_{\text{вх}} + n * \xi_{\text{пов}} + \lambda * \frac{L}{d * 10^{-3}} \right) * \frac{\omega^2}{2 * 9,81}$$

$$H_{\text{тр}} = 0,941 \text{ м}$$

3. Сепаратор возвратного газа

Сепаратор возвратного газа позиция Б-500/1 представляет собой вертикальный, емкостной, ковано-сварной цилиндрический сосуд с рубашкой внутренним диаметром 400 мм с коническим днищем и плоской крышкой. Общая высота сосуда 2615 мм. Сепаратор установлен на открытой площадке, теплоизолирован. Назначение аппарата - для отделения этилена от низкомолекулярного полиэтилена.

3.1 Технологический расчет

Исходные данные:

$D := 0.4$ диаметр сепаратора, м

$\alpha := 20$ угол конусности, град.

$Q := 500$ средняя производительность, м³/ч

$d_n := 125 \cdot 10^{-6}$ крупность слива, м

$p_0 := 28$ давление на входе, МПа

$H := 2.6$ высота сепаратора, м

$\rho_i := 570$ плотность этилена, кг/м³

$\rho_0 := 1000$ плотность воды, кг/м³

$\Delta := 0.125$ диаметр (размер сливного отверстия) песковой насадки, мм;

$a := 23$ содержание твердого в пульпе, масс. %;

$d := 0.032$ диаметр сливного отверстия, м;

Расчет :

K_d - поправка на диаметр сепаратора по формуле:

K_α - поправка на угол конусности сепаратора: для $\alpha = 20$ градусов,

$$K_d := 0.4 + \frac{K_d = 1.554}{1 + 0.1 \cdot D}$$
$$K_\alpha := 1$$

Рассчитаем производительность сепаратора

$$Q_1 := 3 \cdot K_\alpha \cdot K_d \cdot d_n \cdot \sqrt{p_0}$$

По формуле рассчитывается крупность слива в сепараторе

$$d_n := 1.5 \cdot \sqrt{\frac{(D \cdot a \cdot d)}{\Delta \cdot K_d \cdot p_0^{0.5} \cdot (\rho_0 - \rho_i)}}$$

$$d_n = 0.039$$

3.2 Механический расчет

Корпус сосуда выполнен из стали 20Х2М, рубашка - из стали ВСтЗсп, штуцера - из стали 20. Механические характеристики материалов сосуда приняты согласно [4], [5].

Таблица 3.1 - Основные параметры эксплуатации

Наименование параметра	Обозначение	Значение
Рабочее давление в корпусе / рубашке, МПа	P	32,0/2,2
Давление пробное в корпусе / рубашке, МПа	P _{пр}	48,0/3,6
Рабочая температура в корпусе / рубашке, °C	t	280/220
Рабочая среда в корпусе / рубашке	этилен, полиэтилен / водяной пар	

Таблица 3.2 - Основные габаритные размеры

Элемент конструкции	Внутр. диаметр (радиус кривизны) D (R), мм	Исполнительная толщина стенки S, мм
Цилиндрическая обечайка корпуса	400	50
Цилиндрическая обечайка рубашки	550	10
Плоская крышка: центральная часть	D _н = 650	140
Периферийная часть		100
Коническое днище рубашки	550	10

Таблица 3.3 – Механические характеристики материалов

Деталь Материал	Расчетная температура °C, T _p	Предел текучести при расч. темп-ре, МПа R _{p0,2}	Предел прочности при расч. темп-ре, МПа R _m	Допуск. напряжение при расч. темп-ре, МПа [σ] _t	Предел текучести при 20°C, МПа R _{p0,2} ²⁰	Допуск. напряжение при 20°C, МПа [σ] ₂₀
Корпус 20Х2М	280	362,0	512,0	213,3	450,0	250,0
Рубашка ВСтЗсп	220	206,4	426,0	137,6	231,0	154,0
Штуцера рубашки 20	220	201,6	460,0	134,4	220,0	147,0

Минимальное отношение допускаемых напряжений составляет:

- для корпуса - $[\sigma]_t/[\sigma]_{20} = 1,17$;

-длярубашки- $[\sigma]_t/[\sigma]_{20}= 1,09$.

Пробное давление согласно ПБ 03-576-03 [4] равно:

-для корпуса - $P_{пр} = 1,25 \cdot P_p \cdot [\sigma]_t/[\sigma]_{20} = 1,25 \cdot 32,0 \cdot 1,17 = 47$ МПа.

-для рубашки - $P_{пр} = 1,25 \cdot P_p \cdot [\sigma]_t/[\sigma]_{20} = 1,25 \cdot 2,2 \cdot 1,09 = 3$ МПа.

Таблица 3.4 – Данные по штуцерам

Обозначение штуцера по чертежу	Назна- чение штуцера	Диаметр условный D_y , мм	Фактиче- ская минималь- ная толщина S_1 , мм	Расчетная Толщина S_p , мм	Ми- ним.допуст.толщина по ИТН-93 [7] S_{min} , мм
Штуцер ру- башки А	Вход пара	32	3,3	0,27	2,0
Штуцер ру- башки Б	Выход пара	32	3,3	0,27	2,0

3.2. Расчет цилиндрической обечайки сведены в таблицу 3.5.

Таблица 3.5

Деталь	Расчетное Давление, МПа P_p	Внутр. диаметр, мм D	Миним. толщина стенки, мм S_1	Прибавка на корро- зию, мм C	Коэф-т прочн. сварн. шва, φ_p	Предел Текучести При 20°C, МПа $R_{p0,2}$	До- пуск.н апр-ие при расч.те мп-ре, МПа $[\sigma]_t$
Обечайка корпуса	32,0	400	49,1	1,0	1,0	450,0	213,3

Проверяем условие применения расчетных формул [7] для цилиндрических:
 $(S_1 - C)/D \leq 0,4$; $(49,1 - 1,0)/400 \leq 0,4$; $0,12 \leq 0,4$.

Условие выполняется.

Толщина стенки обечайки должна удовлетворять условию:

$S_1 \geq S_p + C$, где $S_p = 0,5D(\beta_R - 1)$.

Здесь β_R – расчетный коэффициент толстостенности, определяемый в зависимости от величины $P_p/([\sigma]_t \cdot \varphi_p)$ по [7, приложение 1]. При $P_p/([\sigma]_t \cdot \varphi_p) = 0,15$; коэф-фициент $\beta_R = 1,16$.

Подставляя исходные значения, получаем

$$S_p = 0,5 * 400 * (1,16 - 1) = 32,0 \text{ мм},$$

Принимаем $S_{\min}$ для цилиндрической обечайки корпуса 32,0 мм. Фактическая толщина обечайки больше расчётной, т.е. условие прочности выполняется.

Допускаемое внутреннее избыточное давление определяется по формуле [7] :

$$[P] = [\sigma]_t * \varphi_p * \ln \beta, \text{ где } \beta = \frac{D + 2(S_1 - C)}{D} = 1,24.$$

$$[P] = 213,3 * 1 * \ln 1,24 = 46,0 \text{ МПа}.$$

Таким образом, допускаемое внутреннее избыточное давление для цилиндрической чайки аппарата выше рабочего давления.

Допускаемое давление испытания из условия прочности определяется по формуле:

$$[P]_{\text{пр}} = [\sigma]_{\text{пр}} * \varphi_p * \ln \beta$$

где $[\sigma]_{\text{пр}}$ - допускаемое напряжение при испытании:

$$[\sigma]_{\text{пр}} = R_{p0,2} / 1,1 = 450 / 1,1 = 409,1 \text{ МПа}.$$

Подставляя исходные данные, получаем:

$$[\sigma]_{\text{пр}} = 409,1 * 1 * \ln 1,24 = 88,2 \text{ МПа}.$$

Таким образом, пробное давление меньше допускаемого, и условие прочности выполняется.

3.2.1 Расчет цилиндрической обечайки рубашки, нагруженной внутренним давлением.

Толщина стенки гладкой цилиндрической обечайки определяется по формуле [2]: $S_1 \geq S_p + C$,

$$\text{где } S_p = \frac{P_p \cdot D}{2 \cdot [\sigma]^t \cdot \varphi_p - P_p},$$

φ_p - коэффициент прочности сварного шва,

C - прибавка на коррозию, мм.

Допускаемое внутреннее избыточное давление определяется по формуле [4] :

$$[P] = (2 * [\sigma]^t * \varphi_p * (S_1 - C)) / (D + (S_1 - C)).$$

Допускаемое давление испытания из условия прочности определяется по формуле:

$[P]_{\text{пр}} = (2 * [\sigma]_{\text{пр}} * \varphi_p * (S_1 - C)) / (D + (S_1 - C))$, где $[\sigma]_{\text{пр}}$ - допускаемое напряжение:

при гидроиспытании $[\sigma]_{\text{пр}} = R_{p0,2}^{20} / 1,1$

$R_{p0,2}^{20}$ - предел текучести материала при 20°C, МПа.

Исходные данные для расчёта цилиндрической обечайки сведены в таблицу 4.6.

Таблица 4.6.

Деталь	Расч.давление, МПа P_p	Внутр.диаметр, мм D	Прибавка на коррозию, мм C	Коэф-т прочн.сварн.шва, φ_p	Предел Текучести При 20°C, МПа $R_{p0,2}$	Допуск.напр-ие при 20°C МПа $[\sigma]^{20}$	Допуск.напр-ие при расч.тем-ре, МПа $[\sigma]^t$
Цилиндр. Обечайка рубашки	2,2	550	1,0	0,9	231,0	154,0	137,6

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки по ГОСТ 52857.2-2007 [2] равна:

$S_p = 4,9$ мм;

Согласно ИТН-93 [4] толщина стенки цилиндрической обечайки рубашки должна быть не менее 4,0 мм.

Фактическая минимальная толщина стенки цилиндрической обечайки рубашки составляет 9,7 мм, что удовлетворяет требованиям ИТН-93 [4]. Минимально допустимая толщина стенки цилиндрической обечайки рубашки принимается равной 4,9 мм.

Условие прочности при данном режиме эксплуатации выполняется.

Результаты расчета цилиндрической обечайки представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7.

Деталь	Миним. допустим. толщина стенки, мм $S_{\min}$	Допускаемое внутреннее избыточное давление, МПа [P]	Допуск.напряж При испытании, МПа $[\sigma]_{\text{пр}}$	Необходимое давление испытания МПа $P_{\text{пр}}$	Допускаемое давление испытания, МПа $[P]_{\text{пр}}$
Цилиндр. Обечайка корпуса	4,9	3,86	210,0	3,0	5,93

Пробное давление испытания меньше допускаемого.
 $R_{\text{пр}}=3.0 \text{ МПа} < R_{\text{пр}} = 5.93 \text{ МПа}$

3.2.2. Расчет цилиндрической обечайки корпуса, нагруженной наружным давлением.

Толщина стенки цилиндрической обечайки определяется по формуле [7]:

$$S_1 \geq S_p + C,$$

$$\text{Где } S_p \approx \max \left\{ K_2 \cdot D \cdot 10^{-2}; \frac{1,1 \cdot P_p \cdot D}{2 \cdot [\sigma]_t} \right\}.$$

K_2 - коэффициент, определяемый по номограмме черт. 5 [7] в зависимости от коэффициентов K_1 и K_3 .

$$K_1 = \frac{0,865 \cdot n_y \cdot P_p}{2,4 \cdot 10^{-6} \cdot E}, K_3 = \frac{L_p}{D}.$$

где P_p - наружное давление, МПа.

E - модуль упругости, МПа (190000);

n_y - коэффициент запаса устойчивости (2,4);

L_p - длина цилиндрической обечайки, мм (2000);

D - внутренний диаметр цилиндрической обечайки, мм.

Исходные данные для расчета цилиндрической обечайки представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8.

Деталь	Расч.давление, МПа Р _р	Внутр.диаметр, мм D	Прибавка на коррозию, мм С	Коэф-т прочн.сварн.шва, φ _р	Предел Течучести При 20°С, МПа R _{p0,2}	Допуск.напр-ие при 20°С МПа [σ] ²⁰	Допуск.напр-ие при расч.темп-ре, МПа [σ] ^t
Цилиндр. Обечайка рубашки	2,2	400	1,0	0,9	450,0	250,0	213,3

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки по [7] равна:

$$S_p = \max\{8,4; 2,3\} = 8,4 \text{ мм.}$$

Фактическая минимальная толщина стенки цилиндрической обечайки составляет 50,8 мм, условие прочности при данном режиме эксплуатации выполняется.

Допускаемое наружное давление $[p]$ определяется по формуле:

$$[p] = \frac{[p]_n}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_n}{[p]_E}\right)^2}}$$

Где допускаемое давление из условия прочности:

$$[p]_n = \frac{2[\sigma]_t(S_1 - C)}{D + (S_1 - C)};$$

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[p]_E = \frac{20,8 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot D}{n_y \cdot B_1 \cdot L_p} \left[\frac{100 \cdot (S_1 - C)}{D} \right]^{2,5}$$

$$\text{При } B_1 = \min \left\{ 1, 0, 9, 45 \frac{D}{L_p} \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (S_1 - C)}} \right\}.$$

Результаты расчета приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9.

Деталь	Расчетная толщина стенки, мм $S_{\min}$	Коэффициенты				Допускаемое давление, МПа		
		K_1	K_2	K_3	B_1	$[P]_{\Pi}$	$[P]_E$	$[P]$
Цилиндрическая обечайка корпу- са	8,4	10,0	2,1	5,0	0,5	45,6	302,9	45,3

Условие прочности цилиндрической обечайки корпуса, нагруженной наруж-
ным давлением, выполняется.

3.2.3. Расчет конического днища рубашки, нагруженного внутренним давлением.

Расчет проводится согласно [7] по формулам для конических обечаек. Ис-
ходные данные для расчета сведены в таблицу 4.10.

Таблица 4.10 - Исходные данные для расчета конического днища рубашки

Диаметр Цилиндр Обечайки D , мм	α_1 , град.	Модуль упругости При расч. Темп-ре E , МПа	S_k ,мм	S_2 , мм	P_p , МПа	$[\sigma]_1$, $[\sigma]_2$, МПа	C , мм	Коэфф-т прочности св.шва φ_p
550	30,0	190000	9,9	9,7	2,2	137,6	1,0	0,95

Формулы применимы при $\alpha_1 \leq 70^\circ$. Толщину стенки гладкой конической обечай-
ки определяют по формуле:

$$S_1 \geq S_{k.p.} + C, \text{ где } S_{k.p.} = \frac{P \cdot D_k}{2\varphi_p [\sigma]_t - P} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_1}.$$

Здесь D_k – расчетный диаметр гладкой конической обечайки, определяемой по
формуле

$$D_k = D - 1,4 \cdot a_1 \cdot \sin \alpha_1, \text{ где}$$

a_1 – расчетная длина переходной части конической обечайки.

$$a_1 = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{D}{\cos \alpha_1} (S_1 - C)}.$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление определяется по формуле:

$$[P] = \frac{2[\sigma]_t \varphi_p (S_k - C)}{D_k / \cos \alpha_1 + (S_k - C)}.$$

Допускаемое давление гидроиспытания из условия прочности определяется по формуле:

$$[P]_{np} = \frac{2[\sigma]_{np} \varphi_p (S_k - C)}{D_k / \cos \alpha_1 + (S_k - C)}.$$

Толщина стенки конического элемента в зоне соединения с цилиндрической обечайкой без тороидального перехода должна быть не менее толщины стенки, определенной по формуле [7]

$$S_1 \geq \frac{S_1 - C}{S_2 - C} \cdot S_{2p} + C, \text{ где } S_{2p} = \frac{P \cdot D \cdot \beta_1}{2\varphi_p [\sigma]_t - P}.$$

Здесь β_1 - коэффициент формы, определяемый по формуле где $\beta_1 = \max \{0,5; \beta\}$, где β определяется по черт.27 [7].

Допускаемое внутреннее избыточное давление из условия прочности переходной части определяют по формуле:

$$[P] = \frac{2[\sigma]_2 \varphi_p (S_2 - C)}{D\beta_1 / \cos \alpha_2 + (S_2 - C)}.$$

Здесь $[\sigma]_2$ - допускаемое напряжение цилиндрической обечайки при расчетной температуре, МПа.

Допускаемое давление гидроиспытания из условия прочности определяется по формуле:

$$[P]_{np} = \frac{2[\sigma]_{2np} \varphi_p (S_2 - C)}{D\beta_1 / \cos \alpha_2 + (S_2 - C)}.$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 4.11.

Таблица 4.11 - Расчет на прочность конического днища рубашки

Конструктивная зона	a ₂ , мм	D _к , мм	Гладкая коническая обечайка			β ₁	Конус в зоне соединения с цилиндрической обечайкой		
			S _{к.р.} , мм	[P], МПа	[P] _{пр} , МПа		S ₁ , мм	[P], МПа	[P] _{пр} , МПа
Днище рубашки	0,0	513,6	5,0	3,86	5,9	0,9	4,2	4,5	6,9

Фактическая минимальная толщина больше расчетной. Рабочее и пробное давление меньше допускаемого. Условие прочности выполняется.

3.2.4. Расчет плоской крышки корпуса, нагруженной внутренним давлением.

Расчет проводится по СТ СЭВ 5206 - 85 [4]. Обозначения в разделе приняты согласно [4]. Толщина периферийной части плоской крышки, уточненная после конструктивного оформления, рассчитывается по формуле:

$$H_{3R} = 0,41D_R \sqrt{\frac{P}{[\sigma]_t} \cdot \frac{D_R + 3(D_3 - D_R)(F_B / F_Q)}{(D_4 - 2d_0 - D_6) + (H_2 / H_3)^2(D_6 - D_5) + (H_1 / H_3)^2(D_5 - \sum_{i=1}^n d_i)}}, \text{ где}$$

D_R - расчетный диаметр уплотнения, мм;

D₃- диаметр окружности центров шпилек, мм (540);

D₄ - наружный диаметр фланца крышки, мм (650);

D₅ - наименьший диаметр выточки для уплотнения, мм (370);

D₆ - наибольший диаметр выточки для уплотнения, мм (420);

d₀- диаметр отверстия под крепежную шпильку, мм (55);

d₁- диаметр сквозного отверстия, мм;

d₂; d₃- диаметры несквозных отверстий, мм (15;25);

Σd_i- сумма хорд отверстий для наиболее ослабленного диаметрального сечения, мм (183,3);

F_B- расчетное усилие, действующее на шпильки при расчетном давлении, Н

;F_Q- осевая сила от действия давления среды на крышку, Н;

p - расчетное давление, МПа;

[σ] - допускаемое напряжение при расчетной температуре, МПа.

Сквозное отверстие в крышке представляет собой сочетание двух отверстий цилиндрической и конической формы. В этом случае в качестве расчетного подставляем эквивалентный диаметр $d_э$ из условия равенства площади фасонного сечения f и площади сечения $d_э \cdot S_1$ [8].

$$f = d_2 \cdot S + \frac{d_2 + d}{2} \cdot (S_1 - S),$$

где d_2 - меньший диаметр фасонного отверстия, мм (90);

d - наибольший диаметр фасонного отверстия, мм (152);

S - ширина прямоугольного сечения, мм (30);

S_1 - ширина сечения, мм (140).

Тогда площадь фасонного сечения будет равна:

$$f = 90 \cdot 30 + \frac{90 + 152}{2} \cdot (140 - 30) = 16010 \text{ мм}.$$

Тогда эквивалентный диаметр из условия равенства площади фасонного сечения f и площади сечения $d_э \cdot S_1$ будет равен:

$$d_э = \frac{f}{S_1} \cdot d_э = \frac{16010}{140} = 114,3 \text{ мм}.$$

Принимаем $d_1 = d_э = 114,3 \text{ мм}$.

Сумма диаметров сквозных отверстий в сечении рассчитывается по формуле [4]:

$$\sum_{i=2}^n d_i = \sum_{i=2}^n \min(d_i; \frac{2l_i}{H_3} d_i),$$

где l_i - глубина отверстий под шпильки для крепления присоединяемых к крышке элементов, мм;

H_3 - исполнительная толщина периферийной части крышки, мм (100).

F_B и F_Q определяют по СТ СЭВ 4350-83 [8].

$$F_B = F_Q + F_P; \quad F_Q = \frac{\pi}{4} D_R^2 p; \quad F_P = \frac{\pi}{2} p_F D_R h_R \operatorname{tg} \gamma; \quad p_F = \max \{p; 40 \text{ МПа}\};$$

$$h_R = (h_1 + h_2)/2; \quad D_R = D + \operatorname{tg} \gamma (h_1 - h_2)/2.$$

Здесь h_1 , h_2 и γ - геометрические характеристики уплотнительного кольца

Внутренний диаметр фланца составляет 400 мм. Подставляя исходные данные, получаем:

$$D_R = 400 + tg30^\circ \cdot (45 - 22) / 2 = 608,7 \text{ мм}; h_R = (45 + 22) / 2 = 33,5 \text{ мм};$$

$$F_Q = (3,14/4) \cdot 406,6^2 \cdot 32 = 4155842,2 \text{ Н};$$

$$F_P = (3,14/2) \cdot 32 \cdot 406,6 \cdot 33,5 \cdot tg30^\circ = 494166,89 \text{ Н};$$

$$F_B = 4155842,2 + 494166,89 = 4650009,1 \text{ Н}.$$

$$H_{3R} = 83,5 \text{ мм}.$$

Минимальная фактическая толщина крышки 99,7 мм больше расчетной. Условие прочности выполняется.

Допускаемое давление для плоской крышки определяется следующим

$$\text{образом: } [P] = P \cdot \frac{H_3^2}{H_{3R}^2}; [P] = 30 \cdot \frac{99,7^2}{83,5^2} = 45,6 \text{ МПа}.$$

Условие прочности выполняется $32,0 \text{ МПа} < 45,6 \text{ МПа}$.

Допускаемое пробное давление $[P]_{пр}$ определяется по формуле

$$[P]_{пр} = 1,25 \cdot [P] \cdot [\sigma]_{пр} / [\sigma]^t,$$

Где $[\sigma]_{пр}$ - допускаемое напряжение при испытании.

$$[\sigma]_{пр} = R_{p0,2}^{20} / 1,1 = 450 / 1,1 = 409,1 \text{ МПа}.$$

Подставляя исходные данные, получаем

$$[P]_{пр} = 87,4 \text{ МПа}.$$

Допускаемое пробное давление выше фактического и необходимого.

Условие прочности выполняется.

3.2.5. Расчет укрепления отверстия на рубашке аппарата.

В данном пункте обозначения величин приняты с соответствии с [8]. Расчет проводится для штуцера внутренним диаметром 32 мм на рубашке аппарата.

$S1$ - толщина стенки штуцера, мм ;

s - толщина стенки корпуса, мм ;

$S1p$ - расчетная толщина штуцера, мм;

s_p - расчетная толщина стенки конуса, мм(5,0);

c, c_s, c_{s1} - прибавки на коррозию, мм (1);

d_p - расчетный диаметр отверстия, мм.

Расчетный диаметр отверстия в стенке обечайки, не требующего дополнительного укрепления, ось которого совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия, определяется по формуле:

$$d_p = d + 2 + C_s, \text{ где}$$

d - внутренний диаметр штуцера, мм (32);

C_s - прибавка на коррозию для штуцера, мм (1).

$$d_p = 32 + 2 \cdot 1,0 = 34,0 \text{ мм.}$$

Расчетный диаметр отверстия, не требующего укрепления, при наличии избыточной толщины стенки сосуда определяется по формуле:

$$d_0 = 2 \cdot \left(\frac{S - C}{S_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (S - C)} = 109,9 \text{ мм;}$$

$$\text{Для конической обечайки } D_p = \frac{D_k}{\cos \alpha} = \frac{340}{\cos 30} = 392,6 \text{ мм,}$$

D_k - внутренний диаметр конической обечайки по центру укрепляемого отверстия.

Проверяется условие $d_p < d_0$, $34 < 109,9$. Условие выполняется, следовательно, дальнейший расчёт не проводится.

4. Холодильник возвратного газа

Холодильник возвратного газа представляет собой горизонтальный теплообменный аппарат типа «труба в трубе» с линзовым уплотнением и резьбовыми фланцами. Служит для охлаждения возвратного газа.

4.1 Технологический расчет

Таблица 5.1 Основные параметры эксплуатации

Параметр	Пространство	
	трубное	межтрубное
Рабочее давление, МПа ($P_{\text{раб}}$)	30,0	2,5
Расчетное внутреннее давление, МПа (P_p)	30,0	2,5
(Рабочая температура, °C (t))	120 ± 280	130 ± 190
Расчетная температура, °C (T)	280	190
Внутренняя среда	этилен	Горячая вода, пар
Время эксплуатации, лет (t_1)	16	

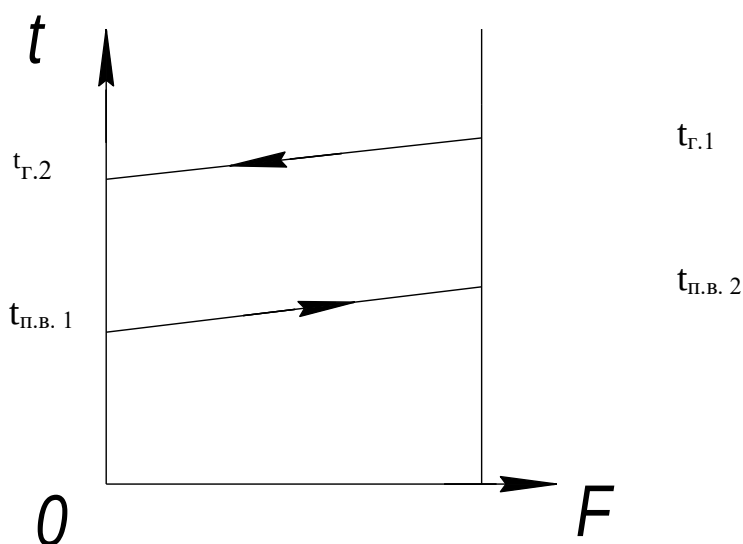


Рисунок №1. "диаграмма изменение температуры теплоносителей при движении противотоком"[2]

Большая и меньшая разность температур на концах теплообменника:

$$\Delta t_m := t_{Г.2} - t_{П.В.2} = 20^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_{\bar{\theta}} := t_{\Gamma,1} - t_{\Pi,В.1} = 90^{\circ}\text{C}$$

Средняя разность температур входящая в уравнение теплоотдачи:
Для противотока и прямотока[3]:

$$\Delta t_{c.T} := \begin{cases} \Delta t_{\text{прог.}} \cdot \frac{\Delta t_{\bar{\theta}} + \Delta t_M}{2} & \text{if } \frac{\Delta t_{\bar{\theta}}}{\Delta t_M} < 2 \\ \Delta t_{\text{прям.}} \cdot \frac{\Delta t_{\bar{\theta}} - \Delta t_M}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\bar{\theta}}}{\Delta t_M}\right)} & \text{if } \frac{\Delta t_{\bar{\theta}}}{\Delta t_M} \geq 2 \end{cases}$$

$$\square t_{c.T.} = 46.54^{\circ}\text{C}$$

Определение средних температур теплоносителей:

Средняя температура теплоносителей при неизменном агрегатном их состоянии:

Средняя температура для второго теплоносителя: (перегретая вода)

$$t_{c.T.2} = \frac{t_{\Pi,В.1} + t_{\Pi,В.2}}{2} = 160^{\circ}\text{C}$$

Средняя температура для первого теплоносителя: (газ)

$$t_{c.T1} := \Delta t_{c.T} + t_{c.T2} = 206.54^{\circ}\text{C}$$

Удельная теплоемкость холодного теплоносителя при средней температуре. [2, стр. 562, рис. XI]

Удельная теплоемкость :

$$C_{\Gamma} := 2050 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$$

Удельная теплоемкость воды:

$$C_{В} := 4190 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$$

Количество теплоты (из уравнения теплового баланса):

$$Q := m \cdot C_{\Gamma} \cdot (t_{\Gamma1} - t_{\Gamma2}) = 2.932 \times 10^6 \text{ Дж}$$

Плотность теплоносителей: (1)

$$\text{Плотность этилена: } P_{э} := 500 \text{ кг/м}^3$$

Плотность воды: $\rho_B := 997.1 \text{ кг/м}^3$

объемный расход горячего теплоносителя:

$$V_T := \frac{m}{\rho_B} = 0.022 \text{ м}^3/\text{с}$$

Массовый расход холодного теплоносителя (перегретая вода):

$$m_B := \frac{Q}{C_B \cdot (t_{\text{пв2}} - t_{\text{пв1}})} = 11.661 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

объемный расход холодного теплоносителя:

$$V_{\text{хт}} := \frac{m_B}{\rho_B} = 0.012 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Коэффициент теплопередачи: (2, стр. 172, табл. 4.8) вынужденное движение.
 $K := 250$

Ориентировочное значение площади поверхности теплообмена:

$$F_T := \frac{Q}{K \Delta t_{\text{с.т.}}}$$

$$F_T = 75 \text{ м}^2$$

По поверхности теплообмена подбираем теплообменник типа «труба в трубе»

Таблица 5.2 – Основные габаритные размеры

Элемент конструкции	Наружный диаметр D, мм	Длина (высота) L (H), мм	Исполнительная толщина стенки S, мм
Кожух (межтрубное пространство)	219	12290	8
Съемные колена (трубное пр-во) горизонтальные	127 $R_{\text{гибы}}=345$	600	18
вертикальные	$R_{\text{гиба}}=165$	440	
Труба (трубное пр-во)	127	12290	18

4.2 Механический расчет

Таблица 5.3 – Механические характеристики материалов

Деталь Сталь	Расчетная температура, град.С T_p	Предел текучести при расч. темп-ре, МПа $R_{p0,2}$	Предел прочности при расч. темп-ре, МПа R_m	Допуск. напряжение при расч. темп-ре, МПа $[\sigma]_t$	Предел текучести при 20°C, МПа $R_{p0,2}^{20}$	Допуск. напряжение при 20°C, МПа $[\sigma]_{20}$
Трубы $\varnothing 127$, колена сталь 20	280	180,0	395,0	120,0*	240,0	160,0*
Трубы $\varnothing 219$, штуцера сталь 20	190	200,0	400,0	133,3*	220,0	146,7*

* согласно [5] для деталей трубопроводов из углеродистых и низколегированных сталей $[\sigma]_t = \min\{R_{p0,2}/1,5; R_m/2,6\}$.

Отношения допускаемых напряжений составляют для кожуха – $[\sigma]_t/[\sigma]_{20}=1,1$, для трубного пространства $[\sigma]_t/[\sigma]_{20}=1,33$.

4.2.1 Расчет кожуховых труб, нагруженных внутренним избыточным давлением

Расчет проводится по [4]. Исходные данные для расчета сведены в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 — Исходные данные для расчета кожуховых труб

Расчетное давление, МПа P_p	Наружный диаметр, мм D_H	Миним. толщина стенки, мм S_1	Прибавка на коррозию, мм C	Коэфф-т прочности свар.шва φ	Допуск. напряжение при расч. темп-ре, МПа $[\sigma]_t$	Предел текучести при 20°C, МПа $R_{p0,2}$
2,5	219	6,7	1,0	0,9	133,3	220,0

Толщина стенки прямой трубы определяется по формулам

$$S_1 \geq S_p + C$$

$$S_p = \frac{P_p \cdot D_n}{2 \cdot [\sigma]_t \cdot \varphi + P_p}.$$

Подставляя исходные данные, получаем

$$S_p = \frac{2,5 \cdot 219}{2 \cdot 133,3 \cdot 0,9 + 2,5} = 2,3 \text{ мм.}$$

Минимально допустимая толщина кожуховой трубы согласно [7] должна быть не менее 3,2 мм.

Принимаем для труб кожуха

$$S_{\min} = 3,2 \text{ мм.}$$

Фактическая толщина кожуховых труб больше минимально допустимой. Условие прочности выполняется.

Допускаемое давление определяется по формуле:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma]_t \cdot \varphi \cdot (S_1 - C)}{D_n - (S_1 - C)}.$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 133,3 \cdot 0,9 \cdot (6,7 - 1,0)}{219 - (6,7 - 1,0)} = 6,4 \text{ МПа.}$$

Давление гидроиспытания для холодильника определяется по формуле [4]

$$P_{\text{пр}} = 1,35 \cdot P_{\text{раб}} \cdot [\sigma]_{20} / [\sigma]_t.$$

$$\text{Для кожуховых труб } P_{\text{пр}} = 1,35 \cdot 2,5 \cdot 1,1 = 3,4 \text{ МПа.}$$

Допускаемое давление гидроиспытания из условия прочности определяется по формуле:

$$[P]_{np} = \frac{2 \cdot [\sigma]_{np} \cdot \varphi \cdot (S_1 - C)}{D_n - (S_1 - C)}.$$

$$[\sigma]_{np} = R_{p0,2}^{20} / 1,1 = 220 / 1,1 = 200,0 \text{ МПа,}$$

$$[P]_{np} = \frac{2 \cdot (6,7 - 1,0) \cdot 0,9 \cdot 200,0}{219,0 - (6,7 - 1,0)} = 9,6 \text{ МПа.}$$

Рабочее и пробное давление в кожуховых трубах меньше допускаемых. Условия прочности выполняются.

4.2.2 Расчет теплообменных труб высокого давления

Расчет проводится по [4] для наиболее тонкого участка. Исходные данные для расчета сведены в таблицу 2.2.

Таблица 5.2 – исходные данные для расчета теплообменных труб высокого давления

Расчетное давление, МПа P_p	Внутренний диаметр, мм D	Наружный диаметр, мм D_n	Миним. толщина стенки, мм S_1	Прибавка на коррозию, мм C	Коэфф-т прочности свар.шва ϕ	Допуск, напряжение при расч. темп-ре, МПа $[\sigma]_t$	Предел текучести при 20°C, МПа $R_{p0,2}$
30,0	90	127	18,2	1,0	0,9	120,0	240,0

Толщина стенки трубы должна быть не менее

$$S_T = K_1(S_p + C), \text{ где } S_p = 0,5(\beta_p - 1)(D + 2C), \beta_p = \exp(P_p / [\sigma]_t).$$

Коэффициент K_1 принимается по чертежу 2 стр. 14 в зависимости от величины минусового допуска δ_1 на изготовление по толщине стенки. Согласно [4] для горячедеформированных труб диаметром 219 мм толщиной от 15 до 30 мм $\delta_1 = 12,5\%$, тогда $K_1 = 1,14$. Подставляя исходные данные, получаем:

$$\beta_p = \exp(30 / 120,0) = 1,28 \quad S_p = 0,5(1,28 - 1)(90 + 2 \cdot 1) = 1,31 \text{ мм},$$

$$S_T = 1,14(1,31 + 1) = 16,0 \text{ мм}.$$

Принимаем для теплообменных труб высокого давления

$$S_{\min} = 1,31 \text{ мм}.$$

Фактическая толщина теплообменных труб больше минимально допустимой.

Условие прочности выполняется.

Допускаемое внутреннее избыточное давление рассчитывается по формуле

$$[P] = [\sigma]_t \ln \frac{D_n}{D + 2 \cdot C}.$$

$$[P] = 120,0 \ln \frac{127}{90 + 2 \cdot 1,0} = 38,7 \text{ МПа}.$$

Давление гидроиспытания для холодильника определяется по формуле [4]

$$P_{пр} = 1,35 \cdot P_{раб} \cdot [\sigma]_{20} / [\sigma]_t.$$

Для трубного пространства:

$$P_{пр} = 1,35 \cdot 30,0 \cdot 1,33 = 50,0 \text{ МПа}.$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление при гидроиспытании определяется по формуле

$$[P]_{np} = [\sigma]_{np} \ln \frac{D_n}{D + 2 \cdot C}.$$

$$[\sigma]_{np} = R_{p0,2}^{20} / 1,1 = 240 / 1,1 = 218,2 \text{ МПа},$$

$$[P]_{np} = 218,2 \ln \frac{127}{90 + 2 \cdot 1,0} = 70,3 \text{ МПа}.$$

Таким образом, допускаемое пробное давление выше необходимого и фактического.

Условие прочности для теплообменных труб высокого давления при данном режиме эксплуатации выполняется.

4.2.3 Расчет колен теплообменных труб, нагруженных внутренним избыточным давлением

Расчет проводится по [4] для наиболее тонких колен. Исходные данные для расчета сведены в таблицу 5.3.

Таблица 5.3 - Исходные данные для расчета колен трубного пространства

Расч.давление МПа P_p	Внутренний диаметр прямолинейного участка, мм D	Наружный диаметр прямолинейного участка, мм D_n	Радиус гiba, мм R_r	Прибавка на коррозию мм C	Допуск. напр-ие при расч.темпер-ре, МПа $[\sigma]_t$
			165		

30,0	90	127	345	1,0	120,0
------	----	-----	-----	-----	-------

Толщина стенки криволинейного элемента (колена) на гнutom участке должна быть не менее:

на боковой поверхности $S_p = 0,5 \cdot (D + 2C)(\beta_p - 1) + C$;

на вогнутой поверхности $S_{1p} = 0,5 \cdot (D + 2C)(J_1\beta_p - 1) + C$;

на выпуклой поверхности $S_{2p} = 0,5 \cdot (D + 2C)(J_2\beta_p - 1) + C$.

Коэффициенты J_1 и J_2 определяются в зависимости от расчетной толстостенности, равной

$$\beta_p = \exp(P_p / [\sigma]_t).$$

и относительного радиуса кривизны колена α_Γ , равного

$$\alpha_\Gamma = \frac{R_r}{D_n}$$

Результаты расчета сведены в таблицу 5.4.

Таблица 5.4 - Расчет толщины колен

Зона расчета	β_p	α_Γ	J_1	J_2	S_p , мм	S_{1p} , мм	S_{2p} , мм
Колено $R_\Gamma 165$	1,28	1,30	1,09	0,965	14,1	19,4	12,0
Колено $R_\Gamma 165$	1,28	2,72	1,025	0,985	14,1	15,5	13,2

5.Монтаж теплообменника

По данным источника [11] выбор способа монтажа зависит от ряда факторов, среди которых основными являются: габариты, масса и конструктивные особенности монтируемого оборудования; размеры и качество площадки, на которой производится монтаж, и ситуация, сложившаяся на ней в момент монтажа и после него; пространственное положение оборудования и геометрические отметки его расположения; оснащенность монтажными механизмами и приспособлениями, достигнутый уровень монтажной техники и др.

Монтажные работы производят тремя способами: индустриальным, крупными блоками и «по месту».

Индустриальный способ монтажа — наиболее передовой, позволяющий резко уменьшить продолжительность монтажных работ и затраты труда на них. Сущность его заключается в том, что оборудование устанавливается в проектное положение (на фундамент) в максимально готовом к эксплуатации виде (имеется в виду полная сборка оборудования, обслуживающей его металлоконструкции, испытание, нанесение тепловой изоляции, а также футеровка поверхности).

Если по тем или иным причинам индустриальный способ полностью не применим, осуществляют монтаж крупными блоками, что позволяет расширить фронт монтажных работ за счет независимой друг от друга сборки каждого блока. Последовательность и сроки сборки блоков должны быть подчинены технологии их соединения непосредственно на фундаменте. Оборудование расчленяют на такие блоки, чтобы было возможно их последующее соединение. Масса каждого блока должна быть в пределах грузоподъемности имеющихся в наличии подъемных механизмов и приспособлений.

Наиболее примитивным, малопроизводительным способом является монтаж «по месту», при котором оборудование, металлоконструкции и трубопровод собирают из отдельных деталей и узлов непосредственно на местах их установки.

Состояние оборудования и его готовность к установке на фундамент во многом определяют сроки монтажа, поэтому согласно действующим техническим условиям во всех случаях, когда это не ограничивается возможностями транспорта, завод-изготовитель поставляет оборудование полностью собранным и испытанным.

По размерам (длина, ширина, высота) оборудование делится на габаритное и негабаритное. Под габаритным оборудованием понимают такое, размеры которого не выходят за пределы габаритов подвижного железнодорожного состава. Габаритное оборудование можно перевозить по железной дороге без всяких ограничений.

В данном дипломном проекте необходимо смонтировать горизонтальный теплообменник типа «труба в трубе».

Данный аппарат является габаритным, таким образом, его доставка до места назначения может быть осуществлена любым видом транспорта. Монтаж осуществляется промышленным способом, то есть аппарат устанавливается на фундамент в полностью собранном виде.

Исходные данные:

Масса аппарата, т: $G_0 = 14,8$.

Габариты: длина аппарата – 12290 мм, ширина – 1500 мм,
высота- 3300 мм.

Высота фундамента, м: 0,3.

Высота подъема, м: $h = 4$

Монтаж осуществляется на открытой площадке при помощи автокрана.

5.1 Расчет стропов[11]

В конструкции теплообменника предусмотрены проушины для крепления стропов. Расстояние между проушинами – 3000 мм. Стропы принимаются облегченные, с крюками. Длину стропы принимаем равной 2 м. Таким образом, угол отклонения стропы от вертикали составит (по теореме синусов) (рисунок 6.1):

$$\sin \alpha = 1500/2000.$$

$$\alpha = \arcsin(0,75) = 48,6^\circ$$

Усилие, действующее на стропы, кН:

$$P = G_0 * 10; \quad (6.1)$$

$$P = 14,8 * 10 = 148 \text{ кН}.$$

Усилие в одной ветви стропы, кН:

$$S = P/m * \cos \alpha; \quad (6.2)$$

где m – количество ветвей стропов, равное 2;

Усилие в одной ветви в соответствии с формулой (6.2):

$$S = 148/2 * \cos 48,6 = 48,94 \text{ кН}.$$

Разрывное усилие стропы, кН:

$$R = k_3 * S; \quad (6.3)$$

где k_3 – коэффициент запаса прочности, для стропов с крюками составляет 6 [11];

Разрывное усилие по формуле (6.3):

$$R = 6 * 48,94 = 293,64 \text{ кН}.$$

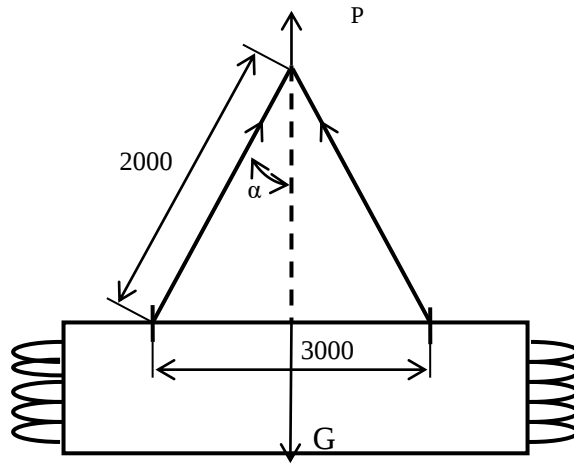


Рисунок 6.1 – Схема строповки теплообменника

Подбор каната: канат типа ЛК-РО конструкции 6х36 (1+7+7/7+14)+1 о.с. (ГОСТ 7668-80). Характеристики: временное сопротивление разрыву, МПа – 1666; разрывное усилие, кН – 318,5; диаметр каната, мм – 27; масса 1000 м каната, кг – 2800.

5.2 Расчёт и подбор полиспастов для монтажа теплообменника

Усилие на подвижный блок полиспаста при подъёме груза:

$$P_{\Pi} = 10 \cdot G_0,$$

где G_0 - масса поднимаемого груза, тонн.

$$P_{\Pi} = 10 \cdot 14.8 = 148 \text{ кН}$$

Находим усилие, действующее на неподвижный блок полиспаста:

$$P_H = 1.07 \cdot P_{\Pi}$$

$$P_H = 1.07 \cdot 148 = 158.36 \text{ кН}$$

Подбираем 2 блока по наибольшему усилию P_H со следующими характеристиками:

- тип Б20-3;
- грузоподъёмность - 20 тонн;
- количество роликов – 3;
- диаметр роликов - 400 мм;
- диаметр каната – 26 мм;

- масса блока - 248 кг.

Находим усилие сбегающей ветви:

$$S_{II} = \frac{P_{II}}{m_{II} \cdot \eta}, \text{ кН};$$

где m_{II} - общее количество роликов в полиспасте, $m_{II} = 6$;

η - коэффициент полезного действия полиспаста (подшипники скольжения, с учетом одного отводного ролика), $\eta = 0.752$;

$$S_I = 148 / (6 \cdot 0.752) = 32,9 \text{ кН};$$

Определяем разрывное усилие в сбегающей ветви полиспаста и подбираем канат:

$$R_I = S_I \cdot k_C = 32,9 \cdot 5 = 164,4 \text{ кН}.$$

Выбираем канат типа ЛК - РО конструкции 6х36 (1+7+7/7+14)+1 о.с. (ГОСТ 7668 - 80) с характеристиками:

- временное сопротивление разрыву 1666 МПа;
- разрывное усилие 171 кН;
- диаметр каната 18 мм;
- масса 1000 м каната 1245 кг.

Подсчитываем длину каната для оснастки полиспаста:

$$L = m_{II} \cdot (h + 3.14 \cdot d_p) + l_1 + l_2, \text{ м};$$

где h - высота подъема аппарата, $h = 4 \text{ м}$;

d_p - диаметр роликов в блоке, $d_p = 0.4 \text{ м}$;

l_1 - длина сбегающей ветви от ролика блока до барабана лебёдки, $l_1 = 25 \text{ м}$;

l_2 - расчетный запас длины каната, $l_2 = 10 \text{ м}$.

$$L = 6 \cdot (4 + 3.14 \cdot 0.4) + 25 + 10 = 67 \text{ м}$$

Подсчитываем суммарную массу полиспаста:

$$G_{II} = G_B + G_K, \text{ Т};$$

где G_B - масса блока, $G_B = 496 \text{ кг}$;

G_K - масса каната, кг;

$$G_K = \frac{L \cdot q_K}{1000}, \text{ Т};$$

где q_K -масса 1000 м. каната, $q_K = 1245$ кг;

$$G_K = 67 \cdot 1.245 / 1000 = 0.083 \text{ Т};$$

$$G_{\bar{I}} = 0.496 + 0.083 = 0.58 \text{ Т};$$

Определяем усилие, действующее на канат, закрепляющий неподвижный блок полиспаста:

$$P_B = 10 \cdot G_0 + 10 \cdot G_{II} + S_{II};$$

$$D_A = 10 \cdot 14.8 + 10 \cdot 0.58 + 32.9 = 186.7 \text{ т}.$$

Приняв канат для крепления верхнего блока полиспаста из двух ветвей и, определив коэффициент запаса прочности $k_3=6$, как для стропа, подсчитываем разрывное усилие в каждой ветви крепящего каната:

$$R_K = P_A \cdot k_{\zeta} / 2 = 186.7 \cdot 6 / 2 = 560.1 \text{ т}.$$

По найденному R_K подбираем канат типа ЛК - РО конструкции 6х36 (1+7+7/7+14)+1 о.с. (ГОСТ 2688-80), закрепляющий верхний неподвижный блок полиспаста, с характеристиками:

- временное сопротивление разрыву 1568 МПа;
- разрывное усилие 646 кН;
- диаметр каната 36.5 мм;
- масса 1000 м каната 4965 кг.

5.3 Подбор крана

Выбираем кран КС-65721 «Галичанин» на базе на базе автомобильного шасси МЗКТ-700600 (8х4) с характеристиками (табл. 6.1)

Таблица 6.1 - Технические характеристики КС-65721 «Галичанин» базовая комплектация стрела 42,0 м.

Параметр	Значение
Грузоподъемность максимальная, т/вылет, м	60/2,5
Длина стрелы, м	11,7 - 42
Длина гуська, м	9 или 15
Максимальная высота подъема крюка, м	
- с основной стрелой 42 м	42,5
- с основной стрелой 42 м и гуськом 9 м	51,4
Макс. глубина опускания крюка стрелой 11,7 м на вылете 6,0 м, м	8,0
Масса груза, при которой допускается выдвижение секций стрелы, т	6,0
Скорость подъема-опускания груза, м/мин	
- номинальная (с грузом массой до 60,0 т)	2,78
- увеличенная (с грузом массой до 9,0 т)	5,56
- максимальная (кратность полиспаста 1)	39,0
Скорость посадки груза, м/мин	0,15
Частота вращения поворотной части, об/мин	0 ... 1,76
Скорость передвижения крана своим ходом, км/ч	до 50
Масса крана в транспортном положении, т (с противовесами и гуськом)	44
Колесная формула базового автомобиля	8 x 4
Двигатель базового автомобиля, модель	D13A400
Габариты крана в транспортном положении, м (длина x ширина x высота)	14,12 x 2,5 x 3,98
Температура эксплуатации, град. С	от -40 до +40

6. Автоматизация

6.1 Краткое описание технологии

Реакционная масса, после продуктового холодильника Б-308 из реакторного блока, подается в отделитель высокого давления ОВД Б-401. Ввод расплавленной массы осуществляется через верхнюю крышку аппарата.

Поступающая в отделитель реакционная смесь при давлении (25,0-28,0)Мпа, контролируемом прибором PI-26005, и температуре 250⁰С, контролируемой по высоте приборами: TIAE-26007, TIAE-26008, TIAE-26008, разделяется на две фазы - жидкую, состоящую из расплавленного высокомолекулярного полимера и газовую - этилен, содержащий незначительное количество низкомолекулярного полимера. Спецификация используемых средств автоматизации приведена в табл. 7.1.

Газовая фаза из ОВД с температурой (180-280)⁰С, контролируемая прибором TAE-26014 и давлением не более 28,6 МПа, контролируемым прибором PRAE-26004 через отсечной гидравлический клапан HIE-H-26013, управляемый с ЦПУ и по месту, по трубопроводу, охлаждаемому горячей водой, поступает в сепаратор Б-500/1 обогреваемый паром 2,2 МПа, который подается в рубашку аппарата. В сепараторе происходит частичное выделение низкомолекулярного полиэтилена (НМПЭ) из газовой фазы. НМПЭ из сепаратора Б-500/1, через систему запорной арматуры, ежечасно сбрасывается в сепаратор газа промежуточного давления Б-507. Из сепаратора Б-500/1 частично очищенный газ поступает в горизонтальные холодильники Б-503/Н,Н1.

Температура возвратного газа перед входом в Б-500/1 контролируется прибором TI-427.

Расплав полимера, содержащий этилен, через клапан HIE-H-26011, поступает в два отделителя низкого давления Б-402/1,2 отделения грануляции. В процессе работы в ОВД поддерживается оптимальный уровень расплава (30-80)% (940-1340)мм по прибору LIRCAE-26006. Повышение уровня может привести к уносу полимера в систему очистки возвратного газа и его забивке. Снижение уровня – приведет к поступлению газа в отделитель низкого давления и последую-

щему росту давления в ОНД Б-402/1,2. Уровень регулируется с ЦПУ путем увеличения или уменьшения степени открытия регулирующих клапанов КрП1 и КрП2 на трубопроводах подачи расплава в ОНД Б-402/1,2.

При повышении давления в ОВД до 29,0 МПа от прибора PRAE-26004 подается сигнал на открытие электрозадвижки Кр2 на линии сброса газа из сепаратора Б-502/1, и газ из ОВД сбрасывается в колонну Б-505; после уменьшения давления в ОВД до 27,0 МПа электрозадвижка Кр2 закрывается.

В теплообменниках Б-503Н/503Н1 газ охлаждается горячей водой, которая подается в межтрубное пространство со станции горячей воды с температурой $(130-170)^{\circ}\text{C}$ и давлением до 3 МПа.

Отделитель высокого давления Б-401 снабжен быстродействующими гидравлическими клапанами НІЕ-Н-26001, НІЕ-Н-26011, НІЕ-Н-26013, НІЕ-Н-26002, которые обслуживаются гидроаккумуляторной станцией АБ корп.425, срабатывающими при прохождении аварийных программ «А-2», «АР»:

- клапаны НІЕ-Н-26001, НІЕ-Н-26013, НІЕ-Н-26011 закрываются, отсекая ОВД Б-401 от системы;
 - клапан НІЕ-Н-26002 открывается, обеспечивая сброс газа и полиэтилена в атмосферу;
 - клапан НІЕ-Н-26001 закрывается также при срабатывании аварийной программы «А-1»;
- [22]

Таблица 7.1- Спецификация средств автоматизации.

Обозначение	Наименование	Количество
T TIAE-26007 TIAE-26008 TIAE-26009 TIAE-26014 TI-427	Термометр сопротивления платиновый ТСПУ Метран-276-Exd Диапазон измерения: 0-400°C Погрешность: 0,25 Выходной сигнал: 4-20 мА	5
P PIRAE-26004 PI-27006-1 PI-26005	Интеллектуальные датчики давления серии Метран-100-ДА модели 1050-Ex Диапазон измерения: минимальный 0-0,04 кПа максимальный 0-150 МПа Выходной сигнал: 4-20 мА Погрешность: 0,25	3
C, R LIRCAE-26006 PIRAE-26004	Регулятор, регистратор.	3
L LIRCAE-26006	Радиоизотопный датчик уровня DG-57 Диапазон измерения: 0,1- 2 м. Блок источника с гамма-излучения с изотопом Кобальт-60 Погрешность: $\pm 1-2\%$	1

7. Социальная ответственность

Технологический процесс производства полиэтилена высокого давления (ПЭВД) включает следующие основные стадии [22]:

- компримирование этилена до давления реакции 150-300 Мпа с помощью компрессоров;
- дозирование инициатора насосами высокого давления;
- дозирование модификатора;
- полимеризации этилена при температуре 150-320 °С;
- разделение полиэтилена и непрореагировавшего этилена;
- охлаждение и очистка непрореагировавшего этилена (возвратного газа);
- грануляция расплавленного этилена экструзионным методом.

7.1 Производственная безопасность

7.1.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов

Таблица 6.1

**Основные элементы производственного процесса, формирующие
опасные и вредные факторы**

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Ф а к т о р ы (ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ) [13]		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Контроль за нормальным протеканием технологического процесса	Отклонение показателей микроклимата в помещении Недостаточная освещенность рабочей зоны	Опасность поражения электрическим током	ГОСТ 12.0.003–74.ССБТ; СанПиН 2.2.4.548-96; ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ
Обслуживание технологического оборудования и сосудов и трубопроводов под высоким давлением	Превышение уровней шума	Опасность взрыва и пожара	ГОСТ 12.0.003–74.ССБТ; СНиП П-12-77; ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ

7.1.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния на работающих

7.1.2.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении

Важным фактором на проектируемой установке, является исключение вредного воздействия микроклиматических факторов на организм человека и созданием нормальных условий труда в рабочей зоне. На данной установке параметры воздушной среды соответствуют СанПиН 2.2.4.548–96 [19]. Он устанавливает оптимальные и допустимые микроклиматические условия для теплого, холодного и переходного периодов года в зависимости от тяжести выполняемых работ.

Таблица 6.2

Допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений СанПиН 2.2.4.548–96

Се- зон года	Категория тяжести вы- полняе-мых работ	Температура, С ⁰		Относительная влажность, %		Скорость движе- ния воздуха, м/сек	
		Фактич. значе- ние	Допу- стим. значение	Фактич. значение	Допу- стим. значение	Фактич. значение	Допу- стим. значение
Холод-	IIa	20	17-23	70	15-75	0,3	0,1-0,3
Теплый	IIa	21	18-27	65	15-75	0,3	0,1-0,4

Исходя из таблицы 6.2, микроклиматические условия в рабочей зоне соответствуют нормам в рабочей зоне производственных помещений.

(СанПиН 2.2.4.548–96) [19]. В случае отклонения от норм, предусмотрено наличие систем отопления и кондиционирования.

7.1.2.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормативных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиН 2.2.1/[18].

Таблица 6.3

Параметры систем естественного и искусственного освещения на рабочих местах по СанПиН 2.1.1.1278-03

Наименование рабочего места	Тип светильника и источника света	Освещенность при совмещенной системе, лк	
		Фактически	Норм. значение
Центральный пульт управления	ЛЛ	520	500

В случае отключения освещения в производственных помещениях предусмотрено аварийное освещение.

7.1.2.3. Превышение уровней шума

Основными источниками шума в цехе полиэтилена высокого давления являются электродвигатели, приводящие в действие насосы и компрессоры, а также движущиеся детали самих компрессоров и насосов: ротор и рабочее колесо. Уровень шума в помещении цеха, в непосредственной близости компрессора или насоса 87 дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 500 Гц ,что превышает допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука для постоянных рабочих мест и рабочих зон в производственных помещениях и на территории предприятий, в соответствии с ГОСТ 12.1.003–83 с изм. 1999г.[14].

Длительное регулярное нахождение в помещении ПЭВД без соответствующих средств защиты от шумового воздействия может повлечь шумовую болезнь (ухудшение слуха), а со временем и полную потерю слуха.

Методы и средства защиты от шума:

Средства и методы защиты от шума по отношению к защищаемому объекту подразделяют на коллективные и индивидуальные средства защиты [14].

Индивидуальные средства защиты: против шумные наушники, вкладыши, шлемы и каски, против шумные костюмы, антифоны, “беруши”.

Используют: звукопоглощающие материалы, звукоизолирующие кожухи и экраны, звукоизолированные кабины [15].

Таблица 6.3

**Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука
(ГОСТ 12.1.003–83 с изм. 1999г.)[14]**

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в ок- тавных									Уровни звука и эквивалентные
	31,	63	125	250	500	100	200	400	800	
Конструкторские бюро, программисты, лаборато- рии	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Помещения управления, рабочие комнаты	93	79	70	63	58	55	52	50	49	60
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в произ- водственных помещениях и на территории предприя- тий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

7.1.2.4 Опасность поражения электрическим током.

В соответствии с «Правилами устройства электроустановок»[23], Помещение Центрального пульта управления производства полиэтилена относится ко второму классу электробезопасности:

Электрооборудование в здание должно отвечать требованиям правил устройств электроустановок. Все части технологического оборудования, которые проводят статическое электричество, необходимо заземлить согласно ГОСТ 12.4.124-83 [5].

Средства индивидуальной защиты в зависимости от назначения в соответствии с ГОСТ 12.4.124-83.

Для защиты персонала от поражения электрическим током применяются диэлектрические перчатки, коврики, сапоги, резиновые фартуки и прорезиненные костюмы, инструмент с изолированными ручками.[3]

Средства коллективной защиты

К средствам коллективной защиты от поражения электрическим током относятся: заземление, зануление, защитное отключение, изоляция, ограждение, блокировка, пониженные напряжения, сигнализация и плакаты, электрозащитные средства, электрическое разделение сетей.

Предусмотрена защита зданий, сооружений, оборудования, трубопроводов от прямых попаданий ударов молнии путем присоединения корпусов установок, отдельных емкостей и аппаратов к заземляющему контуру и установкой молниеприемников. В соответствии с СН 305-77 [6].

7.2 Экологическая безопасность

При эксплуатации теплообменного оборудования, адсорбционного оборудования, фильтров пыли, насосов и прочего оборудования цеха газообразные отходы производства, загрязняющие окружающую среду, отсутствуют. Основными отходами производства являются: сточные воды, содержащие примеси масел, а также пыль, задерживаемая фильтром пыли во время очистки воздуха [22].

Охлаждение теплообменного оборудования производится от закрытой системы оборотного водоснабжения.

Нормальная воздушная среда в помещениях цеха обеспечивается системами отопления и вентиляции.

7.2.1. Охрана почв

Отработанное смазочное масло вывозится за пределы предприятия и подвергается регенерации на специальных регенерирующих установках. Смазочное масло, которое не подлежит регенерации, утилизируется. В результате утилизации отработанное масло преобразуется в гидрофобный порошок, обладающий высокими силикатными свойствами, который можно использовать в строительстве при изготовлении гидрозащитных оснований, площадок, при строительстве хранилищ, отстойников, обсыпок дорог и др [22].

7.2.2. Охрана гидросферы

В цехе предусмотрена ливневая и хозяйственно-бытовая канализация. В нее поступают сточные воды от мытья полов в помещениях. Основным загрязнителем сточных вод являются следы масел, по содержанию не превышающие ПДК. Все сточные воды подвергаются механической и химической очистке на очистных сооружениях предприятия.[22]

7.3.Безопасность в чрезвычайных ситуациях

7.3.1. Пожарная и взрывная безопасность

В соответствии с классификацией производств по пожарной опасности (ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности") [21], зданию цеха полиэтилена высокого давления присвоена категория пожарной опасности В, которая включает в себя производства, связанные с обработкой или применением твердых сгораемых веществ и материалов, а также жидкостей с температурой вспышки паров выше 120° С (смазочное масло).

Возможные источники и причины пожаров и взрывов на рабочем месте:

- загорание смазочных масел и обтирочного материала при неправильном их хранении;
- загорание промасленной спецодежды и материалов при соприкосновении их открытым огнем или горячими частями оборудования и трубопроводов;
- загорание промасленной одежды и смазочных масел от попадания на них искр.

Организационные противопожарные меры включают в себя мероприятия: режимного характера, обучение и разработку планов эвакуации людей в случае пожара. Технические меры – это современные автоматические средства сигнализации, которые должны быть установлены в каждом помещении цеха, методы и устройства ограничения распространения огня, автоматические стационарные системы тушения пожаров. Также помещение цеха должно быть оснащено первичными средствами пожаротушения- огнетушитель порошковый АВС(Е) для класса А, которые располагаются на щитах типа ЩП-А (щит пожарный для очагов пожара класса А) на видном и легкодоступном месте. ЦПУ должен быть оснащен кнопочным извещателем, с помощью которого можно своевременно информировать пожарную службу [22].

В целях снижения вероятности возникновения взрыва или пожара на производстве следует выполнять *общие требования по охране труда* .

7.3.2.Безопасность в чрезвычайных ситуациях природного и социального характера

При возникновении загорания (пожара) независимо от его размера, аппаратчик должен [22]:

- немедленно вызвать пожарную команду по телефону или при помощи кнопочного извещателя;
- Вызвать скорую помощь и газоспасательный отряд.
- сообщить о загорании (пожаре) начальству;
- приступить к тушению пожара имеющимися средствами пожаротушения;
- Остановить технологический процесс.
- при угрозе жизни - покинуть помещение.

7.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

7.4.1. Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.

Согласно статье 224 ТК РФ работодатель обязан соблюдать ограничения на привлечение отдельных категорий работников к выполнению тяжелых работ, во вредных и (или) опасных условиях. Например, трудовое законодательство ограничивает использование труда женщин на работах в тяжелых, вредных или опасных условиях (ст. 253 ТК РФ). Молодые люди не достигшие 18 лет, на вредные или опасные работы не допускаются. Об этом говорится в ст. 265 ТК РФ.

У сотрудников, который заняты на работах во вредных или опасных условиях, продолжительность рабочего времени сокращается на 4 часа в неделю. То есть она не превышает 36 часов в неделю (ч. 1 ст. 92 ТК РФ). При этом ежедневная рабочая смена при 36-часовой рабочей неделе не может превышать 8 часов, а при рабочей неделе 30 часов и менее - 6 часов (ч. 2 ст. 94 ТК РФ).

7.4.2. Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

При проектировании объектов необходимо предусматривать максимально возможное размещение аппаратуры и оборудования вне зданий. Компоновочные решения технологических установок на объекте должны обеспечивать нижеперечисленные требования:

- Минимальные капитальные и эксплуатационные расходы;
- Технологическую взаимозаменяемость;
- Последовательность технологических процессов с минимальным количеством встречных перекачек;
- Оптимальные размеры рабочей площади агрегатов, технологических блоков, установок;
- Деление на участки, обеспечивающие возможность опорожнения от продукта всех аппаратов и трубопроводов, расположенных на площадке;

- Свободный доступ к оборудованию, арматуре. Приборам контроля и автоматизации; свободный подъезд транспорта и размещение подъемных средств;
- Возможность проводить ремонтные работы с помощью средств механизации.

Расстояния между аппаратами, колоннами, теплообменниками и другим оборудованием, расположенными внутри одной технологической установки, следует принимать исходя из условий максимального удобства обслуживания, ремонта и выполнения требования по охране труда и пожарной безопасности.

Необходимо предусмотреть:

- Основные проходы по обслуживанию щитов управления шириной не менее 2 м;
- Основные проходы по обслуживанию компрессоров, насосов и аппаратов, имеющих местные контрольно-измерительные приборы, и проходы при наличии постоянных рабочих мест шириной не менее 1.5 м.
- Проходы между аппаратами и стенами помещений при условий кругового обслуживания- шириной не 1 м.
- Проходы для осмотра периодической проверки, регулирования аппаратов и приборов – шириной не менее 0.8 м;
- проходы между газовыми компрессорами –не менее 1.5 м. Ширина прохода малогабаритными машинами(шириной и высотой до 0.8 м.)- не менее 1 м.
- расстояние между фундаментами «в свету» для вертикальных аппаратов массой не более 40 м. должны быть не менее 3.5 м.

8. Экономика производства

8.1 Расчёт производственной мощности

Под производственной мощностью химического предприятия (производства, цеха) понимается максимально возможный годовой выпуск готовой продукции в номенклатуре и ассортименте, предусмотренных на плановый период при наилучшем использовании производственного оборудования, площадей в результате внедрения инноваций или проведения организационно-технических мероприятий.

Требуемые производственные мощности[24]:

$$M = P_{\text{час}} \cdot T_{\text{эфф}} \cdot n,$$

где, $P_{\text{час}}$ – часовая производительность ведущего оборудования

$$P_{\text{час}} = 15 \text{ т/час};$$

$T_{\text{эфф}}$ – эффективное время работы оборудования;

n – количество однотипного оборудования;

$$n = 1;$$

$$T_{\text{эфф}} = T_n - T_{\text{ппр}} - T_{\text{то}}$$

T_n – номинальный фонд работы оборудования;

$$T_n = 365 \text{ дней} \cdot 24 \text{ часа} = 8760 \text{ часов}$$

Таблица 1

Продолжительность выполняемых работ при капитальном ремонте

Вид работы	Ориентировочное время работы, день
1. Пропарка отделителя высокого давления	4
2. Очистка внутренней стенки отделителя от полимера	4
3. Капитальный ремонт трубопроводов и арматуры.	8
4. Калибровка КИПиА.	2

$T_{ппр}$ – время простоя в ремонтах;

$T_{ппр} = 18 \text{ дней} \cdot 24 \text{ часа} = 432 \text{ часов};$

Поскольку производство непрерывное - технологических остановок не предусмотрено.

$T_{то}$ – время технологических остановок;

$T_{то} = 0 \text{ часов};$

$T_{эфф} = 8760 - 432 - 0 = 8328 \text{ часа}$

Производственная мощность:

$M = 8328 \text{ часа} \cdot 15 \text{ т/час} \cdot 1 = 124920 \text{ т}$

Таблица 2

Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени	365 (8760)
Номинальный фонд рабочего времени	365 (8760)
Простой оборудования в ремонтах	18 (432)
Эффективное время работы оборудования за год	347 (8328)

Для характеристики использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты использования оборудования.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен

$$K_{экс} = T_{эфф} / T_n = 8328 / 8760 = 0.95$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен

$$K_{инт} = Q_{пп} / Q_{max} = 15 / 17 = 0.882$$

где $Q_{пп}$ – производительность единицы оборудования в час;

Q_{max} – максимальная производительность в единицу времени.

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{им.} = K_{экс} \cdot K_{инт} = 0.95 \cdot 0.882 = 0.838$$

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

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им}} \cdot M = 0.838 \cdot 124920 = 104683$$

где $K_{\text{им}}$ - коэффициент использования мощности.

Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала

1. Расчет численности персонала (табл. 3):

- основных рабочих;

Таблица 3

Расчет численности персонала основных рабочих

Категория персонала	Норма обслуживания, $N_{\text{обс}}$	Число смен в сутки, S	Число единиц оборудования, n	Явочная численность, $N_{\text{яв}}$	Эффективное время рабочего, $T_{\text{эфф}}$, час	Коэф-т перехода, $K_{\text{пер}}$	Списочная чис-ть, $N_{\text{сп}}$
Основные рабочие	0.3	2	14	9	1494	2.9	26
Всего							26

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

Таблица 4

Баланс эффективного времени одного среднесписочного работника

№, п/п	Показатели	Дни	Часы
1.	Календарный фонд рабочего времени	365	4380
2.	Нерабочие дни		

	Выходные	182.5	2190
	Праздничные	-	-
3.	Номинальный фонд рабочего времени	182.5	2190
4.	Планируемые невыходы		
	Очередные и дополнительные отпуска (смены)	30	720
	Невыходы по болезни (смены)	7	168
	Отпуск в связи с учебной без отрыва от производства	21	
5.	Эффективный фонд рабочего времени	124.5	1494

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

Таблица 5

График сменности

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	А		12	12		4	12	8			12	12		4	12
2	Б	12		4	12	8			12	12		4	12	8	
3	В	4	12	8			12	12		4	12	8			12
4	Г	8			12	12		4	12	8			12	12	

15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
8			12	12		4	12	8			12	12		4	12
	12	12		4	12	8			12	12		4	12	8	
12		4	12	8			12	12		4	12	8			12
4	12	8			12	12		4	12	8			12	12	

Часы работы: 8⁰⁰ - 20⁰⁰

20⁰⁰ - 8⁰⁰

Порядок расчёта годового фонда заработной платы цехового персонала

Этапы расчёта	Содержание расчётов	Подробно
1	2	3
1. Расчёт численности персонала: • основных рабочих;	Явочная и списочная численность	табл. 3
2. Баланс эффективного годового времени одного среднесписочного работника	Таблица расчёта Тэфф в днях и часах	табл. 4
3. График сменности	Таблица	табл. 5
4. Расчёт сменоборота и количества выходных дней в году	Тсо, Твых	табл. 4 табл. 5
5. Расчёт тарифного фонда зарплаты	$Z_{тар} = T_{ст} \cdot T_{эфф}$, Где $T_{ст}$ – тарифная ставка соответствующего разряда рабочего	
6. Премияльные (Дпрем)	20 – 80 % от $Z_{тар}$	45%
7. Доплата за работу в ночное время (Днв)	40 % от ($T_{ст} \cdot t_{нв}$), Где $t_{нв}$ – время ночной работы (определяется по графику сменности)	
8. Доплата за работу в праздничные дни (Дпр)	$T_{пр} \cdot T_{ст} \cdot N_{яв}$, Где $T_{пр}$ – количество праздников в году; $N_{яв}$ – явочная численность рабочих	
9. Доплата из фонда мастера (ДФМ)	3 % от $Z_{тар}$	

10. Доплата за бригадирство (Дбр)	Полагается только бригадирам 15% от ЗП	
11. Основная зарплата (Зос)	Зтар+Дпрем+Днв+Дпр+Дфм+Дбр	
12. Дополнительная зарплата (Здоп)	(Дн·Зосн)/Тэфф, Где Дн – количество дней невыхода на работу по планируемым причинам (отпуск, ученические, гособязанности)	
13. Районный коэффициент	1.5	
14. Начисления на зарплату	30 % от (Зосн+Здоп)	

Таблица 7

Потребность в персонале и заработной плате

Наименование категорий работников	1-ый год			
	Потребность, чел.	Среднегодовая зарплата, тыс. руб.	Годовые затраты на зарплату, тыс. руб.	Доплаты, тыс. руб.
Основные рабочие	26	25	7800	9360

8.2 Расчет затрат на производство продукции

1. Расчет годовой потребности в сырье и материалах

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

Таблица 8

Расчет годовой потребности в сырье и материалах[24]

Наименование сырья	Ед.изм	Цена Тыс.руб	Расход, т		Затраты, тыс. руб.	
			На единицу готовой продукции	На весь объем пр-ва	На единицу готовой продукции	На весь объем пр-ва
1. Этилен	т	51.9	1	104683	51.9	5433047.7
2. Инициаторы	т	100	0.00033	34.55	0.033	3450
Итого					51.933	5436497.7

2. Расчет годовой потребности в электроэнергии

Таблица 9

Расчет потребности электроэнергии

Наименование оборудования	Мощность (суммарная), кВт	Эффективный фонд времени оборудования	Суммарно-потребляемая электроэнергия, кВт*ч
Электродвигатели	6536	8328	54435160
		8328	54435160

3. Расчет амортизационных отчислений

Для расчета амортизационных отчислений необходимо учесть:

- полную стоимость зданий;
- полную стоимость оборудования;

- нормы амортизационных отчислений.

Расчет амортизационных отчислений и остаточной стоимости основных фондов представлен в таблице 10.

Сумма **амортизационных отчислений** (АО) определяется по формуле:

$$AO = C_{\text{оф}} \cdot H / 100\%,$$

где $C_{\text{оф}}$ – среднегодовая стоимость основных фондов, руб;

H - норма амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов, % к их балансовой стоимости.

Таблица 10

Наименование основных фондов	Норма амортизации, %	1-й год		2-ой год	
		$C_{\text{оф}}$, тыс.руб.	АО ₁ , тыс.руб.	АО ₂ , тыс.руб.	Остаточная стоимость тыс.руб.
1. Машины и оборудование(Старое).	14	536800	75152	75152	386496
2. Машины и оборудование(новое).	14	144432	20220,48	20220,48	103991,04
3.Здания	5	80000	4000	4000	72000
Итого:					589487,04

Таблица 11

Затраты на покупку оборудования

Наименование оборудования	Кол-во, шт	Цена за единицу, тыс.руб	Общая стоимость, тыс.руб
Основные аппараты и механизмы			
Отделитель высокого давления	1	15000	15000
Сепаратор возвратного газа ВД	1	10000	10000
Холодильник возвратного газа ВД	2	12500	25000
Компрессорное оборудование	5	4000	20000
Насосное оборудование	5	1000	5000
Инвентарь	4	400	1600
Дополнительные емкости	10	500	5000
Итого			81600

Таблица 12

Расходы на наладку и монтаж оборудования

Наименование нормативов	% от стоимости оборудования, тыс.руб.
1. На устройство фундаментов	8160 (10%)
2. На технологические трубопроводы	16320 (20%)
3. На антикоррозионные работы	4080 (5%)
4. На кабельные разводки	4080 (5%)
5. На КИПиА	8160 (10%)
6. На монтаж оборудования	17952 (22%)
8. На вспомогательное оборудование	4080 (5%)
Итого	62832

Расходы на строительство защитных сооружений.

Наименование работ	Стоимость, тыс.руб.
1.Строительство защитных сооружений	27693

Таблица 13

Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства (Q)

$N_{\text{год}} = 104683 \text{ т/год}$

Наименование статей расхода	Ед. изм.	Цена за ед. тыс. руб.	Расходы в на ед.		Затраты, руб		Примечание
			На 1 т	На N _{год}	На 1 т, тыс.руб.	На N _{год} , тыс.руб.	
1. Сырье и основные материалы.							
Этилен	т	51.9	1	104683	51.9	5433047.7	табл. 9
2. Вспомогательные материалы							
- Инициаторы	т	100	0.00033	34.55	0.033	3450	табл. 9
3. Энергия: - электроэнергия	кВт	0.004	520	54435160	2,08	217740,64	табл. 8
4. Заработная					0,164	17160	табл. 7

плата основ- ных рабочих							
5. Отчисления на социальные нужды					0,049	5148	30% от ст.4
6. РСЭО							
6.1. Аморти- зация актив- ной части ос- новных фон- дов					0,911	95372,48	табл. 10
6.2. Затраты на ремонт АЧОФ					0.273	28611,744	30% от ст.6.1
7. Цеховые расходы							
7.4. Охрана труда и ТБ.					0.017	2402,4	14% от ЗП рабочих
Полная себе- стоимость.					55,43	5802932,97 4	
Условно- переменные затраты					54,013	5654238,3 4	
Условно- постоянные затраты					1.62	148694,634	

$$Ц = 55,43 * 1,25 = 69,28 \text{ тыс.руб.}$$

Принимаем цену, равную рыночной $Ц = 74 \text{ тыс.руб.}$

8.3 Анализ безубыточности

Определяем точку безубыточности[24]:

Точка безубыточности определится следующим образом:

$$Q_{кр.} = \frac{Изд_{пост}}{Ц_i - Изд_{пер}}$$

$$Q_{кр} = 148694,634 / (74 - 54,013) = 7439,56 \text{ тонн.}$$

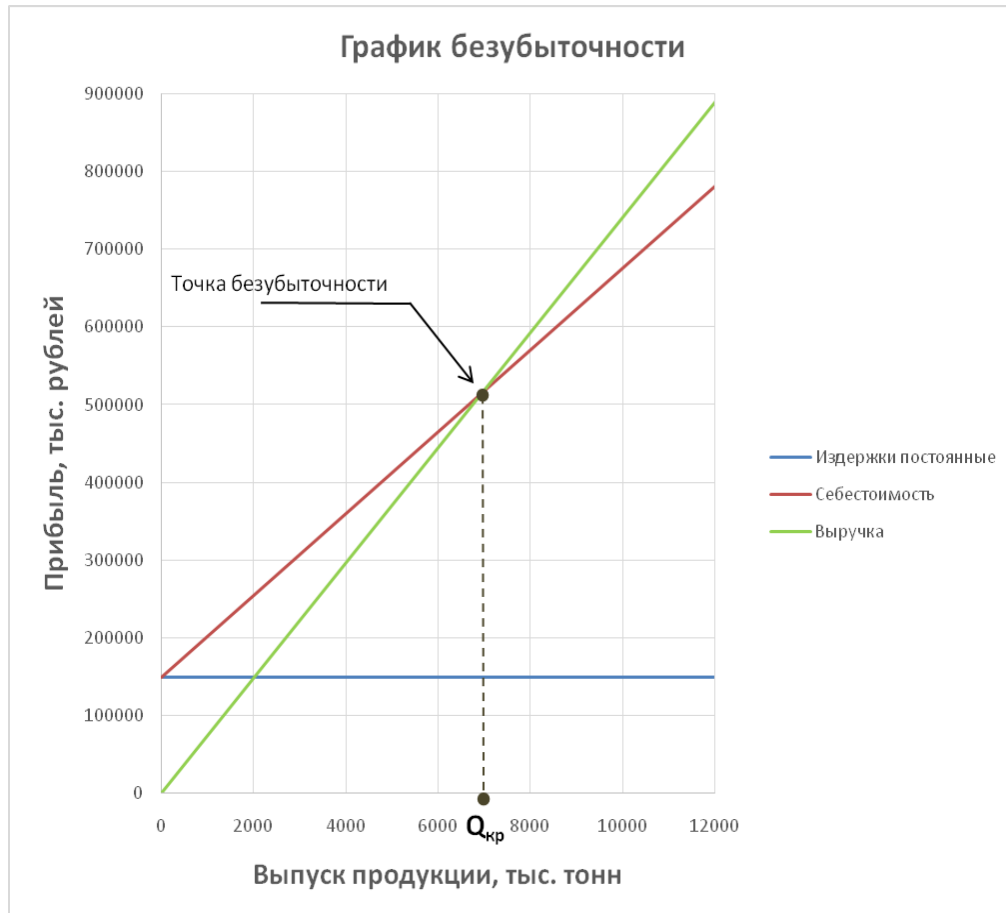


Рис 1- График определения точки безубыточности

8.4 Анализ экономической эффективности инвестиционного проекта

1. Определение резервов снижения себестоимости продукции.

Основными источниками резервов снижения себестоимости готовой продукции являются:

1). Увеличение объема ее производства за счет полного использования производственной мощности предприятия. При увеличении объема производства продукции на имеющихся производственных мощностях возрастают только переменные издержки, постоянные издержки остаются постоянными, в результате снижается себестоимость на единицу готовой продукции, т.е. происходит “эффект масштаба”.

2). Сокращение затрат на ее производство за счет повышения уровня производительности труда, экономного использования сырья, электроэнергии, топлива. Резервы сокращения издержек устанавливают по каждой статье затрат за счет конкретных инновационных мероприятий (установка современного оборудования, внедрение новой технологии, улучшение организации производства и т.д.), которые будут способствовать экономии сырья, электроэнергии, заработной платы, а также разумного сокращения накладных расходов.

В случае внедрения инноваций необходимо рассчитать величину инвестиций и инвестиционные коэффициенты, подтверждающие эффективность инвестиционного проекта.

2. Расчет инвестиционных коэффициентов

Рассчитываем следующие инвестиционные коэффициенты:

- 1). Чистая текущая стоимость (**NPV**);
- 2). Срок окупаемости ($T_{\text{окуп.}}$, **PP**);
- 3). Внутренняя ставка доходности (ВНД, **IRR**);

Расчет чистого денежного потока (ЧДП)

Наименование показателя	Годы ($t=0, 1, 2 \dots n$)		
	1	2	3
1. Объем продаж	104683	104683	104683
2. Цена 1 т тыс.руб.	74	74	74
3. Выручка от реализации, тыс.руб.	7746542	7746542	7746542
4. Суммарные издержки, тыс.руб.	5802932,974	5802932,974	5802932,974
4.1. Переменные издержки, тыс.руб.	5654238,34	5654238,34	5654238,34
4.2. Постоянные издержки, тыс.руб.	148694,634	148694,634	148694,634
5. Амортизация, тыс.руб.	99372,48	99372,48	99372,48
6. Прибыль до вычетов налогов, тыс.руб.	59315,026	59315,026	59315,026
7. Налог на прибыль, тыс.руб.	15421,9	15421,9	15421,9
8. Чистая прибыль, тыс.руб.	43893,126	43893,126	43893,126
9. Чистый денежный поток от инвестиционного проекта	143265,6	143265,6	143265,6

3. Чистая текущая стоимость (NPV)

Данный метод основан на сопоставлении дисконтированных чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности.

Если инвестиции носят разовый характер, то **NPV** определяется по формуле

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0,$$

где $ЧДП_{опt}$ – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

$I_0 = 172125$ тыс. рублей;

t – номер шага расчета ($t=0, 1, 2 \dots n$);

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств). $i = 0,1$.

Расчет чистой текущей стоимости (NPV): За три года работы.

$NPV = NPVi1 + NPVi2 + NPVi3 = 143265,6/(1+0,1) + 143265,6/(1+0,1)^2 + 143265,6/(1+0,1)^3 - 172125 = 130241,5 + 118401,3 + 107637,6 - 172125 = 184155,3$ тыс. руб.

$NPV > 0$. Инвестиционный проект эффективен.

Индекс доходности (рентабельности) инвестиций (PI)

Индекс доходности показывает, сколько приходится дисконтированных денежных поступлений на рубль инвестиций.

Расчет этого показателя осуществляется по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0,$$

где I_0 – первоначальные инвестиции.

Условием эффективности инвестиционного проекта по данному показателю является выполнение $PI > 1$.

Расчет доходности (рентабельности) инвестиций (PI)

$$PI = (130241,5 + 118401,3 + 107637,6) / 172125 = 2,07 > 1$$

Инвестиционный проект эффективен.

8.5 Внутренняя ставка доходности (IRR)

$$\sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+IRR)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+IRR)^t}$$

Значение ставки, при которой **NPV** обращается в нуль, носит название “внутренней ставки доходности”. Формальное определение “внутренней ставки доходности” заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или **NPV**=0. По разности между IRR и ставкой дисконтирования *i* можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования *i*, тем больше риск от инвестирования в данный проект.

Таблица 16 – Расчет внутренней ставки доходности, тыс.руб.

i	NPV
0,1	184155,3
0,2	129661,3
0,5	29508,07
0,8	-23749,8
1	-46767,6

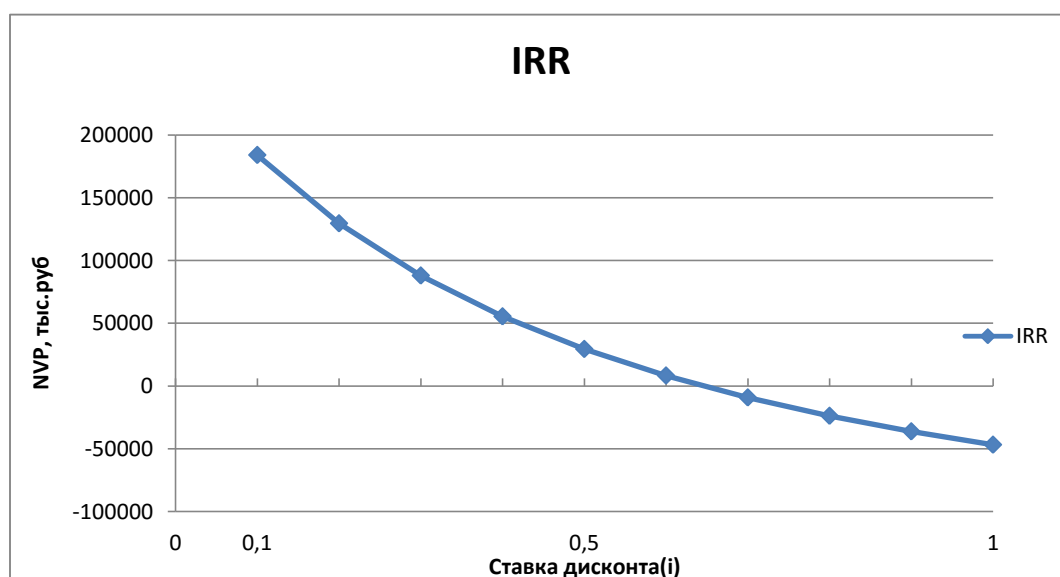


Рисунок 2 – График зависимости **NPV** от ставки дисконтирования

8.6. Срок окупаемости инвестиций

Метод расчета срока окупаемости инвестиций **РР** состоит в определении того периода, через который первоначальные инвестиции будут возвращены прибылью или чистыми денежными поступлениями. Этот метод ориентирован на краткосрочную оценку, рассматривает, как скоро инвестиционный проект окупит себя. Чем быстрее проект окупит первоначальные затраты, тем эффективнее проект. Использование данного показателя предполагает установление приемлемого значения срока окупаемости как меры оценки эффективности инвестиций.

Чем больше нужна ликвидность инвестору, тем короче должен быть срок окупаемости.

Метод расчета срока окупаемости инвестиций **РР** заключается в том, что сумма первоначальных инвестиций делится на величину годовых поступлений (чистой прибыли):

$$PP = \frac{I_0}{ЧДП},$$

где I_0 – первоначальные инвестиции;

$ЧДП$ – чистый денежный поток от операционной деятельности;

Данный подход применяется в тех случаях, когда величины чистых денежных поступлений примерно равны по годам.

$I_0 = 172125$ тыс.руб.

$NPV = 184155,3$ тыс.руб.

$PP = I_0 / ЧДП = 1,201$ года

$1,201 \cdot 12 \approx 14,4$ мес.

Срок окупаемости инвестиционного проекта составляет 14,4 месяцев.

Таблица 14

8.7. Техничко-экономические показатели

Таблица 15

Наименование показателя	Ед. изм.	Плановый год
1. Объем производства	тыс. т	104683
2. Объем продаж	тыс. т	104683
3. Цена 1 тонны	тыс. руб.	74
4. Выручка от продажи (2*3)	тыс. руб.	7746542
5. Суммарные издержки	тыс. руб.	5802932
5.1. Издержки переменные	тыс. руб.	5654238
5.2. Издержки постоянные	тыс. руб.	148694
6. Операционная прибыль (4–5)	тыс. руб.	1943610
7. Налог на прибыль (6*20%)	тыс. руб.	388722
8. Чистая прибыль (6–7)	тыс. руб.	1554888
9. Себестоимость 1 тонны	тыс. руб.	55,43
10. Стоимость основных средств	тыс. руб.	81600
11. Численность основных рабочих	чел.	26
12. Фондовооруженность (10/11)	тыс. руб./чел.	2121600
13. Фондоотдача (4/10)	руб./руб.	94,93
14. Фондоемкость (10/4)	руб./руб.	0,01
15. Производительность труда (4/11)	тыс. руб./чел.	225471
16. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	26
17. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	20
18. Критический объем продаж ($Q_{кр.}$)	т	7439,56
19. Критический объем продаж ($Q_{кр.}$)	тыс. руб.	565406
20. Инвестиции, I_0 первоначальные инвестиции	тыс. руб.	172125
21. NPV чистая текущая стоимость	тыс. руб.	184155,3
22. PI рентабельность инвестиций	-	2.07
23. IRR внутренняя ставка доходности	%	68
24. Срок окупаемости	годы	1.2

Вывод

В дипломном проекте разработаны: Отделитель высокого давления, сепаратор циклонного типа, теплообменник типа труба в трубе.

Отделитель высокого давления представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат, предназначенный для разделения реакционной массы, поступающей с реактора на полиэтилен и непрореагировавший этилен с содержанием низкомолекулярного полиэтилена. Разделение происходит за счет резкого снижения давления реакционной массы с реактора, в следствие чего из расплава полимера выделяется растворенный в нем газ.

Сепаратор представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат, служит для частичного отделения низкомолекулярного полиэтилена от этилена.

Теплообменник «труба в трубе» предназначен для охлаждения частично очищенного газа. Для охлаждения используется перегретая вода с температурой 130-170 градусов, подаваемая со станции горячей воды.

Основной материал для всех аппаратов 20Х2МА-сталь конструкционная легированная, предназначенная для аппаратов работающих под высоким давлением и при высокой температуре. На аппараты действует в первую очередь внутреннее давление, следовательно, производится расчет на прочность элементов аппаратов, нагруженных внутренним давлением. Также произведен расчет укрепления отверстий штуцеров, расчет фланцевых соединений на обеспечение условия прочности и герметичности.

Кроме того в дипломном проекте рассмотрены:

- задача монтажа горизонтального теплообменника «труба в трубе». Произведен подбор автокрана, расчет стропов.
- рассмотрен вопрос социальной ответственности, производственной безопасности, обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия, безопасность во время ЧС, экологическая безопасность.
- в экономической части проведена оценка экономической эффективности проекта. Определен размер инвестиций, требуемых для реализации

проекта. На основе этих данных вычислена себестоимость продукции, проведена оценка эффективности проекта по показателям эффективности: чистый дисконтированный доход, индекс доходности, внутренняя норма доходности, срок окупаемости проекта 1.2 года.

Содержание

Реферат.....	11
Abstract	12
Введение.....	13
1. Технология производства	14
2. Отделитель высокого давления	15
2.1Технологический расчет основного аппарата	16
2.2.Механический расчет основного аппарата	16
2.2.1Выбор материала.....	16
2.2.2.Определение пробного давления для гидроиспытаний.....	17
2.2.3Определение пробного давления в змеевике и рубашке.....	18
2.2.3Расчет корпуса.....	19
2.2.5Расчет кармана термопары.....	20
2.2..6Расчет днища.....	21
2.2.7Расчет фланца	23
2.2.8Расчет шпилек.....	25
2.2.9.Расчет крышки.....	27
2.2.10 Расчет коллектора.....	29
2.2.11 Расчет опор.....	34
2.3Гидравлический расчет.....	39
3 Сепаратор возвратного газа	43
3.2 Технологический расчет	43
3.3 Механический расчет	44
Расчет цилиндрической обечайки.....	45
3.2.1 Расчет цилиндрической обечайки, нагруженной внутренним давлением.....	48
3.2.2 Расчет цилиндрической обечайки, нагруженной наружным давлением.....	45
3.2.3 Расчет конического днища, нагруженного внутренним давлением.....	50
3.2.4 Расчет плоской крышки корпуса, нагруженной внутренним давлением.....	52
3.2.5 Расчет укрепления отверстий.....	54
4 Холодильник возвратного газа	56
4.2 Технологический расчет	56
4.2 Механический расчет.....	59
4.2.1 Расчет кожуховых труб , нагруженных внутренним давлени- ем.....	59
4.2.2 Расчет теплообменных труб высокого давления.....	61
4.2.3 Расчет колен теплообменных труб, нагруженных внутренним избыточным давлением.....	62
5 Монтаж	64

5.1	Расчет строп	66
5.2	Расчет и подбор полиспастов для монтажа	67
5.3	Подбор крана	70
6	Автоматизация.....	71
6.1	Краткое описание технологии.....	71
7	Социальная ответственность	74
7.1	Производственная безопасность	74
7.2	Экологическая безопасность	79
7.3	Безопасность в чрезвычайной ситуации	80
7.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	82
8	Экономика производства	84
8.1	Расчет производственной мощности	84
8.2	Расчет затрат на производство	89
8.3	Анализ безубыточности	95
8.4	Анализ экономической эффективности инвестиционного проекта.....	96
8.5	Внутренняя ставка доходности	99
8.6	Срок окупаемости инвестиций	100
8.7	Технико-экономические показатели	101
	Вывод	102
	Список литературы	104

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1986. – 560 с.
2. Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии. 1, 2 часть. – М.: Химия, 1995. – 768 с.
3. Лащинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник. – 2-е изд.– Л.: Машиностроение, 1970. - 752с.
4. ГОСТ 25215 - 82. Сосуды и аппараты высокого давления. Обечайки и днища. Нормы и методы расчета на прочность. Введ. с 01.07.83, 8с.
5. СТ СЭВ 5206 - 85. Сосуды и аппараты высокого давления. Фланцы, крышки плоские и выпуклые. Методы расчета на прочность. Введ. с 01.01.87, 9с.
6. ГОСТ 26303 - 84 (СТ СЭВ 4350-83). Сосуды и аппараты высокого давления. Шпильки. Методы расчета на прочность. Введ. с 01.07.85.10с.
7. ГОСТ Р 52857.2 – 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2008. – 41 с.
8. ГОСТ Р 52857.3 – 2007 Сосуды и аппараты. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2008. – 26 с.
9. Г ГОСТ Р 52857.4-2007 Расчет фланцевых соединений. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2008. – 38 с.
- 10.ГОСТ Р 52857.5-2007 Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2008. – 23 с.
- 11.Семакина О.К. Монтаж, эксплуатация и ремонт оборудования отрасли. – Томск: ТПУ, 2002. – 38 с.

12. В. М. Беляев, В. М. Миронов, Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли, Часть II - Т: Изд. ТПУ, 2013-162с.
13. ГОСТ 12.0.003–74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы.
14. ГОСТ 12.1.003–83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
15. СНиП П-12-77. Защита от шума.
16. ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (01. 07. 92).
17. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
18. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.
19. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
20. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
21. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"
22. Рабочая инструкция № 44/3-Р-3. – 2005. – 120 с
23. Правила устройства электроустановок (ПУЭ 7). Издание седьмое
24. Рыжакина Т.Г. Томск 2011 «Экономика и управление производством»
25. ГОСТ Р 54522-2011 Сосуды и аппараты высокого давления. Нормы и методы расчета на прочность.