

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки 18.03.01 химическая технология  
 Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Разработка основного теплообменного оборудования установки получения кислорода</b>

УДК 66.048.3::665.723

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г8Б	Тузиков Андрей Владимирович		

Руководитель ВКР

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

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Кащук И.В	к.т.н доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Черемискина М.С			

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Ревва И.Б	к.т.н доцент		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

**Инженерная школа новых производственных технологий**  
 Отделение школы (НОЦ) **Научно-образовательный центр Н. М. Кижнера**  
 Направление подготовки **18.03.01 Химическая технология**  
 Профиль **Машины и аппараты химических производств**

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Ревва И.Б.  
 (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
4Г8Б	Тузиков Андрей Владимирович

Тема работы:

Разработка основного теплообменного оборудования установки получения кислорода	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	11.04.2022, №101-21/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></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 кислорода.</p> <p>Расход 1771 кг/ч.</p> <p>Начальная температура 10 С°. Давление 0,07 Мпа.</p> <p>Расход азота 725 кг/ч.</p> <p>Начальная температура -218 С°.</p>
---	--

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></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 работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Реферат</p> <p>Введение</p> <p>1. Обзор литературы</p> <p>2. Описание технологической схемы</p> <p>3. Технологический расчет теплообменного аппарата</p> <p>4. Механический расчет</p> <p>5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p> <p>6. Социальная ответственность</p> <p>Заключение</p> <p>Список литературы</p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1 – Технологическая схема (A1).</p> <p>Лист 2 – Общий вид теплообменника (A0).</p>

<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Кащук Ирина Вадимовна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Черемискина Мария Сергеевна</p>

<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>
--

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

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

<p><b>Должность</b></p>	<p><b>ФИО</b></p>	<p><b>Ученая степень, звание</b></p>	<p><b>Подпись</b></p>	<p><b>Дата</b></p>
<p>доцент</p>	<p>Балмашнов Михаил Александрович</p>			

**Задание принял к исполнению студент:**

<p><b>Группа</b></p>	<p><b>ФИО</b></p>	<p><b>Подпись</b></p>	<p><b>Дата</b></p>
<p>4Г8Б</p>	<p>Тузиков Андрей Владимирович</p>		

Планируемые результаты обучения по ООП 18.03.01 «Химическая технология»  
выпуска 2022 г.

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен и готов использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Готов использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы
ОПК(У)-3	Готов использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире

ОПК(У)-4	Владеет пониманием сущности и значения информации в развитии современного информационного общества, осознанием опасности и угрозы, возникающих в этом процессе, способностью соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОПК(У)-5	Владеет основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией
ОПК(У)-6	Владеет основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<i>производственно-технологическая деятельность</i>	
ПК(У)-1	Способен и готов осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции
ПК(У)-2	Готов применять аналитические и численные методы решения поставленных задач, использовать современные информационные технологии, проводить обработку информации с использованием прикладных программных средств сферы профессиональной деятельности, использовать сетевые компьютерные технологии и базы данных в своей профессиональной области, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров оборудования
ПК(У)-3	Готов использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации продуктов и изделий, элементы экономического анализа в практической деятельности
ПК(У)-4	Способен принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения
ПК(У)-5	Способен использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда, измерять и оценивать параметры производственного микроклимата, уровня запыленности и загазованности, шума, и вибрации, освещенности рабочих мест
ПК(У)-6	Способен налаживать, настраивать и осуществлять проверку оборудования и программных средств

ПК(У)-7	Способен проверять техническое состояние, организовывать профилактические осмотры и текущий ремонт оборудования, готовить оборудование к ремонту и принимать оборудование из ремонта
ПК(У)-8	Готов к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования
ПК(У)-9	Способен анализировать техническую документацию, подбирать оборудование, готовить заявки на приобретение и ремонт оборудования
ПК(У)-10	Способен проводить анализ сырья, материалов и готовой продукции, осуществлять оценку результатов анализа
ПК(У)-11	Способен выявлять и устранять отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса
<b><i>проектная деятельность</i></b>	
ПК(У)-21	Готов разрабатывать проекты в составе авторского коллектива
ПК(У)-22	Готов использовать информационные технологии при разработке проектов
ПК(У)-23	Способен проектировать технологические процессы с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства в составе авторского коллектива

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4Г8Б	Тузиков Андрей Владимирович

<b>Школа</b>	<b>Инженерная школа новых производственных технологий</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>Химическая технология</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавр</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>Машины и аппараты химических производств</b>

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

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

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

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

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

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

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Кашук Ирина Владимировна	Кандидат технических наук наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4Г8Б	Тузиков Андрей Владимирович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО (полностью)</b>	
4Г8Б		Тузиков Андрей Владимирович	
<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>НОЦ Н.М. Кижнера</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавриат</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>18.03.01 Химическая технология</b>

Тема ВКР:

<b>Разработка основного теплообменного оборудования установки получения кислорода</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
<p align="center"><b>Введение</b></p> <p><b>Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. Описание рабочей зоны (рабочего места) при эксплуатации</b></p>	<p>Объект исследования: теплообменный аппарат установки получения кислорода.</p> <p>Область применения: химическая промышленность</p> <p>Рабочая зона: производственное помещение, КООАО «Азот», г. Кемерово</p> <p>Размеры помещения: 125 × 90 м.</p> <p>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</p> <p>Реактор -1 шт, теплообменник – 1 шт, турбовоздуходувка – 1 шт, испаритель – 1 шт, насос – 1 шт.</p> <p>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: ведение технологического процесса на установке, монтаж и ремонт оборудования.</p>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации: специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</b></p>	<p>"Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022)</p> <p>ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.</p> <p>ГОСТ Р ИСО 14738-2007. Безопасность машин. Антропометрические требования при проектировании рабочих мест машин</p>
<p><b>2. Производственная безопасность при эксплуатации: Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</b></p>	<p>Вредные производственные факторы в рабочей зоне при эксплуатации оборудования:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Повышенный уровень шума;</li> <li>-Токсические химические вещества.</li> </ul> <p>Опасные производственные факторы в рабочей зоне при эксплуатации оборудования:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Электробезопасность (вероятность поражения электрическим током, токоотводящие части электрооборудования).</li> </ul>

	<p>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</p> <p>Средства индивидуальной защиты, спец. одежда(наушники, беруши, защитные очки)</p> <p>Протяжно-вытяжная вентиляция</p> <p>На сдувах в атмосферу спец. уловители</p> <p>Аварийные шкафы с противогАЗами</p>
<p><b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</b></p>	<p>Воздействие на селитебную зону: нет(производство располагается вне селитебной зоны).</p> <p>Воздействие на литосферу: твёрдые отходы - отработанный цеолит Naх; жидкие отходы - отработанное масло после компрессоров, детандера и влагоотделителей.</p> <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><b>4. Безопасность в чрезвычайных при эксплуатации</b></p>	<p>Возможные ЧС: пожар на рабочей площадке, взрыв газа в установке из-за накопления в перерабатываемом воздухе взрывоопасных примесей.</p> <p>Наиболее типичная ЧС: накопление взрывоопасных примесей, содержащихся в перерабатываемом воздухе.</p>
<p><b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b></p>	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД	Черемискина М.С.			15.05.2022

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Г8Б	Тузиков Андрей Владимирович		15.05.2022

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 93 с., 13 рисунков, 12 таблиц, 29 источников литературы, 2 листа графического материала формата А1.

Выпускная квалификационная работа «Разработка основного теплообменного оборудования установки получения кислорода»

Ключевые слова: витой теплообменник, витые трубки, трубная решётка, перегородка.

Объектом исследования является цех разделения воздуха по производству кислорода.

Цель работы – проектирование и модернизация теплообменного оборудования, используемого для охлаждения сжиженного воздуха перед непосредственным процессом ректификации.

В результате исследования был подобран стандартный теплообменник для установки разделения воздуха.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики теплообменника: диаметр кожуха 155 мм, длина труб 1.77 м, диаметр труб 8x2 мм, поверхность теплообмена 0.185 м<sup>2</sup>, горизонтальный.

Область применения: химическая и нефтехимическая промышленность.

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены возможные опасные и вредные факторы, связанные с эксплуатацией и монтажом теплообменного аппарата.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» проведен анализ эффективности теплообменного аппарата на предприятие. В ходе работы было подтверждено, что данный выбранный теплообменник соответствует всем предъявляемым требованиям технологического процесса.

## **Abstraction**

The final qualifying work contains 93 pages, 13 figures, 12 tables, 29 sources of literature, 2 sheets of graphic material in A0 format.

Final qualification work "Development of the main heat exchange equipment of the oxygen production unit" Key words: twisted heat exchanger, twisted tubes, tube sheet, baffle.

The object of the study is the air separation shop for the production of oxygen. The purpose of the work is the design and modernization of heat exchange equipment used for cooling liquefied air before the direct rectification process. As a result of the study, a standard heat exchanger was selected for the air separation unit.

The main design, technological and technical and operational characteristics of the heat exchanger are: casing diameter 155 mm, pipe length 1.77 m, pipe diameter 8x2 mm, heat exchange surface 0.185 m<sup>2</sup>, floating head, four-way, horizontal. Degree of implementation: Scope: chemical and petrochemical industry.

In the "Social Responsibility" section, possible dangerous and harmful factors associated with the operation and installation of the heat exchanger were considered.

In the section "Financial management, resource efficiency and resource saving", an analysis of the efficiency of the heat exchanger for the enterprise was carried out.

During the work, it was confirmed that this selected heat exchanger meets all the requirements of the technological process

## Содержание

<b>Введение</b> .....	12
<b>1. Обзор литературы</b> .....	14
<b>2. Схема и работа установки</b> .....	22
<b>3.1 Технологический расчет</b> .....	29
<b>3.1.1 Определение средних температур потоков:</b> .....	30
<b>3.1.2 Определение по справочным данным теплофизических параметров потоков:</b> .....	30
<b>3.1.3 Определение расхода теплоты без учета потерь:</b> .....	31
<b>3.1.4 Принимаем величины, необходимые для расчета аппарата:</b> .....	31
<b>3.1.5 Определяем коэффициенты теплоотдачи:</b> .....	33
<b>3.1.6 Определяем площадь поверхности теплообмена и конструктивные размеры аппарата:</b> .....	35
<b>3.2 Механический расчет</b> .....	38
<b>3.2.1 Определение расчетных параметров</b> .....	38
<b>3.2.2 Расчет элементов корпуса на прочность и устойчивость</b> .....	40
<b>3.2.2.1. Расчет гладкой конической обечайки</b> .....	40
<b>3.2.2.2 Расчет толщины стенки крышки</b> .....	45
<b>3.2.3 Расчет и подбор штуцеров</b> .....	48
<b>3.2.3.1. Определение диаметров патрубков</b> .....	48
<b>3.2.3.2 Подбор штуцера для входа и выхода воздуха</b> .....	49
<b>3.2.3.3 Подбор штуцера для входа и выхода азота</b> .....	49
<b>3.2.4 Укрепление отверстий</b> .....	50
<b>3.2.4.1 Укрепление отверстий в цилиндрической оболочке</b> .....	50
<b>3.2.4.2 Укрепление отверстий в эллиптической крышке</b> .....	53
<b>3.2.5 Расчет опорных лап</b> .....	56
<b>3.2.5.1 Расчет веса аппарата</b> .....	56
<b>3.2.5.2 Проверка несущей способности обечайки</b> .....	57
<b>3.2.6 Расчет тепловой изоляции</b> .....	59
<b>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b> .....	61
<b>4.1 Предпроектный анализ</b> .....	61

<b>4.1.1 SWOT-анализ .....</b>	<b>61</b>
<b>4.1.2 Анализ эффективности действующего производства .....</b>	<b>62</b>
<b>4.2. Определение цены готовой продукции .....</b>	<b>72</b>
<b>4.3. Анализ безубыточности по действующему производству .....</b>	<b>72</b>
<b>4.4. Определение технико-экономических показателей .....</b>	<b>73</b>
<b>5. Социальная ответственность .....</b>	<b>75</b>
<b>5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности...</b>	<b>75</b>
<b>5.2 Производственная безопасность .....</b>	<b>77</b>
<b>5.2.1 Выявление вредных и опасных факторов при эксплуатации теплообменного аппарата .....</b>	<b>79</b>
<b>5.3 Экологическая безопасность. Атмосфера .....</b>	<b>82</b>
<b>5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....</b>	<b>84</b>
<b>Заключение .....</b>	<b>88</b>
<b>СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>89</b>

## **Введение**

Атмосфера земли на 21 % состоит из кислорода, что позволяет считать его одним из самых распространенных веществ на земле. Благодаря своим свойствам это вещество нашло широкое применение в промышленности и других различных сферах деятельности человека. В России, как и в некоторых странах постсоветского пространства, действует ГОСТ 5583-78, принятый в 1978 году, где описаны технические параметры медицинского кислорода. Согласно нему медицинским кислородом называется газ, в котором объемная доля кислорода составляет не менее 99.5%.

Использование кислорода приобрело наибольшую актуальность во время пандемии COVID-19, его использование необходимо для функционирования аппаратов ИВЛ при лечении тяжелых случаев заболевания. Кислород в медицинских учреждениях используется по-разному: в отделениях реанимации, хирургии, отделениях интенсивной терапии и, в частности, в родильных домах. Воздушная смесь с высоким содержанием кислорода требуется больному в ситуациях, когда легкие не справляются или человек не может дышать самостоятельно. Для восстановления их работы применяют смеси с высоким содержанием кислорода: от 30 до 95%. В большинстве случаев используется воздушная смесь с содержанием кислорода от 40 до 85%. Таким образом, к пациенту подается воздушная смесь с высоким содержанием кислорода.

В Томской области в 2020-2022 годах размещены заказы на медицинский кислород общим объемом 2 248 754 м<sup>3</sup>. И лишь малая часть (около 15%) от общей потребности таких больниц, как Томская областная клиническая больница и Медсанчасть № 2, была удовлетворена. Это говорит о дефиците на рынке.

Целью бакалаврской работы является проектирование и модернизация теплообменного оборудования, используемого для охлаждения сжиженного воздуха перед процессом непосредственной ректификации. Для этого

необходимо провести технологические и механические расчеты для определения целесообразности использования исследуемой единицы оборудования.

## 1. Обзор литературы

АО ГК «Азот» входит в число крупнейших производителей азотных удобрений в России. Основными потребителями продукции являются промышленные и сельскохозяйственные предприятия более 40 стран мира.

АО ГК «Азот» производит и поставляет обширную номенклатуру химической продукции на мировой рынок Европейского и Азиатско-Тихоокеанского региона, в страны Африки, Северной и Латинской Америки и для сельхозпроизводителей Сибирского федерального округа. Является основным поставщиком аммиачной селитры промышленного применения для горнодобывающих предприятий Сибири и Дальнего Востока с долей рынка в регионе около 85%. Производит 1/3 общего объёма капролактама в России и обеспечивает около 50% общероссийского экспорта продукта.

АО «Азот» — флагман производственных мощностей и стратегического развития группы компаний, стремительно развивающееся и высокотехнологичное химическое предприятие Кузбасса, которое ведёт свою историю с 1956 года. Кемеровский «Азот» входит в число ведущих предприятий химической отрасли России, специализируется на производстве азотных удобрений и аммиачной селитры сельскохозяйственного и промышленного применения. КАО «Азот» занимает 2-е место по производству капролактама и 5-е место по производству азотных удобрений в России.

На данный момент производственные мощности завода позволяют выпускать более 1,2 млн тонн аммиака, 1,3 млн тонн аммиачной селитры, 1 млн тонн азотной кислоты, 600 тысяч тонн карбамида, 360 тысяч тонн сульфата аммония, 125 тысяч тонн капролактама и 200 тысяч тонн карбамидно-аммиачной смеси в год.

Драйвером развития бизнеса для КАО «Азот» сегодня служит рост мировых потребностей в продовольствии. В настоящее время предприятие является

ключевым звеном целой агросистемы — от производства удобрений до получения и реализации урожая. В 2019 году кемеровский «Азот» совместно с дочерним предприятием ООО «Центр передового земледелия» и производственно-демонстрационной площадкой ООО «Азот-Агро» создали собственный агропромышленный комплекс, основная цель которого — отработка прогрессивных технологий возделывания высокопродуктивных сортов различных агрокультур и поиск решений для получения наивысших показателей урожайности. Эксперты сельского хозяйства помогают фермерам внедрять технологии интенсивного растениеводства, в том числе умного применения минеральных удобрений, чтобы получать гарантированно высокие результаты урожайности. С 2021 года деятельность экспертов в области агроконсалтинга и аналитики вышла уже за пределы СФО, на территорию Поволжья.

Система менеджмента качества КАО «Азот» сертифицирована на соответствие требованиям международного стандарта ISO 9001:2015 и национального стандарта ГОСТ Р ИСО 9001:2015. Вся продукция проходит обязательное подтверждение соответствия.

На предприятиях компании действует система экологического менеджмента, сертифицированная на соответствие требованиям международного стандарта ISO 14001:2015.

КАО «Азот» — постоянный член Российской ассоциации производителей удобрений. Предприятие и его продукция неоднократно становились лауреатами конкурсов: «100 лучших товаров Кузбасса», «100 лучших товаров России», «Лучший бренд Кузбасса», «Лидер природоохранной деятельности России».

Основное оборудование завода: ректификационные колонны, теплообменники, дефлегматоры, центробежные насосы и др.

Разнообразие типов, форм и систем технологических аппаратов, а также различные способы применения одностипных аппаратов в различных технологических установках в значительной мере затрудняют разработку единой систематизации.

В большинстве случаев существующие системы теплопередачи оптимизируются за счет увеличения площади поверхности, что неизбежно увеличивает габариты оборудования. Турбулизаторы являются наиболее важным и эффективным пассивным методом повышения теплопередачи. Эти устройства могут косвенно способствовать передаче энергии через поверхности теплообмена, направляя поток через горячие или холодные стенки канала и используя большую часть жидкости в центре потока. Турбулизаторы в основном используются для увеличения турбулентности и вращения жидкости и, в конечном итоге, для увеличения теплопередачи.

Использование одновременно скрученных лент и спирали удваивает теплопередачу по сравнению с прямыми трубками.

Можно сказать, что витая лента и винтовая пружина вместе с более слабым шагом и коэффициентом закручивания увеличивают скорость теплопередачи при аналогичных условиях эксплуатации.

Ряд факторов показывает, что удлинение многожильного ремня улучшает тепловой КПД, падение давления и коэффициент трения. Показано, что перепад давления и скорость теплообмена в трубе со вставкой турбулизатора значительно увеличиваются по сравнению с обычной трубкой.

Различные типы теплообменников широко используются в химической промышленности, холодильном оборудовании кондиционирования воздуха, нефтепереработке и других областях техники. Кожухотрубные теплообменники привлекают большое внимание благодаря своей простой конструкции и широкому спектру применения.

Существует много исследований по улучшению тепловых характеристик гибких труб.

Установлено, что параметры  $Nu$  и  $Re$  при использовании трубок со встречно закрученными ленточными вставками увеличиваются на 60-240 % и 91-286 % по сравнению с трубкой без вставок.

Известно, что кольцевое пространство в змеевиковых трубах с разделенными продольными ребрами может дать увеличение скорости теплопередачи на 31-48% по сравнению с последовательными ребрами.

Деформация внутренней трубы с закладными формами также может увеличить теплообмен в кольцевом пространстве. Известно, что внутренняя витая труба может увеличить  $Nu$  до 100 %, при этом увеличение коэффициента увеличения составляет менее 40 % по сравнению с прямой трубой. Внутренняя перемежающаяся овальная трубка имеет более высокие тепловые свойства, чем двойная круглая трубка. Коаксиальная кольцевая труба с последовательно чередующимися деформациями

$Nu$  и кольцо, образованное внутренней поверхностью с закрученными и широкими прямыми овальными трубками, превосходно.

Коэффициент тепловой эффективности 1,9 по сравнению с прямым кольцом.

Наилучшие тепловые характеристики достигаются, когда внутренняя и внешняя трубы представляют собой вогнутые гофрированные трубы.

Исследования по улучшению теплообмена ведутся в разных странах, причем заметно возрастающими темпами.

Интенсифицируют теплообмен следующими способами: увеличивают скорость движения теплоносителя, увеличивают радиационную составляющую; при кипении жидкости добиваются увеличения числа центров парообразования, улучшают условия отвода пара; при конденсации пара имеют тенденцию к снижению термического сопротивления пленки

конденсата, увеличению скорости движения пара и т. д. Следует отметить, что при выборе на практике того или иного способа интенсификации теплоотдачи приходится учитывать учитывают не только эффективность самой поверхности, но и ее универсальность для различных однофазных и двухфазных теплоносителей, технологичность поверхности, технологичность сборки теплообменника, требования к прочности, загрязнение поверхности, особенности эксплуатации и т. д. Все эти обстоятельства значительно уменьшают возможность выбора одного из многочисленных изученных методов интенсификации.

Проблема интенсификации работы кожухотрубчатых теплообменников в основном связана с выравниванием тепловых сопротивлений (ТС)-1 по противоположным сторонам поверхности теплообмена. Это достигается либо увеличением поверхности теплообмена, например, оребрением ее со стороны теплоносителя с меньшим коэффициентом, либо повышением коэффициента теплоотдачи путем рационального подбора гидродинамики теплоносителя.

Последнее должно приводить к выравниванию скоростей и температур по сечению потока теплоносителя и, следовательно, к снижению термического сопротивления его пограничного слоя. Результаты исследований показывают, что именно сопротивление пограничного слоя является основным фактором, снижающим интенсивность теплообмена.

Рассмотрим два случая теплообмена, в которых термическое сопротивление определяется кольцевым и трубным пространствами. В первом случае наибольший эффект теплоотдачи достигается при поперечной промывке штабеля труб, расположенных в шахматном порядке. В этом случае при критерии Рейнольдса  $Re = 120 \dots 1000$  в кольцевом пространстве создается устойчивый турбулентный режим движения, а ламинарный пограничный слой теплоносителя сохраняется лишь на небольшом участке поверхности трубы. Теплообмен также значительно улучшается при устранении застойных зон в межтрубном пространстве. Особенно часто такие зоны образуются вблизи

трубных досок, так как патрубки входа и выхода теплоносителя из межтрубного пространства расположены на некотором расстоянии от них. Наиболее радикальным способом предотвращения образования таких зон является установка распределительных камер на входе и выходе теплоносителей из межтрубного пространства.

Для интенсификации теплообмена иногда используют турбулизаторы - элементы, турбулизирующие или разрушающие пограничный слой теплоносителя на наружной поверхности труб. Эффект теплоотдачи на наружной поверхности труб существенно повышают кольцевые канавки представленными на рис. 1.2, интенсифицирующие теплообмен в межтрубном пространстве примерно в 2 раза турбулизацией потока в пограничном слое.



Рисунок 1 – Трубы с кольцевыми канавками

В теплообменниках с передачей теплоты от жидкости в трубном пространстве к вязкой жидкости или газу в межтрубном пространстве коэффициенты теплоотдачи с наружной стороны труб примерно на порядок меньше, чем с внутренней стороны. Например, в газожидкостных теплообменниках коэффициент теплоотдачи со стороны жидкости  $\beta_{ж}$  может достигать 6 кВт/(м<sup>2</sup> К), а со стороны газа  $\beta_{г}$  не превышает 0,1 кВт/(м<sup>2</sup> К). Естественно, что применение гладких труб в таких теплообменниках приводит к резкому увеличению их массы и размеров.

Стремление интенсифицировать теплоотдачу со стороны малоэффективного теплоносителя (газы, вязкие жидкости) привело к разработке различных конструкций оребренных труб. Установлено, что оребрение увеличивает не только теплообменную поверхность, но и коэффициент теплоотдачи от

оребренной поверхности к теплоносителю вследствие турбулизации потока ребрами.

При этом, однако, надо учитывать возрастание затрат на прокачивание теплоносителя. Применяют трубы с продольными ребрами, показанными на рис. 2 и резными ребрами, показанными на рис 3, с поперечными ребрами различного профиля, представленными на рис.4.

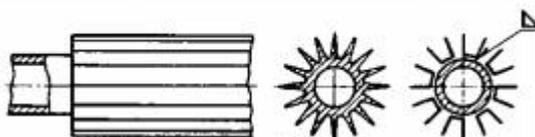


Рисунок 2 – Трубы с продольными ребрами



Рисунок 3 – Трубы с резными ребрами



Рисунок 4 – Трубы с поперечными ребрами различного профиля

Оребрение на трубах можно выполнить в виде спиральных ребер, иголок различной толщины и др.

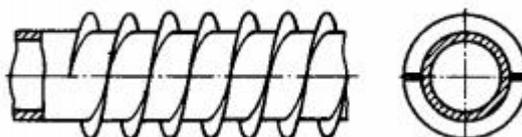


Рисунок 5 – Трубы со спиральными ребрами

Оребрение наиболее эффективно, если обеспечивается соотношение  $\beta_{г} F_{г} = \beta_{ж} F_{ж}$ , где  $F_{г}$  и  $F_{ж}$  - поверхности теплообмена со стороны соответственно газа и жидкости. Эффективность ребра, которую можно характеризовать коэффициентом теплоотдачи, зависит от его формы, высоты и материала.

Если требуется невысокий коэффициент теплоотдачи, необходимую эффективность могут обеспечить стальные ребра, при необходимости, достижения больших коэффициентов целесообразно применение медных или алюминиевых ребер. Эффективность ребра резко снижается, если оно не изготовлено за одно целое с трубой, не приварено или не припаяно к ней. Если термическое сопротивление определяется трубным пространством, используют методы воздействия на поток устройствами, разрушающими и турбулизирующими внутренний пограничный слой. Это различного рода турбулизирующие вставки (спирали, диафрагмы, диски) и насадки (кольца, шарики), помещаемые в трубу. Естественно, что при этом возрастает гидравлическое сопротивление трубы.

Решение, предложенное в данной выпускной квалификационной работе - использование витых трубок, как способ повышения интенсификации процесса теплообмена и очистка внутриканального пространства труб.

Трубки для трубного пучка закручиваются на специальном аппарате, что позволяет создать завихряющийся поток в теплообменнике и прикреплять трубки друг к другу через каждый дюйм.

Это позволяет увеличить число трубок по сравнению с обычным кожухотрубчатый теплообменником на 40% при одинаковом размере кожуха и устранить механические вибрации.

## 2. Схема и работа установки

### 1.1 Общие сведения об установке.

1.1.1 На установке используется цикл среднего давления с расширением воздуха в турбодетандере. Холодная рекуперация осуществляется в витых трубчатых теплообменниках, разделение воздуха осуществляется в колонне двойной ректификации. Осушка и очистка воздуха от углекислого газа и углеводородов осуществляется в блоке очистки цеолитов. Предварительное охлаждение воздуха перед блоком очистки осуществляется в теплообменниках за счет холода обратных потоков.

1.1.2 Ниже приведено описание работы установки во всех режимах. Обозначение аппаратов указывается в соответствии с монтажно-технологической схемой.

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/см<sup>2</sup>). В влагоотделителе А12 из него удаляется нежелательная влага и далее 63% воздуха поступает в теплообменник А15, где охлаждается кислородом и фракция поступает от 313К (40°C) [при работе в тропиках от 323К ( 50°C)] до 281К (8°C). Остальной воздух охлаждается обратным потоком азота в теплообменнике А16 до той же температуры.

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

В теплообменнике А17 осуществляется теплообмен между потоками влажного (до блока очистки); сухого (после блока очистки) воздуха, хладона

из холодильной машины X и воды, циркулирующей в межтрубном пространстве теплообменника A17.

Постоянная циркуляция воды из бака A3 0 обеспечивается насосом НЗ. Температура воды поддерживается в интервале 277...280K (4...7°C) включением и отключением холодильной машины.

Наличие в схеме теплообменника A17 позволяет фиксировать пиковые тепловые нагрузки, возникающие в момент переключения абсорберов блока очистки, когда происходит временное поднятие температуры сухого воздуха до 305K (32°C).

Пройдя влагоотделитель A14, воздух направляется в блок очистки, где очищается и осушается от углекислоты и углеводородов.

При температуре 283K (10°C) воздух подается в теплообменники блока разделения. В теплообменник A1 поступает 73% всего воздуха, где он охлаждается сжатым кислородом и фракцией до 139K (- 134°C). Оставшаяся часть воздуха охлаждается в теплообменнике A2 продукционным азотом до той же температуры.

Воздух из теплообменника A1 и часть воздуха из теплообменника A2 (суммарно около 83% от общего количества воздуха) смешиваются и расширяются в турбо детандере до давления 0,59 МПа (6 кгс/см<sup>2</sup>), при этом температура воздуха понижается до 102K (- 171°C).

Оставшаяся часть воздуха из теплообменника A2 дросселируется через вентиль ВР-1 до давления 0,6 МПа (6 кгс/см<sup>2</sup>) и температуры 102K (- 171°C).

Расширенный и охлажденный воздух поступает на разделение в куб нижней колонны A7.

В нижней колонне воздух разделяется на обогащенную кислородом кубовую жидкость чистотой 23,5% O<sub>2</sub> и азотную флегму с содержанием кислорода 0,0001%.

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

Азотная флегма из кармана нижней колонны проходит через переохладитель А6, охлаждается с 98К (-175°С) до 89К (-184°С), дросселируется через клапан ВР-3 до 0,039 МПа (0,4 кгс/см<sup>2</sup>) и после переохладителя А4 поступает на орошение в верхнюю колонну А8.

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

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

Отсюда жидкий кислород под давлением 19,6 МПа (200 кгс/см<sup>2</sup>) 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, после чего 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/см<sup>2</sup>).

#### 1.1.5 Режим III

- главное отличие от режима I то, что переохлажденный кислород сливается из установки в ёмкость, при этом насос сжиженных газов выключается. Давление воздуха после компрессора в этом режиме 6,9 МПа (70 кгс/см).

#### 1.1.6 Режим IV

- получение жидкого и газообразного азота особой чистоты. В этом режиме часть переохлаждённой азотной флегмы подаётся потребителю.

Насос Н1 отключен. Давление после компрессоров 5,9 МПа (60 кгс/см-). В этом режиме обеспечивается слив жидкого кислорода из конденсатора АЗ 1 В теплообменник А18. Это необходимо для своевременного удаления ацетилена и других углеводородов, накопление которых возможно в жидком кислороде, кипящем в конденсаторе. В теплообменнике А18 жидкий кислород с растворёнными в нём углеводородами испаряется за счёт теплообмена с проточной водой.

#### 1.1.7 Режим V

- получение кислорода I -ого сорта под давлением 2,45 МПа (25 кгс/см-) и газообразного азота особой чистоты. Жидкий кислород после переохладителя АЗ подаётся в насос Н1, а затем сливается в криогенный газификатор под давлением 2,45 МПа (25 кгс/см ). Давление воздуха после компрессоров 6,9 МПа (70 кгс/см ). Описание технологической схемы блока очистки. Воздух с температурой 281К (8°С) и давлением 4,4...6,9 МПа (45...70 кгс/см<sup>2</sup>) поступает в нижнюю часть одного из адсорберов I или II и проходит его снизу вверх.

1.1.8 Адсорбер представляет собой пару цилиндров, соединенных между собой трубопроводами и работающих параллельно. Цилиндры заполнены адсорбентом - цеолитом NaX. Насыщение цеолитов влагой и углекислым

газом происходит до определенного предела. Адсорбционная способность цеолита восстанавливается при нагревании адсорбента, регенерирующий газ - сухая фракция.

При работе одного из адсорберов в режиме очистки воздуха процессы десорбции и охлаждения адсорбента проходят последовательно во втором адсорбере. Регенерирующий газ в количестве 200 м<sup>3</sup>/ч, нагретый электронагревателем А19 до температуры 673К (400°С), проходит через адсорбер сверху вниз. При достижении температуры регенерирующего газа на выходе из адсорбера 473К (200°С) электронагреватель отключается и адсорбер охлаждается тем же регенерирующим газом, но в количестве 420 м<sup>3</sup>/ч. Клапан ВР-101 служит для плавного изменения давления в адсорбере, а продувочные клапаны ВР-102 и ВР-103 — для плавного сброса давления. Циклическая схема блока очистки представлена на рис. 40.

1.1.9 Пневмоконтур пультов управления и мембранные приводы регулирующей арматуры питаются специально подготовленным воздухом согласно конструкции станции. Допускается отбор 80 м<sup>3</sup> сжатого воздуха после блока очистки через вентиль ВЗ-20, при этом производительность установки на всех режимах снижается на 5 %. При заборе воздуха для целей КИПиА после блока очистки возможны следующие варианты снабжения КИПиА воздухом.

1. Воздух из вентиля ВЗ -20 поступает в ресивер высокого давления  $P_{раб} > 70$  кгс/см<sup>2</sup>, а затем через редуктор подаётся в систему КИПиА.

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

1.1.10 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/см<sup>2</sup>; температура - 20°С, количество не менее 200 м<sup>3</sup>/ч. 20

## 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 Блок разделения включает верхнюю и нижнюю ректификационные колонны, конденсатор; четыре переохладителя, два теплообменника, турбодетандер, насос сжиженного газа, фильтры, арматура, КИПиА.

1.2.3 Все устройства размещены в кожухе. Нижняя часть корпуса представляет собой жесткий стальной каркас, обшитый гофрированными листами толщиной 2,5 мм. На кожухе имеются съемные щитки, обеспечивающие доступ к приборам для их осмотра и мелкого ремонта. Верхняя часть корпуса представляет собой цилиндрический сварной ящик толщиной 4 мм, соединенный с нижней частью болтами. Внутри царги находится верхняя колонна. Его верхняя часть крепится к царге с помощью хомута и четырех талрепов, обеспечивающих ее центрирование.

1.2.4 Большая часть арматуры расположена на передней панели блока сепарации, за исключением сливных вентилей, расположенных на боковых стенках блока, расположенных снаружи здания. Продувочный и нагревательный клапаны расположены в нижней части передней панели. Над клапанами продувки, в специальном коробе, расположены дроссельные клапаны хладагента с подпружиненными мембранными приводами и запорная арматура. Над коробкой с клапанами расположен турбодетандер Тд, крепящийся непосредственно к листу лицевой панели, и расположен отсек с детандерным воздушным фильтром А9, электромагнитным клапаном ПР (см. руководство по эксплуатации турбодетандера) и обратным клапаном ОКИ. в

этом. Отсек закрыт съемной крышкой, его свободное пространство заполнено теплоизоляционным материалом - из базальтового волокна. Над отсеком турбодетандера находится панель с манометрами, а над ней - вентили на импульсных линиях для измерения концентрации, сопротивления, уровня, давления. Сверху расположены предохранительные клапаны, соединенные с общим выпускным коллектором.

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 сжиженного газа находится в специальном кожухе, расположенном рядом с блоком сепарации и подсоединенным к нему адаптером. Корпус насоса и переходник имеют съемные крышки, обеспечивающие свободный доступ к насосу и трубам, проходящим через переходник. В корпусе насоса расположены: насосно-цилиндрическая группа, фильтр жидкого кислорода А10, фильтр на линии утечки. Все насосы к обратному клапану ОК2. Все свободное пространство в корпусе насоса и адаптере заполнено теплоизоляционным материалом - минеральной ватой 1 марки.

### 3.1 Технологический расчет

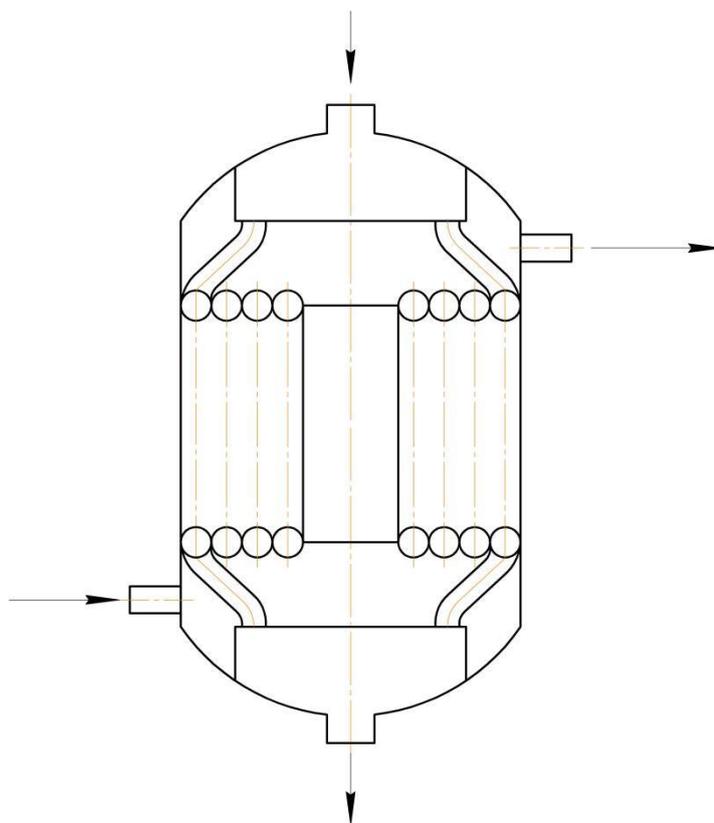


Рисунок.6 Схема витого теплообменника

Параметры потоков:

$$T_0 := 273 \text{ К}$$

Для воздуха - расход  $G_1 := 1771$  кг/ч;

давление  $P_1 := 7$  МПа;

температура начальная  $t_{нв} := 10$      $T_{нв} := t_{нв} + T_0 = 283$  К;

температура конечная  $t_{кв} := -110$      $T_{кв} := t_{кв} + T_0 = 163$  К;

Для азота - расход  $G_2 := 725$  кг/ч;

давление  $P_2 := 0.07$  МПа;

температура начальная  $t_{нN_2} := -218$      $T_{нN_2} := t_{нN_2} + T_0 = 55$  К;

температура конечная  $t_{кN_2} := 7$      $T_{кN_2} := t_{кN_2} + T_0 = 280$  К;

### 3.1.1 Определение средних температур потоков:

10 -> 110 изменение температуры воздуха

-218 ->7 изменение температуры азота

Наибольшая и наименьшая разность температур:

$$\Delta t_{\delta} := 228 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \Delta t_{\text{M}} := 117 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

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

Средние температуры воздуха(1) и азота(2)

$$t_{2\text{cp}} := \frac{t_{\text{H}}\text{N}_2 + t_{\text{K}}\text{N}_2}{2} = -105.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{1\text{cp}} := -(t_{2\text{cp}} + \Delta t_{\text{cp}}) = -60.874 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

### 3.1.2 Определение по справочным данным теплофизических параметров потоков:

воздуха (индекс 1) и азота (индекс 2) при заданных давлениях и средних температурах потоков

Плотность [4, стр. 587, 437]

$$\rho_1 := 163 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_2 := 14 \text{ кг/м}^3$$

Теплопроводность [4,стр. 630, 461]

$$\lambda_1 := 24.8 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{К)}$$

$$\lambda_2 := 15.5 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{К)}$$

Вязкость [4, стр.626, 459]

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

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

### 3.1.3 Определение расхода теплоты без учета потерь:

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

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

$$Q := \frac{G_1}{3600} \cdot C_{pB} \cdot (T_{нв} - T_{кв}) = 7.733 \times 10^4 \text{ Вт}$$

### 3.1.4 Принимаем величины, необходимые для расчета аппарата:

Зададимся наружным и внутренним диаметром медных трубок согласно рекомендациям и сортаментом

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

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

Рассчитаем площадь сечения трубки

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

Объемный расход воздуха, поступающий в переоохладитель

$$V_1 := \frac{G_1}{\rho_1 \cdot 3600} = 3.018 \times 10^{-3} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Количество труб в переохладителе

$$n := \frac{V_1}{w_1 \cdot f} = 17.79$$

В конечном итоге принимаем  $n:=18$

Задаем параметры навивки аппарата:

Навивка труб на сердечник разряженная

Толщина дистанционной прокладки  $\delta := 3$  мм

Поперечный шаг навивки труб  $t_1 := 8$  мм

Продольный шаг навивки труб  $t_2 := 9.6$  мм

Следует:

$$\sigma_1 := \frac{t_1}{d_H} = 1$$

$$\sigma_2 := \frac{t_2}{d_H} = 1.2$$

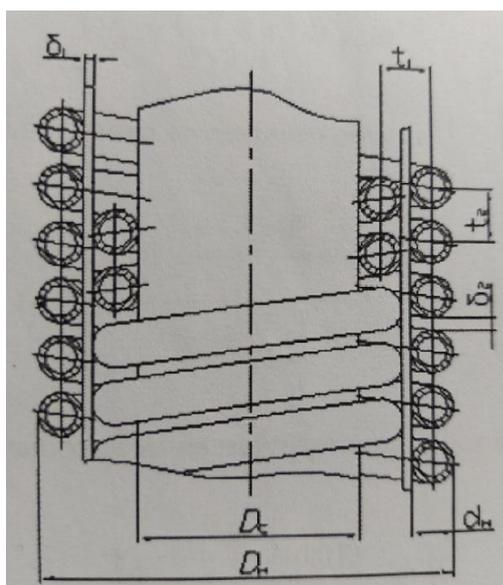


Рисунок 7. Схема разряженной навивки из гладких труб

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

$$V_2 := \frac{G_2}{\rho_2 \cdot 3600} = 0.014 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Средняя площадь сечения свободного объема в межтрубном пространстве

$$F_{\text{co}} := \frac{V_2}{w_2} = 4.795 \times 10^{-3} \text{ м}^2$$

Удельная площадь сечения свободного объёма

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

Площадь поперечного сечения межтрубного пространства

$$F_{\Phi} := \frac{F_{\text{co}}}{f_{\text{уд}}} = 0.014 \text{ м}^2$$

Наружный диаметр аппарата определяем из соотношения

$$D_{\text{н}} := \sqrt{\frac{F_{\Phi}}{0.25\pi} + (D_{\text{с}} \cdot 10^{-3})^2} = 0.155 \text{ м}$$

### 3.1.5 Определяем коэффициенты теплоотдачи:

Для прямого потока в трубах при

$$Re_1 := \frac{w_1 d_B \cdot 10^{-3} \cdot \rho_1}{\eta_1} = 3.611 \times 10^5$$

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

находим число Нуссельта с учетом влияния кривизны канала

$$R_{cp} := 57 \text{ мм}$$

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

$D_c$

$$Nu := 0.023 \cdot Re_1^{0.8} \cdot Pr^{0.4} \cdot \left[ 1 + 1.77 \cdot \left( \frac{d_B}{R_{cp}} \right) \right] = 716.979$$

Коэффициент теплоотдачи

$$\alpha_1 := Nu \cdot \frac{\lambda_1}{(d_B \cdot 10^{-3})} = 2.964 \times 10^3$$

Для обратного потока:

число Рейнольдса

$$Re_2 := \frac{w_2 d_H \cdot 10^{-3} \cdot \rho_2}{\eta_2} = 3.041 \times 10^4$$

число Нуссельта в межтрубном пространстве находим используя коэффициенты из табл. 1.1[5, стр. 22] при заданных  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$

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

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

Коэффициент теплоотдачи

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

Коэффициент теплопередачи, отнесенный к внешней поверхности трубок

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

### 3.1.6 Определяем площадь поверхности теплообмена и конструктивные размеры аппарата:

Площадь поверхности теплообмена

$$F := \left( \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{\text{ср}}} \right) = 0.656 \quad \text{м}^2.$$

Средняя длина трубок с 15%-ным запасом

$$l_{\text{ср}} := 1.15 \cdot \frac{F}{\pi \cdot d_H \cdot 10^{-3} \cdot n} = 1.766$$

Расчетное число слоев навивки

$$z := \frac{D_H - D_C \cdot 10^{-3}}{2 \cdot t_2 \cdot 10^{-3}} = 3.914$$

Принимаем  $z := 3$  тогда действительный наружный диаметр

$$D_D := D_C + 2 \cdot z \cdot t_1 = 144 \quad \text{мм}$$

Теоретическая высота навивки

$$H := \frac{2 \cdot n \cdot l_{\text{ср}} \cdot t_2 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot (D_{\text{н}} + D_{\text{с}} \cdot 10^{-3}) \cdot z} = 0.195 \text{ м}$$

Среднее число витков в каждом слое

$$m_{\text{ср}} := \frac{H}{t_2 \cdot 10^{-3}} = 20.324$$

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:

$N=1$

$$D_1 := D_{\text{с}} + (2 \cdot 3 - 1)t_1 = 120 \text{ мм}$$

$$n_1 := \frac{\pi \cdot D_1 \cdot m_{\text{ср}}}{l_{\text{ср}} \cdot 10^3} = 4.338$$

В первом слое 6 трубок

Слой 2:

$N=2$

$$D_2 := D_{\text{с}} + (2 \cdot 3 - 1)t_1 = 120 \text{ мм}$$

$$n_2 := \frac{\pi \cdot D_2 \cdot m_{\text{ср}}}{l_{\text{ср}} \cdot 10^3} = 4.338$$

Во втором слое 6 трубок

Слой 3:

$N=3$

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

$$n_3 := \frac{\pi \cdot D_3 \cdot m_{cp}}{l_{cp} \cdot 10^3} = 4.338$$

В третьем слое 6 трубок. Суммарное количество 18, что совпадает с ранее определенным значением. Рассчитываем и сверяем со средним значением действительную длину труб в каждом слое намотки

$$l_{cp} = 1.632 \text{ м}$$

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

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

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

## 3.2 Механический расчет

### 3.2.1 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 хромоникелевая 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]:

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

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

$$\eta := 1$$

Допускаемое напряжение

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

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 испытания

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

$$\sigma_H := \text{Floor}\left(\frac{R_{p02}}{1.1}, 0.5\right) = 218$$

Модуль продольной упругости при  $t = 20^\circ\text{C}$  определяем из табл. В.1 из [15, стр.21]

$$E := 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчетное значение внутреннего давления

$$p := 0.2 \text{ МПа}$$

Такое значение принято согласно рекомендациям [7] в виду низкого рабочего давления ( $<0.2 \text{ МПа}$ )

Пробное давление

$$p_H := 1.5 \cdot p = 0.3 \text{ МПа}$$

Коэффициент прочности продольных сварных швов  $\phi$  для стыкового шва с двусторонним сплошным проваром, выполняемый автоматической и полуавтоматической сваркой определяется по табл. Д.1 [15, стр.22]

$$\phi := 1$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов Скорость коррозии материала аппарата

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

Срок эксплуатации аппарата

$$\tau := 20 \text{ лет}$$

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии:

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

Прибавка для компенсации минусового допуска

$$c_2 := 0$$

Технологическая прибавка

$$c_3 := 0$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов

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

### 3.2.2 Расчет элементов корпуса на прочность и устойчивость

#### 3.2.2.1. 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  $l := H$

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

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

$$s_H := \text{Ceil}(s_p + c, 1) = 3$$

$$\text{Условие1} := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } \frac{s_H - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условие применения формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление:

Рабочие условия:

$$P_{др} := \frac{[2 \cdot \sigma_d \cdot \phi \cdot (s_n - c)]}{D + (s_n - c)} = 2.35 \text{ МПа}$$

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

$$\text{проверка}_{\text{проч1}} = \text{"Условие прочности обечайки выполняется"}$$

$$P_{ди} := \frac{[2 \cdot \sigma_n \cdot \phi \cdot (s_n - c)]}{D + (s_n - c)} = 2.795 \text{ МПа}$$

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

$$\text{проверка}_{\text{проч2}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности обечайки выполняется"} & \text{if } P_{ди} > p \\ \text{"Условие прочности обечайки НЕ выполняется"} & \text{if } P_{ди} < p \end{cases}$$

$$\text{проверка}_{\text{проч2}} = \text{"Условие прочности обечайки выполняется"}$$

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 рекомендациями [8, с. 253]

$$P_{рп} := 2 \cdot \sigma_d \cdot \frac{(s_n - c)}{D + s_n - c} = 2.359 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости

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

$$P_{\text{pE}} := \left( \frac{2.08 \cdot E \cdot 10^{-5} \cdot D}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{l} \right) \cdot \left( 100 \cdot \frac{s_{\text{н}} - c}{D} \right)^{2.5} = 0.298 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление

$$P_{\text{рд}} := \frac{P_{\text{рп}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{P_{\text{рп}}}{P_{\text{pE}}} \right)^2}} = 0.296 \text{ МПа}$$

Осевое сжимающее усилие от давления на днище

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

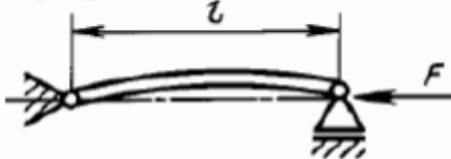
$$F_{\text{ос}} := 0.25 \cdot \pi \cdot 10^{-6} \cdot (D^2 - D_0^2) \cdot p = 2.914 \times 10^{-3} \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающие усилие из условия прочности:

$$F_{\text{рп}} := \pi \cdot 10^{-6} \cdot (D + s_{\text{н}} - c) \cdot (s_{\text{н}} - c) \cdot \sigma_{\text{д}} = 0.087 \text{ Н}$$

$$l_{\text{пр}} := 300$$

При расчетной схеме



$$l_{\text{пр}} := H$$

$$l_{\text{пр}} := H_{\text{р}}$$

$$\text{Гибкость } \lambda := \frac{2.83 \cdot l_{\text{пр}}}{D + s_{\text{н}} - c} = 5.442$$

Допускаемое осевое сжимающие усилие в пределах упругости из условия устойчивости

$$F_{pE} := \begin{cases} \text{if } \frac{H}{D} \geq 10 \\ \left[ \begin{array}{l} F_{pE1} \leftarrow 31 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[ 100 \cdot \frac{(s_{И} - c)}{D} \right]^{2.5} \\ F_{pE2} \leftarrow \left( \frac{\pi}{\lambda} \right)^2 \cdot \frac{\pi \cdot 10^{-6} \cdot (D + s_{И} - c) \cdot (s_{И} - c) \cdot E}{n_y} \\ F_{pE} \leftarrow \min(F_{pE1}, F_{pE2}) \end{array} \right. \\ \left. F_{pE} \leftarrow 31 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[ 100 \cdot \frac{(s_{И} - c)}{D} \right]^{2.5} \quad \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_{pE} = 0.21 \text{ МН}$$

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

### Проверка условия устойчивости:

$$\text{проверка}_{уст1} := \begin{cases} \text{"Условие устойчивости выполняется"} & \text{if } \left( \frac{0.1}{P_{pд}} + \frac{F_{oc}}{F_{pд}} \right) \leq 1 \\ \text{"Условие устойчивости НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{проверка}_{уст1} = \text{"Условие устойчивости выполняется"}$$

### 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

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

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости

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

Допускаемое наружное давление

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

Осевое сжимающее усилие от давления на днище

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

Допускаемое осевое сжимающие усилие из условия прочности:

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

Допускаемое осевое сжимающие усилие в пределах упругости из условия устойчивости

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

$$F_{иЕ} = 0.28 \text{ МН}$$

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

Проверка условия устойчивости:

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

$$\text{проверка}_{уст2} = \text{"Условие устойчивости выполняется"}$$

### 3.2.2.2 Расчет толщины стенки крышки

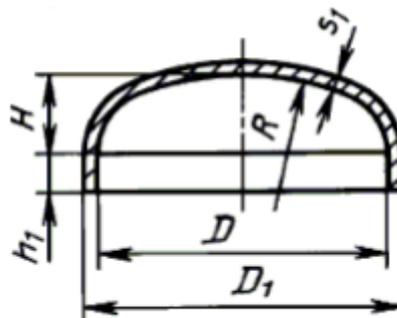


Рисунок 8. Схема эллиптического днища

В соответствии с рекомендациями [7], примем:

$$D_k := D = 155 \text{ мм}$$

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

Высота эллиптической части по ГОСТ 6533-78:

$$h := 0.25 \cdot D_k = 37.5 \text{ мм}$$

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

Радиус кривизны в вершине днища равен

$$R := \frac{D_k^2}{4 \cdot h} = 155$$

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

$$K_3 := 0.9$$

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

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

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

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

Условие<sub>2</sub> = "условие применения формул выполняется"

Расчет допускаемого наружного давления:

при рабочих условиях:

из условия прочности

$$P_{\text{ркп}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д}} \cdot (s_3 - c)}{R + 0.5 \cdot (s_3 - c)} = 2.367 \text{ МПа}$$

из условия устойчивости

$$P_{\text{ркЕ}} := \frac{2.6 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s_3 - c)}{K_3 \cdot R} \right] = 1.545 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{рк}} := \frac{P_{\text{ркп}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{P_{\text{ркп}}}{P_{\text{ркЕ}}} \right)^2}} = 1.294 \text{ МПа}$$

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<sub>проч3</sub> = "Условие прочности крышки выполняется"

при условиях испытаний:

из условия прочности

$$P_{\text{ИКП}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{И}} \cdot (s_3 - c)}{R + 0.5 \cdot (s_3 - c)} = 2.804 \quad \text{МПа}$$

из условия устойчивости

$$P_{\text{ИКЕ}} := \frac{2.6 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n'_y} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s_3 - c)}{K_3 \cdot R} \right] = 2.061 \quad \text{МПа}$$

$$P_{\text{ИК}} := \frac{P_{\text{ИКП}}}{\sqrt{1 + \left( \frac{P_{\text{ИКП}}}{P_{\text{ИКЕ}}} \right)^2}} = 1.66 \quad \text{МПа}$$

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

$$\text{проверка}_{\text{проч4}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности крышки выполняется"} & \text{if } P_{\text{ИК}} > p \\ \text{"Условие прочности крышки НЕ выполняется"} & \text{if } P_{\text{ИК}} < p \end{cases}$$

$$\text{проверка}_{\text{проч4}} = \text{"Условие прочности крышки выполняется"}$$

### 3.2.3 Расчет и подбор штуцеров

#### 3.2.3.1. Определение диаметров патрубков

Вход воздуха

$$d_1 := \sqrt{V_1 \cdot \frac{4}{\pi \cdot w_1}} = 0.025 \quad \text{м}$$

Примем патрубок с толщиной стенки 2 мм и диаметром

Патрубок на выходе принимаем таким же

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

Примем патрубок с толщиной стенки 3 мм и диаметром Патрубок на выходе принимаем таким же

### 3.2.3.2 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

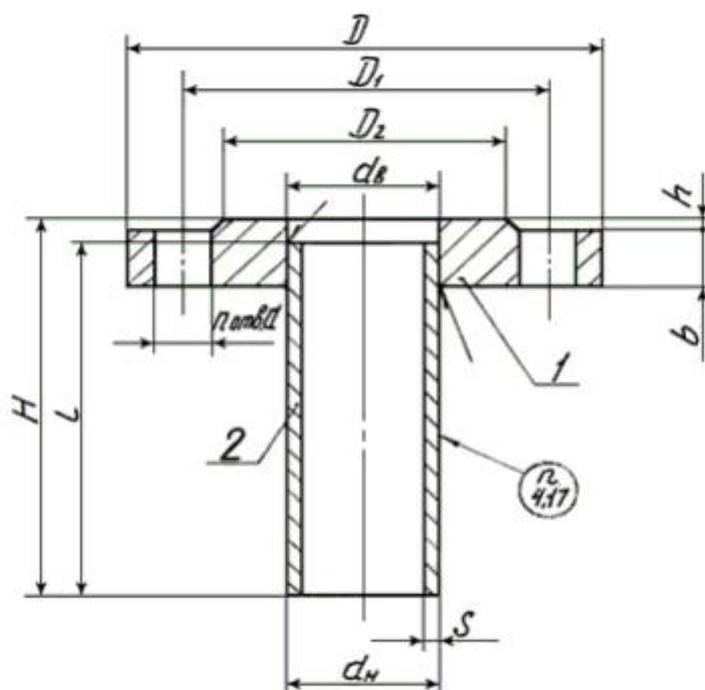


Рис.4 Схема штуцера для воздуха

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

Таблица 1. Размеры штуцера

### 3.2.3.3 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

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

Таблица 2. Размеры штуцера для азота

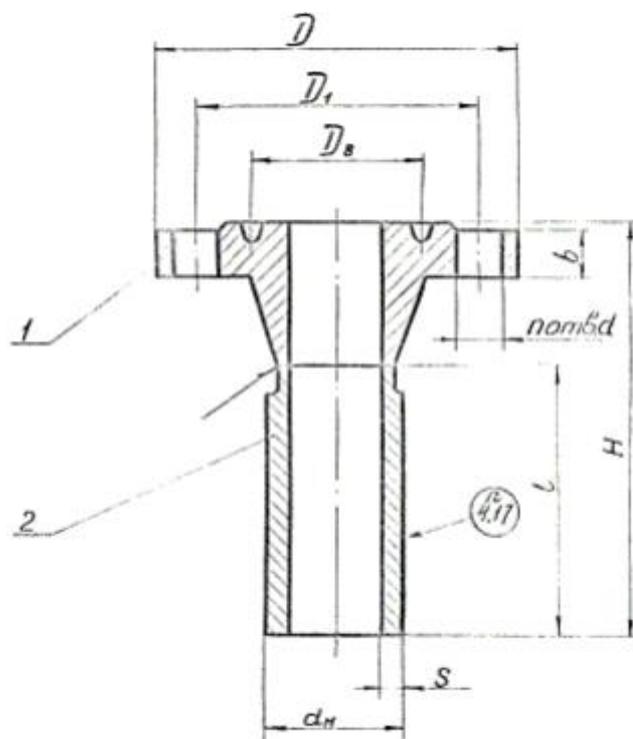


Рисунок.9 Схема штуцера для азота

### 3.2.4 Укрепление отверстий

#### 3.2.4.1 Укрепление отверстий в цилиндрической оболочке

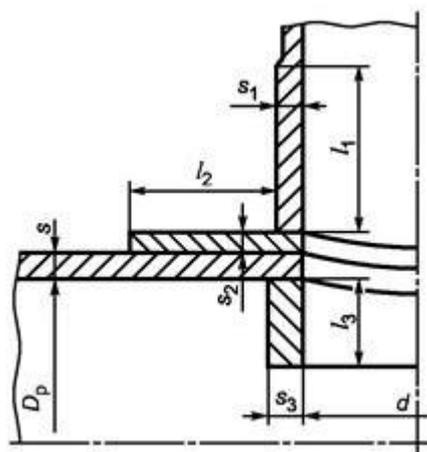


Рисунок 10. Схема соединения штуцера со стенкой

Расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптического днища

$$x := 75$$

Расчетный диаметр обечайки

$$D_{p1} := D$$

Расчетный диаметр отверстия в стенке обечайки

$$d_{p1} := d_1 + 2c = 29 \text{ мм}$$

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий

$$\text{Проверка}_{\text{усл4}} := \left\{ \begin{array}{l} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} \text{ if } \frac{d_{p1} - 2 \cdot c}{D} > 0.6 \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} \text{ if } \frac{(s_H - c)}{D} \geq 0.1 \\ \text{"Отношения применения формул выполняются"} \text{ otherwise} \end{array} \right.$$

Проверка<sub>усл4</sub> = "Отношения применения формул выполняются"

Расчетная толщина стенки оболочки

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

Расчетная толщина стенки штуцера

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

Расчетные длины штуцеров:

$$l_{11} := 150 \text{ мм} \quad l_{21} := 80 \text{ мм} \quad l_{31} := 15 \text{ мм}$$

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

$$l_{3p1} := \min[l_{31}, 0.5 \cdot \sqrt{(d_1 + 2c) \cdot (s_{н} - c)}] = 1.003 \text{ мм}$$

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

$$l_{2p1} := \min[l_{21}, \sqrt{D_{p1} \cdot (s_2 \cdot s_{н} - c)}] = 32.404 \text{ мм}$$

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

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

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

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

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

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

$$\text{Проверка}_{\text{усл5}} = \text{"Необходимо укрепление отверстий"}$$

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

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

$$A_3 := l_{3p1} \cdot (s_{н} - c) \cdot \chi = 1.003 \text{ мм}^2$$

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

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

$$\text{Sum} := A_1 + A_2 + A_3 + A_{pc} = 111.383 \text{ мм}^2$$

$$\text{Проверка}_{\text{услб}} := \begin{cases} \text{"Условие укрепления выполняется"} & \text{if Sum} > A_p \\ \text{"Условие укрепления НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

### 3.2.4.2 Укрепление отверстий в эллиптической крышке

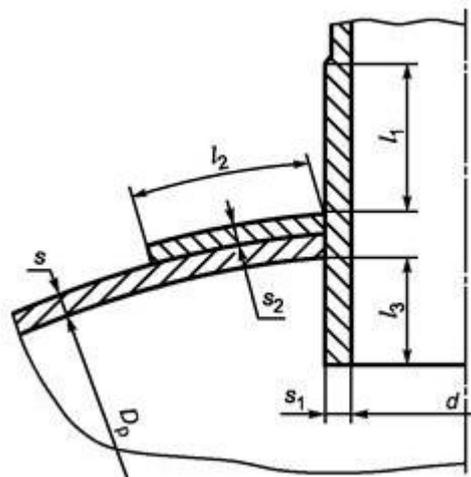


Рисунок 11. Схема соединения штуцера со стенкой

Расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптического днища

$$x := 0$$

Расчетный диаметр эллиптической крышки

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

Расчетный диаметр отверстия в стенке обечайки

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

Проверка условий применения формул для расчета укрепления отверстий

$$\text{Проверка}_{\text{усл7}} := \begin{cases} \text{"Отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{d_{p2} - 2 \cdot c}{D} > 0.6 \\ \text{"Отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(s_{\text{н}} - c)}{D} \geq 0.1 \\ \text{"Отношения применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

Расчетная толщина стенки оболочки

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

Расчетная толщина стенки штуцера

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

Расчетные длины штуцеров:

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

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

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

Расчетная ширина накладного кольца

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\text{Проверка}_{усл9} := \begin{cases} \text{"Условие укрепления выполняется"} & \text{if } \text{Sum} > A_p \\ \text{"Условие укрепления НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

### 3.2.5 Расчет опорных лап

#### 3.2.5.1 Расчет веса аппарата

$$\rho_m = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \text{ плотность стали}$$

$$\rho_{cu} = 8900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \text{ плотность меди}$$

Вес обечайки

$$G_{об} := \pi \cdot (D \cdot 10^{-3} + S_{и} \cdot 10^{-3}) \cdot (S_{и} \cdot 10^{-3}) \cdot H \cdot 10^{-3} \cdot \rho_m \cdot 10 = 33.743 \text{ Н}$$

Вес крышки

$$G_{кр} := \pi \cdot (D \cdot 10^{-3})^2 / 4 \cdot (S_{и} \cdot 10^{-3}) \cdot \rho_m \cdot 10 = 4.135 \text{ Н}$$

Вес труб

$$L_{тр} = 4.896 \text{ м}$$

$$G_{тр} := \pi \cdot (8 + 2) \cdot 10^{-3} \cdot (2 \cdot 10^{-3}) \cdot \rho_{cu} \cdot 10 = 5.592 \text{ Н}$$

Вес пустого аппарата

$$G_{ап} := G_{об} + 2 \cdot G_{кр} + G_{тр} = 47.605 \text{ Н}$$

Вес воды при испытаниях

$$V_k := 4/3 \cdot \pi \cdot (1/2 \cdot D \cdot 10^{-3})^3 = 1.767 \times 10^{-3} \text{ м}^3 \text{ Объем воды в крышке и днище}$$

$$G_B := \pi \cdot (D \cdot 10^{-3})^2 / 4 \cdot H \cdot 10^{-3} \cdot 1000 \cdot 10 + V_k \cdot 100 \cdot 10 = 54.781 \text{ Н}$$

Вес аппарата при испытаниях

$$G_{исп} := G_{ап} + G_B = 102.386 \text{ Н}$$

### 3.2.5.2 Проверка несущей способности обечайки

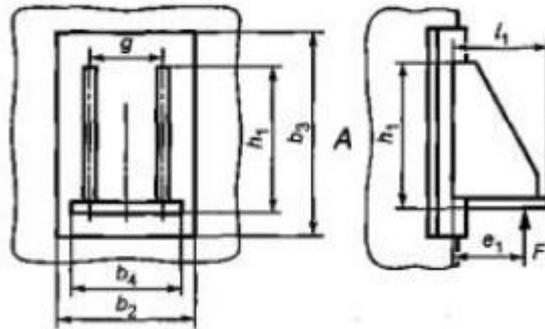


Рисунок 12. Основные размеры опорных лап

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

$$Usl_{11} := \left( \begin{array}{l} \text{"Условие применения формул выполняется"} \text{ if } \frac{s_H - c}{D} \leq 0.05 \\ \text{"Условие применения формул НЕ выполняется"} \text{ otherwise} \end{array} \right)$$

$$Usl_{11} = \text{"Условие применения формул выполняется"}$$

Высоту опорной лапы принимаем:

$$h_1 := 100 \text{ мм}$$

Расстояние между точкой приложения усилия и обечайкой

$$l_1 := 80 \text{ мм}$$

$$e_1 := 5/6 \cdot l_1 = 66.667$$

Расстояние между точкой приложения усилия и обечайкой

$$b_4 := 65 \text{ мм}$$

Усилие, действующее на опорную лапу

$$F1 := G_{исп} / 51.193 \text{ Н}$$

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:

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

$$z := -5.984 + 11.395 \cdot x - 18.984 \cdot y - 2.413 x^2 - 7.286 \cdot x \cdot y = 5.452$$

$$K_7 := \exp((z - (2.042 \cdot y^2 + 0.1322 \cdot x^3 + 0.4833 \cdot x^2 \cdot y + 7.286 \cdot x \cdot y^2 + 1.428 \cdot y^3))) \cdot 10^{-2} = 4.8$$

Предельное напряжение изгиба:

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

$$\sigma_{my} := \frac{P_2 \cdot Dr}{2 \cdot (s_{и} - c)} = 15 \text{ МПа}$$

$$\sigma_m := \sigma_{my} = 15 \text{ МПа}$$

$n_T := 1.5$  запас прочности по пределу текучести

$K_2 := 1.2$  для рабочих условий

$$\theta_1 := 0.3$$

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

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

Тогда предельное напряжение изгиба

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

Несущая способность обечайки в месте приварки опорной лапы без подкладного листа

$$F_{d1} := \frac{\sigma_{td} \cdot h1 \cdot (s_H - c)}{K_7 \cdot e1} = 2.764 \times 10^3 \text{ МПа}$$

### 3.2.6 Расчет тепловой изоляции

$$D_{vn} := 0.150 \text{ м}$$

$$S := 0.003 \text{ м}$$

$$H := 0.3 \text{ м}$$

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

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

Коэффициент теплопроводности материала:

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

Поверхность теплоотдачи:

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

Температура внутреннего слоя изоляции

$$t_{viz} := -196 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Температура окружающей среды:

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

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

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

Толщина тепловой изоляции:

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

Диаметр аппарата с тепловой изоляцией:

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

## 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 4.1 Предпроектный анализ

#### Потенциальные потребители

Продукт: Кислород медицинский

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

#### 4.1.1 SWOT-анализ

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

Таблица 3 – SWOT-анализ

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

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

#### 4.1.2 Анализ эффективности действующего производства

##### Расчет производственной мощности оборудования цеха

Для расчета производственной мощности предварительно устанавливаем:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Эффективный фонд времени оборудования составляет по формуле:

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

На основе расчетов составляем баланс времени работы оборудования.

Таблица 4 – Баланс рабочего времени оборудования.

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

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

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

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

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

Текущая мощность составляет:

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

Для анализа использования оборудования рассчитаем экстенсивный и интенсивный коэффициенты.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования:

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

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

Коэффициент интенсивного использования оборудования:

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

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

$Q_{\text{мах}}$  – максимальная производительность в ед. времени;

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

Интегральный коэффициент использования мощности:

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

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

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

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

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

## **Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству**

### **Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала**

#### 1. Расчет численности персонала (табл.3)

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

Таблица 5 – Расчет численности персонала

Наименование должности	Категория	Тарифный разряд	Число штатных единиц	Кол-во смен в сутках
Главный технолог	ИТР	Высшее	1	1
Механик установки	ИТР	Высшее	1	1
Энергетик установки	ИТР	Высшее	1	1
Инженер КИП и АСУ	ИТР	Высшее	1	1
<b>Итого:</b>			<b>4</b>	
Старший оператор	Производственный рабочий	6 разр.	4	2
Оператор установки	Производственный рабочий	5 разр.	9	2
Помощник оператора	Вспомогательный рабочий	4 разр.	4	2
<b>Итого:</b>			<b>17</b>	
Дежурный слесарь по ремонту оборудования	Ремонтный персонал	4 разр.	4	2
Дежурный слесарь-электрик	Ремонтный персонал	4 разр.	4	2
Дежурный слесарь КИП	Ремонтный персонал	4 разр.	4	2
<b>Итого:</b>			<b>12</b>	
<b>Итого:</b>			<b>33</b>	

2. Расчет баланса эффективного годового времени одного среднесписочного работника (табл. 6).

Таблица 6 – Примерный баланс рабочего времени одного среднесписочного рабочего

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

3. Количество выходных дней в году, ночных смен определяется из графика сменности (табл. 7)

Таблица 7 – График сменности

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

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

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

5. 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:

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

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

Пр – оплата премий, тыс. руб.;

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

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

$Д_{\text{бриг}}$  – доплата не освобожденным бригадирам, тыс. руб.

Тарифный фонд заработной платы:

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

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

$Т_{\text{ст}}$  – дневная тарифная ставка данного разряда, руб.

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

Дополнительная заработная плата:

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

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

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

### Расчет затрат на производство продукции

### Расчет годовой потребности в сырье и материалах

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

Таблица 8 – Расчет годовой потребности в сырье и материалах

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

### Расчет затрат на электроэнергию

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

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

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

$T_{p.ob.}$  – время работы оборудования в год, час (8173 час.).

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

### Расчет амортизационных отчислений

Для расчета амортизационных отчислений необходимо учесть:

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

Таблица 9 - 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
<b>Итого:</b>			<b>550</b>
2. Оборудование			
2.1.Реактор	200 000	10	200 000
2.2.Теплообменник	70 000	10	70 000
2.3.Турбовоздуходувка	20 000	10	20 000
2.4.Испаритель	1000	10	1000
2.5.Насос	200	10	200
<b>Итого:</b>	<b>206450</b>		<b>29120</b>
<b>Итого общее:</b>	<b>211700</b>		<b>29670</b>

Таблица 10 – Калькуляция себестоимости на производство и реализацию продукции при заданном объеме производства (**140 000** т/год)

Наименование статьи расходов	Ед. измерения	Затраты тыс. руб.	
		На 1 т.	На N год
1. Сырье	тыс. руб.	15,21	2129400,00
2. Энергия на технологические нужды	тыс. руб.	7,1076	995063,00
3. ЗП основных производственных рабочих	тыс. руб.	0,1273	17822,00
4. Отчисления на СН (30%)	тыс. руб.	0,0382	5348,00
<b>Итого условно-переменных издержек</b>	<b>тыс. руб.</b>	<b>22,4831</b>	<b>3147634,00</b>
5. Общепроизводственные накладные расходы	тыс. руб.		
5.1. РСЭО:	тыс. руб.	1,166	
- Амортизация оборудования	тыс. руб.	0,908	127120,00
- Ремонт оборудования	тыс. руб.	0,102	14280,00
- ЗП ремонтного персонала	тыс. руб.	0,120	16800,00
- Отчисление на соц. нужды ремонтного персонала (30%)	тыс. руб.	0,036	5040,00
5.2. ЗП ИТР	тыс. руб.	0,093	13020,00
- Отчисление на соц. нужды ИТР (30%)	тыс. руб.	0,0279	3906,00
5.3. ЗП вспомогательного персонала	тыс. руб.	0,0362	5068,00
- Отчисление на соц. нужды вспомогательного персонала (30%)	тыс. руб.	0,01086	1520,40
5.4 Прочие накладные расходы		2,00	280000
<b>Итого условно-постоянных издержек</b>	<b>тыс. руб.</b>	<b>3,33396</b>	<b>466754,40</b>

<b>Цеховая (производственная) себестоимость (1+2+3+4+5)</b>	тыс. руб.	<b>25,81706</b>	<b>3614388,40</b>
6. Управленческие расходы (5% от цеховой себестоимости)	тыс. руб.	1,290853	180719,42
<b>Заводская себестоимость (цеховая себестоимость + стр.6)</b>	тыс. руб.	<b>27,1079</b>	<b>3795106,00</b>
7. Коммерческие расходы (1% от заводской себестоимости)	тыс. руб.	0,271079	37951,06
<b>Полная себестоимость (заводская себестоимость + стр.7)</b>	тыс. руб.	<b>27,378979</b>	<b>3833057,06</b>
<b>Условно-переменные издержки</b>	тыс. руб.	<b>22,4831</b>	<b>3147634,00</b>
<b>Условно-постоянные издержки</b>	тыс. руб.	<b>4,895879</b>	<b>685423,06</b>

#### 4.2. Определение цены готовой продукции

Цена продукта определяется по формуле:

$$Ц = C * (1 + P/100),$$

где С – полная себестоимость единицы готовой продукции;

Р – рентабельность продукции (25 %).

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

#### 4.3. Анализ безубыточности по действующему производству

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

1) Определение точки безубыточности аналитическим способом:

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

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

2) Определение точки безубыточности графическим способом:

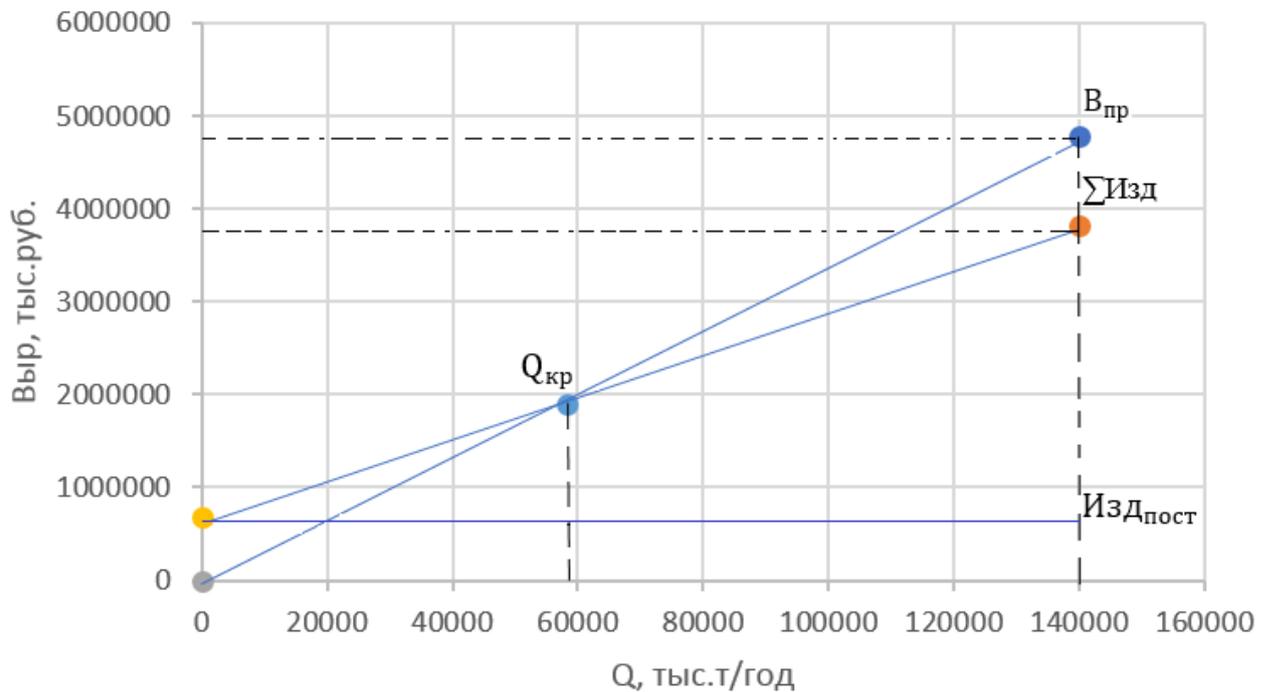


Рисунок.13 График безубыточности

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

#### 4.4. Определение технико-экономических показателей

Таблица 11 - Техничко-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Плановый год
1. Объем производства	тыс. т	140,00
2. Объем продаж	тыс. т	140,00
3. Цена одной тонны	тыс. руб.	34,2237
4. Выручка от продажи (2*3)	тыс. руб.	4 791 318,00
5. Суммарные издержки	тыс. руб.	3 833 057,06
5.1. Издержки условно-переменные	тыс. руб.	3 147 634,00
5. 2. Издержки условно-постоянные	тыс. руб.	685 423,06
6. Операционная прибыль (4-5)	тыс. руб.	958 260,94
7. Налог на прибыль (6*20%)	тыс. руб.	191 652,188

8. Чистая прибыль (6-7)	тыс. руб.	766 608,752
9. Себестоимость 1 тонны	тыс. руб.	27,378979
10.Стоимость основных средств	тыс. руб.	211700
11.Численность основных рабочих	чел.	33
12.Фондовооруженность (10/11)	тыс. руб./чел.	6415,15
13.Фондоотдача	руб./руб.	62,719
14.Фондоемкость	руб./руб.	0,202
15.Производительность труда (4/11)	тыс. руб./чел.	145 191,45
16.Рентабельность производства (8*100%/5)	%	19,9
17.Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	15,9
18.Критический объем продаж ( $Q_{кр}$ )	тыс. т	58 383,56
19.Критический объем продаж ( $Q_{кр}$ )	тыс. руб.	1705,94

## **5. Социальная ответственность**

### **Введение**

В данной дипломной работе производится расчет теплообменного аппарата установки получения кислорода.

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

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

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

### **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Работники химической промышленности постоянно подвергаются воздействию опасных химических веществ, а рабочая среда всегда потенциально опасна. Для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, где установлена сокращенная продолжительность рабочего времени, максимально допустимая продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать [ТК РФ Статья 94, 1]:

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

Минимальная продолжительность ежегодного дополнительного оплачиваемого отпуска работникам составляет 7 календарных дней. Продолжительность ежегодного дополнительного оплачиваемого отпуска конкретного работника устанавливается трудовым договором на основании отраслевого (межотраслевого) соглашения и коллективного договора с учетом результатов специальной оценки условий труда [ТК РФ Статья 117, 1].

Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, устанавливается в повышенном размере. Минимальный размер повышения оплаты труда работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, составляет 4 процента тарифной ставки (оклада), установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда [ТК РФ Статья 147, 1].

Каждый час работы в ночное время оплачивается в повышенном размере по сравнению с работой в нормальных условиях, но не ниже размеров, установленных трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права [ТК РФ Статья 154, 1].

В целях обеспечения защиты персональных данных работников, все персональные данные работника следует получать у него самого. Если

персональные данные работника возможно получить только у третьей стороны, то работник должен быть уведомлен об этом заранее и от него должно быть получено письменное согласие. Работодатель должен сообщить работнику о целях, предполагаемых источниках и способах

получения персональных данных, а также о характере подлежащих получению персональных данных и последствиях отказа работника дать письменное согласие на их получение [ТК РФ Статья 86, 1].

В соответствии с ГОСТ 12.2.049-80 «Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие эргономические требования», уровни физических, химических и биологических опасных и вредных производственных факторов, генерируемых производственным оборудованием в рабочую зону, а также воздействующих на работающего при непосредственном контакте с элементами конструкции, должны соответствовать требованиям безопасности, установленным нормативно-технической документацией, утвержденной в установленном порядке.

Конструкция производственного оборудования должна обеспечивать оптимальное распределение функций между человеком и производственным оборудованием с целью обеспечения безопасности, ограничения тяжести и напряженности труда, а также обеспечения высокой эффективности функционирования системы "человек - производственное оборудование". Конструкция всех элементов производственного оборудования, с которыми человек в процессе трудовой деятельности осуществляет непосредственный контакт, должна соответствовать его антропометрическим свойствам [ГОСТ 12.2.049-80].

## **5.2 Производственная безопасность**

При эксплуатации установки получения кислорода возникают опасные и токсичные факторы для рабочих. В таблице 1 ниже представлены конкретные опасные и токсичные факторы при производстве кислорода в промышленности в соответствии с «ГОСТ

12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

Таблица 12 - Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте КАО "АЗОТ"

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Опасные и вредные производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего	ТР ТС 032/2013 О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением.
Токсичные и опасные химические вещества	ГОСТ 12.4.011-89 Система стандартов безопасности труда. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация ГОСТ Р 51999-2002. Спирт этиловый технический синтетический ректификованный и денатурированный. Технические условия"
Опасность термических ожогов	ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов [6].  ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [7].

Опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током	ГОСТ 12.0.003-74 Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы.
---	---

### 5.2.1 Выявление вредных и опасных факторов при эксплуатации теплообменного аппарата

1. Рациональное освещение производственных помещений в светлое время суток осуществляется за счет естественного освещения через оконные проемы в наружных стенах. В темное время суток применяется общее местное и комбинированное искусственное освещение. Предусмотрено также аварийное и дежурное освещение. Это обеспечивает безопасные и здоровые условия труда. Освещение, соответствующее санитарным нормам, является главным условием гигиены труда и культуры производства. При хорошем освещении устраняется напряжение зрения, ускоряется темп работы. Недостаточное освещение рабочих мест отрицательно влияет на хрусталик глаза, что может привести к близорукости.  
В целях сохранения работоспособности в течение рабочей смены необходимым условием является рациональное освещение помещений и рабочих мест, которое обеспечивается естественным и искусственным освещением согласно СП 52.13330.2016 [2].
2. Источниками шума в производственном помещении являются вентиляторы и электродвигатели рабочих механизмов, уровень шума которых при установке в соответствие с техническими требованиями не должен превышать допустимых норм. Если число колебаний в секунду не превышает 16, то они воспринимаются человеком как сотрясения и называются вибрацией. Частота колебаний от 16 до 20000 в секунду воспринимается органами слуха как шум, колебания с частотой свыше этого предела не ощущаются человеком, и

называются ультразвуками. Вибрация приводит к преждевременному износу деталей, механизмов, может вызвать аварию, вредно действует на сердечно-сосудистую и нервную системы организма, вызывает снижение слуха и даже стойкую глухоту, является причиной снижения работоспособности, ослабления памяти, внимания, остроты зрения, что увеличивает возможность травматизма [3].

3. Микроклимат - климатические условия, созданные в ограниченном пространстве искусственно в закрытых помещениях или обусловленные природными особенностями. Он определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температурой окружающих поверхностей. Поддержание оптимального микроклимата возможно только в том случае, если предприятие оснащено установкам кондиционирования микроклимата. В остальных случаях следует обеспечивать допустимые микроклиматические условия, т.е. такие, при которых хотя и могут возникать напряжения терморегуляции организма, но не выходят за пределы его физиологических приспособительных возможностей. При этом не возникают нарушения состояния здоровья, но может наблюдаться ухудшение самочувствия и понижение работоспособности. Микроклимат производственных помещений определяется назначением помещения и характером технологического процесса [3]. В целях исключения вредного влияния микроклиматических факторов на организм человека и создания нормальных условий труда в рабочей зоне параметры воздушной среды должны соответствовать СанПиН 1.2.3685-21 [4].
4. Воздействие вредных и опасных веществ напрямую связано с любым химическим производством. При проведении различных технологических процессов в воздух выделяются твердые и жидкие частицы, а также пары и газы. Пары и газы образуют с воздухом смеси, а твердые и жидкие частицы – аэродисперсные системы - аэрозоли. Существуют различные классификации вредных веществ, в основу которых положено их действие на человеческий

организм. В соответствии с наиболее распространенной (по Е.Я. Юдину и С.В. Белову) классификацией, вредные вещества делятся на шесть групп: общетоксические, раздражающие, сенсibiliзирующие, канцерогенные, мутагенные, влияющие на репродуктивную (детородную) функцию человеческого организма.

5. Вредное воздействие компьютера при работе оператора по контролю рабочих параметров процессов оказывает следующие воздействия: проблемы с мышцами, длительное сидячее положение негативно сказывается на циркуляции крови в теле и на положение позвоночника; негативное воздействие на зрение человека при длительной работе; нарушение внимания и усталость при поиске информации; воздействие на нервную систему. В целях уменьшения пагубного влияния компьютера необходимо сокращение времени компьютерной работы, увеличение числа перерывов в соответствии с рекомендацией СП 2.4.3648-20 [5].
6. При работе с электрическими установками на производстве, приборами в быту следует соблюдать требования электробезопасности. Они представляют собой систему организационных и технических мероприятий и средств, которые обеспечивают защиту людей от вредного и опасного действия электрического тока. Действие электрического тока на организм человека носит многообразный характер. Проходя через организм человека, электрический ток вызывает термическое, электролитическое и биологическое действие. Термическое действие тока проявляется в ожогах тела, нагреве до высокой температуры внутренних органов человека (кровеносных сосудов, сердца, мозга). Электролитическое действие тока проявляется в разложении органических жидкостей тела (воды, крови) и нарушении их физико-химического состава. Биологическое действие тока проявляется в раздражении и возбуждении живых тканей организма и сопровождается непроизвольными судорожными сокращениями мышц (сердца, лёгких) [3]. Основные способы и средства электрозащиты: изоляция токопроводящих частей и ее непрерывный контроль; установка

оградительных устройств; предупредительная сигнализация и блокировки; использование знаков безопасности и предупреждающих плакатов; использование малых напряжений; электрическое разделение сетей; защитное заземление; выравнивание потенциалов; зануление; защитное отключение; средства индивидуальной электрзащиты [6].

7. Противопожарные мероприятия на производстве исполняются в соответствии с постановлением Правительства РФ от 16.09.2020 N 1479 (ред. от 21.05.2021) "Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации". [7], НПБ 88-2001 "Пожарная автоматика зданий и сооружений" [8], справочником руководителя тушения пожара (под. ред. Иванникова); СП 30.13330.2016 "Внутренний водопровод и канализация" [9], и СП 31.13330.2021 "Водоснабжение. Наружные сети и сооружения" [10] обеспечение пожарной безопасности и пожаротушения возлагается на руководителя предприятия. Так же местоположение первичных средств пожаротушения и пожарного инвентаря должно быть согласовано с органами пожарного надзора. Пожарные щиты с набором инвентаря (огнетушителями ОП-10, ОУ-5 для тушения электрооборудования, ведра, лопаты, топор), и ящиками для песка  $V=1,0$  м<sup>3</sup> предусматриваются на выходе из помещений и здания цеха таким образом, чтобы не препятствовать вынужденной эвакуации людей.

### **5.3 Экологическая безопасность. Атмосфера**

Источником загрязнения являются кислородная и азотная фракции из блока разделения воздуха, выбрасываемые постоянно и влажный азот после регенерации и блока сушки 3 раза в сутки.

Должны соблюдаться требования нормативных актов, регулирующих отношения в области охраны атмосферного воздуха.

На производстве разрабатываются и выполняются мероприятия:

- по организации производственного экологического контроля;
- по регулированию выбросов ЗВ в атмосферный воздух при неблагоприятных метеорологических условиях;
- по проверке эффективности работы газоочистного оборудования.

#### Гидросфера и литосфера

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

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

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

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

Следующим мероприятием для снижения воздействия данного аспекта – это установка дополнительных систем очисток, либо замена существующих или их усовершенствование.

## 5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

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

Пожарная безопасность зданий и сооружений в организациях, связанных с разделением воздуха, должна соответствовать проекту и установленным требованиям пожарной безопасности согласно постановлению Правительства РФ от 16.09.2020 N 1479 (ред. от 21.05.2021) "Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации".

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, раципиенты, кислороднорегулирующие пункты, узлы регулирования кислорода, гаражи для транспортных сосудов жидких ПРВ, оснащаются средствами связи в соответствии с нормами проектирования.

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

В цехах разделения воздуха, в отделениях получения и очистки редких газов, в компрессорном отделении, в газгольдерном помещении, в отделениях хранения, газификации и наполнения кислорода, а также в местах, где проходят кислородные трубопроводы и производятся работы с кислородом, курение и применение открытого огня не допускается, о чем на наружной стороне дверей и в местах, где проводятся работы с кислородом 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 м<sup>3</sup>, аварийный слив масла из маслобаков компрессоров осуществляется в бак аварийного слива, вместимость которого должна быть не меньше вместимости наибольшего маслобака компрессора, установленного в цехе. [СП 10.13130.2020]

Вывод: в разделе «Социальная ответственность» проведен анализ и оценка вредных и опасных факторов, которые могут оказать воздействие на инженера-технолога, а также приведены рекомендации по обеспечению оптимальных условий труда и охране окружающей среды.

Фактические значения выявленных факторов соответствуют нормативным документам.

По взрывопожарной и пожарной опасности согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности», помещение предприятия относится к категории В4 пожароопасность. Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении категории В4: Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха.

По негативному воздействию на окружающую среду, производственный объект предприятия относятся к объектам IV категории: отсутствие выбросов

загрязняющих веществ в атмосферный воздух или наличие на объекте стационарных источников загрязнения окружающей среды, масса

загрязняющих веществ в выбросах в атмосферный воздух которых не превышает 10 тонн в год; отсутствие сбросов загрязняющих веществ в составе сточных вод в централизованные системы водоотведения, другие сооружения и системы отведения и очистки сточных вод.

## **Заключение**

В ходе выполненной работы был рассчитан теплообменник со змеевиком из гладких труб, который используется для охлаждения воздуха. Обоснована технологическая схема. В технологическом расчете был составлен тепловой баланс теплообменника. Расчетные коэффициенты теплоотдачи, коэффициенты теплоотдачи. После этого рассчитывалась необходимая поверхность теплообмена.

На основании расчета поверхности был выбран теплообменник со всеми его конструктивными параметрами. Исходя из свойств сред, протекающих в аппарате, и параметров теплообмена была выбрана оптимальная конструкция исходя из материалов теплообменника.

Проведен механический расчет, в котором определены толщины цилиндрической обечайки, трубной решетки и эллиптического кожуха, проверена необходимость усиления отверстий, рассчитано фланцевое соединение типа выступ-впадина, выбраны седловые опоры. Выполнен расчет гидравлических сопротивлений и подбор насосов для трубного и межтрубного пространства. Произведен расчет теплоизоляции.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» была проведена оценка рентабельности проекта, проанализированы сильные и слабые стороны проекта, а также его возможности.

В разделе «Социальная ответственность» проведен анализ вредных и опасных факторов, связанных с работой на данном аппарате. Так же обоснованы мероприятия по снижению вредного воздействия этих факторов на окружающую среду.

## 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.
2. – М.: ООО «Альянс», 2009. – 753 с.
3. Архаров А.М. и др. "Криогенные системы. Основы теории и расчета. Том 2" Машиностроение, 1996 год, 720 стр.
4. АТК 24.218.06-90 Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общие технические требования
5. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей М., 1972 г. 720 стр. с илл.
6. 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.
7. 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.
8. Лацинский А.А. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры / Толчинский А.Р., - Ленинград : Изд-во: "Машиностроение" , 1970. - 752 с.
9. Беляев В.М., Миронов В.М. Расчет и конструирование основного оборудования отрасли Учебное пособие. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. - 288с.
10. ОСТ 26 -291-94 Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия
11. ГОСТ 24755-89 (СТ СЭВ 1639-88) Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий

12. 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.
13. 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.
14. 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
15. Михалев М.Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств / Ленинград "Машиностроение". - Ленинград : Изд-во: Ленинградское отделение, 1984. - 302 с.
16. ГОСТ 52857.1-2007 Сосуды и аппараты нормы и методы расчета на прочность общие требования
17. ГОСТ 54522-2011 Сосуды и аппараты высокого давления. Расчет цилиндрических обечаек, днищ, фланцев, крышек.
18. ГОСТ 12820-80 Фланцы стальные плоские приварные на 0,1 до 2,5 МПа (от 1 до 25 кгс/см).
19. ГОСТ 6533-78 Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов.
20. ГОСТ 22792-83 Сборочные единицы и детали трубопроводов. Штуцера на Ру св. 10 до 100 МПа (св. 100 до 1000 кгс/кв.см). Конструкции и размеры.
21. 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.—44.
22. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022)

[Электронный ресурс] — URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_law\\_34683](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_law_34683)

23. Строительные нормы и правила: СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение: нормативно-технический материал.

24. Крепша Н.В. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие для иностранных студентов / Н.В. Крепша; Национальный исследовательский Томский политехнический университет - Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2014. - 198 с.

25. Санитарные нормы и правила: СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий

26. Строительные нормы и правила: СП 2.4.3648-20. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы. - Москва: 2003. - 32 с.

27. Правила устройства электроустановок: ПУЭ от 01.01.2003. Общие правила.- Москва: 2003. - 14 с.

28. Постановление Правительства РФ от 16.09.2020 N 1479 (ред. от 21.05.2021) "Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации". Строительные нормы и правила: НПБ 88-2001 Пожарная автоматика зданий и сооружений.

29. Строительные нормы и правила: СП 30.13330.2016 Внутренний водопровод и канализация.

30. Строительные нормы и правила: СП 31.13330.2021 Водоснабжение. аружные сети и сооружения.- Москва: