

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

Институт ИФВТ

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

Кафедра ОХХТ

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка основного теплообменного оборудования установки получения азота

УДК 66.096.5:661.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К32	Фефелова Кристина Евгеньевна		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

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

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2017 г.

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

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки (специальность) Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Кафедра Общей химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Ан В. В.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
2К32	Фефелова Кристина Евгеньевна

Тема работы:

Разработка основного теплообменного оборудования установки получения азота	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	24.03.17, 2056/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2017
--	-------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p align="center">Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Витой переохладитель для охлаждения воздуха на установке получения азота. Расход 1540 кг/ч. Начальная температура 10 С°. Давление 0,07 Мпа.</p>
<p align="center">Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><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</i></p>	<p>1. Технологический расчет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - описание технологической схемы; - определение площади теплообмена; - определение основных размеров аппарата. <p>2. Конструктивно-механический расчет теплообменника:</p> <ul style="list-style-type: none"> - определение расчетных параметров; - определение толщины стенки обечайки, днища; - расчет фланцевых соединений;

<p>работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p>- укрепление отверстий; - расчет на прочность и устойчивость. 3. Социальная ответственность: - анализ опасных факторов проектируемой производственной среды; - охрана окружающей среды; - защита в чрезвычайной ситуации. 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: - анализ производственной мощности; - расчет себестоимости продукции; - анализ безубыточности производства; - определение технико-экономических показателей.</p>
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1 – Технологическая схема (А1). Лист 2– Общий вид теплообменника(А0). Лист 3 – Технико-экономические показатели (А2).</p>
<p align="center">Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p align="center">Раздел</p>	<p align="center">Консультант</p>
<p align="center">Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p align="center">Рыжакина Т.Г., к.э.н., доцент кафедры менеджмента</p>
<p align="center">Социальная ответственность</p>	<p align="center">Раденков Т.А., ассистент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности</p>
<p align="center">Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p align="center">_____</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	
--	--

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К32	Фефелова К.Е.		

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
P2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов и оборудования химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,15 ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
P3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС (ПК-4,5,8,11, ОК-2,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.2
P4	Проектировать и использовать новое энерго-и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-8,11,23,24), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-1,4,5,19-22, ОК-7,10), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность и надежность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,12,13,14,17, ОК-3,4,8), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
P7	Применять знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ПК-3, 8, 9, 10, 11, 12, 13), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P8	Использовать современные компьютерные методы вычисления, основанные на применении современных эффективных программных продуктов при расчете свойств материалов, процессов, аппаратов и систем, характерных для профессиональной области деятельности; находить необходимую литературу, использовать компьютерные базы данных и другие источники информации	Требования ФГОС (ПК-4, 5, 9, 10, 11, 14)
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P9	Демонстрировать знания социальных, этических и культурных аспектов профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-1,2,6-10), Критерий 5 АИОР (пп.2.4,2.5)
P10	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (2.6)
P11	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.	Требования ФГОС (ОК-11) Критерий 5 АИОР (п.2.2)
P12	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.	Требования ФГОС (ОК-3,4,5,12) Критерий 5 АИОР (пп.1.6, 2.3)

Цели образовательной программы

Код цели	Формулировка цели	Требования ФГОС ВПО и (или) заинтересованных работодателей
Ц1	Подготовка выпускников к производственно-технологической деятельности в области энерго- и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии, конкурентоспособных на мировом рынке.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Требования к выпускникам предприятий химического комплекса России (ООО СИБУР «Томскнефтехим», ОАО «Тоскгазпром», ОАО «КИНЕФ», г. Кириши, Ангарский нефтеперерабатывающий комбинат, ПО «Азот», г. Кемерово, ООО

Код цели	Формулировка цели	Требования ФГОС ВПО и (или) заинтересованных работодателей
		«ЭльПласт», ООО «Сибметакхим, ОАО «Фармстандарт–Томскхимфарм», и др.).
Ц2	Подготовка выпускников к проектной деятельности в области энерго-ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Требования к выпускникам предприятий химического комплекса России (ОАО «ТомскНИПИнефть, ОАО НК «РОСНефть», г. Краснодар, ОАО «Самаранефтехимпроект, ЭЛЕСИ и др.).
Ц3	Подготовка выпускников к научным исследованиям для решения задач, связанных с разработкой новых методов создания процессов, материалов и оборудования, обеспечивающих энерго-ресурсосбережение, экологическую безопасность технологи.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Потребности научно-исследовательских центров РАН, СО РАН (ТПУ, ТГУ, Институт химии нефти СО РАН, Институт катализа СО РАН, г. Новосибирск, НИОСТ, ООО НПЦ «НООСФЕРА», г. Надым и др).
Ц4	Подготовка выпускников к организационно-управленческой деятельности.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI, запросы отечественных предприятий и НИИ.
Ц5	Подготовка выпускников к самообучению непрерывному профессиональному самосовершенствованию.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI, запросы отечественных предприятий и НИИ.

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

Студенту:

Группа	ФИО
2К32	Фефеловой Кристине Евгеньевне

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

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

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

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

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- 1. Расчет точки безубыточности графическим и математическим методами.*
- 2. Расчет технико-экономических показателей*

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К32	Фефелова Кристина Евгеньевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2К32	Фефелова Кристина Евгеньевна

Институт	<i>ИФВТ</i>	Кафедра	ОХХТ
Уровень образования	<i>Бакалавр</i>	Направление/специальность	<i>«Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»</i>

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

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

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<p><i>Опасные и вредные факторы</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – Токсичность паров всех хлорированных углеводородов; – Наличие шума в рабочих помещениях; – опасность низких температур; – Опасность взрыва и пожара; – Опасность термических ожогов
<p>2. <i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); 	<p><i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;

<ul style="list-style-type: none"> – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<ul style="list-style-type: none"> – повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов; – повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; – повышенное значение концентраций воспламеняющихся веществ
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Воздействие на гидросферу: вода, отводимая от охлаждения компрессоров, конечных холодильников и испарителей.</p> <p>Воздействие на атмосферу: Выбросы из кислородной фракции разделения воздуха; влажного воздуха после регенерации цеолита в блоке очистки воздуха</p> <p>Воздействие на литосферу: твёрдые отходы - отработанный цеолит Naх; жидкие отходы - отработанное масло после компрессоров, детандера и влагоотделителей.</p> <p>Решения по обеспечению экологической безопасности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Совершенствование техпроцесса 2. Снижение потребления энергии без увеличения количества выбросов 3. Установка дополнительных систем очистки либо усовершенствование существующих
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<p>Накопление взрывоопасных веществ, создающие предпосылки для возникновения взрыва присутствие веществ, способные образовывать взрывоопасную среду; возгорание кислородного оборудования;</p> <p>Взрывобезопасность технологических процессов, в которых присутствуют вещества способные образовывать взрывоопасную среду, должна обеспечиваться мерами взрывопредупреждения и взрывозащиты, осуществлением специальных организационных и организационно технических мероприятий в объеме требований, установленных действующими нормами взрывобезопасности.</p>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	<p>Для работников, занятых на работах с вредными или опасными условиями труда, законодатель установил сокращенную продолжительность рабочего времени - не более 36 часов в неделю (ст. 92 ТК РФ, п. 1 Постановления Правительства РФ от 20.11.2008 N 870 (далее - Постановление N 870)). При этом максимально допустимая продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать (ст. 94 ТК РФ):</p> <ul style="list-style-type: none"> - при 36-часовой рабочей неделе - 8 часов; - при 30-часовой рабочей неделе и менее - 6 часов. <p>Также сотрудникам положено предоставлять ежегодный дополнительный оплачиваемый</p>

	<i>отпуск продолжительностью не менее 7 календарных дней (ст. 117 ТК РФ, п. 1 Постановления N 870).</i>
--	---

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

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К32	Фефелова Кристина Евгеньевна		

Реферат

Данная бакалаврская работа включает в себя расчет витого теплообменного аппарата для переохлаждения воздуха. Был произведен тепловой, конструктивный и механический расчет. Механический расчет включает расчет толщин стенок, укрепление отверстий и расчет опорных лап.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» рассчитаны технико-экономические показатели производства, а также построен график безубыточности.

Объектом исследования является цех разделения воздуха по производству азота

Цель работы провести поверочный расчет теплообменника.

В ходе работы выявлено, что данный теплообменник соответствует всем предъявляемым требованиям технологического процесса.

Дипломная работа состоит из 86 страниц, 7 таблиц, 5 рисунков, 20 источников литературы. Графическая часть включает 1 лист А0 и 2 листа А1.

Abstract

This bachelor's work includes the calculation of a twisted heat exchanger for supercooling air. Thermal, constructive and mechanical calculation was carried out. Mechanical calculation includes calculation of depth walls, strengthening of holes and calculation of support paws.

In the section "Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving", technical and economic indicators of production were calculated, and a break-even schedule was constructed.

The object of the study is the air separation department for nitrogen production

The purpose of the work is to verify the heat exchanger.

The research revealed that this heat exchanger meets all the requirements of the technological process.

The thesis consists of 86 pages, 7 tables, 5 drawings, 20 sources of literature. The graphic part includes 1 sheet of A0 and 2 sheets of A1

Содержание

Введение.....	15
1. Схема и работа установки	16
2. Технологический расчет	23
3. Механический расчет.....	31
3.1 Определение расчетных параметров.....	31
3.2 Расчет элементов корпуса на прочность и устойчивость.....	33
3.2.1. Расчет гладкой конической обечайки.....	33
3.2.2 Расчет толщины стенки крышки.....	39
3.3. Расчет и подбор штуцеров.....	42
3.3.1. Определение диаметров патрубков.....	42
3.3.2 Подбор штуцера для входа и выхода воздуха.....	43
3.3.3 Подбор штуцера для входа и выхода азота.....	44
3.4 Укрепление отверстий.....	44
3.4.1. Укрепление отверстий в цилиндрической обечайке.....	44
3.4.2. Укрепление отверстий в эллиптическом днище.....	47
3.5 Расчет опорных лап.....	50
3.6 Расчет тепловой изоляции.....	52
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	54
4.1. Расчёт производственной мощности.....	55
4.2 Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству.....	57
4.3. Расчет затрат на производство продукции.....	62
4.4. Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства.....	63
4.5. Определение цены готовой продукции.....	64
4.6. Определение технико-экономических показателей.....	65
5. Социальная ответственность.....	67
5.1 Техногенная безопасность.....	68

5.2. Региональная безопасность.....	75
5.3 Организационные мероприятия обеспечения безопасности.....	81
5. 4. Особенности законодательного регулирования проектных решений.....	83
Заключение.....	85
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ.....	86

Введение

Атмосфера земли на 75 % состоит из азота, что делает его одним из самых распространенных веществ на земле. Благодаря своим свойствам это вещество нашло широкое применение в промышленности и различных сферах деятельности человека. Существует несколько способов получения азота. В промышленности это происходит путем разделения воздуха.

Разделение воздуха является трудоемким процессом, так как проводить технологические процессы с газообразными веществами весьма сложно. Для этого изначально проводятся операции по переводу воздуха в жидкое состояние путем его сжатия, расширения и дальнейшего охлаждения. Далее происходит сам процесс разделения, основанный на испарении одного компонента в виду разности температур кипения. Поэтому для достижения необходимой степени разделения компонентов в основе лежит процесс ректификации. Температура кипения азота при атмосферном давлении составляет $-198,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, воздуха - $-182,97\text{ }^{\circ}\text{C}$. Проведение стадий процесса происходит в условиях низких температур и давлений. Такие особенности требуют повышенного внимания к обеспечению надежности и эффективности используемого оборудования.

Целью бакалаврской работы является проектирование и модернизация теплообменного оборудования, используемого на охлаждения сжиженного воздуха перед непосредственным процессом ректификации. Для этого следует провести технологический и механический расчеты, для обнаружения целесообразности использования исследуемого элемента оборудования.

1 Схема и работа установки

1.1 Общие сведения об установке.

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

1.1.2 Ниже приводится описание работы установки во всех режимах. Обозначение аппаратов указаны в соответствии со схемой монтажно-технологической.

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

Атмосферный воздух после очистки от пыли сжимается в компрессорах 1,2 до давлений 4,4...5,4 МПа (45...55 кгс/см²). Во влагоотделителе А12 из него удаляется нежелательная влага и далее 63% воздуха поступает в теплообменник А15, где охлаждается потоками кислорода и фракции с 313К (40°С) [при работе в тропиках с 323К (50°С)] до 281К (8°С). Остальной воздух охлаждается обратным потоком азота в теплообменнике А16 до той же температуры.

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

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

Постоянная циркуляция воды из бака А3 0 обеспечивается насосом НЗ. Температура воды поддерживается в интервале 277...280К (4...7°С) включением и отключением холодильной машины.

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

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

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

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

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

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

В нижней колонне воздух разделяется на обогащённую кислородом кубовую жидкость чистотой 23,5% О₂ и азотную флегму с содержанием кислорода 0,0001%.

Кубовая жидкость после переохладителя А5 дросселируется через вентиль ВР-2 и, пройдя переохладитель А3, поступает на 41-ую тарелку верхней колонны А8.

Азотная флегма из кармана нижней колонны проходит переохладитель А6, охлаждаясь от 98К (- 175°С) до 89К (- 184°С), дросселируется через вентиль ВР-3 до 0,039 МПа (0,4 кгс/см²) и после переохладителя А4 поступает на орошение в верхнюю колонну А8.

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

Жидкий кислород из конденсатора поступает в переохладитель А3, охлаждает рубашку насоса сжиженных газов Н1, а затем подаётся во всасывающую линию этого же насоса.

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

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

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

1.1.4 Режим II

- получение газообразного кислорода повышенной чистоты и газообразного азота особой чистоты.

Повышение чистоты кислорода в этом режиме достигается уменьшением отбора его путём снижения производительности насоса Н1. Давление воздуха после компрессоров в этом режиме 4,4...5,4 МПа (45...55 кгс/см²).

1.1.5 Режим III

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

1.1.6 Режим IV

- получение жидкого и газообразного азота особой чистоты. В этом режиме часть переохлажденной азотной флегмы подаётся потребителю. Насос Н1 отключен. Давление после компрессоров 5,9 МПа (60 кгс/см²). В этом режиме обеспечивается слив жидкого кислорода из конденсатора А3 в теплообменник А18. Это необходимо для своевременного удаления ацетилена и других углеводородов, накопление которых возможно в жидком кислороде, кипящем в конденсаторе. В теплообменнике А18 жидкий кислород с растворёнными в нём углеводородами испаряется за счёт теплообмена с проточной водой.

1.1.7 Режим V

- получение кислорода I -ого сорта под давлением 2,45 МПа (25 кгс/см²) и газообразного азота особой чистоты. Жидкий кислород после переохладителя А3 подаётся в насос Н1, а затем сливается в криогенный газификатор под давлением 2,45 МПа (25 кгс/см²). Давление воздуха после компрессоров 6,9 МПа (70 кгс/см²).

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

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

При работе одного из адсорберов в режиме очистки воздуха во втором адсорбере проходят последовательно процессы десорбции и охлаждения адсорбента. Регенерирующий газ в количестве 200 м³/ч нагретый электроподогревателем А19 до температуры 673К (400°С) проходит адсорбер сверху вниз. При достижении температуры регенерирующего газа на выходе из адсорбера 473К (200°С) электроподогреватель отключается, и адсорбер

охлаждается тем же регенерирующим газом но в количестве 420 м³/ч. Для плавного изменения давления в адсорбере служит клапан ВР-101, а для плавного сброса давления служат продувочные вентили ВР-102 и ВР-103. Циклограмма работы блока очистки приведена на рис. 40.

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

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

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

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

1.2 Блок разделения

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

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

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

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

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

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

Над коробом с клапанами расположены турбодетандер Тд, который крепится непосредственно к листу передней панели, и отсек с находящимся в нём детандерным воздушным фильтром А9, электромагнитным клапаном ПР (см. руководство по эксплуатации турбодетандера) и обратным клапаном ОК1. Отсек закрывается съёмной крышкой, свободное пространство его заполнено теплоизоляционным материалом - из базальтового волокна. Над турбодетандерным отсеком находится панель с манометрами, а над ней вентиля на импульсных линиях для замера концентрации, сопротивления, уровня, давления.

Выше расположены предохранительные клапаны, присоединенные к общему выходному коллектору.

1.2.5 Кожух блока разделения заполнен теплоизолирующим материалом - перлитовым песком. Засыпка перлита производится через люки Щ, высыпка - через люк Э, контролируют уровень засыпки перлита через люк Ю.

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

2. Технологический расчет

Параметры потоков:

$$T_0 := 273 \quad \text{К}$$

для воздуха - расход $G_1 := 1540 \quad \text{кг/ч};$

давление $P_1 := 7 \quad \text{МПа};$

температура начальная

$$t_{нВ} := 10 \quad ^\circ\text{С} \quad T_{нВ} := t_{нВ} + T_0 = 283 \quad \text{К};$$

температура конечная

$$t_{кВ} := -110 \quad ^\circ\text{С} \quad T_{кВ} := t_{кВ} + T_0 = 163 \quad \text{К};$$

для азота - расход $G_2 := 630 \quad \text{кг/ч};$

давление $P_2 := 0.07 \quad \text{МПа};$

температура начальная

$$t_{нN_2} := -218 \quad ^\circ\text{С} \quad T_{нN_2} := t_{нN_2} + T_0 = 55 \quad \text{К};$$

температура конечная

$$t_{кN_2} := 7 \quad ^\circ\text{С} \quad T_{кN_2} := t_{кN_2} + T_0 = 280 \quad \text{К};$$

1. Определение средних температур потоков:

$10 > -110$ изменение температуры воздуха

$-218 < 7$ изменение температуры азота

Наибольшая и наименьшая разность температур:

$$\Delta t_{\text{б}} := 228 \quad ^\circ\text{С}$$

$$\Delta t_{\text{м}} := 117 \quad ^\circ\text{С}$$

$$\Delta t_{cp} := \frac{\Delta t_{\sigma} - \Delta t_M}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\sigma}}{\Delta t_M}\right)} = 166.374 \quad ^\circ\text{C}$$

Средние температуры воздуха(1) и азота(2)

$$t1_{cp} := -(t2_{cp} + \Delta t_{cp}) = -60.874 \quad ^\circ\text{C} \quad t2_{cp} := \frac{t_{H_{N_2}} + t_{K_{N_2}}}{2} = -105.5 \quad ^\circ\text{C}$$

2. Определим по справочным данным теплофизические параметры потоков воздуха (индекс 1) и азота (индекс 2) при заданных давлениях и средних температурах потоков:

Плотность [4, стр. 587, 437]

$$\rho_1 := 163 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad \rho_2 := 14 \quad \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Теплопроводность [4,стр. 630, 461]

$$\lambda_1 := 24.8 \cdot 10^{-3} \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}} \quad \lambda_2 := 15.5 \cdot 10^{-3} \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$$

Вязкость [4, стр.626, 459]

$$\eta_1 := 162.5 \cdot 10^{-7} \quad \text{Па}\cdot\text{с} \quad \eta_2 := 110.5 \cdot 10^{-7} \quad \text{Па}\cdot\text{с}$$

3. Определим расход теплоты без учета потерь:

Определим по справочнику [4,стр.595] удельную теплоемкость воздуха при их средней температуре и давлению внутри труб

$$C_{p_B} := 1310 \quad \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$$

$$Q := \frac{G_1}{3600} \cdot C_{p_B} \cdot (T_{H_B} - T_{K_B}) = 6.725 \times 10^4 \quad \text{Вт}$$

4. Принимаем величины, необходимые для расчета аппарата:

Зададимся наружным и внутренним диаметром медных трубок согласно рекомендациям и сортаментом

$$d_H := 8 \quad \text{мм} \qquad d_B := 6 \quad \text{мм}$$

Линейная скорость в трубках $w_1 := 6 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}}$

Вычисляем площадь сечения трубки

$$f := \frac{\pi \cdot (d_B \cdot 10^{-3})^2}{4} = 2.827 \times 10^{-5} \quad \text{м}^2$$

Объемный расход воздуха, поступающий в переохладитель

$$V_1 := \frac{G_1}{\rho_1 \cdot 3600} = 2.624 \times 10^{-3} \quad \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Количество труб в переохладителе

$$n := \frac{V_1}{w_1 \cdot f} = 15.47$$

В конечном итоге принимаем $n := 16$

Задаем параметры навивки аппарата:

Навивка труб на сердечник разряженная

Толщина дистанционной прокладки $\delta := 3 \quad \text{мм}$

Поперечный шаг навивки труб $t_1 := 8 \quad \text{мм}$

Продольный шаг навивки труб $t_2 := 9.6 \quad \text{мм}$

Следует: $\sigma_1 := \frac{t_1}{d_H} = 1$ $\sigma_2 := \frac{t_2}{d_H} = 1.2$

Диаметр сердечника $D_c := 10 \cdot d_H = 80$ мм

Принимаем линейную скорость потока азота в межтрубном пространстве

$$w_2 := 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Объемный расход азота в межтрубном пространстве

$$V_2 := \frac{G_2}{\rho_2 \cdot 3600} = 0.013 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Средняя площадь сечения свободного объема в межтрубном пространстве

$$F_{\text{св}} := \frac{V_2}{w_2} = 4.167 \times 10^{-3} \text{ м}^2$$

Удельная площадь сечения свободного объёма

$$f_{\text{уд}} := 1 - \frac{\pi \cdot (d_H \cdot 10^{-3})^2}{4 \cdot t_1 \cdot 10^{-3} \cdot t_2 \cdot 10^{-3}} = 0.346$$

Площадь поперечного сечения межтрубного пространства

$$F_{\Phi} := \frac{F_{\text{св}}}{f_{\text{уд}}} = 0.012 \text{ м}^2$$

Наружный диаметр аппарата определяем из соотношения

$$D_H := \sqrt{\frac{F_{\Phi}}{0.25 \cdot \pi} + (D_c \cdot 10^{-3})^2} = 0.147 \text{ м}$$

5. Определяем коэффициенты теплоотдачи:

Для прямого потока в трубах при

$$\text{Re}_1 := \frac{w_1 \cdot d_B \cdot 10^{-3} \cdot \rho_1}{\eta_1} = 3.611 \times 10^5$$

$$\text{Pr} := \frac{\eta_1 \cdot C_{pB}}{\lambda_1} = 0.858$$

находим число Нуссельта с учетом влияния кривизны канала

$$R_{cp} := 57 \quad \text{мм}$$

где R_{cp} радиус кривизны канала в соответствии со значениями D_H и D_c

$$\text{Nu} := 0.023 \cdot \text{Re}_1^{0.8} \cdot \text{Pr}^{0.4} \cdot \left[1 + 1.77 \cdot \left(\frac{d_B}{R_{cp}} \right) \right] = 716.979$$

Коэффициент теплоотдачи

$$\alpha_1 := \text{Nu} \cdot \frac{\lambda_1}{(d_B \cdot 10^{-3})} = 2.964 \times 10^3 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Для обратного потока:

число Рейнольдса

$$\text{Re}_2 := \frac{w_2 \cdot d_H \cdot 10^{-3} \cdot \rho_2}{\eta_2} = 3.041 \times 10^4$$

число Нуссельта в межтрубном пространстве находим используя коэффициенты из табл. 1.1[5, стр. 22] при заданных σ_1 и σ_2

$$A := 0.083 \qquad a := 0.85$$

$$Nu_2 := A \cdot Re_2^a = 536.548$$

Коэффициент теплоотдачи

$$\alpha_2 := Nu_2 \cdot \frac{\lambda_2}{(d_H \cdot 10^{-3})} = 1.04 \times 10^3 \quad \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

Коэффициент теплопередачи, отнесенный к внешней поверхности трубок

$$k := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} \cdot \frac{d_H}{d_B} + \frac{1}{\alpha_2}} = 708.286 \quad \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

6. Определяем площадь поверхности теплообмена и конструктивные размеры аппарата

Площадь поверхности теплообмена

$$F := \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{cp}} = 0.571 \quad м^2$$

Средняя длина трубок с 15%-ным запасом

$$l_{cp} := 1.15 \cdot \frac{F}{\pi \cdot d_H \cdot 10^{-3} \cdot n} = 1.632 \quad м$$

Расчетное число слоев навивки

$$z := \frac{D_H - D_C \cdot 10^{-3}}{2 \cdot t_2 \cdot 10^{-3}} = 3.515$$

Принимаем $z := 3$ тогда действительный наружный диаметр

$$D_D := D_C + 2 \cdot z \cdot t_1 = 128 \quad \text{мм}$$

Теоретическая высота навивки

$$H := \frac{2 \cdot n \cdot l_{\text{ср}} \cdot t_2 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot (D_H + D_C \cdot 10^{-3}) \cdot z} = 0.234 \quad \text{м}$$

Среднее число витков в каждом слое

$$m_{\text{ср}} := \frac{H}{t_2 \cdot 10^{-3}} = 24.357$$

При окончательной конструктивной компоновке теплообменника необходимо обеспечить примерно одинаковую длину трубок по слоям. Для этого следует увеличивать число трубок в слое с увеличением диаметра последнего, а также определить расчетное количество трубок в каждом слое:

Слой 1:

$$N = 1$$

$$D_1 := D_C + (2 \cdot 1 - 1) \cdot t_1 = 88 \quad \text{мм}$$

$$n_1 := \frac{\pi \cdot D_1 \cdot m_{\text{ср}}}{l_{\text{ср}} \cdot 10^3} = 4.126$$

В первом слое 5 трубок

Слой 2:

$$N = 2$$

$$D_2 := D_c + (2 \cdot 2 - 1) \cdot t_1 = 104 \quad \text{мм}$$

$$n_2 := \frac{\pi \cdot D_2 \cdot m_{cp}}{l_{cp} \cdot 10^3} = 4.876$$

Во втором слое 5 трубок

Слой 2:

$$N = 3$$

$$D_3 := D_c + (2 \cdot 3 - 1) \cdot t_1 = 120 \quad \text{мм}$$

$$n_3 := \frac{\pi \cdot D_3 \cdot m_{cp}}{l_{cp} \cdot 10^3} = 5.626$$

В третьем слое 6 трубок. Суммарное количество 16, что совпадает с ранее определенным значением.

Рассчитываем и сверяем со средним значением действительную длину труб в каждом слое катушки

$$l_{cp} = 1.632 \quad \text{м}$$

$$l_1 := \frac{\pi \cdot D_1 \cdot 10^{-3} \cdot H}{t_2 \cdot 10^{-3} \cdot n_1} = 1.347 \quad \text{M}$$

$$l_2 := \frac{\pi \cdot D_2 \cdot 10^{-3} \cdot H}{t_2 \cdot 10^{-3} \cdot n_2} = 1.592 \quad \text{M}$$

$$l_3 := \frac{\pi \cdot D_3 \cdot 10^{-3} \cdot H}{t_2 \cdot 10^{-3} \cdot n_3} = 1.53 \quad \text{M}$$

3. Механический расчет

3.1 Определение расчетных параметров

Температуры сред внутри аппарата довольно низки, поэтому значение расчетной температуры:

$$t_p := 20 \quad ^\circ\text{C}$$

В качестве конструкционного материала обечайки, крышки и днища выбрана хромоникеле титановая аустенитная сталь марки 12X18H10T, которая обладает высокой коррозионной стойкостью в ряде жидких сред, устойчива против межкристаллитной коррозии после сварочного нагрева, и что самое главное, будучи высокопластичной в условиях глубокого холода, эта сталь используется в установках для получения жидкого кислорода и азота.

Определение допускаемого напряжения в рабочем состоянии

Допускаемое напряжение для стали 12X18H10T, определим согласно ГОСТ Р 52857.1-2007 Табл. А.3 [15 с. 11]:

$$\sigma := 184 \quad \text{МПа} \quad \text{для } t = 20^\circ\text{C}$$

Поправочный коэффициент примем за единицу, так как аппарат изготавливается из листового проката

$$\eta := 1$$

Допускаемое напряжение

$$\sigma_d := \eta \cdot \sigma = 184 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое напряжение при гидравлических испытаниях определяется по пределу текучести для стали 12X18H10T при $t = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$

$n_T := 1.1$ коэффициент запаса по пределу текучести для условий испытани

$R_{p02} := 240$ МПа Расчетное значение предела текучести по табл. 8 [15, стр. 17]

$$\sigma_{И} := \text{Floor}\left(\frac{R_{p02}}{1.1}, 0.5\right) = 218 \quad \text{МПа}$$

Модуль продольной упругости при $t = 20$ °С определяем из табл. В.1 из [15, стр.21]

$$E := 1.99 \cdot 10^5 \quad \text{МПа}$$

Расчетное значение внутреннего давления

$$p := 0.2 \quad \text{МПа}$$

Такое значение принято согласно рекомендациям [7] в виду низкого рабочего давления (<0.2 МПа)

Пробное давление

$$p_{И} := 1.5 \cdot p = 0.3 \quad \text{МПа}$$

Коэффициент прочности продольных сварных швов ϕ для стыкового шва с двусторонним сплошным проваром, выполняемый автоматической и полуавтоматической сваркой определяется по табл. Д.1 [15, стр22]

$$\phi := 1$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов

Скорость коррозии материала аппарата

$$П := 0.1 \quad \frac{\text{мм}}{\text{год}}$$

Срок эксплуатации аппарата

$$\tau := 20 \quad \text{лет}$$

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии:

$$c_1 := \Pi \cdot \tau = 2 \quad \text{мм}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска

$$c_2 := 0$$

Технологическая прибавка

$$c_3 := 0$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 2 \quad \text{мм}$$

3.2 Расчет элементов корпуса на прочность и устойчивость

3.2.1. Расчет гладкой конической обечайки

Расчет проводим согласно [20]

Аппарат работает под разряжением, следовательно, обечайка нагружена наружным давлением

Расчетная и исполнительные толщины стенок цилиндрической обечайки

Примем $l := H$

$$B := \max \left[0.47 \cdot \left(\frac{p}{E \cdot 10^{-5}} \right)^{0.067} \cdot \left(\frac{l}{D} \right)^{0.4}, 1 \right] = 1$$

$$s_p := \max \left[1.06 \cdot \frac{D \cdot 10^{-2}}{B} \cdot \left(\frac{p}{10^{-5} \cdot E} \cdot \frac{l}{D} \right)^{0.4}, \frac{1.2 \cdot p \cdot D}{2 \cdot \sigma_{\text{И}} - p} \right] = 0.837 \quad \text{мм}$$

$$s_{и} := \text{Ceil}(s_p + c, 1) = 3 \quad \text{мм}$$

$$\text{Условие}_1 := \begin{cases} \text{"условие применения формул выполняется"} & \text{if } \frac{s_{и} - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"условие применения формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Условие}_1 = \text{"условие применения формул выполняется"}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление:

Рабочие условия:

$$P_{др} := \frac{[2 \cdot \sigma_{д \cdot \phi} \cdot (s_{и} - c)]}{D + (s_{и} - c)} = 2.437 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего избыточного давления при рабочих условия

$$\text{Проверка}_{\text{проч1}} := \begin{cases} \text{"условие прочности обечайки выполняется"} & \text{if } P_{др} > p \\ \text{"условие прочности обечайки НЕ выполняется"} & \text{if } P_{др} < p \end{cases}$$

$$\text{Проверка}_{\text{проч1}} = \text{"условие прочности обечайки выполняется"}$$

Условия испытаний:

$$P_{ди} := \frac{[2 \cdot \sigma_{и \cdot \phi} \cdot (s_{и} - c)]}{D + (s_{и} - c)} = 2.887 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего избыточного давления при условиях испытаний

$$\text{Проверка}_{\text{проч2}} := \begin{cases} \text{"условие прочности обечайки выполняется"} & \text{if } P_{\text{ди}} > p_{\text{и}} \\ \text{"условие прочности обечайки НЕ выполняется"} & \text{if } P_{\text{ди}} < p_{\text{и}} \end{cases}$$

Проверка_{проч2} = "условие прочности обечайки выполняется"

Расчет на цилиндрической обечайки на устойчивость

Рабочие условия

Коэффициент запаса устойчивости, примем в соответствии с рекомендациями ГОСТ Р 52857.1-2007, для рабочих условий [15, с. 7]:

$$n_y := 2.4$$

Допускаемое давление из условия прочности рассчитываем в соответствии с рекомендацией [8, с. 253]

$$p_{\text{рп}} := 2 \cdot \sigma_{\text{д}} \cdot \frac{(s_{\text{и}} - c)}{D + s_{\text{и}} - c} = 2.437 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости

$$B_1 := \min \left[1, 9.45 \cdot \frac{D}{1} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (s_{\text{и}} - c)}} \right] = 1$$

$$p_{\text{рЕ}} := \left(\frac{2.08 \cdot E \cdot 10^{-5} \cdot D}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{1}{1} \right) \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_{\text{и}} - c)}{D} \right]^{2.5} = 0.313 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое наружное давление

$$p_{\text{рд}} := \frac{p_{\text{рп}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{p_{\text{рп}}}{p_{\text{рЕ}}} \right)^2}} = 0.31 \quad \text{МПа}$$

Осевое сжимающее усилие от давления на днище

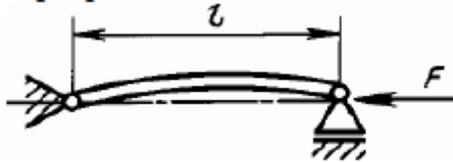
$D_0 := 74$ мм диаметр патрубка в крышке (см.)

$$F := 0.25 \cdot \pi \cdot 10^{-6} \cdot (D^2 - D_0^2) \cdot p = 2.674 \times 10^{-3} \quad \text{МН}$$

Допускаемое осевое сжимающие усилие из условия прочности:

$$F_{\text{пр}} := \pi \cdot 10^{-6} \cdot (D + s_{\text{И}} - c) \cdot (s_{\text{И}} - c) \cdot \sigma_{\text{Д}} = 0.087 \quad \text{Н}$$

При расчетной схеме



$$l_{\text{пр}} := H$$

$$l_{\text{пр}} := H_{\text{р}}$$

Гибкость $\lambda := \frac{2.83 \cdot l_{\text{пр}}}{D + s_{\text{И}} - c} = 5.623$

Допускаемое осевое сжимающие усилие в пределах упругости из условия устойчивости

$$F_{\text{пЕ}} := \begin{cases} \text{if } \frac{H}{D} \geq 10 \\ \left| \begin{array}{l} F_{\text{пЕ1}} \leftarrow 31 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(s_{\text{И}} - c)}{D} \right]^{2.5} \\ F_{\text{пЕ2}} \leftarrow \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{\pi \cdot 10^{-6} \cdot (D + s_{\text{И}} - c) \cdot (s_{\text{И}} - c) \cdot E}{n_y} \\ F_{\text{пЕ}} \leftarrow \min(F_{\text{пЕ1}}, F_{\text{пЕ2}}) \end{array} \right. \\ \left. F_{\text{пЕ}} \leftarrow 31 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(s_{\text{И}} - c)}{D} \right]^{2.5} \quad \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_{pE} = 0.21 \quad \text{МН}$$

$$F_{pд} := \frac{F_{pп}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{pп}}{F_{pE}}\right)^2}} = 0.081 \quad \text{МН}$$

Проверка условия устойчивости:

$$\text{Проверка}_{уст1} := \begin{cases} \text{"условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{0.1}{p_{pд}} + \frac{F}{F_{pд}} \leq 1 \\ \text{"условие устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{Проверка}_{уст1} = \text{"условие устойчивости выполняется"}}$$

При условиях испытаний:

Коэффициент запаса устойчивости, примем в соответствии с рекомендациями ГОСТ Р 52857.1-2007, для условий испытаний и монтажа [15, с. 7]:

$$n'_y := 1.8$$

Допускаемое давление из условия прочности

$$p_{ип} := 2 \cdot \sigma_{и} \cdot \frac{(s_{и} - c)}{D + s_{и} - c} = 2.887 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости

$$p_{иE} := \left(\frac{2.08 \cdot E \cdot 10^{-5} \cdot D}{n'_y \cdot B_1 \cdot 1} \right) \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_{и} - c)}{D} \right]^{2.5} = 0.417 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое наружное давление

$$p_{ид} := \frac{p_{ип}}{\sqrt{1 + \left(\frac{p_{ип}}{p_{иЕ}}\right)^2}} = 0.413 \quad \text{МПа}$$

Осевое сжимающее усилие от давления на днище

$$F_{и} := 0.25 \cdot \pi \cdot 10^{-6} \cdot (D^2 - D_0^2) \cdot p_{и} = 4.011 \times 10^{-3} \quad \text{МН}$$

Допускаемое осевое сжимающие усилие из условия прочности:

$$F_{ипп} := \pi \cdot 10^{-6} \cdot (D + s_{и} - c) \cdot (s_{и} - c) \cdot \sigma_{и} = 0.103 \quad \text{МН}$$

Допускаемое осевое сжимающие усилие в пределах упругости из условия устойчивости

$$F_{иЕ} := \begin{cases} \text{if } \frac{H}{D} \geq 10 \\ \left. \begin{array}{l} F_{иЕ1} \leftarrow 31 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E}{n'_y} \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(s_{и} - c)}{D} \right]^{2.5} \\ F_{иЕ2} \leftarrow \left(\frac{\pi}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{\pi \cdot 10^{-6} \cdot (D + s_{и} - c) \cdot (s_{и} - c) \cdot E}{n'_y} \\ F_{иЕ} \leftarrow \min(F_{иЕ1}, F_{иЕ2}) \end{array} \right\} \\ F_{иЕ} \leftarrow 31 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E}{n'_y} \cdot D^2 \cdot \left[100 \cdot \frac{(s_{и} - c)}{D} \right]^{2.5} \quad \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_{иЕ} = 0.28 \quad \text{МН}$$

$$F_{ид} := \frac{F_{иП}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{иП}}{F_{иЕ}}\right)^2}} = 0.097 \quad \text{МН}$$

Проверка условия устойчивости:

$$\text{Проверка}_{уст2} := \begin{cases} \text{"условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \frac{0.1}{P_{ид}} + \frac{F_{и}}{F_{ид}} \leq 1 \\ \text{"условие устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\boxed{\text{Проверка}_{уст2} = \text{"условие устойчивости выполняется"}}$$

3.2.2 Расчет толщины стенки крышки

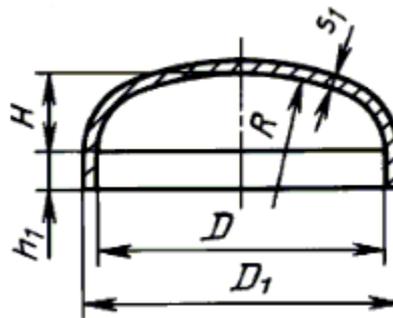


рис. Схема эллиптического днища

В соответствии с рекомендациями [7], примем:

$$D_{к} := D = 150 \quad \text{мм}$$

Крышка эллиптическая отбортованная стальная изготавливается из того же материала, что и обечайка

Высота эллиптической части по ГОСТ 6533-78:

$$h := 0.25 \cdot D_{к} = 37.5 \quad \text{мм}$$

$$h_1 := 0.8 \cdot \sqrt{D \cdot (s_1 - c)} = 9.798 \quad \text{мм} \quad h_{1.} := 10 \quad \text{мм}$$

Радиус кривизны в вершине днища равен

$$R := \frac{D_k^2}{4 \cdot h} = 150 \quad \text{мм}$$

Рассчитаем исполнительную толщину стенки, Исполнительная толщина стенки с учетом прибавки к расчетным толщинам, в соответствии с ГОСТ Р 52857.2-2007 [3, с. 14] :

$$K_3 := 0.9$$

$$s_{3.p} := \max \left(\left(\frac{K_3 \cdot R}{161} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot p}{10^{-5} \cdot E}} \right), \left(\frac{1.2 \cdot p \cdot R}{2 \cdot \sigma_{и}} \right) \right) = 0.412 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина стенки с учетом прибавки к расчетным толщинам, в соответствии с ГОСТ Р 52857.2-2007:

$$s_3 := \text{Ceil}(s_{3.p} + c, 1) = 3 \quad \text{мм}$$

$$\text{Условие}_2 := \begin{cases} \text{"условие применения формул выполняется"} & \text{if } 0.002 \leq \frac{s_3 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"условие применения формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Условие}_2 = \text{"условие применения формул выполняется"}$$

Расчет допускаемого наружного давления:

при рабочих условиях:

из условия прочности

$$P_{\text{ркп}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д}} \cdot (s_{\text{э}} - c)}{R + 0.5(s_{\text{э}} - c)} = 2.445 \quad \text{МПа}$$

из условия устойчивости

$$P_{\text{ркЕ}} := \frac{2.6 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_{\text{у}}} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_{\text{э}} - c)}{K_{\text{э}} \cdot R} \right] = 1.597 \quad \text{МПа}$$

$$P_{\text{рк}} := \frac{P_{\text{ркп}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{P_{\text{ркп}}}{P_{\text{ркЕ}}} \right)^2}} = 1.337 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок эллиптической крышки от действия внутреннего давления при рабочих условиях

$$\text{Проверка}_{\text{проч3}} := \begin{cases} \text{"условие прочности крышки выполняется"} & \text{if } P_{\text{рк}} > p \\ \text{"условие прочности крышки НЕ выполняется"} & \text{if } P_{\text{рк}} < p \end{cases}$$

Проверка_{проч3} = "условие прочности крышки выполняется"

при условиях испытаний:

из условия прочности

$$P_{\text{икп}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{и}} \cdot (s_{\text{э}} - c)}{R + 0.5(s_{\text{э}} - c)} = 2.897 \quad \text{МПа}$$

из условия устойчивости

$$P_{\text{икЕ}} := \frac{2.6 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n'_y} \cdot \left[\frac{100 \cdot (s_{\text{э}} - c)}{K_{\text{э}} \cdot R} \right] = 2.129 \quad \text{МПа}$$

$$P_{\text{ик}} := \frac{P_{\text{икп}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{P_{\text{икп}}}{P_{\text{икЕ}}} \right)^2}} = 1.716 \quad \text{МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления при условиях гидроиспытаний

$$\text{Проверка}_{\text{проч4}} := \begin{cases} \text{"условие прочности крышки выполняется"} & \text{if } P_{\text{ик}} > p_{\text{и}} \\ \text{"условие прочности крышки НЕ выполняется"} & \text{if } P_{\text{ик}} < p_{\text{и}} \end{cases}$$

$$\text{Проверка}_{\text{проч4}} = \text{"условие прочности крышки выполняется"}$$

3.3. Расчет и подбор штуцеров

3.3.1. Определение диаметров патрубков

Вход воздуха

$$d_1 := \sqrt{V_1 \cdot \frac{4}{\pi \cdot w_1}} = 0.024 \quad \text{м}$$

Примем патрубок с толщиной стенки 2 мм и диаметром $d_1 := 25 \text{ мм}$

Патрубок на выходе принимаем таким же

Вход азота

$$d_2 := \sqrt{V_2 \cdot \frac{4}{\pi \cdot w_2}} = 0.074 \quad \text{м}$$

Примем патрубок с толщиной стенки 3 мм и диаметром $d_2 := 75$ мм

Патрубок на выходе принимаем таким же

3.3.2 Подбор штуцера для входа и выхода воздуха

Согласно с АТК 24.218.06 - 90, выберем стандартный штуцер с плоским приварным фланцем по ГОСТ 12820-80

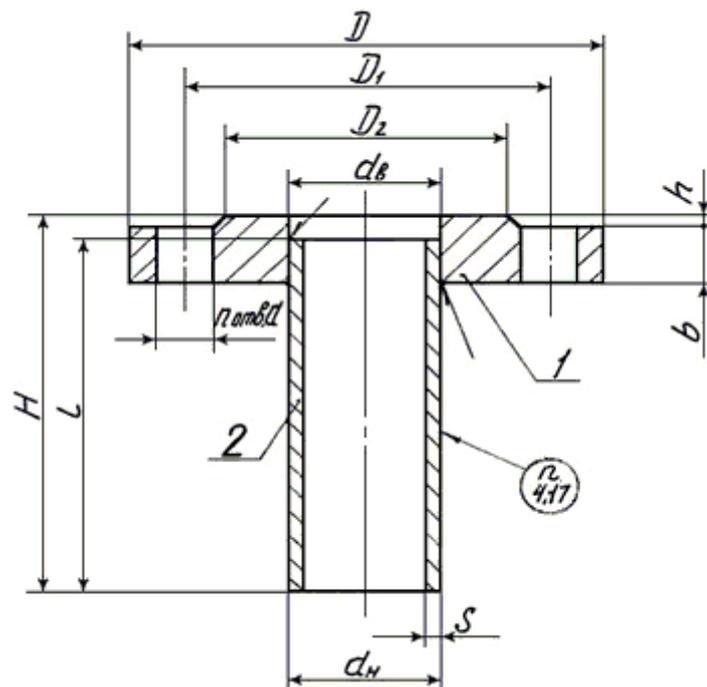


Рис. Схема штуцера

D_y	d_b	D	D_1	D_2	b	h	d	n	l	H	d_n	S	Масса, кг
25	33	100	75	60	12	2	11	4	150	155	32	3,5	1,1

Табл. Размеры штуцера

3.3.3 Подбор штуцера для входа и выхода азота

Согласно с АТК 24.218.06 - 90, выберем штуцер с утолщенными патрубками с фланцами приварными встык с пазом под прокладку овального сечения на условное давление от 6,3 до 16,0 МПа по ГОСТ 12821-80

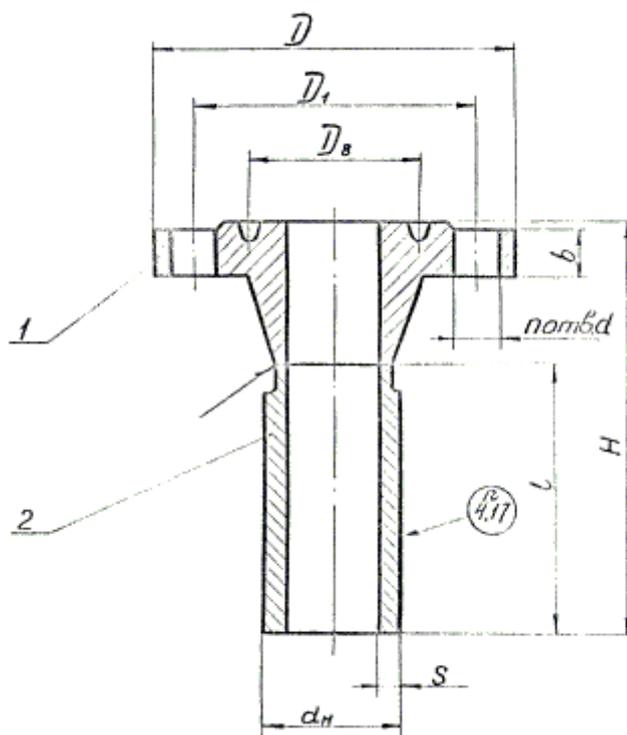


Рис. Схема штуцера

D_8	D	D_1	D_8	b	d	n	l	H	d_H	S	M
80	233	180	115	31	26	8	200	290	102	14	

Табл. Размеры штуцера

3.4 Укрепление отверстий

3.4.1. Укрепление отверстий в цилиндрической обечайке

Расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптического днища

$$x := 75$$

Расчетный диаметр обечайки

$$D_{p1} := D = 150 \quad \text{мм}$$

Расчетный диаметр отверстия в стенке обечайки

$$d_{p1} := d_1 + 2c = 4.024 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий

$$\text{Проверка}_{\text{усл4}} := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{d_{p1} - 2 \cdot c}{D} > 0.6 \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{s_{\text{И}} - c}{D} \geq 0 \\ \text{"Отношение применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка_{усл4} = "Отношение применения формул выполняются"

Расчетная толщина стенки оболочки

$$s_{1p} := \frac{p D_{p1}}{2 \cdot \phi \sigma - p} = 0.082 \quad \text{мм}$$

Расчетная толщина стенки штуцера

$$s_{1p1} := \frac{p \cdot (d_2 + 2c)}{2\sigma - p} = 0.043 \quad \text{мм}$$

Расчетные длины штуцеров:

$$l_{11} := 150 \quad \text{мм} \quad l_{12} := 80 \quad \text{мм} \quad l_{13} := 15 \quad \text{мм}$$

$$l_{1p1} := \min \left[l_{11}, \sqrt{(d_1 + 2c) \cdot (s_{\text{И}} - c)} \right] = 2.006 \quad \text{мм}$$

$$l_{p1} := \min \left[l_{1}, 0.5 \cdot \sqrt{(d_1 + 2c) \cdot (s_{II} - c)} \right] = 1.003 \quad \text{мм}$$

Исполнительная толщина накладного кольца $s_2 := 3 \quad \text{мм}$

$$l_{p1} := \min \left[l_{21}, \sqrt{D_{p1} \cdot (s_2 \cdot s_{II} - c)} \right] = 32.404 \quad \text{мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайках и днищах при отсутствии торообразной вставки или вварного кольца

$$l_{p1} := \sqrt{D_{p1} \cdot (s_{II} - c)} = 12.247 \quad \text{мм}$$

Штуцер 1 изготовлен из того же материала что и теплообменник

Отношения допускаемых напряжений для внешней и внутренней части штуцера и для накладного кольца

$$\chi := 1$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления, при наличии избыточной толщины стенки

$$d_{op1} := 0.4 \cdot \sqrt{D_{p1} \cdot (s_{II} - c)} = 4.899 \quad \text{мм}$$

$$d_o := 2 \left[\frac{(s_{II} - c)}{s_{1p}} - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_{p1} \cdot (s_{II} - c)} = 280.712 \quad \text{мм}$$

Проверка_{усл5} := $\begin{cases} \text{"Необходимо укрепление отверстий"} & \text{if } d_o > d_2 \\ \text{"Укрепление отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Проверка_{усл5} = "Необходимо укрепление отверстий"

$$A_1 := l_{p1} \cdot (s_{и} - s_{1p1} - c) \cdot \chi = 1.92 \quad \text{мм}^2$$

$$A_2 := l_{p1} \cdot s_2 \cdot \chi = 97.211 \quad \text{мм}^2$$

$$A_3 := l_{p1} \cdot (s_{и} - c) \cdot \chi = 1.003 \quad \text{мм}^2$$

$$A_{pc} := l_{p1} \cdot (s_{и} - s_{1p} - c) = 11.248 \quad \text{мм}^2$$

$$A_p := 0.5 \cdot (d_{op1} - d_{p1}) \cdot s_{1p} = 0.036 \quad \text{мм}^2$$

$$\text{Sum} := A_1 + A_2 + A_3 + A_{pc} = 111.382 \quad \text{мм}^2$$

$$\text{Проверка}_{\text{услб}} := \left(\begin{array}{l} \text{"условие укрепления выполняется"} \quad \text{if Sum} > A_p \\ \text{"условие укрепления НЕ выполняется"} \quad \text{otherwise} \end{array} \right)$$

$$\boxed{\text{Проверка}_{\text{услб}} = \text{"условие укрепления выполняется"}}$$

3.4.2. Укрепление отверстий в эллиптическом днище

Расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптического днища

$$x := 0$$

Расчетный диаметр эллиптической крышки

$$D_{p2} := \frac{D^2}{2 \cdot h} = 300 \quad \text{мм}$$

Расчетный диаметр отверстия в стенке обечайки

$$d_{p2} := d_2 + 2c = 79 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий

$$\text{Проверка}_{\text{усл7}} := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{d_{p2} - 2 \cdot c}{D} > 0.6 \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{s_{\text{И}} - c}{D} \geq 0 \\ \text{"Отношение применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$\text{Проверка}_{\text{усл7}} = \text{"Отношение применения формул выполняются"}$

Расчетная толщина стенки оболочки

$$s_{2p} := \frac{P_2 \cdot D_{p2}}{4 \cdot \phi \cdot \sigma - P_2} = 2.881 \quad \text{мм}$$

Расчетная толщина стенки штуцера

$$s_{2p1} := \frac{P_2 \cdot (d_2 + 2c)}{2\sigma - P_2} = 1.532$$

Расчетные длины штуцеров:

$$l_{12} := 200 \quad \text{мм} \qquad l_{22} := 80 \quad \text{мм} \qquad l_{32} := 15 \quad \text{мм}$$

$$l_{1p2} := \min \left[l_{12}, \sqrt{(d_2 + 2c) \cdot (s_{\text{И}} - c)} \right] = 8.888 \quad \text{мм}$$

$$l_{3p2} := \min \left[l_{32}, 0.5 \cdot \sqrt{(d_2 + 2c) \cdot (s_{\text{И}} - c)} \right] = 4.444 \quad \text{мм}$$

$$l_{2p2} := \min \left[l_{22}, \sqrt{D_{p2} \cdot (s_2 \cdot s_{\text{И}} - c)} \right] = 45.826 \quad \text{мм}$$

Расчетная ширина зоны укрепления в обечайках и днищах при отсутствии торообразной вставки или вварного кольца

$$l_{p2} := \sqrt{D_{p2} \cdot (s_{и} - c)} = 17.321 \quad \text{мм}$$

Штуцер 2 изготовлен из того же материала что и теплообменник

Отношения допускаемых напряжений для внешней и внутренней части штуцера и для накладного кольца

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления, при наличии избыточной толщины стенки

$$d_{op2} := 0.4 \cdot \sqrt{D_{p2} \cdot (s_{и} - c)} = 6.928 \quad \text{мм}$$

$$d_o := 2 \left[\frac{(s_{и} - c)}{s_{2p}} - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_{p2} \cdot (s_{и} - c)} = -15.687 \quad \text{мм}$$

$$\text{Проверка}_{усл8} := \begin{cases} \text{"Необходимо укрепление отверстий"} & \text{if } d_o > d_2 \\ \text{"Укрепление отверстия не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Проверка}_{усл8} = \text{"Необходимо укрепление отверстий"}$$

$$A_1 := l_{p2} \cdot (s_{и} - s_{2p1} - c) \cdot \chi = -4.727 \quad \text{мм}^2$$

$$A_2 := l_{p2} \cdot s_1 \cdot \chi = 137.477 \quad \text{мм}^2$$

$$A_3 := l_{p2} \cdot (s_{и} - c) \cdot \chi = 4.444 \quad \text{мм}^2$$

$$A_{pc} := l_{p2} \cdot (s_{и} - s_{2p} - c) = -32.574 \quad \text{мм}^2$$

$$A_p := 0.5 \cdot (d_{p2} - d_{op2}) \cdot s_{2p} = 103.807 \quad \text{мм}^2$$

$$\text{Sum} := A_1 + A_2 + A_3 + A_{pc} = 104.62 \quad \text{мм}^2$$

$$\text{Проверка}_{\text{усл9}} := \left(\begin{array}{l} \text{"условие укрепления выполняется"} \quad \text{if Sum} > A_p \\ \text{"условие укрепления НЕ выполняется"} \quad \text{otherwise} \end{array} \right)$$

$$\boxed{\text{Проверка}_{\text{усл9}} = \text{"условие укрепления выполняется"}}$$

Расчет опорных лап

Область применения расчетных формул

Опорные лапы присоединены к цилиндрической обечайке. Направление действия усилия принимают параллельно оси обечайки. Расчетные формулы применяют, когда

$$\text{Us1}_{11} := \left(\begin{array}{l} \text{"условие применения формул выполняется"} \quad \text{if } \frac{s_{и} - c}{D} \leq 0.05 \\ \text{"условие применения формул НЕ выполняется"} \quad \text{otherwise} \end{array} \right)$$

$$\boxed{\text{Us1}_{11} = \text{"условие применения формул выполняется"}}$$

$$l_1 := 800 \quad \text{мм}$$

$$e_1 := \frac{5}{6} \cdot l_1 = 666.667$$

Высоту опорной лапы принимаем:

$$h_1 := 1000 \quad \text{мм}$$

Расстояние между точкой приложения усилия и обечайкой

$$b_4 := 460 \quad \text{мм}$$

$$b_1 := 380 \quad \text{мм}$$

Проверка несущей способности обечайки

Несущая способность обечайки в месте приварки опорной лапы без подкладного листа

Для расчета несущей способности проведем предварительный расчет коэффициента K_7 и предельного коэффициента изгиба $\sigma_{тд}$:

Коэффициент:

$$x := \ln \left[\frac{Dr}{2(s_{и} - c)} \right] = 4.317 \quad y := \ln \left(\frac{h1}{Dr} \right) = 1.897$$

$$z := -5.984 + 11.395 \cdot x - 18.984 \cdot y - 2.413 \cdot x^2 - 7.286 \cdot x \cdot y = -97.459$$

$$K_7 := \exp(z \cdot 10^{-7}) = 1$$

Предельное напряжение изгиба:

Общее окружное мембранное напряжение в цилиндрической и конической обечайках следует определять по формуле

$$\sigma_{my} := \frac{P_2 \cdot Dr}{2(s_{и} - c)} = 525 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_m := \sigma_{my} = 525 \quad \text{МПа}$$

$n_T := 1.5$ запас прочности по пределу текучести

$K_2 := 1.2$ для рабочих условий

$$\theta_1 := 0.3$$

$$\theta_2 := \frac{K_2 \cdot \sigma_m}{n_T \cdot \sigma} = 2.283$$

$$K_1 := \frac{1 + 3 \cdot \theta_1 \cdot \theta_2}{3 \cdot \theta_1^2} \cdot \sqrt{\frac{9 \cdot \theta_1^2 \cdot (1 - \theta_2^2)}{(1 + 3 \cdot \theta_1 \cdot \theta_2)^2} + 1} - 1 = 8.011$$

Тогда предельное напряжение изгиба

$$\sigma_{td} := K_1 \cdot \sigma \cdot \frac{n_T}{K_2} = 1.842 \times 10^3 \quad \text{МПа}$$

Несущая способность обечайки в месте приварки опорной лапы без подкладного листа

$$F_{d1} := \frac{\sigma_{td} \cdot h_1 \cdot (s_{и} - c)^2}{K_7 \cdot e_1} = 2.764 \times 10^3$$

При $\frac{?}{?1} < 0.5$ значение F_{d1} , полученное по формуле, необходимо умножить на $0.5 + \frac{?}{?1}$
 $\frac{?}{?1} = 9.8? \cdot 10^? \cdot 3$ Следовательно, домножаем несущую способность обечайки на $0.5 + \frac{?}{?1} = 0.51$ $0.51 \cdot 4876 = 2487$

Расчет тепловой изоляции

$$D_{vn} := 0.150 \quad \text{м} \quad S := 0.003 \quad \text{м} \quad H := 0.3 \quad \text{м}$$

$$D := D_{vn} = 0.15 \quad \text{м}$$

В качестве теплоизоляции служит вспученный перлитовый песок. Его плотность составляет:

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

Коэффициент теплопроводности материала:

$$\lambda_{iz} := 0.039 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}}$$

Поверхность теплоотдачи:

$$F_{iz} := \pi \cdot (D + 2S)H + \frac{[\pi \cdot (D + 2S)^2]}{2} = 0.185 \quad \text{м}^2$$

Температура внутреннего слоя изоляции

$$t_{viz} := -196 \quad \text{°C}$$

Требуемую температуру наружного слоя изоляции принимаем

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

Температура окружающей среды:

$$t_{okr} := 20 \quad ^\circ\text{C}$$

Суммарный коэффициент теплоотдачи определяем по формуле:

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

Величина тепловых потерь по уравнению теплоотдачи

$$Q_{piz} := \alpha \cdot F_{iz} \cdot (t_{niz} - t_{okr}) = -23.398 \quad \text{Дж}$$

Толщина тепловой изоляции:

$$\delta_{iz} := \frac{\lambda_{iz} \cdot F_{iz} \cdot (t_{viz} - t_{niz})}{Q_{piz}} = 0.062 \quad \text{м}$$

Диаметр аппарата с тепловой изоляцией:

$$D_{niz} := D + 2S + 2\delta_{iz} = 0.28 \quad \text{м}$$

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Предпроектный анализ

Потенциальные потребители

Продукт: жидкий азот

Целевой рынок: предприятия химической промышленности, медицинские учреждения

SWOT-анализ.

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

	Сильные стороны: С1. Оптимальный состав сотрудников предприятия, обеспечивающий взаимозаменяемость и непрерывность рабочего процесса. С2. Заработная плата сотрудников состоит из нескольких составляющих, основную часть которой составляет % от объема продаж продукции. С3. Низкие затраты производства. С4. Небольшой ассортиментный перечень продукции	Слабые стороны: Сл1. Необходимое соблюдения техники безопасности на высоком уровне. Сл2. Дороговизна оборудования.
--	--	---

<p>Возможности:</p> <p>В1. Создание небольших пунктов реализации товара за пределами Томска и области. (экономия на транспортных затратах)</p> <p>В2. Участие в государственных и муниципальных торгах.</p> <p>В3. Поиск «новых» клиентов в результате сотрудничества с постоянными покупателями</p>	<p>1. За счет повышения качества продукции по мировым стандартам увеличим рынок сбыта продуктов</p>	<p>1. Повышение квалификации кадров</p> <p>2. Привлечение новых заказчиков</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Снижение объемов продаж в условиях кризиса промышленных предприятий.</p> <p>У2. Политический режим в стране.</p> <p>У3. Высокотехнологичные предприятия.</p>	<p>1. Продвижение новой технологии с целью появления спроса</p> <p>2. Использование качественного сырья</p> <p>3. Применение технологии к альтернативным источникам</p>	<p>1. Привлечение новых заказчиков</p> <p>2. Применение технологии к альтернативным источникам</p> <p>3. За счет повышения квалификации персонала исключить возможность появления чрезвычайных и аварийных ситуаций</p>

4.1. 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.

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

$$M = 18897 * 8584,8 * 1 = 162226965,6 \text{ кг/год}$$

Производственная мощность 162227 т/год

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

$T_{\text{эф.}}$ - эффективный фонд времени работы оборудования (час.);

$K_{\text{об.}}$ - количество однотипного оборудования, установленного в цехе.

Эффективный фонд времени оборудования:

$$T_{\text{эфф}} = T_{\text{ном.}} - T_{\text{ппр}} - T_{\text{то}}$$

$$T_{\text{эфф}} = 365 - 7,3 - 0 = 357,7$$

где $T_{\text{ном.}}$ - номинальный фонд работы оборудования;

$T_{\text{ппр}}$ - время простоя в ремонтах за расчетный период

$T_{\text{то}}$ - время технологических остановок.

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

$$T_{\text{ном}} = 365 - 0 - 0 = 365$$

где $T_{\text{вых}}$ - количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ - количество праздничных дней в году.

Для анализа использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен

$$K_{\text{экс.}} = T_{\text{эф}}/T_{\text{н}}$$

$$K_{\text{экс.}} = \frac{8584,8}{8760} = 0,98$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен

$$K_{\text{инт}} = Q_{\text{пп}}/Q_{\text{мах}}$$

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

где $Q_{\text{пп}}$ - производительность единицы оборудования в единицу времени;

$Q_{\text{мах}}$ - максимальная производительность в единицу времени. Интегральный

коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{им}} = K_{\text{экг}}/K_{\text{и}}$$

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

Таблица 1 - Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени	365 (8760)
Режимные потери рабочего времени	
• выходные	0 (0)
• праздники	0 (0)
Номинальный фонд рабочего времени	365 (8760)
Простой оборудования в ремонтах	7,3 (175,2)
Эффективное время работы оборудования за год	357,7 (8584,8)

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

$$N_{год} = K_{им} * M$$

$$N_{год} = 0,875 * 162227 = 141948 \text{ т/год}$$

Вывод: максимально возможный годовой выпуск – 162227 т/год; действительный выпуск продукции – 141948 т/год. Установка работает на неполную мощность, степень загрузки равна 87,5%

4.2 Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству

1) Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала

Таблица 2 - Расчет численности персонала

Наименование должности	Категория	Тарифный разряд	Число штатных единиц	Количество смен в сутках
Главный технолог	ИТР	Высшее	1	1
Механик установки	ИТР	Высшее	1	1
Энергетик	ИТР	Высшее	1	1
Инженер КИП и	ИТР	Высшее	1	1
Итого:			4	
Старший оператор	Производственный рабочий	6 разр.	4	2

Оператор установки	Производственный рабочий	5 разр.	9	2
Помощник оператора	Вспомогательный персонал	4 разр.	4	2
Итого:			17	
Дежурный слесарь по ремонту	Ремонтный персонал	4 разр.	4	2
Дежурный слесарь-электрик	Ремонтный персонал	4 разр.	4	2
Дежурный слесарь КИП	Ремонтный персонал	4 разр.	4	2
Итого:			12	
Итого:			33	

2) Расчет баланса эффективного годового времени одного средне списочного работника (табл. 3).

Таблица 3 – Баланс эффективного годового времени одного среднесписочного работника

№	Показатели	Дни	Часы
1.	Календарный фонд рабочего времени	365	8760
2.	Нерабочие дни	0	0
3.	Номинальный фонд рабочего времени	365	8760
4.	Планируемые не выходы <ul style="list-style-type: none"> • очередные и дополнительные отпуска • невыходы по болезни • декретные отпуска • отпуск в связи с учебной без отрыва от производства • выполнение гос. обязанности 	36 3 - - 3	864 72 - - 72
5.	Эффективный фонд рабочего времени	323	7752

3) Количество выходных дней в году, ночных смен определяется из графика сменности (пример графика сменности представлен в табл. 4)

Таблица 4 – График сменности

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

4) Общий фонд заработной платы рабочих за год:

$$З_{\text{год}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}$$

где $З_{\text{осн}}$ - основной фонд заработной платы рабочих, тыс. руб;

$З_{\text{доп}}$ - дополнительный фонд заработной платы рабочих, тыс. руб.

Основной фонд заработной платы для рабочих повременников:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{тар}} + \text{Пр} + D_{\text{н.вр}} + D_{\text{пр.дни}} + D_{\text{бриг}}$$

где $З_{\text{тар}}$ - тарифный фонд заработной платы, тыс. руб;

Пр - оплата премий, тыс. руб;

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

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

$D_{\text{бриг}}$ - доплата не освобожденным бригадирам, тыс. руб.

Тарифный фонд заработной платы:

$$З_{\text{тар}} = \sum Ч_{\text{сп}} * T_{\text{ст}} * T_{\text{эф.раб}}$$

где $Ч_{\text{сп}}$ - списочная численность рабочих данного разряда, чел.;

$T_{\text{сп}}$ - дневная тарифная ставка данного разряда, тыс. руб.

Размер премий принимаем равным 20-70 % от тарифного фонда заработной платы.

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

Дополнительная зарплата ($З_{\text{доп}}$):

$$З_{\text{доп}} = (D_{\text{н}} * З_{\text{осн}}) / T_{\text{эфф}}$$

где $D_{\text{н}}$ - количество дней невыхода на работу по планируемыми причинам (отпуск, ученические, гособязанности).

Районный коэффициент для г. Томска - 1,3. Отчисления на социальные нужды на зарплату - 30 % от ($З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}$).

Таблица 5 – Сводная таблица заработной платы основного персонала

Наименование профессий	Списочная численность	Тарифный разряд	Тарифная ставка за день, руб.	Номин. фонд рабочего времени всех рабочих в год, ч	Основной фонд заработной платы, тыс. руб.					Дополнительный фонд з/п, тыс.руб.	Общий годовой фонд з/п, тыс. руб.	Общий фонд з/п с учетом районного коэффициента, тыс.руб.
					Тарифн. фонд	Премия	Доплата за ночное время	Доплата за работу в праздники	Итого			
	$Ч_{сп}$		$T_{ст}$	$H_{ф}=360*Ч_{сп}$	$Z_{тар} = Ч_{сп} * T_{ст} * T_{эф}$	$Пр = Z_{тар} * 10\%$	$D_{н.вр} = Z_{тар} * 40\%$	$D_{пр.дн.} = Z_{тар} * 0,3$	$Z_{осн} = Z_{тар} + Пр + D_{нвр} + D_{прдн.}$	$Z_{доп} = Z_{осн} * 10\%$	$Z_{общ.} = Z_{доп} + Z_{осн}$	$Z_{общ} * K; K=1,3$
ИТР	4	6	3123	1440	3972,4	397,24	1588,96	1191,72	7150,32	715,032	7865,352	10224,96
Старший оператор	4	5	2578	1440	3279,2	327,92	1311,68	983,76	5902,56	590,256	6492,816	8440,661
Оператор установки	9	4	1987	3240	5686,8	568,68	2274,72	1706,04	10236,24	1023,624	11259,86	14637,82
Вспомогательный персонал	4	4	1547	1440	1967,7	196,77	787,08	590,31	3541,86	354,186	3896,046	5064,86
Ремонтный персонал	12	4	1269	4320	4842,5	484,25	1937	1452,75	8716,5	871,65	9588,15	12464,6
Итого	33	-	-	-	19748,6	7899,44	5924,58	1974,86	35547,48	3554,748	39102,23	50832,9

4.3. Расчет затрат на производство продукции

Расчет годовой потребности в сырье и материалах

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

Таблица 6 – Расчет годовой потребности в материалах

Наименование сырья	Ед.изм	Цена, тыс.руб	Расход, т		Сумма затрат, тыс.руб.	
			На единицу готовой продукции	На весь объем производства	На единицу готовой продукции	На весь объем производства
азот	т	30	0,507	71968	15,21	2159029

Расчет амортизационных отчислений

Для расчета амортизационных отчислений необходимо учесть:

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

Расчет амортизационных отчислений представлен в табл. 7.

Таблица 7 – расчет амортизационных отчислений

Наименование основных средств	Стоимость, тыс.руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления тыс.руб
1. Здания			
1.1 Цех по производству	5000	5	250
1.2 Операторная	6000	5	300
Итого:			550
2. Оборудование			
2.1 Реактор	200000	10	20000
2.2 Теплообменник	70000	10	7000
2.3 Турбовоздуходувка	20000	10	2000
2.4 Испаритель	1000	10	100
2.5 Насос	200	10	20
Итого:	291200		29120

Итого общее:	296700		29670
---------------------	---------------	--	--------------

4.4. Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства (141948 т/год)

Таблица 8 - Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства 141948 т/год

Статьи затрат	Единицы измерения	Затраты тыс.руб.	
		На 1 т.	На весь год
1. Сырье	тыс.руб.	15,21	2159029
2. Энергия на технологические нужды	тыс.руб.	48,5	6884478
3. З/П основных произв. рабочих	Тыс.руб.	0,162584	23078,48
4. Отчисления на СН (30%)	Тыс.руб.	0,04878	6923,54
Итого условно-переменных издержек	тыс.руб.	63,921364	9073509,02
5. Общепроизводственные накладные расходы	тыс.руб.		
5.1. РСЭО:	тыс.руб.		
- Амортизация оборудования	тыс.руб.	0,205	29120
- Ремонт оборудования	тыс.руб.	0,051	7280
- Заработная плата ремонтного персонала	тыс.руб.	0,088	12464,6
- Отчисление на соц. нужды ремонтного персонала (30%)	тыс.руб.	0,026	3739,38
5.2. Заработная плата ИТР	тыс.руб.	0,072	10224,96
- Отчисление на соц. нужды ИТР (30%)	тыс.руб.	0,0216	3067,488
5.3. Заработная плата вспомогательного персонала	тыс.руб.	0,0357	5064,86
- Отчисление на соц. нужды вспомогательного персонала (30%)	тыс.руб.	0,0107	1519,46
Итого условно-постоянных издержек	тыс.руб.	0,510	72480,748

Цеховая (производственная) себестоимость (1+2+3+4+5)	тыс.руб.	64,431	9145989,768
6. Управленческие расходы (5% от цеховой себестоимости)	тыс.руб.	3,222	457299,4884
Заводская себестоимость (цеховая себестоимость + стр.6)	тыс.руб.	67,653	9603289,2564
7. Коммерческие расходы (1% от заводской себестоимости)	тыс.руб.	0,67	96032,89
Полная себестоимость (заводская себестоимость +стр.7)	тыс.руб.	<u>68,32</u>	9699322,149
Условно-переменные издержки	тыс.руб.	63,921364	9073509,02
Условно-постоянные издержки	тыс.руб.	4,3986	624377,5829

4.5. Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = С * (1 + P/100),$$

где С - полная себестоимость единицы готовой продукции;

Р - рентабельность продукции (%).

Рентабельность продукции можно принять от 10% до 25%.

$$Ц = 68,32 * 1,25 = 85,4 \text{ тыс. руб./т}$$

Цена получилась близкой к средней рыночной цене жидкого азота (около 90 тыс. руб.), расчеты выполнены верно

Анализ безубыточности по действующему производству

Цель анализа - определение **точки безубыточности**, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков. В точке безубыточности выручка от продажи продукции ($B_{пр}$) равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

Определение точки безубыточности:

1. *Аналитическим* способом:

$$Q_{кр} = \frac{Изд_{пост}}{Ц_{1ГП} - Изд_{1ГП}}$$

$$Q_{кр} = \frac{624377,5829}{85,4 - 63,921364} = 29069 \text{ т.}$$

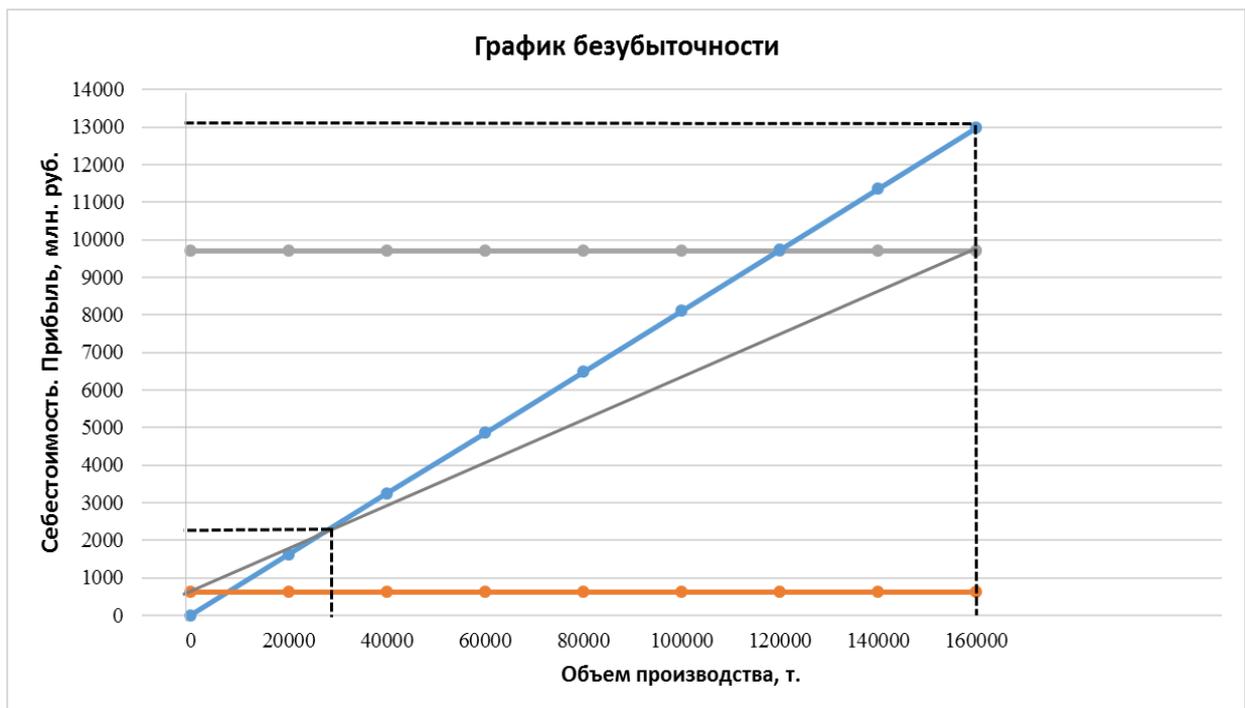
где $Ц_{1ГП}$ - цена единицы готовой продукции (1 тонны);

$Изд_{1ГП}$ - удельные переменные издержки (переменные издержки на единицу готовой продукции - 1 тонну).

2. *Графическим* способом:

Графически точка безубыточности определяется согласно рис. 1.

Рисунок 1 – График безубыточности



4.6. Определение технико-экономических показателей

Таблица 9 - Техничко-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Отчетный год
1. Объем производства	тыс. т	141,948
2. Объем продаж	тыс. т	141,948

3. Цена 1 тонны	тыс. руб.	85,4
4. Выручка от продажи (2*3)	тыс. руб.	12122359
5. Суммарные издержки	тыс. руб.	9697886,6029
5.1.Издержки переменные	тыс. руб.	9073509,02
5.2.Издержки постоянные	тыс. руб.	624377,5829
6. Операционная прибыль (4-5)	тыс. руб.	2424472,3971
7. Налог на прибыль (6*20%)	тыс. руб.	484894,479
8. Чистая прибыль (6-7)	тыс. руб.	1939577,9181
9. Себестоимость 1 тонны	тыс. руб.	68,32
10. Стоимость основных средств	тыс. руб.	211700
11. Численность основных рабочих	чел.	33
12. Фондовооруженность (10/11)	тыс. руб./чел.	6415,1515
13. Фондоотдача (4/10)	руб./руб.	57,26
14. Фондоемкость (10/4)	руб./руб.	0,01746
15. Производительность труда (4/11)	тыс. руб./чел.	367344,212
16. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	21,37
17. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	16
18. Критический объем продаж ($Q_{кр.}$)	тыс. т	29,069
19. Критический объем продаж ($Q_{кр.}$)	тыс. руб.	2482,4926

5. Социальная ответственность

Введение

В данной дипломной работе производится расчет основного теплообменного оборудования установки по разделению воздуха. Обеспечение безопасности условий работы достигается путем поддержания оборудования и технических средств в исправном состоянии, своевременным ремонтом, герметизацией аппаратов, поддержанием режима, утвержденного в технологическом регламенте для установки.

Сырьем для процесса служит воздух, поступающий с атмосферы. Атмосферный воздух представляет смесь азота, кислорода, аргона и редких газов, не связанных между собой химически. Приблизённо воздух можно рассматривать как смесь только азота и кислорода, поскольку аргона редких газов в нём содержится менее 1 %; в этом случае округлённо принимают, что воздух содержит 79% азота и 21% кислорода по объёму.

Целью работы является разработка и модернизация витого теплообменника, необходимый для охлаждения воздушной смеси в одной из стадий технологического процесса разделения воздуха.

5.1 Техногенная безопасность

Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения представлены в таблице 1.

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

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Работа с криогенными жидкостями 2. Работа с кислородом 3. Обезжиривание Оборудования 4. Хранение и обращение с растворителями 5. Обращение с водными моющими растворами	1. Токсичность паров всех хлорированных углеводородов 2. Наличие шума в рабочих помещениях	1. опасность низких температур 2. Опасность взрыва и пожара 3. Опасность термических ожогов	1. ГОСТ 21957-76 - Техника криогенная 2. Гост 5583-78 - Кислород технический 3. ОСТ 26-04-312-83 Методы обезжиривания оборудования. Общие требования к технологическим процессам 4.Хранение Растворителей по ГОСТ 9980.5-86 5 .Параметры шума в рабочих помещениях устанавливаются СН 2.2.4/2.1.8.562-96 6.ГОСТ 22567.5-93 Средства моющие синтетические и вещества поверхностно-активные.

Опасность воздействия низких температур

Возникает при работе с криогенными жидкостями.

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

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

Опасной является работа с криогенными продуктами во влажных одежде или рукавицах, так как это может привести к обмороживанию.

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

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

При работе с криогенными жидкостями необходимо защищать глаза лицевым щитком или защитными очками, имеющими боковые щитки. Верхняя одежда должна быть наглухо закрыта, а брюки должны закрывать обувь. Опасно прикосновение руками к предметам и стенкам сосудов, охлажденных криогенными жидкостями. В

связи с этим операции по заливанию, переливанию и переноске криогенных жидкостей следует производить в асбестовых, кожаных или брезентовых рукавицах, которые должны надеваться на руку свободно, чтобы при необходимости их можно было легко сбросить. При попадании криогенных жидкостей на незащищённый участок тела его следует немедленно обмыть водой. [8]

Опасность взрыва и пожара

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

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

Опасность воспламенения одежды значительно возрастает в тех случаях, когда огневые работы проводят в местах, где возможно повышенное содержание кислорода. Воспламенения пропитанной кислородом одежды от искр, возникающих от ударов и трения металлических предметов, подкованных сапог, а также немало несчастных случаев произошло при курении и зажигании спичек в недозволенных местах.

Пострадавшего для тушения на нём одежды следует немедленно окунуть в воду или сорвать одежду. Необходимые для этого ванны или душевые устройства должны быть согласно нормативам во всех помещениях, где возможно повышение

концентрации кислорода в воздухе. Нельзя для прекращения горения закутывать пострадавшего, так как доступ кислорода к горящей одежде при этом не прекратится.

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

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

[9]

Опасность термических ожогов

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

При растворении и разведении каустической соды выделяется значительное количество тепла, при приготовлении раствора сначала в ёмкость заливают необходимое количество воды, а потом добавляют щелочь. Выделяющееся при этом тепло распределяется в значительном количестве воды. Если к щелочи добавлять воду, то первые порции воды могут нагреться до кипения, что приведёт к разбрызгиванию раствора. Не рекомендуется растворять щелочь в горячей воде.

Работа с каустической содой и её водными растворами, используемыми на некоторых установках при очистке воздуха от двуокиси углерода. Особо опасным является попадание едкой щелочи в глаза и на кожные покровы. Поэтому персонал, работающий на аппаратах для химической очистки воздуха от диоксида углерода и

занимающийся приготовлением растворов едкой щелочи и отбором проб для анализов, должен знать и безусловно выполнять правила безопасности.

Допускается работа только на исправных аппаратах и насосах, напайных всеми необходимыми контрольно-измерительными приборами. Все разъёмные соединения аппаратов и трубопроводов должны быть плотными, сальники щёлочных насосов и анализные вентили не должны попускать раствор. Все операции по уходу за щелочным оборудованием (в том числе пуск и остановку насосов) следует производить в резиновых перчатках и защитных очках. Приготовление щелочного раствора и отбор проб на анализ необходимо производить в резиновых сапогах, фартуках, защитных очках, перчатках и шлеме. Концы рукавов спецодежды должны плотно прилегать к телу, а брюки должны быть выпущены из сапог. [10]

Токсичность паров всех хлорированных углеводородов

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

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

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

Трихлорэтилен 10

Тетразлорэтилен 10

Хладон - 113 3000

Бензин Б-70 1001

Керосин 300

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

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

Рабочие помещения, где проводят работы с растворителями, следует оборудовать приточно-вытяжной вентиляцией, которая обеспечит максимальное удаление паров растворителей, с тем, чтобы их содержание в воздухе не превышало приведённых выше санитарных норм. На сдувах растворителей в атмосферу должны быть установлены специальные уловители.

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

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

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

При работе с легколетучими растворителями, например фреоном -113, возможно состояние удушья от недостатка кислорода при высоком содержании паров растворителя в воздухе. Поэтому количество фреона - 113, заливаемого в обезжириваемые системы или во вспомогательное оборудование, не должно превышать 0,3 кг на 1 м помещения. [10]

Повышенный уровень шума на производстве

Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий по ГОСТ 12.1.003-88 определены допустимые уровни параметров шума и вибрации. Норма составляет 80 дБ.[3]

Наиболее шумным из помещений, где расположено оборудование по разделению воздуха, является помещение, где работают поршневые воздушные установки, где уровень звукового давления во всех частотах превышает допустимые уровни для производственных помещений с постоянным пребыванием людей. Для этого отделения, где нет постоянного рабочего места и пребывание человека в смену не превышает один час, применяются индивидуальные средства защиты антифоны, беруши или наушники.[4]

5.2. Региональная безопасность

Сточные воды

Сточные воды азотно-кислородной станции представляют собой воду, отводимую от охлаждения компрессоров, конечных холодильников и испарителей, относятся к условно-чистым стокам и включены в оборотную систему завода.

Данные о сточных водах приведены в таблице 2

Выбросы в атмосферу

Выбросы в атмосферу от азотно-кислородной станции состоят из:

- кислородной фракции разделения воздуха;

азотной фракции из блока разделения воздуха;

- влажного воздуха после регенерации цеолита в блоке очистки воздуха. Данные о выбросах приведены в таблице 3.

Твёрдые и жидкие отходы

Твёрдые отходы азотно-кислородной станции представляют собой отработанный цеолит Naх.

Жидкие отходы представляют собой отработанное масло после компрессоров, детандера и влагоотделителей.

Из маслоотстойника жидкие отходы сдаются в виде отработки на нефтебазу. Отработанный цеолит направляется в отвал.

Характеристика отходов приводится в таблице 4.

Выбросы в атмосферу

Таблица 2

Наименование	Кол-	Сумм ар	Периодич	Темпе	Состав	Допустимо е
--------------	------	---------	----------	-------	--------	-------------

выброса, аппарат, диаметр, высота сброса	во источ ников	ный объём отходящ его газа, м *час	-ность	ратура, °С	выброса, мг/ м ³ , г/м ³ , или % об.	кол-во вред. компонент ов сбрас. в атмосф. кг/ч
---	----------------------	--	--------	---------------	--	---

Кислородная фракция из блока разделения воздуха А-15, Н- 5 м, Д-100 мм	1	0.22	постоянно	13-38	Кислород 25 - 20%	Вредные вещества отсутству ют
--	---	------	-----------	-------	----------------------	--

Азотная фракция из блока разделения воздуха А-16, Н- 5 м, Д-100 мм	1	0.68	постоянно	13-38	Кислород 25- 0.001%	Вредные вещества отсутствуют
Влажный азот после регенерации блока осушки		0.2		200- 220	СО2 20 м ³ /м	Вредные вещества
			3 р. в сут.			

воздуха А-24, А- 26, Н-5 м, Д-80 мм				3	отсутствуют
---	--	--	--	---	-------------

Таблица 3

Наименование стока, аппарата	Куда сбрасываются	Кол-во стоков, м ³ /сутки	Периодичность сброса	Состав сброса, мг/л (по компонентам)	Доп. КОЛ-ВО сбрасываемых вредн. вещ-в кг/сут
Условно - чистый сток	Водооборотная система предприятия	1080	Постоянно	рН 7.8 хПК 7.4 Метанол 0.2 Формальдегид 0.002	6.5-8.5 3.28 0.05 1.09 0.22 2.19 0.11

Таблица 4

Наименование отхода, аппарат	Куда складир-ся, транспорт, тара	Кол-во отходов в сутки	Периодичность образования	Примечание
Отработанное масло компрессоров	из Ёмкость маслоотстойника	1.37	24 раза в сутки 1 раз в год	Замена цеолита производится при содержании CO ₂

В качестве технических мероприятий по снижению пагубного воздействия на экологию, нужно выделить в первую очередь совершенствование техпроцесса. Это обеспечит снижение затрат на очистку выбросов и увеличения качества продукции или эффективность используемого процесса. В качестве этого можно использовать повышение скорости расплава благодаря более сильному излучению и более высокой эффективности использования энергии обогащенного кислородом сгорания, а также возможность уменьшить количество выбросов с помощью кислородных форсунок

Вторым мероприятием может быть и снижение потребления энергии без увеличения количества выбросов. К этому можно отнести добавление потока кислорода в отверстие для отходящих газов в роторной печи с фиксированной осью значительно сокращает количество вредных компонентов в отходящем газе.

Следующим мероприятием для снижения данного аспекта - это установка дополнительных систем очисток либо замена существующих или их усовершенствование. [12]

5.3 Организационные мероприятия обеспечения безопасности.

Одной из наиболее важных специфических особенностей воздуходелительных установок является возможность накопления в них взрывоопасных примесей, содержащихся в перерабатываемом воздухе. В тех случаях, когда процесс происходит в аппаратах, где имеется жидкий кислород или жидкость, обогащенная кислородом, создаются предпосылки для возникновения взрыва. Он также может произойти, если в установке или вне её имеет место контакт жидкого кислорода или жидкости, обогащенной кислородом, с различными органическими веществами.

Пожарная безопасность зданий и сооружений в организациях, связанных с разделением воздуха, должна соответствовать проекту, установленным требованиям пожарной безопасности и настоящим Правилам.

Взрывобезопасность технологических процессов, в которых присутствуют вещества способные образовывать взрывоопасную среду, должна обеспечиваться мерами взрывопредупреждения и взрывозащиты, осуществлением специальных организационных и организационно технических мероприятий в объеме требований, установленных действующими нормами взрывобезопасности.

При возгорании кислородного оборудования необходимо прекратить поступление кислорода в помещение и вывести обслуживающий персонал в безопасную зону.

Для тушения загоревшихся технических устройств и коммуникаций следует пользоваться системами и средствами пожаротушения предусмотренными проектом.

Помещения, в которых расположены кислородные компрессоры и газификаторы, наполнительные и примыкающие к ним склады кислородных баллонов, кислородные разрядные коллекторы, реципиенты, кислородно-регулирующие пункты, узлы регулирования кислорода, гаражи для транспортных сосудов жидких ПРВ, оснащаются средствами связи в соответствии с нормами проектирования.

Средства связи (телефонные аппараты и др.) необходимо устанавливать вблизи мест размещения и обслуживания указанных технических устройств.

В цехах разделения воздуха, в отделениях получения и очистки редких газов, в компрессорном отделении, в газгольдерном помещении, в отделениях хранения, газификации и наполнения кислорода, а также в местах, где проходят кислородные трубопроводы и производятся работы с кислородом, курение и применение открытого огня не допускается, о чем на наружной стороне дверей и в местах, где проводятся работы с кислородом и проходят кислородопроводы, должны быть установлены соответствующие знаки безопасности.

В помещениях производства - места расположения кислородных компрессоров, насосов и газификаторов жидкого кислорода, блоков разделения воздуха, резервуаров с жидким кислородом, наполнительных и разрядных коллекторов кислородных баллонов, кислородно-распределительных пунктов, у выхода из помещений кислородных тканевых газгольдеров, а также около эвакуационных выходов, необходимо устанавливать ванны, заполненные водой. Допускается устройство противопожарных душевых кабин с автоматической подачей воды при входе человека в кабину.

При установке в цехе кислородных центробежных компрессоров или компрессоров другого назначения при единичной вместимости маслобака, превышающей 5 м³, аварийный слив масла из маслобаков компрессоров осуществляется в бак аварийного слива, вместимость которого должна быть не меньше вместимости наибольшего маслобака компрессора, установленного в цехе. [1]

5. 4. Особенности законодательного регулирования проектных решений

Газоопасность, взрыво- и пожароопасность, опасность термических и химических ожогов, токсичность в производстве разделения воздуха определяется в нем наличием криогенных жидкостей.[8]

Для работников, занятых на работах с вредными или опасными условиями труда, законодатель установил сокращенную продолжительность рабочего времени - не более 36 часов в неделю (ст. 92 ТК РФ, п. 1 Постановления Правительства РФ от 20.11.2008 N 870 (далее - Постановление N 870)). При этом максимально допустимая продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать (ст. 94 ТК РФ):

- при 36-часовой рабочей неделе - 8 часов;
- при 30-часовой рабочей неделе и менее - 6 часов.

Коллективным договором может быть предусмотрено увеличение смены при условии соблюдения предельной еженедельной продолжительности рабочего времени и гигиенических нормативов условий труда.

Также сотрудникам, занятым на работах с вредными или опасными условиями труда, положено предоставлять ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск продолжительностью не менее 7 календарных дней (ст. 117 ТК РФ, п. 1 Постановления N 870).[7]

Литература

1. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
2. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
3. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
4. СП 51.13330.2011. Защита от шума.
5. ГОСТ Р 53010 - 2008 «Прессы гидравлические. Требования общие».
6. Федеральный закон от 22.07.2013 г. №123 - ФЗ. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.
7. ТК РФ. Трудовой кодекс РФ.
8. ГОСТ 21957-76 -Техника криогенная
9. Гост 5583-78 -Кислород технический
10. ОСТ 26-04-312-83 Методы обезжиривания оборудования. Общие требования к технологическим процессам
11. ГОСТ 17.1.3.13-86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.
12. А.Г. Ветошкин Защита литосферы от отходов. Учебное пособие.- Пенза: Изд-во Пенз. Гос. Ун-та,2005г.

Заключение

В практической части дипломной работы произведен технологический расчет, который включает в себя определение теплофизических параметров, поверхности теплообмена и конструктивных размеров аппарата, и механический расчет витого теплообменника. Механический расчёт содержит расчет на прочность цилиндрической обечайки и эллиптического днища, было рассчитано укрепление отверстий, подобраны и рассчитаны опорные лапы. Рассчитана толщина теплоизоляции. Приняты решения по выбору материалов, произведен подбор штуцеров. Согласно расчетам, теплообменник удовлетворяет всем технологическим и прочностным требованиям. Разработан чертеж общего вида.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. – 15-е изд., стереотипное. Перепечатка с девятого издания 1973 г. – М.: ООО «Альянс», 2009. – 753 с.
2. Архаров А.М. и др. "Криогенные системы. Основы теории и расчета. Том 2" Машиностроение, 1996 год, 720 стр.
3. АТК 24.218.06-90 Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общие технические требования
4. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей М., 1972 г. 720 стр. с илл.
5. Алексеев В. П. и др. Расчет и моделирование аппаратов криогенных установок/ В. П. Алексеев, Г. Е. Вайнштейн, П. В. Герасимов. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. – 280 с.: ил.
6. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию /Г.С.Борисов, В.П.Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. 2-е изд., перераб. и доп. М.:Химия, 1991. - 452 с.
7. Лащинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / Толчинский А.Р., - Ленинград : Изд-во: "Машиностроение" , 1970. - 752 с.
8. Беляев В.М., Миронов В.М. Расчет и конструирование основного оборудования отрасли Учебное пособие. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. - 288с.
9. ОСТ 26 -291-94 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия
10. ГОСТ 24755-89 (СТ СЭВ 1639-88) Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий
11. Павлов К.Ф., Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / Романков П.Г., Носков А.А. - 14-е изд., стереотипное. Перепечатка с издания 1987 г. М.: ООО ИД «Альянс», 2007. - 576 с.
12. Физические величины. Справочник. А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М. Братковский и др.; Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. — М.:Энергоатомиздат, 1991. — 1232 с.
13. ГОСТ Р 52857.3- 2007 Сосуды и аппараты НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях.Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер
14. Михалев М.Ф.Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств / Ленинград "Машиностроение". - Ленинград : Изд-во: Ленинградское отделение, 1984. - 302 с.

15. ГОСТ 52857.1-2007 Сосуды и аппараты нормы и методы расчета на прочность общие требования
16. ГОСТ 54522-2011 Сосуды и аппараты высокого давления. Расчет цилиндрических обечаек, днищ, фланцев, крышек.
17. ГОСТ 12820-80 Фланцы стальные плоские приварные на 0,1 до 2,5 МПа (от 1 до 25 кгс/см).
18. ГОСТ 6533-78 Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов.
19. ГОСТ 22792-83 Сборочные единицы и детали трубопроводов. Штуцера на P_y св. 10 до 100 МПа (св. 100 до 1000 кгс/кв.см). Конструкции и размеры.
20. ГОСТ Р 52857.2-2007. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек М.: Изд-во стандартов, 2008.—44с.

