

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

---

Институт физики высоких технологий  
Направление подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»  
Кафедра «Общей химии химической технологии»

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Разработка основного теплообменного оборудования установки полимеризации полиэтилена

УДК [66.045.7:66.045.122

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К22	Моисеев Максим Олегович		

Руководитель

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

**КОНСУЛЬТАНТЫ**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечина А.А.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ахмеджанов Р.Р.	д.б.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

Томск – 2016

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

---

Институт физики высоких технологий

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

Кафедра: общей химии химической технологии

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Тихонов В.В.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврская работа
---------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
2К22	Моисеев Максим Олегович

Тема работы:

<b>Разработка основного теплообменного оборудования установки полимеризации полиэтилена</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	22.03.2016, 1631/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	16.06.16
--	----------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b> <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>Материалы производственной практики</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 Содержание Введение 1 Технологическая схема производства полипропилена 2 Расчёт конденсатора 3 Социальная ответственность 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 5 Заключение</p>
<p><b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1 Технологическая схема (А1) Лист 2 Конденсатор паров гептана (А1х3)</p>

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

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К22	Моисеев М.О.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2К22	Моисеев Максим Олегович

<b>Институт</b>	<b>ИФВТ</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ОХХТ</b>
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	МАХП

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

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

*Объект исследования* – конденсатор паров гептана  
*Рабочая зона* – Производственный цех  
*Область применения* - химическая промышленность.  
*Рабочее место*- компьютерный класс

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

**1. Производственная безопасность**

1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;
- действие фактора на организм человека;
- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);
- предлагаемые средства защиты;
- (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).

1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:

- механические опасности (источники, средства защиты);
- термические опасности (источники, средства защиты);
- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);
- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

*1.1.1* Выявление вредных факторов на предприятии при эксплуатации конденсатора паров гептана:

- вредные вещества (гептан, СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 класс II опасности), производственный шум (СанПиН 2.4/2.1.8.562-96), вибрация (СанПиН 2.2.4/2.1.8.566-96);
- микроклиматические условия (СанПиН 2.2.4.548-96);
- вентиляция (способы вентиляции в цеху) (СанПиН 41-01-2003);
- физико-химическая природа вредности веществ и их связь с разрабатываемой темой;
- действие вредных веществ на организм;
- предлагаемые средства защиты для работы на данном производстве:

*1.* индивидуальные средства защиты – респиратор, очки, халат, перчатки;

*1.1.2* Выявление вредных факторов в компьютерном классе при разработке конденсатора паров гептана:

- микроклиматические условия (СанПиН 2.1.2.2645-10);
- освещение (СанПиН 2.2.1.2.1.1.1278-03)
- электромагнитное излучение (СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96)

*1.2.1* Выявление опасных факторов при эксплуатации конденсатора паров гептана:

- электробезопасность (токоведущие части электрооборудования) (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03);
- молниезащита производственных зданий и сооружений (при работе с электрооборудованием необходимо заземление) (СанПиН 118.13330.2012);

	<p>-пожар, взрыв, возгорание</p> <p><b>1.2.2</b> Выявление опасных факторов при разработке конденсатора паров гептана:</p> <p>- электробезопасность (токоведущие части электрооборудования (СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03);</p> <p>-возгорание, пожар</p>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. (ГОСТ 17.23.02-78)</li> </ul>	<p>-вредные вещества (гептан, СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 класс опасности II ), которые выделяются или используются во время производственной смены через вентиляционную систему</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p>-разгерметизация</p> <p>-пожарная и взрывная опасность</p> <p>- перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения-пожар, взрыв</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>- трудовой кодекс РФ.</p> <p>-правовые нормы трудового законодательства, регулирующие соблюдение безопасности при работе в производственных помещениях (законы, организации и т.д.)</p> <p>-локальные акты и инструкции</p>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭБЖ ИНК	Ахмеджанов Р.Р.	д.б.н., профессор		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К22	Моисеев Максим Олегович		

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

Институт	Институт физики высоких технологий
Направление подготовки	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
Уровень образования	Бакалавриат
Кафедра	Общей химии химической технологии
Период выполнения	Весенний семестр 2015/2016 учебного года

Студенту:

Группа	ФИО
2К22	Моисееву Максиму Олеговичу

Тема работы:

«Разработка основного теплообменного оборудования установки полимеризации полиэтилена»	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	22.03.2016, 1631/С

Форма представления работы:

Бакалаврская работа
---------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### ЗАДАНИЕ

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость нового оборудования, затраты на транспортировку и монтаж оборудования
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Нормы амортизации на оборудования
3. <i>Ставки отчислений</i>	Отчисления на социальные нужды – 30 %
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. <i>Предпроектный анализ</i>	-Потребители результатов исследования -Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения
2. <i>Организационный план</i>	-Структура организации производственной деятельности цеха производства «полипропилен» - Штатное расписание цеха производства

	полипропилена
3. <i>Расчет производственной мощности</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Определение величины эффективного времени</li> <li>- Режим работы работников</li> <li>- Затраты на строительство производственных зданий</li> <li>- Потребность основных фондах</li> <li>- Расчет амортизационных отчислений</li> <li>- Определение себестоимости продукции до повышения производительности</li> </ul>
4. <i>План доходов и расходов</i>	До повышения производительности и после повышения производительности
5. <i>Анализ безубыточности</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Нахождение точки безубыточности до повышения производительности</li> <li>- Нахождение точки безубыточности после повышения производительности</li> <li>-Нахождение увеличения фондоотдачи</li> <li>- Увеличение прибыли</li> </ul>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечина А.А.	к.э.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К22	Моисеев Максим Олегович		

## РЕФЕРАТ

Дипломный проект 115 с., 41 рис., 32 табл., 60 источников, 2 листа графического материала.

**ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ, ГЕПТАН, ПРОПИЛЕН, СУСПЕНЗИЯ, КОНДЕНСАТОР ПАРОВ ГЕПТАНА, КОНТРОЛЬ.**

Объектом исследования является разработка основного теплообменного оборудования установки полимеризации полиэтилена (конденсатор паров гептана).

В данном дипломном проекте показана технико-экономическая целесообразность использования в качестве основного оборудования процесса полимеризации конденсатора паров гептана отечественного производства.

Цель работы - разработка основного теплообменного оборудования установки полимеризации полиэтилена.

В процессе работы провели расчет материального и теплового балансов, технологический, конструктивный и прочностной расчет конденсатора паров гептана.

В экономической части приведены расчеты годовой производственной мощности, оплаты труда работающих, себестоимости полипропилена и ее изменение, анализа амортизационных отчислений и точки безубыточности.

Достигнутые технико-экономические показатели: снижение себестоимости полипропилена за счет увеличения выхода полипропиленовой суспензии процесса полимеризации.

Степень внедрения: возможна замена работающего итальянского оборудования отделения полимеризации на отечественный аналог на производстве "Полипропилен" ОАО "ТНХЗ". Эффективность замены определяется значительной экономией денежных средств на приобретение и монтаж иностранного оборудования.



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>РЕФЕРАТ</b> .....	8
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	12
<b>Обзор литературы</b> .....	13
1.1. Получение гомополимера .....	15
1.2. Приготовление катализаторного комплекса .....	15
1.3. Полимеризация пропилена .....	16
1.4. Дегазация пропилена и разложение катализаторного комплекса .....	17
1.5. Водная промывка .....	18
1.6. Центрифугирование .....	19
1.7. Сушка полипропилена .....	19
<b>2. РАСЧЁТ ТЕПЛООБМЕННИКА</b> .....	22
2.1. Тепловой расчёт теплообменника .....	22
2.2. Гидравлический расчёт .....	25
2.3. Конструктивный расчёт .....	26
2.4. Механический расчёт теплообменника .....	28
2.4.1. Расчётные параметры .....	28
2.4.1. Расчётное напряжение .....	28
2.4.1. Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов .....	29
2.4.1. Расчет давлений .....	29
2.4.2. Расчет толщины стенок корпуса аппарата .....	30
2.4.2.1. Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки .....	31
2.4.2.2. Расчет толщины стенки распределительной камеры .....	32
2.4.2.3. Расчет толщины стенки днища (крышки) аппарата .....	33
2.5. Расчет фланцевого соединения для фланцев кожуха аппарата .....	34
2.5.1. Расчет фланца на статическую прочность .....	43

2.5.2. Условия статической прочности фланцев .....	44
2.5.3. Проверка углов поворота фланцев.....	45
2.6. Расчет патрубков для штуцеров.....	46
2.7. Укрепление отверстий парубков.....	49
2.8. Расчет теплообменника на прочность.....	51
2.8.1. Исходные данные.....	51
2.8.2. Определяем температурные деформации.....	52
2.8.3. Расчет трубной решетки: согласно ГОСТ Р 52857.7-2007.....	52
2.8.4. Проверка прочности трубных решёток .....	61
2.8.5. Проверка прочности и устойчивости кожуха.....	61
2.8.6. Расчёт трубы на прочность, устойчивость и жесткость. Расчет крепления труб к решетке .....	61
2.8.7. Перегородки между ходами по трубному пространству кожухотрубчатых теплообменных аппаратов.....	64
2.9. Расчет обечайки от воздействия опорных нагрузок .....	64
2.9.1. Вес аппарата.....	64
2.9.2. Подбор стандартной опоры аппарата .....	67
2.9.3. Расчет обечайки от воздействия опорных нагрузок .....	69
<b>3. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....</b>	<b>73</b>
3.1. Производственная безопасность .....	73
3.1.1. Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению.....	73
3.1.2. Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению.....	78
3.1.3. Освещенность.....	79
3.1.4. Шумы и вибрации .....	82
3.1.5. Микроклимат производственных помещений .....	85
3.2. Экологическая безопасность .....	86

3.2.1 Анализ воздействия объекта на атмосферу.....	86
3.2.2 Анализ воздействия объекта на гидросферу.....	87
3.2.3 Анализ воздействия объекта на литосферу.....	88
3.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	88
3.3.1. Пожарная и взрывная безопасность.....	88
3.3.2. Безопасность в чрезвычайных ситуациях антропогенного характера .....	91
3.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ..	94
<b>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....</b>	<b>97</b>
4.1. Предпроектный анализ .....	97
4.1.1. Потребители результатов исследования.....	97
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	97
4.2. Организационный план .....	99
4.3. Расчет производственной мощности .....	103
4.4. План доходов и расходов .....	114
4.5. Анализ безубыточности.....	115
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>118</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....</b>	<b>121</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Теплообменные аппараты предназначены для проведения процессов теплообмена при необходимости нагревания или охлаждения технологической среды с целью ее обработки или утилизации теплоты.

Теплообменная аппаратура составляет весьма значительную часть технологического оборудования в химической и смежных отраслях промышленности. Удельный вес на предприятиях химической промышленности теплообменного оборудования составляет в среднем 15-18%, в нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности 50%. Значительный объем теплообменного оборудования на химических предприятиях объясняется тем, что почти все основные процессы химической технологии (выпаривание, ректификация, сушка и др.) связаны с необходимостью подвода или отвода теплоты.

Теплообменные аппараты можно классифицировать по следующим признакам: по конструкции — аппараты, изготовленные из труб (кожухотрубчатые, «труба в трубе», оросительные, погружные змеевиковые, воздушного охлаждения); аппараты, поверхность теплообмена которых изготовлена из листового материала (пластинчатые, спиральные, сотовые); аппараты с поверхностью теплообмена, изготовленной из неметаллических материалов (графита, пластмасс, стекла и др.); по назначению — холодильники, подогреватели, испарители, конденсаторы; по направлению движения теплоносителей — прямоточные, противоточные, перекрестного тока и д

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В потоке выпуска теплообменных аппаратов для химической, нефтехимической и подобной промышленности в РФ около 80 % занимают кожухотрубчатые теплообменники. Данный тип теплообменных аппаратов достаточно прост в изготовлении и надежен в эксплуатации, но в то же время достаточно универсален, т. е. может быть использован для осуществления теплообмена между жидкостями, газами, парами в любом соотношении теплоносителей и в большом диапазоне давлений и температур.

Теплообменные аппараты типа «труба в трубе» и змеевиковые стальные в составляют около 8 %, а оросительные из чугуна — около 2 %.

Процент спиральных и пластинчатых теплообменных аппаратов и аппаратов воздушного охлаждения до сих пор невелик, тем не менее на новостроящихся технологических линиях аппараты данного типа занимают все большее место.

Крайне разнообразны условия проведения теплообменных процессов в аппаратах, применяемых в современной промышленности. Подобные аппараты используют для рабочих сред с различной структурой и агрегатным состоянием (газ, пар, капельная жидкость, эмульсия и др.) в широком диапазоне давлений, температур и физико-химических свойств.

Из-за разнообразия предъявляемых к теплообменным аппаратам требований, связанных с условиями их эксплуатации, используют аппараты широкого вида конструкций и типов, при всем при этом для аппарата каждого типа подготовлен разнообразный размерный ряд поверхности теплообмена (от нескольких до нескольких тысяч квадратных метров в одном аппарате). В размерном ряду теплообменные аппараты отличаются по допускаемым давлениям и температурам рабочей среды, а также по материалам, из которых изготовлен аппарат.

Широкая номенклатура теплообменников по типам, размерам, параметрам и

материалам позволяет выбрать для конкретных условий теплообмена аппарат, оптимальный по размерам и материалам. Выбор конструкции аппарата для определенных условий теплообменного процесса зависит в основном от эрудиции и интуиции конструктора. Однако существуют рекомендации общего характера, которыми можно руководствоваться при выборе конструкции теплообменника и схемы движения в нем теплоносителей:

при высоком давлении теплоносителей предпочтительнее трубчатые теплообменники; в этом случае в трубное пространство желательно направить теплоноситель с более высоким давлением, поскольку из-за малого диаметра трубы могут выдержать большее давление, чем корпус; коррозионный теплоноситель в трубчатых теплообменниках целесообразно направлять по трубам, так как в этом случае при коррозионном изнашивании не требуется замена корпуса теплообменника;

при использовании коррозионных теплоносителей предпочтительнее теплообменные аппараты из полимерных материалов, например фторопласта и его сополимеров, обладающих уникальной коррозионной стойкостью;

если один из теплоносителей загрязнен или дает отложения, то целесообразно направлять его с той стороны теплообмена, которая более доступна для очистки (в змеевиковых теплообменниках — это наружная поверхность труб, в кожухотрубчатых — внутренняя);

для улучшения теплообмена не всегда требуется увеличение скорости теплоносителя (так, например, при конденсации паров для улучшения теплообмена необходимо обеспечить хороший отвод конденсата с теплообменной поверхности, для чего следует подобрать аппарат соответствующей конструкции).

# 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИПРОПИЛЕНА

## 1.1. Получение гомополимера

Процесс производства включает следующие стадии:

- 1) Приготовление катализаторного комплекса;
- 2) Полимеризация пропилена;
- 3) Разложение катализаторного комплекса и отмывка суспензии полипропилена;
- 4) Центрифугирование суспензии полипропилена;
- 5) Сушка порошка полипропилена и транспортировка в цех конфекционирования.

Технологическая схема производства представлена на листе 1.

## 1.2. Приготовление катализаторного комплекса

Катализаторный комплекс приготавливают в комплексообразователе Д2А емкостью 13м<sup>3</sup>, снабженным охлаждающей рубашкой и мешалкой с числом оборотов 150 об/мин.

В комплексообразователь в указанном порядке загружаются расчетные количества реагентов:

- гептан (низкого давления) 0,3-0,5 МПа через фильтры отделения дистилляции;
- 10 %-ный раствор ДЭАХ (диэтилалюминийхлорид) в гептане через фильтры;
- треххлористый титан из контейнера.

Из расчета 0,7 л/кг треххлористого титана (TiCl<sub>3</sub>) после приготовления катализаторного комплекса в комплексообразователь через объёмный счетчик может подаваться пропилен, играющий роль инициатора катализаторного комплекса.

Приготовление катализаторного комплекса производится периодически в среде азота при непрерывном перемешивании при давлении 0.7 МПа, температуре 70°C, поддерживаемой автоматически циркулирующей захлажденного гептана через рубашку комплексообразователя Д2А. Включение мешалки автоматически происходит при достижении 20% уровня в расходной емкости Д3А. Расчет загружаемых реагентов производится от заданной концентрации треххлористого титана в растворе 10-15 г/л и соотношения ДЭАХ/TiCl<sub>3</sub> = 1.884.

При приготовлении катализаторного комплекса 2/3 требуемого количества гептана загружается в комплексообразователь Д2А, расход замеряется по счетчикам РО 10063S, РО 03056S. Оставшейся 1/3 частью необходимого количества гептана промывается линия приема ДЭАХ и контейнер Д1 А.

Приготовленный катализаторный комплекс из Д2А самотеком, через перепускной клапан поступает в буферную емкость объемом 14 м<sup>3</sup>, снабженную мешалкой и рубашкой для охлаждения, хладагентом в которой является захлаженный гептан. Температура 70°C поддерживается

автоматически, мешалка работает непрерывно. Из буферной емкости ДЗА катализаторный комплекс дозировочным насосом G1A подается в зону полимеризации реактора.

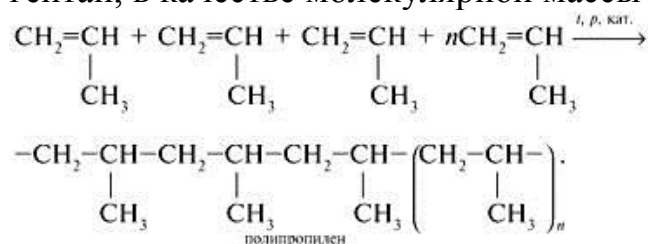
Технологические параметры приготовления катализаторного комплекса регулируются и контролируются приборами:

- уровень ДЗА — L 0309 RSAH;
- уровень Д2А — L 0305 RAHL;
- давление Д2А - P 0310 IC;
- давление Д3А - P 0314 IE;
- температура Д2А - T 0306 RC;
- температура Д3А - T 0308 R.

Предусмотрена подача масла на смазку подшипников мешалки реактора P1A с сигнализацией по min и max уровню в маслобаке – L0303AL.

### 1.3. Полимеризация пропилена

Реакция полимеризации пропилена на комплексном металлоорганическом катализаторе  $TiCl_3 + Al(C_2H_5)_2Cl$  ведется в среде «тяжелого» растворителя гептан, в качестве молекулярной массы используется –водород:



Процесс полимеризации осуществляется в реакторе R1 A.

Реактор снабжен мешалкой, системой термостатирования и волноотражателем для отбора тепла реакции и устранения воронкообразования.

Процесс полимеризации пропилена ведется непрерывно, для чего в реактор подаются реагенты:

- пропилен через фильтр P75A под избыточным давлением  $P = 1,4-1,5$  МПа;
- гептан - ректификат высокого давления  $P = 1,5$  МПа из отделения дистилляции через фильтры непосредственно в линию подачи катализаторного комплекса;
- водород - регулятор молекулярного веса, с водородной станции через фильтры под избыточным давлением  $P = 1,6$  МПа;
- катализаторный комплекс из емкости ДЗА дозировочным насосом G10A.

Процесс полимеризации пропилена при работе реактора ведется при температуре  $70^\circ C \pm 10^\circ C$ ;  $P = 0,7-0,9 \pm 0,5$  МПа при получении низкозольного полипропилена.

При работе по схеме с дополимеризацией в первичном реакторе R1A полимеризация пропилена ведется при температуре  $70^\circ C \pm 1^\circ C$  и давлении  $P = 0,7 \pm 0,1$  МПа. В обоих случаях концентрация водорода в газовой фазе



реакторов в пределах 5%-ой в зависимости от марки получаемого полипропилена. Соотношение пропилен/гептан при работе без дополимеризации не более 1,47; при работе с дополимеризацией в первичном реакторе не более 1,65, во вторичном - не более 0,8. Концентрация катализатора в реакторе 0,35 г/л при соотношении  $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Cl} : \text{TiCl}_3 = 1,884$  г/л.

При дополимеризации катализаторный комплекс во вторичный реактор не подается. Уровень суспензии в реакторе поддерживается  $(80 \pm 2)$  %-ной. Для контроля уровня в реакторе используется система термопар. Длинная - находящаяся в зоне реакции и контроля; короткая — на обдув, которой непрерывно подается пропилен. По изменению разности положений термопар можно определить характер изменения уровня в реакторе.

Полученная суспензия полимера в гептане с низа реактора выгружается через выгрузочный клапан, связанный с регулятором уровня, поступает в дегазатор Д9А для удаления не прореагировавшего пропилен и разложение катализаторного комплекса бутанолом.

Избыточное тепло из зоны реакции полимеризации отводится с помощью деминерализованной воды, циркулирующей в системе термостатирования реактора. Деминерализованная вода с установки деминерализованной воды поступает через фильтр Д6А в рубашку реактора и циркулирует в рубашке волноотражателя с помощью насоса Г3А через теплообменник Е1А.

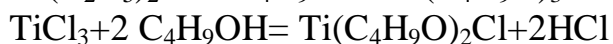
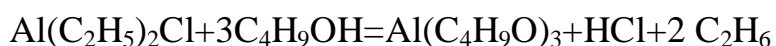
Первоначальный разогрев реактора до заданного значения температур осуществляется с использованием полсмесителя Д4А.

Для компенсации температурных расширений во избежании утечек воды из цикла имеется расширительная емкость, работающая под "азотным дыханием" и имеющая сброс на "факел" на случай прорыва реакционной массы из реактора в систему термостатирования. В случае превышения содержания инертнов (метан, этан, азот) в газовой фазе реактора более 4% осуществляется сдвук на "факел" или дистилляцию пропилен в Д74А. Для герметизации торцового уплотнения мешалки реактора имеется система с принудительной подачей масла насосом Р3А.

#### **1.4. Дегазация пропилен и разложение катализаторного комплекса**

Отделение не прореагировавшего и растворенного в гептане пропилен и разложение катализаторного комплекса осуществляется в дегазаторе Д9А объемом 68,8 м<sup>3</sup>, снабженным турбинной мешалкой. Отделение пропилен происходит за счет снижения его растворимости в гептане при снижении давления до 0,2- 0,3 МПа.

Процесс разложения катализаторного комплекса с образованием алкоголятов Al и Ti:



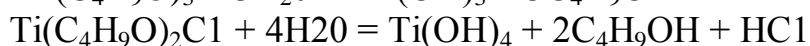
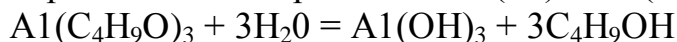
Для доведения концентрации суспензий до 370 г/л в дегазатор подается гептан. Температура в дегазаторе 87°C поддерживается за счет подачи пара под  $P = 4.5$  МПа в систему термостатирования аппарата, где циркулирует

деминерализованная вода; излишки горячей воды из системы термостатирования поступают в сборник Д29А через расширительный бак Д7А.

Газовая смесь (пропилен, азот, гептан, водород, продукты разложения катализаторного комплекса — хлористый водород, этилен) с верхней части дегазатора Д9А через конденсатор Е4А поступают на нейтрализацию в колонну С71А. Сконденсировавшийся гептан из конденсатора Е4А сливается обратно в дегазатор. Через штуцер нижней части дегазатора суспензия полипропилена забирается насосом 06А и подается в промыватель Д12А.

### 1.5. Водная промывка

Водная промывка суспензии полипропилена от продуктов разложения катализаторного комплекса и отмывка от щелочи гептана с дегазатора и нейтрализации осуществляется в промывателе Д12А, который снабжен турбинной мешалкой. В промывателе в кислой среде происходит взаимодействие продуктов разложения катализаторного комплекса с водой с образованием гидроокисей Ti (+4) и Al(+3):



В промывателе Д12А подается:

- суспензия полипропилена в гептане из дегазатора Д9А,
- деминерализованная вода через скруббер Д13А из расчета 1,0-1,3 тонны на 1 тонну порошка при температуре не ниже 45°C,
- щелочной гептан из отделения сушки насосом G15 А,
- щелочной гептан со стадии нейтрализации пропиленов насосом G73А.

Процесс отмывки проводится при постоянном перемешивании, температуре 70-75°C, давлении до 0,2 МПа, уровень в промывателе 70-80%. Подогрев воды осуществляется в паросмесителе Д11А парами при давлении 4.5 МПа, избыток горячей воды из рубашки сбрасывается в сборник Д29А через расширительный бак Д10А.

Содержимое Д12А непрерывно откачивается насосом G8А в первый отстойник ДНА, снабженный турбинной мешалкой.

В отстойнике Д14А происходит разделение водной и органической фазы, водная фаза, содержащая растворимые в воде продукты разложения катализаторного комплекса сливается в сборник промывных бутанольных вод Д16А.

Органическая фаза — суспензия полипропилена в гептане насосом подается во второй отстойник Д15А, на всоси насоса 09А; также подается 20%-ный раствор щелочи из емкости Д71А насосом G71А для поддержания рН-среды в пределах 7-10. Перемешивание раствора щелочи суспензий происходит в смесителе Д32А.

Во второй отстойник Д15А кроме суспензии полипропилена в гептане подается деминерализованная вода из расчета 0.77-1 тонна на 1 кг порошка. Уровень раздела фаз в обоих отстойниках поддерживается 50-55%.

Водная фаза из второго отстойника Д15А сливается в сборник сливных бутанольных вод Д16А.

Органическая фаза поступает самотеком в сборник Д19А. Все аппараты водной промывки Д12А, Д14А, Д15А по газовой фазе связаны с коллектором сдувок на С71А.

Из сборника Д16А бутанольная вода подается насосом G10А на установку дистилляции для регенерации бутанола.

### **1.6. Центрифугирование**

Отделение полимера от смолистого гептана, содержащего растворимый атактический полипропилен - побочный продукт процесса, осуществляется на центрифуге Р10А. Суспензия полимера предварительно накапливается в емкости Д19А, куда подается горячий гептан через фильтр Р78А для разбавления суспензии до концентрации примерно 250г/л.

В емкости Д19А поддерживается температура 70-75°С за счет циркуляции горячей воды во встроенных элементах насосом G11А. Подогрев воды производится паром низкого давления 4.5 МПа в паросмесителе Д18А. Избыток горячей воды сбрасывается в сборник Д29А через расширительный бак Д17А.

Суспензия из емкости Д19А непрерывно подается насосом G12А на центрифугу Р10А. Предусмотрена частичная рециркуляция суспензии в емкость Д19А. Смолистый гептан из центрифуги Р10А через циклон Д31А поступает в сборник гептановых фугатов, откуда насосом G13А перекачивается в складскую емкость Д205А или Д220А, причем одна работает на прием, другая для отстоя гептана от воды и далее в выпарные аппараты Д213-215(А) для выделения атактики.

С нижней части центрифуги изотактический полимер выгружается по шнеку Т1А и направляется на сушку. Во избежание забивки шнека осуществляется постоянная продувка азотом через клапаны Р0875, Р1775 и промывка гептаном внутренней полости шнека центрифуги.

### **1.7. Сушка полипропилена**

Процесс сушки полимера осуществляется горячим азотом в двухступенчатом сушильном агрегате, в котором интенсивность сушки пневматической сушилки В1А сочетается с глубиной сушки двухкамерной сушилки "кипящего" слоя В2А. Любая из ступеней сушки имеет свой независимый контур циркуляции теплоносителя (азота).

В пневматическую сушилку подается влажный полимер из центрифуги Р10А шнеком Т1А через бункер Р35А и измельчитель комков Р34А.

Поток горячего азота, подаваемый снизу, испаряет большую часть растворителя и доставляет порошок полимера в параллельно работающие циклоны, в которых происходит разделение фаз.

Твердая фаза — полимер - секторными нагнетателями подается на вторую ступень сушки - сушилку "кипящего" слоя В2А.

Поток горячего теплоносителя насыщенный парами растворителя, поступает на очистку в скруббер С1А.

В верхнюю часть на орошение скруббера С1А подается гептан насосами через холодильник Е9А. При этом гептан в скруббере конденсирует и поглощает определенную часть унесенных паров растворителя. Уровень в скруббере поддерживается постоянным за счет подачи насосом части циркулирующего гептана на регенерацию в емкости Д205А и Д220А или для отмывки от щелочи в емкость Д12А.

Очищенный азот из скруббера газодувкой Р14А возвращается, предварительно нагреваясь в теплообменнике Е6А на первую ступень сушки в пневматическую сушилку В1А.

Глубокая сушка полимера происходит восходящим потоком горячего азота, подаваемого через перфорированные листы последовательно в нижнюю и верхнюю камеры сушилки.

Полимер поступает в верхнюю камеру сушилки В2А от центра проходит к периферии, обтекая по спирали, встроенные в теплообменники и пересыпается с верхней камеры в нижнюю, аналогичным образом обтекая по спирали, проходит от периферии к центру и через центральную трубу питателями подается в линию пневмотранспорта.

Для поддержания потока азота через шнек, ворошитель Р35А, во избежание забивки шнеков и в целях удаления накопившихся углеводородов в первом цикле сушки производится постоянная сдвух азота перед теплообменником Е6А в Д217А.

Азот, насыщенный парами растворителя, из верхней камеры сушилки поступает в циклон Д35А, где происходит отделение унесенного порошка и возврат его питателем Р32А через бункер Д36А в линию выгрузки сухого порошка.

Из циклонов Д35А азот газодувкой Р18А подается в нижнюю часть скруббера С2А, в верхнюю часть скруббера С2А для орошения подается гептан насосами G16А через холодильник Е8А. В холодильнике Е8А в качестве хладагента используется захлажденный гептан. Гептан, подаваемый на орошение, конденсирует и поглощает унесенные азотом пары растворителя.

Уровень в скруббере С2А поддерживается постоянным за счет подачи части циркуляционного гептана в скруббер первой ступени С1А от насоса G16А. На всоси насоса подается 20%-ный раствор щелочи для нейтрализации кислых продуктов разложения катализаторных комплексов насосом G71А с ротаметром в количестве 6-10 л/час.

Очищенный азот из скруббера С2А возвращается газодувкой Р16А, предварительно нагреваясь в теплообменнике Е7А, в сушилку "кипящего" слоя.

Кроме того, наибольшая часть азота от газодувки Р16А поступает на всос газодувки Р33А, которая подает азот к пневматическим щеткам верхней камеры сушилки "кипящего" слоя В2А для обдувки нижней части перфорированного листа верхней камеры.

Сухой полимер транспортируется в циклон Д25А, откуда ссыпается в поданализный бункер Д28А. Азот на пневмотранспорт подается газодувкой Р17А.

## 2. РАСЧЁТ ТЕПЛООБМЕННИКА

### 2.1. Тепловой расчёт теплообменника

Исходные данные:

Массовый расход теплоносителя:  $G_1 := 3.15$  кг/с

Начальная температура воды:  $t_{2Н} := 25$  °С

Конечная температура воды:  $t_{2К} := 40$  °С

Начальная температура теплоносителя (гептан-пар)  $t_{1Н} := 75$  °С

Начальная температура теплоносителя (конденсатор-пар)  $t_{1К} := 45$  °С

Физико-химические показатели теплоносителя (гептан):

Теплопроводность:  $\lambda_1 := 0.12$  Вт/(м\*К)

Плотность:  $\rho_1 := 660$  кг/м<sup>3</sup>

Вязкость:  $\mu_1 := 0.318 \cdot 10^{-3}$  Па\*с

Средняя теплоёмкость:  $C_1 := 2430$  Дж/(кг\*К)

Давление:  $P_1 := 1.4$  МПа

Удельная теплота:  $r_1 := 420$  кДж/(кг\*К)

Физико-химические показатели воды при средней температуре:

$$\Delta t := 0.5 \cdot (t_{2Н} + t_{2К}) = 32.5 \quad \text{°С} \quad (1)$$

Теплопроводность:  $\lambda_2 := 0.61$  Вт/(м\*К)

Плотность:  $\rho_2 := 996$  кг/м<sup>3</sup>

Вязкость:  $\mu_2 := 767.9 \cdot 10^{-6}$  Па\*с

Средняя теплоёмкость:  $C_2 := 4190$  Дж/(кг\*К)

Давление:  $P_2 := 0.4$  МПа

Критерий Прандтля:  $P_r := 5.25$

Тепловая нагрузка аппарата:

$$Q := r_1 \cdot G_1 = 1.323 \times 10^3 \quad \text{кВт} \quad (2)$$

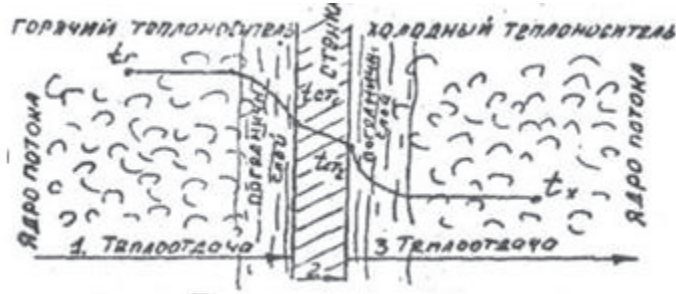


Рисунок 2.1. Условная схема процесса теплопередачи



Рисунок 2.2. Температурная схема

Средняя разность температур – определяется как среднее логарифмическое между большей и меньшей разностями температур теплоносителей на концах аппарата

$$\Delta t_{\text{cp}} := \frac{(t_{1\text{H}} - t_{2\text{K}}) - (t_{1\text{K}} - t_{2\text{H}})}{\ln\left(\frac{t_{1\text{H}} - t_{2\text{K}}}{t_{1\text{K}} - t_{2\text{H}}}\right)} = 26.804 \quad \text{К} \quad (3)$$

По таблице 2.1 [4, стр.47] принимаем значение коэффициента теплопередачи:

$$K_{\text{min}} := 300 \quad \frac{\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})}{2}$$

$$K_{\text{max}} := 800 \quad \frac{\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})}{2}$$

Определяем ориентировочное значение требуемой поверхности

$$F_{\text{min}} := \frac{Q \cdot 10^3}{K_{\text{max}} \cdot \Delta t_{\text{cp}}} = 61.698 \quad \frac{\text{м}^2}{2} \quad (4)$$

$$F_{\max} := \frac{Q \cdot 10^3}{K_{\min} \cdot \Delta t_{\text{cp}}} = 164.527 \quad \text{м}^2 \quad (5)$$

Расход воды:

$$G_{\text{в}} := \frac{Q \cdot 10^3}{4190 \cdot (t_{2\text{к}} - t_{2\text{н}})} = 21.05 \quad \text{кг/с} \quad (6)$$

Задаваясь числом Рейнольдса

$$Re_1 := 10^4$$

Определяем общее число труб для теплообмена из труб диаметром  $d=25 \times 2$  мм

$$n_z := \frac{4 \cdot G_{\text{в}}}{\pi \cdot 0.021 \cdot \mu_2 \cdot Re_1} = 166.204 \quad (7)$$

Уточненный расчет поверхности теплопередачи

В соответствии табл. 2.9 [4, стр.57] подбираем параметры кожухотрубчатого конденсатора

Отношение  $n/z$  принимает наиболее близкое значение у конденсаторов с параметрами:

Диаметр кожуха:  $D := 800 \quad \text{мм}$

Диаметр труб:  $d := 25 \quad \text{мм}$

Толщина стенки труб:  $s_{\text{тр}} := 2 \quad \text{мм}$

Число ходов:  $Z := 2$

Общее число труб:  $n := 442$

Длина труб:  $L := 4 \quad \text{м}$

Поверхность:  $F := 139 \quad \text{м}^2$

Внутренний диаметр труб:  $d_{\text{вн}} := 0.021 \quad \text{м}$

Определяем действительное число Рейнольдса

$$Re := \frac{4 \cdot G_{\text{в}} \cdot 2}{n \cdot \pi \cdot 0.021 \cdot \mu_2} = 7.521 \times 10^3 \quad (8)$$

Так как  $2300 < Re = 3760 < 10000$  критерий Нуссельта [2, стр.25]:



$$Nu := 0.008 \cdot Re^{0.9} \cdot Pr^{0.43} = 50.278 \quad (9)$$

Коэффициент теплоотдачи к воде [2, стр.24]:

$$\alpha_2 := Nu \cdot \frac{\lambda_2}{d_{вн}} = 1.46 \times 10^3 \quad \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (10)$$

Коэффициент местного сопротивления:

$$\varepsilon := 0.6$$

Коэффициент теплоотдачи от пара [4, стр.53]:

$$\alpha_1 := 2.02 \cdot \varepsilon \cdot \lambda_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho_1^2 \cdot L \cdot n}{\mu_1 \cdot G_1}} = 1.332 \times 10^3 \quad \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (11)$$

Сумма термических сопротивлений стенки труб из стали и загрязнений со стороны воды и пара равна [4, стр.48]:

$$\Sigma := \frac{0.002}{46.5} + \frac{1}{5800} + \frac{1}{5800} = 3.878 \times 10^{-4} \quad (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт} \quad (12)$$

Коэффициент теплопередачи:

$$K := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \Sigma} = 548.52 \quad \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (13)$$

Требуемая поверхность теплопередачи:

$$F_{\text{дейст}} := \frac{Q \cdot 10^3}{K \cdot \Delta t_{\text{сн}}} = 89.984 \quad \text{м}^2 \quad (14)$$

При этом запас поверхности конденсатора:

$$\Delta F := \frac{(F - F_{\text{дейст}}) \cdot 100}{F} = 35.263 \quad \% \quad (15)$$

## 2.2. Гидравлический расчёт

Скорость воды в трубах:

$$\omega_{\text{тр}} := \frac{4 \cdot G_B \cdot Z}{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2 \cdot n \cdot \rho_2} = 0.276 \quad \text{м}/\text{с} \quad (16)$$

Относительная шероховатость:

$$e := \frac{10^{-3}}{0.021} = 0.048 \quad (17)$$

При  $Re > 2300$  коэффициент трения:

$$\lambda := 0.25 \cdot \left[ \log \left[ \frac{e}{3.7} + \left( \frac{6.81}{Re} \right)^{0.9} \right] \right]^{-2} = 0.074 \quad (18)$$

По таблице 2.6 [4, стр.55] диаметр условного прохода штуцеров для трубного пространства при числе ходов по трубам  $z=2$  и диаметр  $D=800$  мм

$$d_{шт} := 250 \text{ мм}$$

Скорость воды в штуцерах:

$$\omega_{шт} := \frac{4 \cdot G_B}{\pi \cdot d_{шт} \cdot 10^{-3} \cdot \rho_2} = 0.108 \text{ м/с} \quad (19)$$

Гидравлические давление равно:

$$\Delta P_2 := \lambda \cdot \frac{L \cdot Z}{d_{вн}} \cdot \frac{\omega_{тр}^2 \cdot \rho_2}{2} + [2.5 \cdot (Z - 1) + 2 \cdot Z] \cdot \frac{\rho_2 \cdot \omega_{тр}^2}{2} + 3 \cdot \frac{\rho_2 \cdot \omega_{шт}^2}{2} \quad (20)$$

$$\Delta P_2 = 1.34 \times 10^3 \text{ Па}$$

Объемная производительность равна:

$$V := \frac{G_B}{\rho_2} = 0.021 \text{ м}^3/\text{с} \quad (21)$$

Коэффициенты полезного действия собственно насоса, передаточного механизма и электродвигателя

$$\eta_n := 0.6$$

$$\eta_{пер} := 1$$

$$\eta_{дв} := 0.8$$

Расчёт потребляемой мощности:

$$N := \frac{V \cdot \Delta P_2}{1000 \cdot \eta_n \cdot \eta_{пер} \cdot \eta_{дв}} = 0.059 \text{ кВт} \quad (22)$$

По ГОСТ 6000-88 Насосы центробежные конденсатные можно выбрать насос типа КсВ 320-160 который имеет следующие характеристики: Объемная производительность:  $Q=0.089$  м<sup>3</sup>/с, давление 0.98 Мпа, частота вращения 985 об/мин, Коэффициент полезного действия 0.77, Температура не более 398 К (125 С)

### 2.3. Конструктивный расчёт

Площадь проходного сечения трубок одного хода:

$$F_1 := \frac{G_B}{\rho_2 \cdot \omega_{\text{тр}}} = 0.077 \quad \text{м}^2 \quad (23)$$

Количество трубок в одном ходе:

$$n_1 := \frac{4F_1}{\pi \cdot d_{\text{вн}}^2} = 221 \quad \text{шт} \quad (24)$$

Расчетный диаметр трубки:

$$d_p := 0.5 \cdot (0.025 + 0.021) = 0.023 \quad \text{м}$$

Расчётная длина одной трубки при одном ходе:

$$L_p := \frac{F}{\pi \cdot d_p \cdot n_1} = 8.705 \quad \text{м} \quad (25)$$

Число ходов трубного пространства:

$$Z_1 := \frac{L_p}{4} = 2.176 \quad (26)$$

Принимаем  $Z=2$

Общее количество трубок в теплообменнике:

$$n_2 := Z \cdot n_1 = 442 \quad (27)$$

Принимаем  $n=442$

Число труб, расположенных на стороне наибольшего шестиугольника:

$$x := 1$$

Given

$$3x \cdot (x - 1) = n \quad (28)$$

$$\text{Find}(x) = 12.648$$

$$a := 12.65$$

Число труб, расположенных по диагонали наибольшего шестиугольника:

$$b := 2 \cdot a - 1 = 24.3 \quad (29)$$

Коэффициент заполнения трубкой решётки:

$$\eta := 0.6$$

Диаметр теплообменника:

$$D_{\text{вн}} := 11 \cdot \left( 1.2 \cdot \frac{d}{1000} + 2 \right) \cdot \sqrt{\frac{n}{\eta}} = 606.072 \quad \text{мм} \quad (30)$$

Принимаем  $D = 800$  мм. Задаемся этим параметром, исходя из каталога курганхиммаша<sup>ВН</sup>, для схожего теплообменника

## 2.4. Механический расчёт теплообменника

### 2.4.1. Расчётные параметры

#### 2.4.1. Расчётное напряжение

Основные характеристики стали определяем согласно [2] ГОСТ Р 52857.1<sup>-2007</sup>: допустимое напряжение, предел текучести, модуль упругости.

Рабочая температура холодного теплоносителя:

$$t_{\text{хол}} := 25 \quad \text{°C}$$

Рабочая температура горячего теплоносителя:

$$t_{\text{гор}} := 75 \quad \text{°C}$$

Материал 12X18H10T

Допускаемое напряжение материала 12X18H10T при температуре 20 градусов:

$$\sigma_{\text{л}20} := 184 \quad \text{МПа}$$

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 184 \\ 7 \end{pmatrix}$$

Допускаемое напряжение материала 12X18H10T при рабочей температуре холодного теплоносителя:

$$\sigma_{\text{л}25} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\text{хол}}), 0.5)$$

$$\sigma_{\text{л}25} = 183 \quad \text{МПа}$$

Допускаемое напряжение материала 12X18H10T при рабочей температуре горячего теплоносителя:

$$\sigma_{\text{л}75} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\text{гор}}), 0.5)$$

$$\sigma_{Л75} = 177 \quad \text{МПа}$$

Плотность рабочей среды:

$$\rho_{ср} := \rho_1 = 660 \quad \text{кг/м}^3$$

Давление рабочее в межтрубном пространстве  $P_{MT} := 1.4 \quad \text{МПа}$

Давление рабочее в трубном пространстве  $P_{Tr} := 0.4 \quad \text{МПа}$

Сварка аппарата полуавтоматическая, сварной шов стыковой односторонний, контролируемая длина сварных швов 100%

$$\phi := 0.9$$

Коэффициент запаса устойчивости Для рабочих условий

$$n_y := 2.4$$

#### 2.4.1 Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов

Прибавку к расчетным толщинам согласно [2, с.10]

Скорость коррозии материала от действия заданной среды:

мм/год

Срок эксплуатации аппарата:

20 лет

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии: мм 2

Прибавка для компенсации минусового допуска; 0,5

$$c_1 := P \cdot \tau = 2 \quad \text{мм Технологическая прибавка; } 0,7 \quad (31)$$

мм

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов: мм

#### 2.4.1 Расчет давлений

Давление в трубном пространстве:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 2 \quad (32)$$

Расчетное давление в трубном пространстве в рабочих условиях:

$$P_{рас1} := P_{тр} = 0.4 \quad \text{МПа} \quad (33)$$

Давление при гидравлических испытаниях

$$P_{и1} := 1.25 \cdot P_{рас1} \cdot \frac{\sigma_{л20}}{\sigma_{л5}} = 0.503 \quad \text{МПа} \quad (34)$$

Условное давление

$$P_{усл1} := P_{рас1} \cdot \frac{\sigma_{л20}}{\sigma_{л5}} = 0.402 \quad \text{МПа} \quad (35)$$

*Давление в межтрубном пространстве:*

Расчетное давление:

$$P_{рас2} := P_{мт} = 1.4 \quad \text{МПа} \quad (36)$$

Давление при гидравлических испытаний

$$P_{и2} := 1.25 \cdot P_{рас2} \cdot \frac{\sigma_{л20}}{\sigma_{л75}} = 1.819 \quad \text{МПа} \quad (37)$$

Условное давление

$$P_{усл2} := P_{рас2} \cdot \frac{\sigma_{л20}}{\sigma_{л75}} = 1.455 \quad \text{МПа} \quad (38)$$

#### **2.4.2. Расчет толщины стенок корпуса аппарата**

Согласно [5] ГОСТР52857.2-2007, определяем толщины стенок обечайки, днища, крышки, проводим проверку на прочность стенок корпуса аппарата, рубашки.

#### **2.4.2 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки**

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p1} := \max \left( \frac{P_{рас2} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{л75} - P_{рас2}}, \frac{P_{и2} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{л20} - P_{и2}} \right) = 4.418 \quad \text{мм} \quad (39)$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$s_{и1} := s_{p1} + c = 6.418 \quad \text{мм} \quad (40)$$

Принимаем исполнительную толщину стенки с учётом ряда стандартных толщин

$$s_1 := 8 \quad \text{мм}$$

Усл1 := "Условия применения формул безмоментной теории выполняются"

Усл2 := "Условия применения формул НЕ выполняются"

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров}_1 := \begin{cases} \text{Усл1} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{Усл2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров<sub>1</sub> = "Условия применения формул безмоментной теории выполняются"

Допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_{д75} \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 2.372 \quad \text{МПа} \quad (41)$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления:

Усл1 := "Условие прочности для цилиндрической обечайки выполняется"

Усл2 := "Условие прочности НЕ выполняется"

$$\text{Пров}_2 := \begin{cases} \text{Усл1} & \text{if } P_{д1} > P_{и2} \\ \text{Усл2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров<sub>2</sub> = "Условие прочности для цилиндрической обечайки выполняется"

#### 2.4.2. Расчет толщины стенки распределительной камеры

Расчетная толщина стенки распределительной камеры при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p2} := \max \left( \frac{P_{рас1} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{д25} - P_{рас2}}, \frac{P_{и1} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{д20} - P_{и1}} \right) = 1.216 \quad \text{мм} \quad (42)$$

Исполнительная толщина стенки распределительной камеры:

$$s_{и2} := s_{p2} + c = 3.216 \quad \text{мм} \quad (43)$$

Принимаем исполнительную толщину стенки по рекомендации ОСТ 26291-94 [7, с.59]

$s_2 := 8$  мм

$Усл1 :=$  "Условия применения формул безмоментной теории выполняются"

$Усл2 :=$  "Условия применения формул НЕ выполняются"

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$Пров_3 := \begin{cases} Усл1 & \text{if } \frac{s_2 - c}{D} \leq 0.1 \\ Усл2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Пров_3 =$  "Условия применения формул безмоментной теории выполняются"

Допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д2} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д25} \cdot \phi \cdot (s_2 - c)}{D + (s_2 - c)} = 3.261 \quad \text{МПа} \quad (44)$$

Проверка условия прочности стенок, распределительной камеры от действия внутреннего давления:

$Усл1 :=$  "Условие прочности для цилиндрической обечайки выполняется"

$Усл2 :=$  "Условие прочности НЕ выполняется"

$$Пров_4 := \begin{cases} Усл1 & \text{if } P_{д2} > P_{и1} \\ Усл2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Пров_4 =$  "Условие прочности для цилиндрической обечайки выполняется"

Толщина перегородки распределительной камеры:

$s_{\text{перегородки}} := \frac{8}{10}$  мм

#### 2.4.2. Расчет толщины стенки днища (крышки) аппарата



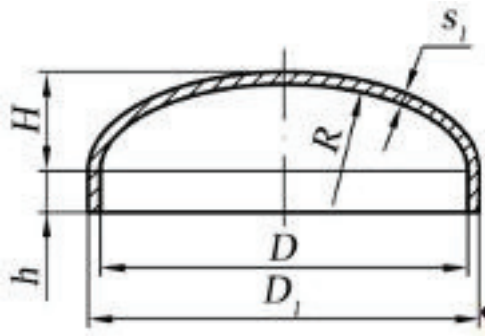


Рисунок . 2.3. Эскиз днища (крышки) эллиптическое отбортованное стальное.

Радиус кривизны в вершине крышки равен: (для эллиптических оболочек)

$$R := D = 800 \quad \text{мм}$$

Расчет толщины стенки днища (крышки) под действием внутреннего давления:

$$s_{p3} := \max\left(\frac{P_{рас1} \cdot R}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д25} - 0.5P_{рас1}}, \frac{P_{и1} \cdot R}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д20} - 0.5P_{и1}}\right) = 1.215 \quad \text{мм} \quad (45)$$

Исполнительная толщина стенки днища(крышки)

$$s_{и3} := s_{p3} + c = 3.215 \quad \text{мм} \quad (46)$$

Принимаем исполнительную толщину стенки по рекомендации ОСТ 26291-94 [7, с.59]

$$s_3 := 8 \quad \text{мм} \quad (47)$$

Подбираем эллиптическое днище (крышка) 800x8-25-12X18H10T ГОСТ 6533-68 с основными размерами:

Диаметр: 800 мм

Толщина:  $s=8$  мм

$h=25$  мм

$H=200$  мм

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров}_5 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } 0.002 \leq \frac{s_3 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров<sub>5</sub> = "Условия применения формул выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{дз} := \frac{2 \cdot \sigma_{д25} \cdot \phi \cdot (s_3 - c)}{R + (s_3 - c)} = 2.452 \quad \text{МПа} \quad (48)$$

Проверка условия прочности стенки днища (крышки):

Усл1 := "Условие прочности стенки днища (крышки) выполняется"

Усл2 := "Условие прочности НЕ выполняется"

Пров<sub>6</sub> :=  $\begin{cases} \text{Усл1} & \text{if } P_{дз} > P_{и1} \\ \text{Усл2} & \text{otherwise} \end{cases}$

Пров<sub>6</sub> = "Условие прочности стенки днища (крышки) выполняется"

## 2.5. Расчет фланцевого соединения для фланцев кожуха аппарата

Тип фланца: Фланцевое соединение с уплотнительной поверхностью типа выступ — впадина

Материал фланца: 12X18H10T

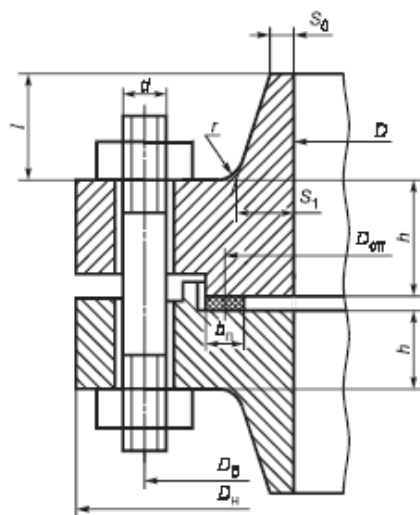


Рисунок 2.4. Фланцевое соединение с уплотнительной поверхностью типа выступ — впадина

Давление для расчета фланцевого соединения:

$$P_{и2} = 1.819 \text{ МПа}$$

Диаметр болтов принимаем конструктивно по таблице 1.40 [6, стр. 94] для условных давлений среды до 2,5 МПа:

Внутреннее давление $P_p$ , МПа	Диаметр аппарата, мм							
	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	> 2200
0—0,6	20	20	20	20	20	20	24	24—30
0,6—1,0	20	20	20	20	24—30	24—30	30	30
1,0—1,6	20	20	24—30	24—30	24—30	24—30	30	30
1,6—2,5	20	20	24—30	24—30	24—30	30	30	—
2,5—4,0	30	30	36	36	36	42	42	—
4,0—6,4	30	42	42	48	48	52	52	—
6,4—8,0	30—36	42	48	52—56	52—56	—	—	—
8,0—10,0	36—42	48	52—56	56—64	56—64	—	—	—

Рисунок 2.5. Рекомендуемые диаметры болтов (шпилек) в зависимости от давления и диаметра аппарата

$$d_b := 20 \text{ мм}$$

Расчетная температура фланцевого соединения (не изолированного):

$$t_{ф} := t_{гор} \cdot 0.96 = 72 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (49)$$

Расчетная температура болтов:

$$t_b := t_{гор} \cdot 0.85 = 63.75 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (50)$$

Материал для болтов:

Допускаемое напряжение материала при рабочей температуре для болта 12X18H10T

$$\sigma_b := \text{Floor}(\text{interp}(t, \sigma, t_b), 0.5) = 178.5 \text{ МПа}$$

Материал для фланцевого соединения 12X18H10T

Допускаемое напряжение материала при рабочей температуре для фланцев:

$$\sigma_m := \text{Floor}(\text{interp}(t, \sigma, t_m), 0.5) = 177.5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение материала при испытаниях при температуре 20 °C:

$$\sigma_{m20} := 196 \text{ МПа}$$

Материал прокладки: паронит ПОН.

Основные размеры смотри таблицу 1.42 [6, стр. 96]:

$$b_n := 14 \text{ мм}$$

$$h := 2 \text{ мм}$$

Расчет фланцевого соединения: Расчет проводим согласно ГОСТ Р 52857.4-2007.

Конструктивно подбираем фланцевые соединения с приварными встык фланцами с гладкой уплотнительной поверхностью.

Нормативный зазор между гайкой и втулкой

$$u := 6 \text{ мм}$$

Конструктивная добавка для размещении гаек по диаметру фланца, для гаек шестигранных (обычных), смотри таблицу 1.41 [6, стр. 95]:

$$a := 40 \text{ мм}$$

Нормальный параметр  $e$ , для плоских прокладок

$$e := 30 \text{ мм}$$

Толщина цилиндрической части втулки принята:

$$s_0 := 8 \text{ мм}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c = 2 \text{ мм}$$

Коэффициент  $\beta_1$  по Рис 1.39 [10, стр. 95]:

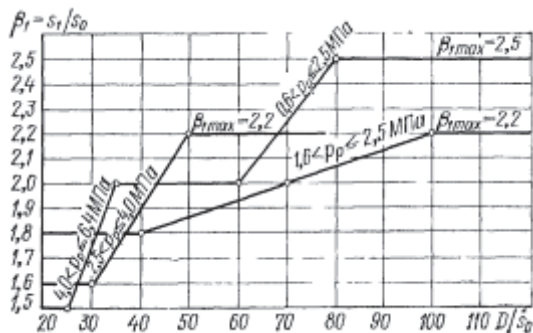


Рисунок 2.6. График для определения коэффициента

$$\beta_1 := 2.5$$

Толщина конической части втулки:

$$s_{1в} := \beta_1 \cdot s_0 = 20 \text{ мм} \quad (51)$$

Расчетный диаметр болтовой окружности фланцев:

$$D_6 := D + 2 \cdot (s_{1B} + d_6 + u) = 892 \quad \text{мм} \quad (52)$$

Расчетный наружный диаметр фланцев:

$$D_H := D_6 + a = 932 \quad \text{мм} \quad (53)$$

Наружный диаметр прокладки:

$$D_{HP} := D_6 - e = 862 \quad \text{мм} \quad (54)$$

Средний диаметр прокладки:

$$D_{CP} := D_{HP} - b_P = 848 \quad \text{мм} \quad (55)$$

Удельное давление обжатия прокладки, смотри [29, стр. 30]

$$q_{обж} := 20 \quad \text{МПа}$$

Прокладочный коэффициент: смотри таблицу [29, стр. 31]:

$$m := 2.5$$

Усилие для смятия прокладки при затяжке [29]:

$$P_{обж} := 0.5 \cdot \pi \cdot D_{CP} \cdot b_P \cdot q_{обж} = 3.73 \times 10^5 \quad \text{Н} \quad (56)$$

Усилие для обеспечения герметичности фланцевого соединения:

$$R_H := \pi \cdot D_{CP} \cdot b_P \cdot m \cdot P_{усл2} = 1.357 \times 10^5 \quad \text{Н} \quad (57)$$

Шаг расположение болтов, согласно таблице 1.43 [6, стр. 97]:

$$t_{ш} := 3.5 \cdot d_6 = 70 \quad \text{мм} \quad (58)$$

Количество болтов необходимых для обеспечения герметичности соединения:

$$n_{б1} := \pi \cdot \frac{D_6}{t_{ш}} = 40.033 \quad (59)$$

Примем количество болтов (принимаем кратное четырем):

$$n_6 := 48$$

Расчетная площадь поперечного сечения болтов согласно [6, стр. 98 ], для болтов диаметром 20 мм:

$$f_6 := 235 \quad \text{мм}^2$$

Суммарная площадь сечения болтов по внутреннему диаметру резьбы диаметра:

$$A_6 := n_6 \cdot f_6 = 1.128 \times 10^4 \quad \text{мм}^2 \quad (60)$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot P_{и2} \cdot D_{сп}^2 = 1.027 \times 10^6 \quad \text{Н} \quad (61)$$

Плечи действий усилия в болтах:  
-Для приваренных встык фланцев:

$$b := 0.5 \cdot (D_b - D_{сп}) = 22 \quad \text{мм} \quad (62)$$

Уклон втулки (принимаем):

$$i := \frac{1}{3} \quad (63)$$

Высота втулки:

$$h_b := \frac{1}{i} \cdot (s_{1в} - s_0) = 36 \quad \text{мм} \quad (64)$$

Принимаем:  $h_b := 45 \quad \text{мм}$

Эквивалентная толщина втулки фланца:

$$s_{эк} := s_0 \cdot \left[ 1 + \frac{h_b \cdot (\beta_1 - 1)}{h_b + 0.25 \cdot (\beta_1 + 1) \cdot \sqrt{D \cdot s_0}} \right] = 12.696 \quad \text{мм} \quad (65)$$

Высота фланца:

Коэффициент для фланцев приваренных встык при условном давлении, смотри Рис. 1.40 [6, стр. 97 ], с условным давлением.  $P_{усл2}$

$$\lambda_{ф} := 0.35$$

$h_{ф} := 100 \quad \text{мм}$       Задали высоту фланца конструктивно, чтобы выполнялось условие  $Ул_1$

$$Ул_1 := \begin{cases} \text{"Условия выполняются"} & \text{if } h_{ф} \geq \lambda_{ф} \cdot \sqrt{D \cdot s_{эк}} \\ \text{"Условия НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$Ул_1 = \text{"Условия выполняются"}$

Плечо усилий от давления на фланец:

$$e_1 := 0.5 \cdot (D_{сп} - D - s_{эк}) = 17.652 \quad \text{мм} \quad (66)$$

Податливость металлической прокладки:

$$y_n := 0$$

Расстояние между опорными поверхностями гаек:

$$l_{b0} := 2 \cdot h_{\phi} + h = 202 \quad \text{мм} \quad (67)$$

Эффективная длина болта (шпильки):

$$l_b := (l_{b0} + 0.28 \cdot d_b) = 207.6 \quad \text{мм} \quad (68)$$

Модуль упругости при температуре 20 градусов:

-Для болта из стали 12Х18Н10Т

Модуль упругости материала болта при температуре 20 градусов:

$$E_{b20} := 2 \cdot 10^5 \quad \text{МПа}$$

$$\gamma_b := \frac{l_b}{E_{b20} \cdot f_b \cdot n_b} = 9.202 \times 10^{-8} \quad (69)$$

Параметр длины обечайки:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot s_0} = 80 \quad \text{мм} \quad (70)$$

Отношение наружного диаметра фланца к внутреннему диаметру:

$$K := \frac{D_{\text{нп}}}{D} = 1.077 \quad (71)$$

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot 0.43429 \cdot \ln(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.883 \quad (72)$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot 0.43429 \cdot \ln(K)) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 28.45 \quad (73)$$

$$\beta_Y := \frac{1}{K - 1} \cdot \left[ 0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot (0.43429 \cdot \ln(K))}{K^2 - 1} \right] = 26.156 \quad (74)$$

$$\beta_Z := \frac{(K^2 + 1)}{(K - 1)} = 13.422 \quad (75)$$

$$\frac{s_{1B}}{s_0} = 2.5 \quad \frac{h_B}{l_0} = 0.563 \quad (76)$$

По рисунку К2, К3, К4 ГОСТ Р 52857.4—2007 [29] определяем:

$$\beta_F := 0.84$$

$$\beta_V := 0.22$$

$$f := 2.5$$

Вычислим коэффициент  $\lambda$ :

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h_{\phi} + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h_{\phi}^3}{\beta_U \cdot l_0} = 97.75 \quad (77)$$

Модуль упругости материала фланца 12X18H10T для низколегированных сталей, при температуре 20 градусов:

$$E_{\phi 20} := 2 \cdot 10^5 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости материала фланца при рабочей температуре  $t_{\phi}$

$$t_{\text{таб}} := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \text{ } ^\circ\text{C} \quad E_{\phi\_T} := \begin{pmatrix} 2 \cdot 10^5 \\ . \end{pmatrix} \quad \text{МПа}$$

$$E_{\phi} := \text{Floor}(\text{interp}(t_{\text{таб}}, E_{\phi\_T}, t_{\phi}), 0.5) = 2 \times 10^5 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости материала болта при рабочей температуре  $t_b$  градусов:

$$t_{\text{таб1}} := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \text{ } ^\circ\text{C} \quad E_{b\_T} := \begin{pmatrix} 2 \cdot 10^5 \\ . \end{pmatrix} \quad \text{МПа}$$

$$E_b := \text{Floor}(\text{interp}(t_{\text{таб1}}, E_{b\_T}, t_b), 0.5) = 2 \times 10^5 \quad \text{МПа}$$

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_{\phi} := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{\lambda \cdot s_0^2 \cdot l_0 \cdot E_{\phi 20}} = 2 \times 10^{-12} \quad (78)$$

Жесткость фланцевого соединения:

$$\gamma := \frac{1}{y_n + y_b \cdot \frac{E_{b20}}{E_b} + 2 \cdot b^2 y_{\phi} \cdot \frac{E_{\phi 20}}{E_{\phi}}} = 1.064 \times 10^7 \quad (79)$$

### Усилие возникающее от температурных деформаций

Температурный коэффициент линейного расширения материала фланцев 12X18H10T (см приложение Г ГОСТ Р 52857.1-2007)

$$\alpha_{\phi 1} := 16.6 \cdot 10^{-6}$$



$$\alpha_{\phi 2} := 16.6 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha_{\phi} := 16.6 \cdot 10^{-6}$$

Температурный коэффициент линейного расширения болтов 12Х18Н10Т

$$\alpha_2 := 16.6 \cdot 10^{-6}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением:

$$\alpha := 1 - \frac{y_n - 2 \cdot y_{\phi} \cdot e_1 \cdot b}{y_n + y_b + 2 \cdot y_{\phi} \cdot b^2} = 1.017 \quad (80)$$

Нагрузка на болты при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов:

$$P_{b1} := \max(P_{обж}, 0.4 \cdot \sigma_b \cdot A_b) = 8.054 \times 10^5 \quad \text{Н} \quad (81)$$

При рабочих условиях:

$$P_{b2} := P_{b1} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d) = 7.884 \times 10^5 \quad \text{Н} \quad (82)$$

Расчётная нагрузка на болты (шпильки) фланцевых соединений:

- при затяжке фланцевого соединения

$$P_{бм} := \max(P_{b1}, P_{b2}) = 8.054 \times 10^5 \quad \text{Н} \quad (83)$$

- в рабочих условиях

$$P_{бр} := P_{бм} + (1 - \alpha) \cdot Q_d = 7.884 \times 10^5 \quad \text{Н} \quad (84)$$

Расчетные напряжения в болтах при затяжке:

$$\sigma_{b1} := \frac{P_{бм}}{A_b} = 71.4 \quad \text{МПа} \quad (85)$$

В рабочих условиях

$$\sigma_{b2} := \frac{P_{бр}}{A_b} = 69.894 \quad \text{МПа} \quad (86)$$

Номинальное допускаемое напряжение для болтов при рабочей температуре:

$$t_{\text{таб1}} := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \text{°C} \quad \sigma_{\text{таб1}} := \begin{pmatrix} 196 \\ 77 \end{pmatrix} \quad \text{МПа}$$

$$(\sigma_b) := \text{Floor}(\text{interp}(t_{\text{таб1}}, \sigma_{\text{таб1}}, t_b), 0.5) = 185.5 \quad \text{МПа}$$

Номинальное допускаемое напряжение для болтов при гидроиспытаниях:

$$\sigma_{620} := 196 \quad \text{МПа}$$

где  $\xi = 1,2$  — коэффициент увеличения допускаемых напряжений при затяжке;

$K_{y.p}$  — коэффициент условий работы:

$K_{y.p1} = 1,0$  для рабочих условий;

$K_{y.p2} = 1,35$  для условий испытания.

$$\xi := 1.2$$

$$K_{y.p1} := 1 \quad K_{y.p2} := 1.35$$

$K_{y.z}$  — коэффициент условий затяжки:

$K_{y.z} = 1,3$  при затяжке с помощью одновременной контролируемой вытяжке шпильке;

$$K_{y.z} := 1.3$$

Рекомендуемые значения крутящих моментов при затяжке приведены в приложении Л.

$K_{y.T}$  — коэффициент учета нагрузки от температурных деформаций:

Учитываем температурные деформации:

$$K_{y.T} := 1.3$$

Допускаемые напряжения для болтов при затяжке в рабочих условиях и при расчете на условия испытания вычисляются по формулам:

При гидравлических испытаний

$$\sigma_{6m} := K_{y.p2} \cdot K_{y.z} \cdot \xi \cdot K_{y.T} \cdot \sigma_{620} = 536.609 \quad \text{МПа} \quad (87)$$

При рабочих условиях

$$\sigma_{6r} := K_{y.p1} \cdot K_{y.z} \cdot K_{y.T} \cdot \sigma_{620} = 313.495 \quad \text{МПа} \quad (88)$$

Условие прочности болтов при затяжке:

Усл1 := "Условия прочности болтов при гидроиспытаниях выполняются"

Усл2 := "Условия прочности НЕ выполняются"

$$\text{Услов1} := \begin{cases} \text{Усл1} & \text{if } \sigma_{61} \leq \sigma_{6m} \\ \text{Усл2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Услов1 = "Условия прочности болтов при гидроиспытаниях выполняются"

Условие прочности болтов в рабочих условиях:

$$\text{Услов2} := \begin{cases} \text{"Условия прочности болтов при работе выполняются"} & \text{if } \sigma_{б2} \leq \sigma_{бр} \\ \text{Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Услов2 = "Условия прочности болтов при работе выполняются"

Условие прочности прокладки:

Расчетное удельное давление:

$$q := \frac{\max(P_{б1}, P_{б2})}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}} = 21.594 \quad \text{МПа} \quad (89)$$

Удельное давление обжатия прокладки, смотри [8, стр. 31] Для стали марки 12Х18Н10Т

$$q_{д} := 69 \quad \text{МПа}$$

$$\text{Услов3} := \begin{cases} \text{"Условия прочности прокладки выполняются"} & \text{if } q \leq q_{д} \\ \text{Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Услов3 = "Условия прочности прокладки выполняются"

### 2.5.1. Расчет фланца на статическую прочность

Коэффициент учитывающий изгиб тарелки фланца между болтами:

$$C_{ф} := \max \left( 1, \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot D_{б}}{n_{б}}}{2 \cdot d_{б} + \frac{h_{ф} \cdot 6}{m + 0.5}}} \right) = 1 \quad (90)$$

Расчетный изгибающий момент действующий на фланец при затяжке:

$$M_{м} := C_{м} \cdot P_{б1} \cdot b = 1.772 \times 10^7 \quad \text{Н} \cdot \text{мм} \quad (91)$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях:

$$M_{р} := C_{м} \cdot \max[(P_{бр} \cdot b + Q_{д} \cdot e), e \cdot |Q_{д}|] = 2.014 \times 10^7 \quad \text{Н} \cdot \text{мм} \quad (92)$$

Приведенный диаметр приварного встык фланца с конической втулкой:

$$D_{\text{пр}} := \begin{cases} D & \text{if } D \geq 20 \cdot s_{1B} \\ (D + s_0) & \text{if } \begin{cases} f > 1 \\ D \leq 20 \cdot s_{1B} \end{cases} \\ (D + s_{1B}) & \text{if } \begin{cases} D \leq 20 \cdot s_{1B} \\ f = 1 \end{cases} \end{cases} = 800 \quad \text{мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

Меридиональное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца, обечайке плоского фланца

$$\sigma_{1M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (s_{1B} - c)^2 \cdot D_{\text{пр}}} = 0.699 \quad \text{МПа} \quad (93)$$

$$\sigma_{0M} := f \cdot \sigma_{1M} = 1.748 \quad \text{МПа} \quad (94)$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

Меридиональное изгибающее напряжение для плоского фланца:

$$\sigma_{1P} := \frac{M_P}{\lambda \cdot (s_{1B} - c)^2 \cdot D_{\text{пр}}} = 0.795 \quad \text{МПа} \quad (95)$$

$$\sigma_{0n} := f \cdot \sigma_{1P} = 1.987 \quad \text{МПа} \quad (96)$$

Меридиональные мембранные напряжения во втулке приварного встык фланца

$$\sigma_{0\text{мм-раб}} := \frac{Q_d}{\pi \cdot (D + s_0) \cdot (s_0 - c)} = 67.461 \quad \text{МПа} \quad (97)$$

Окружные мембранные напряжения от действия давления во втулке приварного встык фланца, плоского фланца  $S_0$ :

$$\sigma_{0\text{мо-раб}} := \frac{D \cdot P_{и2}}{2 \cdot (s_0 - c)} = 121.281 \quad \text{МПа} \quad (98)$$

### 2.5.2. Условия статической прочности фланцев

Для приварных встык фланцев с конической втулкой в сечении  $s_0$  условия статической прочности определяют по формулам: проверка согласно [8, стр. 15]:

с учетом стесненности температурных деформаций:

$$K_T := 1.3$$

Допускаемое значение суммарных общих и местных условных упругих мембранных и изгибных напряжений МПа;

$$\begin{aligned}\sigma_R &:= \sigma_{\text{ч}} = 177.5 && \text{МПа} \\ \sigma_R \cdot K_T &= 230.75 && \text{МПа}\end{aligned}$$

При затяжке:

УТВ1 := "Условия статической прочности фланца при затяжке выполняются"

УТВ2 := "Условия прочности НЕ выполняются"

$$\text{Услов}_{\text{стат}1} := \begin{cases} \text{УТВ1} & \text{if } \sigma_{0M} \leq \sigma_R \cdot K_T \\ \text{УТВ2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Услов<sub>стат</sub>1 = "Условия статической прочности фланца при затяжке выполняются"

В рабочих условиях:

$$\begin{aligned}\text{max1} &:= \max(|\sigma_{0n} - \sigma_{0\text{мм-наб}}|, |\sigma_{0n} + \sigma_{0\text{мм-наб}}|) \\ \text{max2} &:= \max(|0.3 \cdot \sigma_{0n} - \sigma_{0\text{мо-наб}}|, |0.3 \cdot \sigma_{0n} + \sigma_{0\text{мо-наб}}|) \\ \text{max3} &:= \max[|0.7 \cdot \sigma_{0n} - (\sigma_{0\text{мо-наб}} - \sigma_{0\text{мм-наб}})|, |0.7 \cdot \sigma_{0n} + (\sigma_{0\text{мо-наб}} - \sigma_{0\text{мм-наб}})|] \\ \max(\text{max1}, \text{max2}, \text{max3}) &= 121.877 && \text{МПа}\end{aligned}$$

УТВ3 := "Условия статической прочности фланца при работе выполняются"

УТВ4 := "Условия прочности НЕ выполняются"

$$\text{Услов}_{\text{стат}2} := \begin{cases} \text{УТВ3} & \text{if } \max(\text{max1}, \text{max2}, \text{max3}) \leq \sigma_R \cdot K_T \\ \text{УТВ4} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Услов<sub>стат</sub>2 = "Условия статической прочности фланца при работе выполняются"

### 2.5.3. Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык, плоского фланца и бурта свободного фланца в рабочих условиях

$$\theta := P_{\text{бр}} \cdot U_{\text{ф}} \cdot \frac{E_{\text{ф}20}}{E_{\text{ч}}} = 1.577 \times 10^{-6} \quad (99)$$

Допускаемый угол поворота фланца при D=800мм:

$$\theta_d := 0.00775$$

$$\text{Усл}_{\text{пф}} := \begin{cases} \text{"Условие угла поворота фланца выполняется"} & \text{if } \theta \leq \theta_d \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Усл}_{\text{пф}} = \text{"Условие угла поворота фланца выполняется"}$$

## 2.6. Расчет патрубков для штуцеров

Диаметр входного и выходного патрубка для холодного теплоносителя:  $d_{\text{хол}} := 250 \text{ мм}$

Диаметр входного и выходного патрубка для горячего теплоносителя:  $d_{\text{гор}} := 250 \text{ мм}$

Материал для патрубков назначаем конструктивно: 12Х18Н10Т (корпус аппарата изготовлен из такого же материала, используя один и тот же материал мы избегаем увеличения скорости коррозии)

Рабочая температура холодного теплоносителя:  $t_{\text{хол}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

Рабочая температура горячего теплоносителя:  $t_{\text{гор}} = 75 \text{ }^\circ\text{C}$

Длину патрубка назначаем конструктивно (чтобы было легко монтировать аппарат, и не было трудностей при его транспортировке)

Длина патрубка для горячего теплоносителя:  $l_{\text{гор}} := 240 \text{ мм}$

Длина патрубка для холодного теплоносителя:  $l_{\text{хол}} := 240 \text{ мм}$

Расчет толщины стенки патрубка холодного теплоносителя:

Расчетная толщина стенки патрубка холодного теплоносителя при внутреннем избыточном давлении, согласно [5]:

$$s_{p4} := \max\left(\frac{P_{\text{рас1}} \cdot d_{\text{хол}}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{л25}} - P_{\text{рас1}}}, \frac{P_{\text{и1}} \cdot d_{\text{хол}}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{л20}} - P_{\text{и1}}}\right) = 0.38 \text{ мм} \quad (100)$$

Исполнительная толщина стенки патрубка:

$$s_{и4} := s_{p4} + c = 2.38 \text{ мм} \quad (101)$$

Принимаем толщину стенки патрубка:

$$s_4 := 8 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Усл1} := \text{"Условия применения формул безмоментной теории выполняются"}$$

Усл2 := "Условия применения формул НЕ выполняются"

$$\text{Пров1} := \begin{cases} \text{Усл1} & \text{if } \frac{s_4 - c}{d_{\text{хол}}} \leq 0.1 \\ \text{Усл2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров1 = "Условия применения формул безмоментной теории выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{\text{д4}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д25}} \cdot \phi \cdot (s_4 - c)}{d_{\text{хол}} + (s_4 - c)} = 7.72 \quad \text{МПа} \quad (102)$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления:

Усл1 := "Условие прочности стенки для патрубка хол. теп. выполняется"

Усл2 := "Условие прочности НЕ выполняется"

$$\text{Пров2} := \begin{cases} \text{Усл1} & \text{if } P_{\text{д4}} > P_{\text{и2}} \\ \text{Усл2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров2 = "Условие прочности стенки для патрубка хол. теп. выполняется"

Расчет толщины стенки патрубка горячего теплоносителя:

Расчетная толщина стенки патрубка горячего теплоносителя, согласно [5]:

$$s_{\text{р5}} := \max \left( \frac{P_{\text{рас2}} \cdot d_{\text{гор}}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{д75}} - P_{\text{рас2}}}, \frac{P_{\text{и2}} \cdot d_{\text{гор}}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{д20}} - P_{\text{и2}}} \right) = 1.381 \quad \text{мм} \quad (103)$$

Исполнительная толщина стенки патрубка:

$$s_{\text{и5}} := s_{\text{р5}} + c = 3.381 \quad \text{мм} \quad (104)$$

Принимаем толщину патрубка:

$$s_5 := 8 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров3} := \begin{cases} \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{if } \frac{s_5 - c}{d_{\text{гор}}} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров3 = "Условия применения формул выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д5} := \frac{2 \cdot \sigma_{д75} \cdot \phi \cdot (s_5 - c)}{d_{гор} + (s_5 - c)} = 7.467 \quad \text{МПа} \quad (105)$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления:

Усл1 := "Условие прочности стенки патрубка гор. тепло. выполняется"

Усл2 := "Условие прочности НЕ выполняется"

$$\text{Пров4} := \begin{cases} \text{Усл1} & \text{if } P_{д5} > P_{и1} \\ \text{Усл2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров4 = "Условие прочности стенки патрубка гор. тепло. выполняется"

Подбор стандартных штуцеров для аппарата:

Штуцера горячего теплоносителя:

Подбор стандартных штуцеров осуществляем исходя из давления и принятой толщины патрубков, диаметра условного прохода.

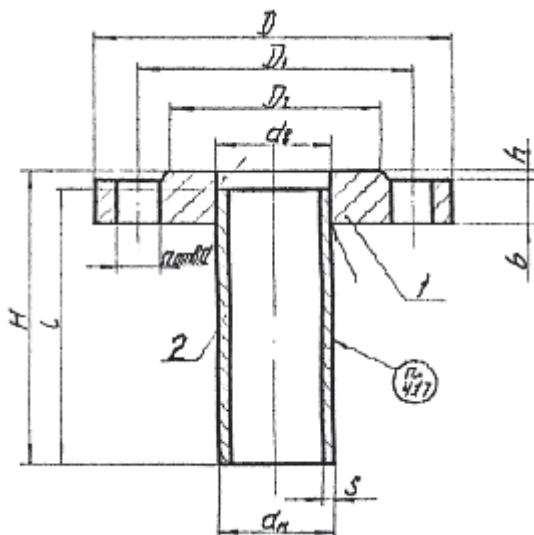


Рисунок 2.7. Штуцера с фланцами стальными плоскими приварными на условное давление от 0,6 до 2,5 МПа



Таблица 2.1. Основные размеры штуцеров горячего теплоносителя (мм).

$D_y$	$d_s$	$D$	$D_1$	$D_2$	$b$	$h$	$d$	$n$	$l$	$H$	$d_n$	$S$
250	276	370	335	312	20	3	18	12	210	220	273	10

Штуцера холодного теплоносителя:

Подбор стандартных штуцеров осуществляем исходя из давления и принятой толщины патрубков, диаметра условного прохода.

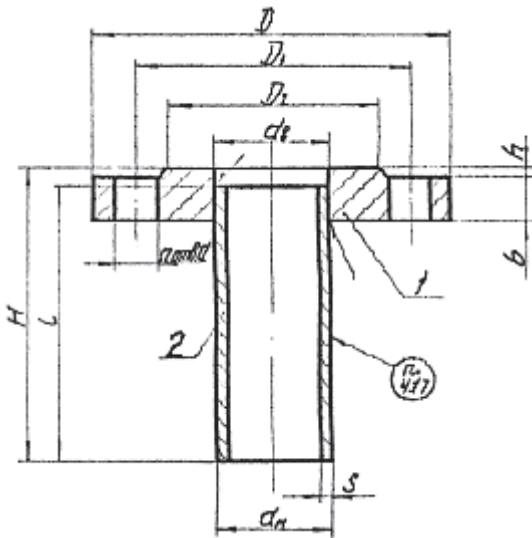


Рисунок 2.8. Штуцера с фланцами стальными плоскими приварными на условное давление от 0,6 до 2,5 МПа

Таблица. 2.2. Основные размеры штуцеров горячего теплоносителя (мм)

$D_y$	$d_s$	$D$	$D_1$	$D_2$	$b$	$h$	$d$	$n$	$l$	$H$	$d_n$	$S$
250	276	370	335	312	20	3	18	12	210	220	273	10

## 2.7. Укрепление отверстий парубков

Расчетный диаметр укрепляемых элементов:

Для цилиндрической оболочки:

$$D_p := D = 800 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстий в стенках обечайки, ось которого совпадает с нормалью к поверхности:

$$d_{рхол} := d_{хол} + 2 \cdot c = 254 \quad (106) \text{мм}$$

$$d_{ргор} := d_{гор} + 2 \cdot c = 254 \quad (107) \text{мм}$$

Расчетные длины внешней части круглого штуцера, участвующие в укреплении отверстий и учитываемые при расчете, определяют по формулам:

*Расчетная длина внешней части штуцеров:*

$$l_{1хол} := 1.25 \sqrt{(d_{хол} + 2 \cdot c) \cdot (s_4 - c)} = 48.798 \quad \text{мм} \quad (108)$$

$$l_{1гор} := 1.25 \sqrt{(d_{гор} + 2 \cdot c) \cdot (s_5 - c)} = 48.798 \quad \text{мм} \quad (109)$$

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

$$d_{0хол} := 2 \cdot \left( \frac{s_4 - c}{s_{p4}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_4 - c)} = 2.077 \times 10^3 \quad \text{мм} \quad (110)$$

$$d_{0гор} := 2 \cdot \left( \frac{s_5 - c}{s_{p5}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_5 - c)} = 491.261 \quad \text{мм} \quad (111)$$

Проверка необходимости проведения расчета на укреплении отверстий для штуцеров холодного теплоносителя:

Пров5 :=  $\begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера не требуется"} & \text{if } d_{рхол} < d_{0хол} \\ \text{Необходимо укрепления отверстия штуцера} & \text{otherwise} \end{cases}$

**Пров5 = "Расчет укрепления отверстия штуцера не требуется"**

Проверка необходимости проведения расчета на укреплении отверстий для штуцеров горячего теплоносителя:

Пров6 :=  $\begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера не требуется"} & \text{if } d_{ргор} < d_{0гор} \\ \text{Необходимо укрепления отверстия штуцера} & \text{otherwise} \end{cases}$

**Пров6 = "Расчет укрепления отверстия штуцера не требуется"**

## 2.8. Расчет теплообменника на прочность

### 2.8.1. Исходные данные

Поскольку в исходных данных не были указаны параметры для расчета конструктивных размеров аппарата, а именно длины труб, площади поперечного сечения, число труб в аппарате. Задаемся этими параметрами, исходя из каталога курганхиммаша, для схожего **теплообменника**

$$l_{\text{труб}} := 4000 \quad \text{мм}$$

Число труб:

$$n_{\text{тр}} := 422 \quad \text{трубы}$$

Для трубной решетки используем материал 12Х18Н10Т

Допускаемое напряжение трубной решетки:

$$\sigma_{\text{реш75}} := \sigma_{\text{д75}} = 177 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости:

$$t_{\text{таб}} := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \text{°C} \quad E_{\text{ф\_т}} := \begin{pmatrix} 2 \cdot 10^5 \\ . \end{pmatrix} \quad \text{МПа}$$

$$E_{\text{реш75}} := \text{Floor}(\text{linterp}(t_{\text{таб}}, E_{\text{ф\_т}}, t_{\text{гор}}), 0.5) = 2 \times 10^5 \quad \text{МПа}$$

$$E_{\text{к}} := E_{\text{реш75}} = 2 \times 10^5 \quad \text{МПа}$$

Для труб используется материал: 12Х18Н10Т

Допускаемое напряжение трубного пучка:

$$\sigma_{\text{тр25}} := \sigma_{\text{д25}} = 183 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости:

$$t_{\text{таб1}} := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \text{°C} \quad E_{\text{б\_т}} := \begin{pmatrix} 2 \cdot 10^5 \\ . \end{pmatrix} \quad \text{МПа}$$

$$E_{\text{тр25}} := \text{Floor}(\text{linterp}(t_{\text{таб1}}, E_{\text{б\_т}}, t_{\text{хол}}), 0.5) = 2 \times 10^5 \quad \text{МПа}$$

Коэффициент линейного расширения:

$$\alpha_{\text{т}} := 16.6 \cdot 10^{-6}$$

$$\alpha_{\text{к}} := 16.6 \cdot 10^{-6}$$

$$\text{Внутренний диаметр аппарата:} \quad D := 800 \quad \text{мм}$$

$$\text{Диаметр трубы внутренний:} \quad d_{\text{тр}} := 21 \quad \text{мм}$$

$$\text{Толщина стенки трубы:} \quad s_{\text{тр}} := 2 \quad \text{мм}$$

$$\text{Диаметр отверстия в решетке:} \quad d_0 := 25.5 \quad \text{мм}$$

$$\text{Диаметр трубы наружный:} \quad d_{\text{нр}} := 25 \quad \text{мм}$$

$$\text{Внутренний радиус кожуха:} \quad a := \frac{D}{2} = 400 \quad \text{мм}$$

Расстояние от оси кожуха до оси наиболее удаленной трубы:  $a_1 := 365 \text{ мм}$

Половина длины трубы теплообменного аппарата:  $l := 2000 \text{ мм}$

### 2.8.2. Определяем температурные деформации

Поперечное сечение:

$$F_K := \frac{\pi}{4} \cdot [(D + s_1)^2 - D^2] = 1.01 \times 10^4 \quad \text{мм}^2 \quad (112)$$

$$F_T := \frac{\pi}{4} \cdot [d_{\text{нр}}^2 - (d_{\text{нр}} - s_{\text{тр}})^2] = 75.398 \quad \text{мм}^2 \quad (113)$$

Температурная усадка:

$$Q_{\text{ТУ}} := \frac{(\alpha_T \cdot t_{\text{хол}} - \alpha_K \cdot t_{\text{гор}}) \cdot E_{\text{тр}25} \cdot F_T \cdot E_K \cdot F_K}{E_{\text{тр}25} \cdot F_T + E_K \cdot F_K} = -1.242 \times 10^4 \quad \text{Н} \quad (114)$$

Температурные напряжения:

$$\delta_{\text{Т.Т}} := \frac{Q_{\text{ТУ}}}{F_T} = -164.77 \quad \text{МПа} \quad (115)$$

$$\delta_{\text{Т.К}} := \frac{Q_{\text{ТУ}}}{F_K} = -1.23 \quad \text{МПа} \quad (116)$$

Проверка условия применения теплообменник типа Тн

$$\text{Проерка} := \begin{cases} \text{"Можно применять Тн"} & \text{if } |\delta_{\text{Т.Т}}| < \sigma_{\text{Д}25} \wedge |\delta_{\text{Т.К}}| < \sigma_{\text{Д}75} \\ \text{"Нельзя применять Тн"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проерка = "Можно применять Тн"

### 2.8.3. Расчет трубной решетки: согласно ГОСТ Р 52857.7-2007

Относительную характеристику беструбного края трубной решетки:

$$m_{\text{н}} := \frac{a}{a_1} = 1.096 \quad (117)$$

Шаг расположения труб, располагаются по равнобедренному квадрату:

$$t := 1.2 \cdot d_{\text{нр}} + 2 = 32 \quad \text{мм} \quad (118)$$

Эффективный диаметр отверстия в трубной решетке или задней стенке для решеток с трубами, закреплёнными на всю толщину решетки, мм

$$d_E := d_0 - s_{\text{Тр}} = 23.5 \text{ мм} \quad (119)$$

Эффективный коэффициент ослабления

$$\phi_E := 1 - \frac{d_E}{t} = 0.266 \quad (120)$$

Коэффициент прочности решетки:

$$\phi_p := \frac{t - 21}{t} = 0.344 \quad (121)$$

Толщина трубной решетки:

$$s_{p11} := \frac{D_{\text{сп}}}{3.4} \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{рас2}}}{\phi_E \cdot \sigma_{\text{реш75}}}} = 43.039 \text{ мм} \quad (122)$$

Принимаем толщину трубной решетки:

$$s_p := 50 \text{ мм}$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку вычисляют по формулам:  
- со стороны межтрубного пространства:

$$\eta_M := 1 - \frac{n_{\text{Тр}} \cdot d_{\text{Нр}}^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.505 \quad (123)$$

- со стороны трубного пространства:

$$\eta_T := 1 - \frac{n_{\text{Тр}} \cdot (d_{\text{Нр}} - 2 \cdot s_{\text{Тр}})^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.651 \quad (124)$$

*Основные характеристики жесткости элементов теплообменного аппарата.*

Модуль упругости основания (системы труб) вычисляют по формуле

$$K_y := \frac{E_{\text{Тр25}} \cdot (\eta_T - \eta_M)}{l_{\text{Труб}}} = 7.285 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^3} \quad (125)$$

Модуль упругости кожуха при температуре 75 градусов:

$$E_{\text{кож75}} := E_{\text{реш75}} = 2 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха вычисляют по формуле

$$\rho := \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l_{\text{труб}}}{E_{\text{кож}} \cdot 75 \cdot S_1} = 6.648 \quad (126)$$

Для аппаратов с неподвижными трубными решетками  $K_{1p}=K_{1q}=0$

$$K_{1p} := 0 \quad K_{1q} := 0$$

$K_q$  - коэффициент изменения жесткости системы трубы - кожух при действии осевой силы;

$$K_q := 1 + K_{1p} = 1 \quad (127)$$

$K_p$  - коэффициент изменения жесткости системы трубы - кожух при действии давления;

$$K_p := 1 + K_{1q} = 1 \quad (128)$$

Коэффициент жесткости перфорированной плиты  $\psi_0$

$$\eta_T = 0.651$$

Таблица. 2.3. Коэффициент жесткости перфорированной плиты  $\psi_0$

$\eta_T$	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85
$\psi_0$	0,12	0,15	0,2	0,25	0,3	0,37	0,44	0,51	0,59	0,68

$$\eta_{T\text{-таб}} := \begin{pmatrix} 0.65 \\ 0.7 \end{pmatrix}$$

$$\psi_{0\text{-таб}} := \begin{pmatrix} 0.37 \\ 0.44 \end{pmatrix}$$

$$\psi_0 := \text{Floor}[\text{interp}[\eta_{T\text{-таб}} \psi_{0\text{-таб}}(\eta_T)], 0.005] = 0.37$$

Коэффициент системы решетка - трубы:

$$\beta := \frac{1.82}{S_p} \cdot \sqrt[4]{\frac{K_y \cdot S_p}{\psi_0 \cdot E_{\text{нелл}} \cdot 75}} = 9.642 \times 10^{-3} \quad (130)$$

Безразмерный параметр системы решетка — трубы вычисляются по формуле

$$\omega := \beta \cdot a_1 = 3.519$$

**Определение усилий в элементах теплообменного аппарата**

- Максимальное давление в трубном пространстве

$$P_{\text{мак1}} := 0.4 \quad \text{МПа}$$

- Максимальное давление в межтрубном пространстве,

$$P_{\text{мак2}} := 1.4 \quad \text{МПа}$$

$R_1$  - радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, мм;

$$R_1 := \frac{D_H + D}{4} = 433 \quad \text{мм} \quad (131)$$

$K_{\text{ф}}$  - коэффициент жесткости фланцевого соединения при изгибе, Н·мм;

$$K_{\text{ф}} := 1 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

$m_{\text{ср}}$  — коэффициент влияния давления на продольную деформацию труб:

$$m_{\text{ср}} := 0.15 \cdot \frac{n_{\text{тр}} \cdot (d_{\text{нр}} - 2 \cdot s_{\text{тр}})^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.052 \quad (132)$$

$\alpha_K$  - коэффициент линейного расширения материала кожуха при температуре 75°C, 1/°C;

$$\alpha_K := 11.6 \cdot 10^{-6}$$

$\alpha_T$  - коэффициент линейного расширения материала труб при температуре 40°C 1/°C;

$$\alpha_T := 11.6 \cdot 10^{-6}$$

Приведенное давление  $p_0$  вычисляют по формуле:

$$p_{01} := [\alpha_K \cdot (t_{\text{гор}} - 20) - \alpha_T \cdot (t_{\text{хол}} - 20)] \cdot K_y \cdot l = 8.451 \quad (133)$$

$$p_{02} := [\eta_T - 1 + m_{\text{ср}} + m_n \cdot (m_n + 0.5\rho \cdot K_q)] \cdot P_{\text{мак1}} = 1.819 \quad (134)$$

$$p_{03} := [\eta_M - 1 + m_{\text{ср}} + m_n \cdot (m_n + 0.3\rho \cdot K_p)] \cdot P_{\text{мак2}} = 4.122 \quad (135)$$

$$p_0 := p_{01} + p_{02} - p_{03} = 6.148$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости фланцевого соединения вычисляют по формуле

$$\rho_1 := \frac{K_y \cdot a \cdot a_1}{\beta^2 \cdot K_{\text{ф}} \cdot R_1} = 2.643 \times 10^7 \quad \text{МПа} \quad (136)$$

Коэффициенты, учитывающие влияние беструбного края и поддерживающие влияние труб  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$ ,  $\Phi_3$  определяют по таблице

Таблица. 2.4. Коэффициенты  $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$ ,  $\Phi_3$

$\omega$	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
$\Phi_1$	2	2,0	2,06	2,28	2,79	3,58	4,5	5,39
$\Phi_2$	0	0,02	0,19	0,62	1,32	2,16	2,94	3,59
$\Phi_3$	0	0,19	0,76	1,65	2,75	3,76	4,65	5,36

$\omega$	4	5	6	7	8	9	10	> 10
$\Phi_1$	6,19	7,65	9,08	10,51	11,94	13,36	14,78	$\sqrt{2\omega}$
$\Phi_2$	4,13	5,13	6,15	7,17	8,19	9,2	10,21	$\omega$
$\Phi_3$	6,03	7,38	8,81	10,24	11,66	13,08	14,5	$\sqrt{2\omega}$

Безразмерный параметр системы решетка - трубы.  $\omega = 3.519$

$$\omega_{-1} := \begin{pmatrix} 3.5 \\ 4 \end{pmatrix} \quad \Phi_{1\_таб} := \begin{pmatrix} 5.39 \\ 6.1 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_1 := \text{Floor}(\text{interp}(\omega_{-1}, \Phi_{1\_таб}, \omega), 0.05) = 5.4$$

$$\omega_{-2} := \begin{pmatrix} 3.5 \\ 4 \end{pmatrix} \quad \Phi_{2\_таб} := \begin{pmatrix} 3.59 \\ 4.13 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_2 := \text{Floor}(\text{interp}(\omega_{-2}, \Phi_{2\_таб}, \omega), 0.05) = 3.6$$

$$\omega_{-3} := \begin{pmatrix} 3.5 \\ 4 \end{pmatrix} \quad \Phi_{3\_таб} := \begin{pmatrix} 5.36 \\ 6.03 \end{pmatrix}$$

$$\Phi_3 := \text{Floor}(\text{interp}(\omega_{-3}, \Phi_{3\_таб}, \omega), 0.05) = 5.35$$

Значения  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  вычисляются по формулам:

$$t_1 := 1 + 1.4\omega \cdot (m_n - 1) = 1.472$$

$$T_1 := \Phi_1 \cdot [m_n + 0.5(1 + m_n \cdot t_1) \cdot (t_1 - 1)] = 9.252$$

$$T_2 := \Phi_2 \cdot t_1 = 5.301$$

$$T_3 := \Phi_3 \cdot m_n = 5.863$$

Изгибающий момент и перерезывающую силу, распределенные по краю трубной решетки, вычисляются по формулам: - для изгибающего момента:



$s_{1k}$  - толщина стенки кожуха в месте соединения с трубной решеткой или с фланцем, мм

$$s_{1k} := 8 \quad \text{мм} \quad s_{2k} := 8 \quad \text{мм}$$

$\beta_{1x}$  - коэффициент системы кожух - решетка, 1/мм;

$$\beta_{1x} := \frac{1.3}{\sqrt{s_{1k} \cdot a}} = 0.023 \quad 1/\text{мм} \quad (137)$$

$\beta_{2x}$  - коэффициент системы обечайка - фланец камеры, 1/мм;

$$\beta_{2x} := \frac{1.3}{\sqrt{s_{2k} \cdot a}} = 0.023 \quad 1/\text{мм} \quad (138)$$

$h_{1\phi}$  - толщина тарелки фланца кожуха, мм;  $h_{1\phi} := 72 \quad \text{мм}$

$m_1$  - коэффициент влияния давления на изгиб фланца:

$$m_1 := \frac{1 + \beta_{1x} \cdot h_{1\phi}}{\beta^2} = 5.027 \times 10^3 \quad (139)$$

$m_2$  - коэффициент влияния давления на изгиб 2-го фланца:

$$m_2 := \frac{1 + \beta_{2x} \cdot h_{1\phi}}{\beta^2} = 5.027 \times 10^3 \quad (140)$$

$p_1$  - приведенное давление на фланцы

$$p_1 := \frac{K_y}{\beta \cdot K_{\phi}} \cdot (m_1 \cdot P_{\text{мак1}} - m_2 \cdot P_{\text{мак2}}) = -3.798 \times 10^6 \quad \text{МПа} \quad (141)$$

Расчетное давление воздушного охлаждения в камере аппарата:

$$P := P_{\text{мак2}} = 1.4 \quad \text{МПа} \quad (142)$$

$$M_{\Pi} := \left( \frac{a_1}{\beta} \right) \cdot \frac{p_1 \cdot (T_1 + \rho \cdot K_q) - p_0 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = -5.441 \times 10^3 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

- для перерезывающей силы:

$$Q_{\Pi} := a_1 \cdot \frac{p_0 \cdot (T_3 + \rho_1) - p_1 \cdot T_2}{(T_1 + \rho \cdot K_q) \cdot (T_3 + \rho_1) - T_2^2} = 158.63 \quad \text{Н} \quad (143)$$

Изгибающий момент и перерезывающие силы, распределенные по периметру перфорированной зоны решетки, вычисляются по формулам: - для изгибающего момента:

$$M_a := M_n + (a - a_1) \cdot Q_n = 110.845 \quad \text{Н} \cdot \text{мм} \quad (144)$$

- для перерезывающей силы:

$$Q_a := m_n \cdot Q_n = 173.841 \quad \text{Н} \quad (145)$$

Осевую силу и изгибающий момент, действующие на трубу, вычисляют по формулам: - для осевой силы:

$$N_T := \frac{\pi \cdot a_1}{i} \cdot [(\eta_M \cdot P_{\text{мак2}} - \eta_T \cdot P_{\text{мак1}}) \cdot a_1 + \Phi_1 \cdot Q_a + \Phi_2 \cdot \beta \cdot M_a] = 3.804 \times 10^6 \quad \text{Н} \quad (146)$$

- для изгибающего момента:

Внутренний диаметр трубы:

$$d_B := d_{\text{нр}} - 2 \cdot s_{\text{тр}} = 21 \quad \text{мм} \quad (147)$$

$J_T$  - момент инерции поперечного сечения трубы,  $\text{мм}^4$ ;

$$J_T := \frac{\pi}{64} \cdot (d_{\text{нр}}^4 - d_B^4) = 9.628 \times 10^3 \quad \text{мм}^4 \quad (148)$$

Приведенная длина трубы, используемая при расчете прогиба труб и изгибающего момента, действующего на трубу, мм;

$I_{\text{пр}}$  — вычисляют по формулам.

$$I_{\text{пр}} := I_{\text{труб}} = 4 \times 10^3 \quad \text{мм} \quad (149)$$

$$M_T := \frac{E_{\text{тр25}} \cdot J_T \cdot \beta}{K_y \cdot a_1 \cdot I_{\text{пр}}} \cdot (\Phi_2 \cdot Q_a + \Phi_3 \cdot \beta \cdot M_a) = 1.102 \times 10^3 \quad \text{Н} \cdot \text{мм} \quad (150)$$

Усилия в кожухе вычисляют по формулам:

- усилие, распределенное по периметру кожуха:

$$Q_k := \frac{a}{2} \cdot P_{\text{и2}} - Q_n = 205.212 \quad \text{Н} \quad (151)$$

- изгибающий момент, распределенный по периметру кожуха:

$$K_1 := 1$$

$$M_k := \frac{K_1}{\rho \cdot K_{\Phi} \cdot \beta} \cdot (T_2 \cdot Q_n + T_3 \cdot \beta \cdot M_n) - \frac{P_{\text{мак1}}}{2 \cdot \beta_{1x}^2} = 7.941 \times 10^3 \quad \text{Н} \cdot \text{мм} \quad (152)$$

- суммарная осевая сила, действующая на кожух:

$$F := \pi D \cdot Q_k = 5.158 \times 10^5 \quad \text{Н} \quad (153)$$

*Расчетные напряжения в элементах конструкции*

$D_H$  - наружный диаметр фланца, м;  $D_H = 932$  мм

$s_p$  - толщина трубной решетки, м;  $s_p = 50$  мм

$$s_{1p} := s_p = 50 \quad \text{мм} \quad (154)$$

$b_1$  - ширина тарелки фланца кожуха, м;

$$b_1 := \frac{D_H - D}{2} = 66 \quad \text{мм} \quad (155)$$

$R_1$  - радиус центра тяжести тарелки фланца кожуха, м;

$$R_1 = 433 \quad \text{мм} \quad (156)$$

*Расчетные напряжения в трубных решетках.*

Напряжения в трубной решетке в месте соединения с кожухом вычисляются по формулам:

- изгибные:

$$\sigma_{p1} := \frac{6 \cdot |M_n|}{(s_{1p} - c)^2} = 14.17 \quad \text{МПа} \quad (157)$$

- касательные:

$$\tau_{1p} := \frac{|Q_n|}{s_{1p} - c} = 3.305 \quad \text{МПа} \quad (158)$$

$A$  — коэффициент, определяемый по приложению Г ГОСТ Р 52857.7-2007 в зависимости от  $\omega$  и  $m_A$ :

$B$  — коэффициент, определяемый по приложению Г ГОСТ Р 52857.7-2007 в зависимости от  $\omega$  и  $n_B$ :

$m_A$ ,  $n_B$  - коэффициент для определения максимального изгибающего момента в перфорированной части трубной решетки;

$$\omega = 3.519$$

$$m_A := \frac{\beta \cdot M_a}{Q_a} = 6.148 \times 10^{-3} \quad (159)$$

$$n_B := \frac{Q_a}{\beta \cdot M_a} = 162.662 \quad (160)$$

По приложению Г ГОСТР52857.7-2007

$$A := 0.315 \quad B := 0.5$$

$M_{\max}$  — максимальный расчетный изгибающий момент в перфорированной части трубной решетки.

$$M_{\max} := \begin{cases} A \cdot \frac{|Q_a|}{\beta} & \text{if } \begin{cases} m_A \leq 1 \\ -1 \leq m_A \end{cases} \\ B \cdot |M_a| & \text{if } \begin{cases} m_A < -1 \\ A > 1 \end{cases} \end{cases} = 5.68 \times 10^3 \quad \text{Н} \cdot \text{мм}$$

Напряжения в перфорированной части трубной решетки вычисляются по формулам:

- изгибные:

$$\sigma_{p2} := \frac{6 \cdot M_{\max}}{\phi \cdot (s_{1p} - c)^2} = 16.434 \quad \text{МПа} \quad (161)$$

- касательные:

$$\tau_{2p} := \frac{|Q_a|}{\phi \cdot (s_{1p} - c)} = 4.024 \quad \text{МПа} \quad (162)$$

*Напряжения в кожухе в месте присоединения к решетке*

в меридиональном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{Mx} := \frac{|Q_k|}{(s_{1k} - c)} = 34.202 \quad \text{МПа} \quad (163)$$

изгибные:

$$\sigma_{ux} := \frac{6 \cdot |M_k|}{(s_{1k} - c)^2} = 1.324 \times 10^3 \quad \text{МПа} \quad (164)$$

в окружном направлении:

мембранные:

$$\sigma_{M\phi} := \frac{P_{\max 1} \cdot a}{(s_{1k} - c)} = 26.667 \quad (165)$$

МПа

изгибные:

$$\sigma_{u_m} := 0.3 \cdot \sigma_{ux} = 397.058 \quad \text{МПа} \quad (166)$$

в окружном направлении:

$$\sigma_{2_T} := \frac{(d_{нр} - s_{тр}) \max(|P_{мак2}|, |P_{мак1}|, |P_{мак2} - P_{мак1}|)}{2 \cdot s_{тр}} = 8.05 \quad \text{МПа} \quad (167)$$

$\sigma_{др}$  - допускаемое напряжение для материала решетки, МПа;

$$\sigma_{лн} := 196 \quad \text{МПа}$$

#### 2.8.4. Проверка прочности трубных решёток

Проверка статической прочности

$$\text{Пров}_{\text{труб-реш}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \max(\tau_{1p}, \tau_{2p}) \leq 0.8 \cdot \sigma_{др} \\ \text{Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{\text{труб-реш}} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

#### 2.8.5. Проверка прочности и устойчивости кожуха

Проверку прочности кожуха в месте присоединения к решетке.

Условие статической прочности кожуха в месте присоединения к решетке:

Допускаемое напряжение для материала кожуха теплообменного аппарата или крышки аппарата воздушного охлаждения, МПа;

$$\sigma_{л75} = 177 \quad \text{МПа}$$

$$\text{Пров}_{\text{кож}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \sigma_{Мх} \leq 1.3 \cdot \sigma_{л75} \\ \text{Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{\text{кож}} = \text{"Условие выполняется"}$$

#### 2.8.6. Расчёт трубы на прочность, устойчивость и жесткость. Расчет крепления труб к решетке

Условие статической прочности труб

$$\text{Пров}_{\text{ст-прочности}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \sigma_{2_T} \leq \sigma_{тр25} \\ \text{Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Проверка прочности "Условие выполняется"

Проверку труб на устойчивость проводят в случае, если

$K_T$  - коэффициент условий работы при расчете труб на устойчивость;

-Для рабочих условий:

$$K_{T1} := 1.3$$

-Для условий гидроиспытания:

-Для условий гидроиспытания:

$$K_{T2} := 1.126$$

Задаем конструктивно:

$l_{1R}$  — максимальный пролет трубы между решеткой и перегородкой, мм;

$$l_{1R} := 400 \quad \text{мм}$$

$$l_{2R} := 400 \quad \text{мм}$$

$l_{2R}$  — максимальный пролет трубы между перегородками, мм;

$l_R$  - расчетная длина труб при продольном изгибе, мм;

$$l_R := \max(l_{2R}, 0.7l_{1R}) = 400 \quad \text{мм}$$

$\lambda$  - параметр, используемый при расчете на продольный изгиб;

-Для рабочих условий:

$$\lambda_{1R} := K_{T1} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{Tp25}}{E_{Tp25}}} \cdot \frac{l_R}{(d_{Tp} - s_{Tp})} = 0.828 \quad (168)$$

-Для условий гидроиспытания:

$$\lambda_{2R} := K_{T2} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{Tp25}}{E_{Tp25}}} \cdot \frac{l_R}{(d_{Tp} - s_{Tp})} = 0.717 \quad (169)$$

$\varphi_T := 0.1$  из рисунка 6

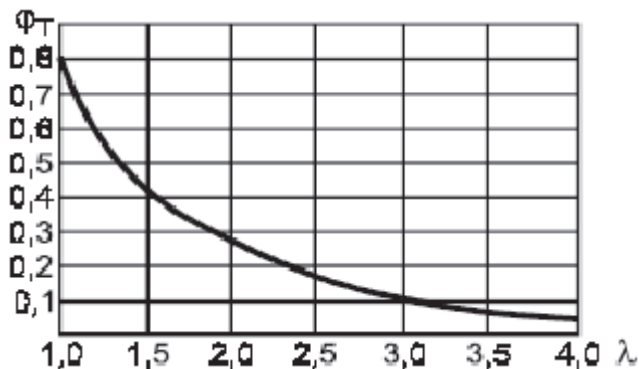


Рис. 322. Коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе

При отсутствии более точных данных допускается вычислять допускаемую нагрузку на вальцовочное соединение трубы с решеткой по формулам:

**Для труб завальцованных в гладком отверстии с отбортовкой:**

Площадь трубной решетки, заключенной между четырьмя трубами:

$$f_{\text{тр}} := 0.866 \cdot t^2 - \frac{\pi \cdot d_{\text{тр}}^2}{4} = 540.423 \quad \text{мм}^2 \quad (170)$$

Трубная нагрузка:

$$q_{\text{тр}} := P_{\text{рас1}} \cdot f = 216.169 \quad (171)$$

$$Q := 6.357 \times 10^4 \quad \text{Па} \quad (172)$$

$$q := \frac{Q}{n_{\text{тр}}} = 150.64 \quad \text{Н} \quad (173)$$

Температурное напряжение в трубе:

$$\sigma_{\text{T}} := 4.853 \times 10^8 \quad \text{Па}$$

Площадь поперечного сечения стенки трубы:

$$d_{\text{H}} := 0.020 \quad \text{м} \quad d_{\text{В}} := 0.016 \quad \text{м}$$

$$f_{\text{T}} := \frac{\pi}{4} \cdot (d_{\text{H}}^2 - d_{\text{В}}^2) = 1.131 \times 10^{-4} \quad \text{м}^2 \quad (174)$$

$$q_{\text{T}} := \sigma_{\text{T}} \cdot f_{\text{T}} = 5.489 \times 10^4 \quad (175)$$

Суммарное усилие:

$$q_{\text{с}} := q - q_{\text{T}} = -5.474 \times 10^4 \quad \text{Н} \quad (176)$$

Удельная нагрузка от давления на единицу длины окружности:

$$\sigma_0 := \frac{q}{\pi \cdot d_{\text{H}}} = 2.398 \times 10^3 \quad \text{Н/м} \quad (177)$$

$$\sigma_{0\text{Д}} := 0.04 \cdot 10^6 \quad \text{Н/м} \quad (178)$$

$$\text{Пров}_{\text{прочности}} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_0 \leq \sigma_{0Д} \\ \text{Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Пров<sub>прочности</sub> = "Условие прочности выполняется"**

### 2.8.7. Перегородки между ходами по трубному пространству кожухотрубчатых теплообменных аппаратов

Толщина перегородки должна отвечать условию

$$B_{\text{пер}} := 800 \quad \text{ширина перегородки, мм}$$

$$L_{\text{пер}} := 832 \quad \text{длина перегородки, мм}$$

$$\Delta p := 0.2 \cdot P_{\text{тр}} = 0.08 \quad \text{проводим гидравлический расчет} \quad (179)$$

$$\sigma_{dп} := \sigma_{л75} = 177 \quad \text{Допускаемое напряжение для материала перегородки, МПа}$$

$$c_{п} := c = 2 \quad \text{Прибавка на коррозию перегородки, мм}$$

$$s_{\text{пер}} := 10 \quad \text{Толщина перегородки, мм}$$

$$f_{п} := \frac{1}{1 + \frac{B_{\text{пер}}}{L_{\text{пер}}} + \left(\frac{B_{\text{пер}}}{L_{\text{пер}}}\right)^2} \quad f_{п} = 0.346 \quad (180)$$

$$s_{\text{пер}} \geq 0.71 \cdot B_{\text{пер}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p \cdot f_{п}}{\sigma_{dп}}} + c_{п} \quad 0.71 \cdot B_{\text{пер}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p \cdot f_{п}}{\sigma_{dп}}} + c_{п} = 9.108 \quad (181) (182)$$

$$\text{Усл} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } s_{\text{пер}} \geq 0.71 \cdot B_{\text{пер}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p \cdot f_{п}}{\sigma_{dп}}} + c_{п} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Усл = "Условие выполняется"**

## 2.9. Расчет обечайки от воздействия опорных нагрузок

### 2.9.1. Вес аппарата.

Расчет веса корпуса аппарата:

$$D = 800 \quad \text{мм}$$

Толщина стенки межтрубного пространства кожуха:

$$s_1 = 8 \quad \text{мм}$$



Толщина стенки распределительной камеры:

$$s_2 = 810 \quad \text{мм}$$

Толщина стенки днища:

$$s_3 = 8 \quad \text{мм}$$

Высота отбортовки крышки:

$$h_1 := 25 \quad \text{мм}$$

Высота отбортовки днища:

$$h_2 := 25 \quad \text{мм}$$

Длина трубной решетки:

$$l := 4000 \quad \text{мм}$$

$$D_{\text{дн}} := 800 \quad \text{мм}$$

Высота распределительной камеры:

$$H_{\text{камеры}} := 500 \quad \text{мм}$$

Плотность среды:

$$\rho_{\text{ср}} = 660 \quad \text{кг/м}^3$$

Плотность воды:

$$\rho_{\text{вод}} := 998 \quad \text{кг/м}^3$$

Плотность материала 12X18H10T:

$$\rho_{\text{мет}} := 7860 \quad \text{кг/м}^3$$

Ускорение свободного падения:

$$g := 9.81 \quad \text{м/с}^2$$

Вес трубной части обечайки: (часть на которую действует межтрубное давление)

$$G_{\text{ц}} := \pi \cdot \left[ \frac{(D + 2 \cdot s_1)^2 - D^2}{4} \right] \cdot l \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g \cdot 10^{-9} = 6.263 \times 10^3 \quad \text{Н} \quad (183)$$

Высота эллиптического днища без отбортованной части оболочки:

$$H_{\text{д.без.от.}} := 200 \quad \text{мм}$$

Высота эллиптической крышки без отбортованной части оболочки:

$$H_{\text{к.без.от.}} := 200 \quad \text{мм}$$

Внутренний объем эллиптической крышки без отбортовки:

$$V_{\text{д1}} := \frac{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \frac{D_{\text{дн}}}{2} \cdot \frac{D_{\text{дн}}}{2} \cdot \frac{H_{\text{д.без.от.}}}{2} \cdot 10^{-9}}{2} = 0.034 \quad \text{м}^3 \quad (184)$$

Наружный объем эллиптической крышки без отбортовки:

$$V_{\text{д2}} := \frac{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \frac{D_{\text{дн}} + 2 \cdot s_3}{2} \cdot \frac{D_{\text{дн}} + 2 \cdot s_3}{2} \cdot \frac{(H_{\text{д.без.от.}} + s_3)}{2} \cdot 10^{-9}}{2} = 0.036 \quad \text{м}^3 \quad (185)$$

Объем металла днища аппарата без отбортовки:

$$V_{\text{д}} := V_{\text{д2}} - V_{\text{д1}} = 2.748 \times 10^{-3} \quad \text{м}^3 \quad (186)$$

Объем металла крышки аппарата без отбортовки:

$$V_{\text{к}} := V_{\text{д}} = 2.748 \times 10^{-3} \quad \text{м}^3 \quad (187)$$

Вес эллиптического днища (крышки) аппарата без отбортовки:

$$G_{\text{д.эл}} := V_{\text{д}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g = 211.918 \quad \text{Н} \quad (188)$$

Вес отбортованной части днища аппарата:

$$G_{\text{д.отб}} := \pi \cdot \left[ \frac{(D_{\text{дн}} + 2 \cdot s_3)^2 - D_{\text{дн}}^2}{4} \right] \cdot h_1 \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g \cdot 10^{-9} = 39.146 \quad \text{Н} \quad (189)$$

Вес отбортованной части крышки аппарата:

$$G_{\text{к.отб}} := \pi \cdot \left[ \frac{(D_{\text{дн}} + 2 \cdot s_3)^2 - D_{\text{дн}}^2}{4} \right] \cdot h_1 \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g \cdot 10^{-9} = 39.146 \quad \text{Н} \quad (190)$$

Вес днища аппарата:

$$G_{\text{д}} := G_{\text{д.эл}} + G_{\text{д.отб}} = 251.064 \quad \text{Н} \quad (191)$$

Вес крышки аппарата:

$$G_{\text{кр}} := G_{\text{д.эл}} + G_{\text{к.отб}} = 251.064 \quad \text{Н} \quad (192)$$

Вес распределительной камеры:

$$G_{\text{распред.камеры}} := \pi \cdot \left[ \frac{(D + 2 \cdot s_2)^2 - D^2}{4} \right] \cdot H_{\text{камеры}} \cdot \rho_{\text{мет}} \cdot g \cdot 10^{-9} = 981.062 \quad (193)$$

Вес фланца [26]:

$$G_{\text{ф}} := 979 \text{ Н}$$

Вес пустого аппарата:

$$G_{\text{ап1}} := G_{\text{д}} + G_{\text{кр}} + G_{\text{ц}} + G_{\text{распред\_камеры}} + 2 \cdot G_{\text{ф}} = 9.704 \times 10^3 \text{ Н} \quad (194)$$

Вес жидкости внутри корпуса при самых худших рабочих условиях:

$$G_{\text{жид1}} := \left[ \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot (l + N_{\text{камеры}} + h_1 + h_2) \cdot 10^{-9} + 2 \cdot V_{\text{д1}} \right] \cdot \rho_{\text{ср}} \cdot g = 1.524 \times 10^4 \text{ Н} \quad (195)$$

Вес аппарата заполненного жидкостью при самых худших рабочих условиях:

$$G_{\text{ап2}} := G_{\text{ап1}} + G_{\text{жид1}} = 2.495 \times 10^4 \text{ Н} \quad (196)$$

Вес жидкости внутри корпуса при условиях гидроиспытания:

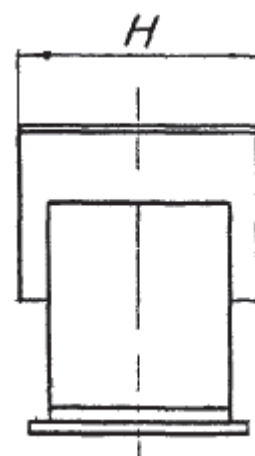
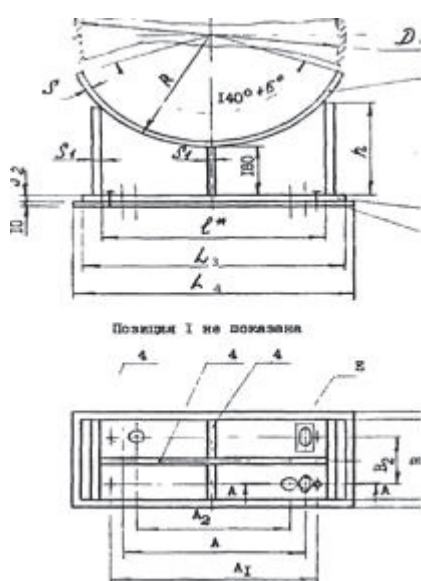
$$G_{\text{жид2}} := \left[ \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot (l + N_{\text{камеры}} + h_1 + h_2) \cdot 10^{-9} + 2 \cdot V_{\text{д1}} \right] \cdot \rho_{\text{вод}} \cdot g = 2.305 \times 10^4 \text{ Н} \quad (197)$$

Вес аппарата заполненного жидкостью при условиях гидроиспытания:

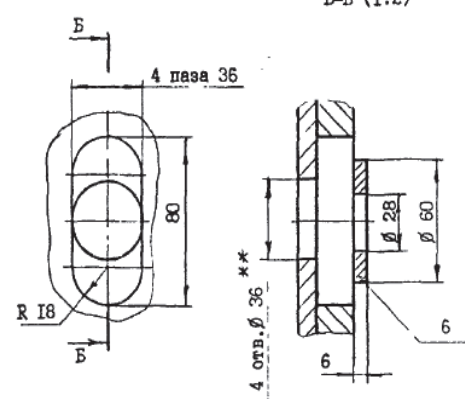
$$G_{\text{ап3}} := G_{\text{ап1}} + G_{\text{жид2}} = 3.275 \times 10^4 \text{ Н} \quad (198)$$

## 2.9.2. Подбор стандартной опоры аппарата

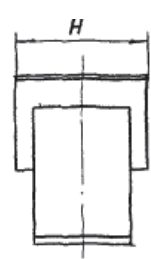
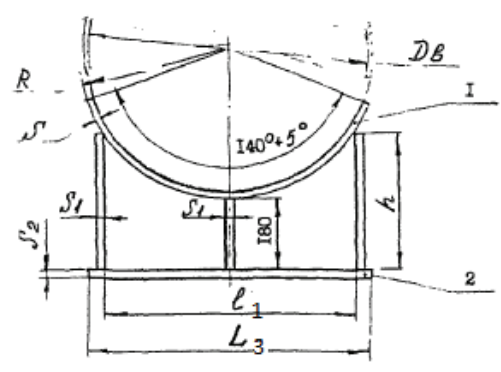
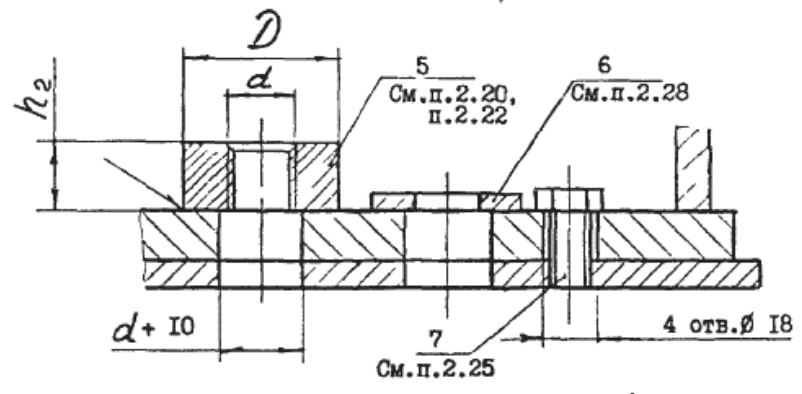
Подбираем опору согласно [21]



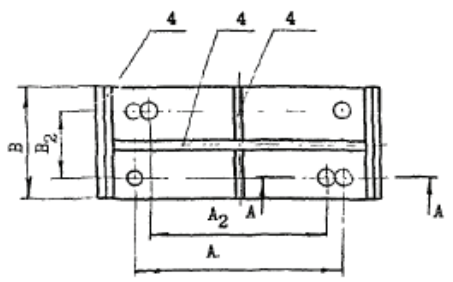
Б-Б (1:2)



А-А (1:2)



Позиция I



А-А (1:2)

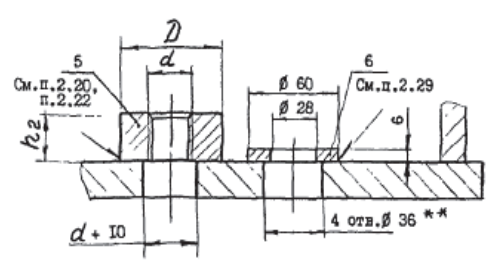


Рисунок 2.11. Опора неподвижная

Основные размеры опоры.

$S_1 := 8$	мм	$I_{1.} := 740$	мм	$A_1 := 600$	мм
$S_2 := 14$	мм	$B := 250$	мм	$h := 345$	мм
$R := 422$	мм	$B_1 := 400$	мм	$A := 500$	мм
$L_3 := 760$	мм	$B_2 := 140$	мм	$H := 200$	мм

### 2.9.3. Расчет обечайки от воздействия опорных нагрузок

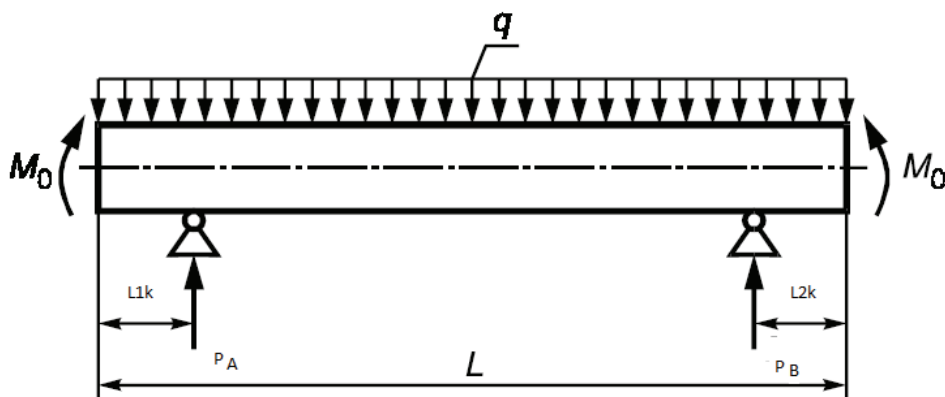


Рисунок 2.12. Расчетная схема опоры

Реакцию опоры определяем по формуле:

$$P_A := 0.5G_{ап2} \quad P_A = 1.247 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$P_B := 0.5G_{ап2} \quad P_B = 1.247 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Приведенную длину крышки определяем по формуле:

$$L_{1к} := \frac{G_d}{\frac{\pi}{4} \cdot g \cdot \rho_{мет} \cdot [(D_{дн} + 2 \cdot s_3)^2 - D_{дн}^2] \cdot 10^{-9}} \quad L_{1к} = 160.34 \quad \text{мм} \quad (199)$$

$$L_{2к} := \frac{G_{кр}}{\frac{\pi}{4} \cdot g \cdot \rho_{мет} \cdot [(D_{дн} + 2 \cdot s_2)^2 - D_{дн}^2] \cdot 10^{-9}} \quad L_{2к} = 127.955 \quad \text{мм} \quad (200)$$

Длина цилиндрической части корпуса:

$$L_k := L \cdot 1000 + H_{камеры} + h_1 + h_2 \quad L_k = 4.55 \times 10^3 \quad \text{мм} \quad (201)$$

Приведенную длину аппарата определяем по формуле:

$$L_{пр} := L_k + L_{1к} + L_{2к} \quad L_{пр} = 4.838 \times 10^3 \quad \text{мм} \quad (202)$$

Расстояние между опорами:

$$L_1 := 0.207 \cdot L_{пр} \quad L_1 = 1.002 \times 10^3 \quad \text{мм} \quad (203)$$

$$L_2 := L_{пр} - L_1 \quad L_2 = 3.837 \times 10^3 \quad \text{мм} \quad (204)$$

Допускаемое напряжение корпуса при изгибе:

$$\sigma_{ид} := 184 \cdot 10^6 \quad \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$$

Расчетный изгибающий момент от силы тяжести определяем по формуле:

$$M_{И} := 0.215 \cdot G_{ап2} \cdot L_{пр} \cdot 10^{-3} \quad M_{И} = 2.595 \times 10^4 \quad \text{Н} \cdot \text{м} \quad (205)$$

Момент сопротивления поперечного сечения корпуса:

$$W_1 := 0.8 \cdot D^2 \cdot (s_1 - c) \cdot 10^{-9} \quad W_1 = 3.072 \times 10^{-3} \text{ м}^3 \quad (206)$$

Напряжение на изгиб в стенке корпуса от силы тяжести определяем по формуле:

$$\sigma_{ИЗГ} := \frac{M_{И}}{W_1} \quad \sigma_{ИЗГ} = 8.447 \times 10^6 \quad \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \quad (207)$$

Проверяем на устойчивость корпуса:

$$\text{Пров}_{устойчивость} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \sigma_{ИЗГ} \leq \sigma_{ид} \\ \text{"Условие НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров<sub>1</sub><sub>устойчивость</sub> = "Условие выполняется"

Ширина опоры:

$$b := H$$

$$b = 200 \quad \text{мм}$$

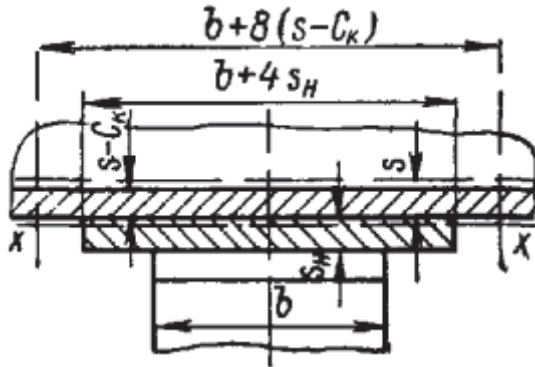


Рисунок . 2.13. Расчетные сечения стенки горизонтального цилиндрического корпуса в месте опоры

Момент сопротивления указанного сечения определяется по формуле:

$$W_2 := \frac{(b + 8s_1 - c) \cdot (s_1 - c)^2 \cdot 10^{-9}}{6} \quad W_2 = 1.572 \times 10^{-6} \quad \text{м}^3 \quad (208)$$

Напряжение на изгиб в стенке корпуса от действия реакции опоры:

$$\sigma_{2\text{изг}} := \frac{0.02 \cdot P_A \cdot (D + 2s_1) \cdot 10^{-3}}{W_2} \quad \sigma_{2\text{изг}} = 1.295 \times 10^8 \quad \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \quad (209)$$

Проверяем на устойчивость корпуса:

$$\text{Пров}_{2\text{устойчивость}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \sigma_{2\text{изг}} \leq \sigma_{\text{ид}} \\ \text{Требуется усилить стенку над опорой накладкой "otherwise"} & \end{cases}$$

Пров<sub>2</sub><sub>устойчивость</sub> = "Условие выполняется"

Следовательно, требуется усилить стенку над опорой накладной.

Требуемый момент сопротивления усиленного сечения элемента стенки:

$$W_{\text{тр}} := \frac{0.02 \cdot P_A \cdot (D + 2s_1) \cdot 10^{-3}}{\sigma_{\text{ил}}} = 1.106 \times 10^{-6} \quad \text{м}^3 \quad (210)$$

Поскольку  $4\sigma_{\text{ид}} > \sigma_{2\text{изг}} > \sigma_{\text{ид}}$  Принимаем толщину накладки:

$$s_H := s_1$$

Расчетную площадь поперечного сечения стенки корпуса:

$$F_C := [b + 8(s_1 - c)] \cdot (s_1 - c) \cdot 10^{-6} \quad F_C = 1.488 \times 10^{-3} \text{ м}^2 \quad (211)$$

Расчетную площадь поперечного сечения накладки:

$$F_H := (b + 4 \cdot s_H) \cdot s_H \cdot 10^{-6} \quad F_H = 1.856 \times 10^{-3} \text{ м}^2 \quad (212)$$

Момент инерции площади  $F_C$  :

$$J_C := \frac{F_C \cdot (s_1 - c)^2}{12} \cdot 10^{-6} = 4.464 \times 10^{-9} \quad \text{м}^4 \quad (213)$$

Момент инерции площади  $F_H$

$$J_H := \frac{F_H \cdot s_H^2}{12} \cdot 10^{-6} = 9.899 \times 10^{-9} \quad \text{м}^4 \quad (214)$$

Расстояние от нижней поверхности накладки до центра тяжести площади  $F_H + F_C$  :

$$y := \frac{F_C \cdot [s_H + 0.5 \cdot (s_1 - c)] + 0.5 \cdot F_H \cdot s_H}{F_C + F_H} \quad y = 7.115 \quad \text{мм} \quad (215)$$

Расчетный момент сопротивления усиленного накладкой сечения корпуса:

$$W_p := \frac{J_C + J_H + F_C \cdot [s_H + 0.5 \cdot (s_1 - c) - y]^2 \cdot 10^{-6} + 0.5 \cdot F_H \cdot (y - 0.5s_H)^2 \cdot 10^{-6}}{y \cdot 10^{-3}} \quad (216)$$

$$W_p = 6.441 \times 10^{-6} \quad \text{м}^3$$

Проверяем на прочность корпуса:

$$\text{Пров}^{\text{прочность}} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется" if } W_{\text{тр}} \leq W_p \\ \text{Условие НЕ выполняется " otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}^{\text{прочность}} = \text{"Условие выполняется"}$$



### 3. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Уровень решения проблем обеспечения безопасности жизнедеятельности в любом современном государстве может служить наиболее достоверным и комплексным критерием для оценки как степени экономического развития и стабильности этого государства, так и для оценки нравственного состояния общества.

Улучшение условий труда - важная задача социальной политики, осуществляемой каждым государством. Правительство уделяет большое внимание созданию здоровых и безопасных условий труда. Для решения задач, определяющих эту проблему, государством были разработаны и реализованы многочисленные правовые, технические, экономические и организационные мероприятия.

В России действует законодательство об охране труда, выраженное в правовых, технических и санитарно-гигиенических нормах. Законодательство предусматривает систему надзора и контроля, точного их выполнения, а также ответственности за нарушение законодательства об охране труда.

#### 3.1. Производственная безопасность

##### 3.1.1. Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Опасные производственные факторы, источники их формирования и методы их устранения приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Опасные производственные факторы, источники их формирования и методы их устранения.

№	Опасный фактор	Источник формирования опасного фактора	Воздействие на организм	Методы предупреждения или устранения
1	Давление (разрушение аппарата, работающего под давлением)	Разрыв сосудов, аппаратов и трубопроводов, работающих под избыточным давлением.	Механическое повреждение частей тела. Летальный исход.	1. Предусмотрены предохранительные устройства в сосудах, трубопроводах и аппаратах, работающих

				под давлением. 2. Проведение технического освидетельствования сосудов.
2	Движущиеся части машин и механизмов (в т.ч. подъемно-транспортного оборудования)	Движущиеся части мешалок и приводов реакторов, кран-балок, насосов и др. оборудования.	Механическое повреждение частей тела.	1. Предусмотрены защитные кожухи и ограждения. 2. СИЗ - защитные каски (при монтажных и демонтажных работах, а также при ремонте оборудования).
3	Повышенная температура поверхностей оборудования	Горячие стенки трубопроводов пара, конденсатор и реакторы полимеризации.	Ожоги кожного покрова.	Предусмотрена тепловая изоляция трубопроводов и реакторов, обеспечивающая безопасную температуру наружной изоляции 45 °С.
4	Повышенная температура среды	Технологический пар, используемый при отоплении оборудования.	Ожоги кожного покрова.	1. Ограждение места работы. Использование знаков безопасности. 2. СИЗ — рукавицы, перчатки и др.
5	Пониженная температура среды	Трубопроводы с жидкими пропиленом и фреоном.	Обморожение.	1. Обеспечение ограждения зоны слива криопродуктов. 2. Использование предупредител

				<p>ьных надписей: «Место для слива жидких криогенных продуктов. Опасно!».</p> <p>3. Контроль за соблюдением требований безопасности.</p> <p>4. Контроль за состоянием сальника насосов жидких пропилена и фреона.</p>
6	Электрический ток	Электрооборудование насосов и др., трансформаторные подстанции.	Поражение электрическим током. Летальный исход.	<p>1. Изоляция токопроводящих частей и ее контроль.</p> <p>2. Ограждение оголенных токоведущих частей (щеточно-коллекторных механизмов электродвигателей).</p> <p>3. Защитное заземление.</p> <p>4. Использование знаков безопасности.</p> <p>5. СИЗ - диэлектрические перчатки, диэлектрические боты и др.</p>
7	Статическое электричество	Трубопроводы перекачки суспензии	Поражение электрическим током.	<p>1. Защитное заземление.</p> <p>2.</p>

	тво	полипропилена, пневмотранспорт.	Летальный исход.	Использование знаков безопасности. 3. СИЗ - диэлектрические перчатки, диэлектрические боты и др.
8	Повышенное содержание азота в воздухе рабочей зоны	Разгерметизация оборудования, заполненных азотом в качестве инертного газа.	Кислородная недостаточность. Паралич дыхания, потеря сознания.	1. Контроль состава воздуха. 2. Наблюдение за параметрами хода технологического процесса
9	Повышенное содержание паров химических веществ в воздухе рабочей зоны	Взрывоопасные смеси воздуха с водородом, пропиленом, этиленом, порошка полипропилена, парами гептана, бутанола. Пары растворителей при проведении окрасочных работ.	Отравление. Механическое повреждение частей тела при взрыве. Летальный исход.	1. В производственных помещениях используются газоанализаторы воздуха. 2. Предусмотрена вентиляция рабочей зоны. 3. СИЗ - противогазы, респираторы.
10	Запыленность воздуха рабочей зоны.	Пыль порошка полипропилена в зоне выгрузки.	Засорение и раздражение дыхательных путей, глаз и др.	СИЗ - противогазы, респираторы, спец. костюмы.

Характеристика токсичных свойств сырья, полупродуктов, готовой продукции и отходов производства приведена в таблице 3.2.

Таблица 3.2. Характеристика токсичных свойств сырья, полупродуктов, готовой продукции и отходов производства.

№	Наименование сырья, полупродуктов, готовой продукции,	Класс опасности	ПДК в воздухе рабочей зоны произв	Характеристика токсичности (воздействие на организм человека)	НТД

	отходов производств а	ГО СТ 12.1 .007 -76	одствен ных помеще ний		
1	Гептан жидкий (C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> )	4	300 мг/м <sup>3</sup>	Пары гептана оказывают наркотическое действие на ЦНС и раздражающее действие на слизистые оболочки глаз, дыхательных путей и кожу	ГОСТ 25828- 83 изм. 1

### 3.1.2. Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Вредные производственные факторы, источники их формирования и методы их устранения отражены в таблице 3.3.

Таблица 3.3. Вредные производственные факторы, источники их формирования и методы их устранения

№	Вредный фактор	Источник формирования	Воздействие	Методы предупреждения или устранения
1	Превышение уровней шума	Насосы, приводы мешалок реакторов и др. оборудование.	Нарушение слуха	СИЗ - противочумные наушники, беруши.
2	Превышение уровней вибрации	Насосы, приводы мешалок реакторов и др. оборудование при неисправности оборудования.	Неврологические расстройства	Устранение неисправностей оборудования.
3	Недостаточная освещенность рабочей зоны	Неисправность устройств освещения	Нарушение зрения	Устранение неисправностей устройств освещения

Классификация основных рабочих помещений по санитарной характеристике и санитарно-технические нормы для основных рабочих мест представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4. Классификация основных рабочих помещений по санитарной характеристике и санитарно-технические нормы для основных рабочих мест.

Наименование производственных помещений	Группа производственных процессов по санитарной характеристике (СНиП 2.09.04-87)	Температура, градус	Освещенность, лк.	Уровень шума, дБ.	Относительная влажность, %
Отделение полимеризации					
Машинный зал	1б	15-25	50	80	Не выше 75
Центральный	1а	15-25	200	60	Не выше

пульт управления					75
Бытовые помещения	1а	20-25	100	60	Не выше 60
Химическая лаборатория	1б	15-25	400	60	Не выше 60
Мастерская КИП и А	1б	15-25	150	60	Не выше 75
Слесарная мастерская	1б	15-25	150	60	Не выше 75
Токарная мастерская	1б	15-25	150	60	Не выше 75

Фактический уровень шума в машинном зале превышает допустимый уровень 80 дБ (ГОСТ 12.1.003-83), поэтому персоналу, находящемуся в машинном зале, необходимо пользоваться средствами индивидуальной защиты (беруши, провешумные наушники).

### 3.1.3. Освещенность

Правильно спроектированное и выполненное освещение способствует повышению производительности труда и качеству выпускаемой продукции, оказывает положительное психологическое воздействие на рабочий персонал, повышает безопасность труда, снижает утомляемость и травматизм на производстве.

Все сосуды и аппараты находятся на открытой площадке при естественном освещении. Естественный солнечный свет характеризуется большой интенсивностью и равномерностью освещения, и создает наилучшие условия для работы. В темное время суток территория освещается прожекторами.

В связи с тем, что условия деятельности машинистов и операторов связаны с явным преобладанием зрительной информации, до 90%, особенно важным становится вопрос производственного освещения. Поэтому в производственных помещениях используется искусственное освещение. Для искусственного освещения используют люминесцентные лампы ЛБ - белого цвета или ЛТБ - тепло - белого цвета, мощностью 20, 40, 60 Вт. Согласно действующим санитарным нормам и правилам СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение», для искусственного освещения регламентирована наименьшая допустимая освещенность рабочих мест, а для естественного и совмещенного - коэффициент естественной освещенности (КЕО).

Для операторной КЕО н. 1.8 %, что обеспечивает нормальные условия труда обслуживающему персоналу

Рекомендуемая освещенность для работы с приборами КИПиА для высокой точности, с наименьшим размером объекта 0,15 - 0,3 в соответствии с СНиП 23-05-95 составляет 200 лк, а при работе с приборами КИПиА в сочетании с работой над документацией (ежечасная запись в журнале контроля

параметров технологического процесса, работой с регламентом техпроцесса) для средней точности, с наименьшим размером объекта 0,3-0,5 в соответствии СНиП 23-05-95 для комбинированного освещения - 400 лк.

Рекомендуемое значение яркости в поле зрения оператора должно лежать в пределах 2,5%.

Расчет искусственного освещения включает в себя следующие этапы:

- выбор типа лампы;
- выбор величины освещения и величины коэффициента запаса;
- расчет освещения методом коэффициента использования.

Расчет электрического освещения выполняют при проектировании осветительных установок для определения общей установленной мощности и мощности каждой лампы или числа светильников.

Основной метод расчета - по коэффициенту использования светового потока, которым определяется поток, необходимый для создания заданной освещенности горизонтальной поверхности при общем равномерном освещении, с учетом света отраженного стенами и потолком. Расчет выполняется по следующей формуле:

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

Освещенность  $E$  является величиной, которая характеризует поверхностную плотность падающего светового потока. Ее определяют как отношение светового потока  $\Phi$  к площади освещаемой поверхности  $S$ .

Единицей освещенности является люкс (лк), это освещенность, создаваемая световым потоком в один момент, равномерно распределенная на площадь.

Освещенность конкретной точки поверхности связана с силой света соотношением:

$$E = \frac{Y * \cos \alpha}{r^2}$$

где:

$Y$  - сила света по направлению к точке, КД;

$\alpha$  - угол между нормалью к поверхности, которой принадлежит точка и лучом;

$r$  - расстояние между точкой и источником.

Расчетное уравнение:

$$\Phi_{CB} = \frac{E_H * K_S * S * Z}{N * n * U}$$

где:

$\Phi_{CB}$  - Световой поток;

$E_H$  - нормативная минимальная освещенность;

$S$  - площадь помещения;

$Z$  - коэффициент неравномерности освещения;

$n$  - коэффициент использования излучаемого светильниками светового потока, который показывает, какая часть от общего светового потока приходится на расчетную плоскость;



$U$  - коэффициент затенения.

По полученному световому потоку выбирается стандартная лампа.

Расчет освещенности от люминесцентных ламп сводится к определению необходимого числа светильников по формуле:

$$N = \frac{E_H * K_S * S * Z}{n * q * U * \Phi_{CB}}$$

где:  $-q$  – число рядов светильников.

Площадь помещения операторной ЦПН оборудована светильниками УСП-35 с двумя лампами ЛБ-40. Коэффициент отражения светового потока от потолка, стен и пола равны соответственно 70 %, 50 %, 10 %. Затемнения на рабочих местах нет.

Уровень рабочей поверхности над полом 80 см. Тогда:

$$h = 3 - 0,8 = 2,2 \text{ м}$$

У светильников типа УСП - 35 получено отношение:

$$f = \frac{L}{n} = 1,4 \text{ м}$$

Отсюда расстояние между светильниками составит:

$$L = f * h = 1,4 * 2,2 = 3,08 \text{ м}$$

Светильники располагаем вдоль длинной стороны помещения. Расстояние между рядами светильников принимаем:

$$l = (0,3 - 0,5) * L$$

При ширине зала операторной в 9 метров, число рядов светильников:

$$\eta = \frac{9}{n} = \frac{9}{3} = 3$$

Согласно норме:  $E_H = 400 \text{ лк}$

Комплексная характеристика для нахождения  $n$  равна<sup>^</sup>

$$I = \frac{a * b}{h * (a + b)} = \frac{9 * 15}{2,2 * (9 + 15)} = 2,56$$

Тогда из справочной литературы светотехнического справочника находим что  $n = 0,45$ . Номинальный световой поток лампы ЛБ - 40,  $\Phi = 3120 \text{ лм}$ , отсюда поток получаемый светильником,  $\Phi_{CB} = 2 * \Phi = 6240 \text{ лм}$ .

Тогда число ламп:

$$N = \frac{E_H * K_S * S * Z}{q * U * \Phi_{CB}} = \frac{400 * 1,5 * 135 * 1,15}{3 * 6240 * 0,45} = 11 \text{ ламп}$$

При длине одного светильника УСП - 35 с лампами ЛЕ - 40,  $L = 1,27 \text{ м}$ , их общая длина составит:

$$L_{CB} = 1,27 * 11 = 14 \text{ метров}$$

то есть сплошной ряд, что и желательно.

Так как весь процесс автоматизирован, то присутствие обслуживающего персонала при нормальной работе оборудования не обязательно.

Регламентом технологического процесса предусмотрено не реже одного раза за 2 часа в смену, обходить рабочее место, границы которого также указаны в регламенте.

Рекомендуемая освещенность для работы в ночное время составляет 60 лк. В местах отбора проб приборов КИПиА, расположенных "по месту" освещенность должна составлять 200 лк.

### **3.1.4. Шумы и вибрации**

Процесс получения полипропилена сопровождается шумом и вибрацией. Источником шумов и вибраций в производственных помещениях является большое количество компрессоров, насосов, трубопроводов, газодувок, электродвигателей.

Шумы в цехе полимеризации постоянны.

Вибрация — общая по источнику возникновения — технологическая.

Шумы и вибрации в производственных помещениях не превышают допустимые нормы:

- виброскорость  $V = 5 \cdot 10^{-8} - 5 \cdot 10^{-6}$  мм/с по ГОСТ 12.1.012-90;

- звуковое давление  $P = 3 \cdot 10^{-5} - 3 \cdot 10^{-9}$  Па по ГОСТ 12.1.003-83.

На рабочих местах, в производственных помещениях предусмотренный (расчетный) уровень шума не должен превышать следующих значений - 65 дБ при пребывании более 8 часов, 80 дБ при пребывании от 4 до 8 часов (установлены переговорные устройства). В машинном зале компрессорной используются противошумные средства - антифоны.

Уровень вибрации - 107 дБ при частоте 1Гц, 92 дБ при частоте 4 Гц - согласно нормам ГОСТ 12.1.012-90.

С целью защиты обслуживающего персонала от шума и вибрации, здания и сооружения выполнены согласно санитарным нормам и в них предусмотрено:

- применение звукопоглощающих кожухов на компрессорах;

- шумопоглощающая изоляция трубопроводов;

- вентиляторы установлены на виброоснованиях и подсоединены к воздуховодам через мягкие вставки.

Для персонала, находящегося в зоне высокого шума, рекомендуются защитные наушники типа ВЦНИИОТ-2М по ТУ 400-2 N 76-70 (защита от высокочастотного производственного шума с уровнем 120дБ) или защитные каски с противошумными наушниками ВЦНИИОТ-2 по ТУ-60-02-67.

Для борьбы с шумами и вибрацией большое значение имеет правильная эксплуатация механизмов, своевременное проведение профилактических ремонтов, дистанционное управление оборудованием, применение устройств и приспособлений погашения вибрации.

Средства защиты от вибрации (ГОСТ 12.4.002-97) представлены в таблице 4.5 и 4.6.

Таблица 3.5. Виды средств защиты рук

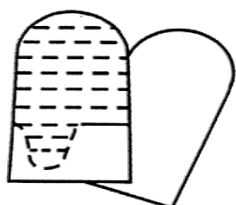


Рисунок А.1 - Рукавица

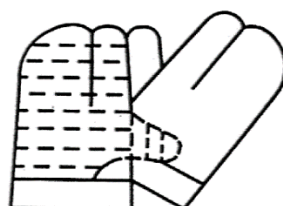


Рисунок А.2 - Перчатка трехпалая

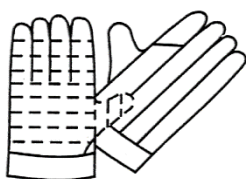


Рисунок А.3 - Перчатка пятипалая

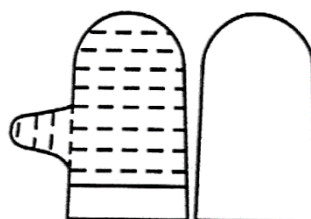


Рисунок А.4 - Рукавица с полимерным латексным покрытием

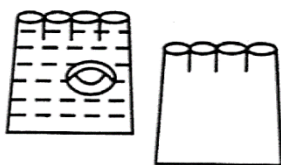


Рисунок А.5 - Полуперчатка

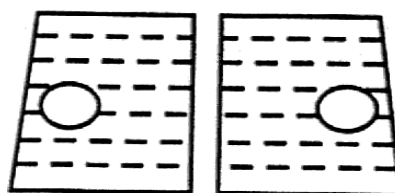


Рисунок А.6 - Полурукавица

Таблица 3.6. Рекомендации по применению средств защиты рук

Характер труда (работ)	Профессия	Применяемые ручные машины	Средства защиты рук (конструкция)	Тип изделий по таблице 1
Грубые работы, требующие простого удержания рукоятки или нажатия на нее, работы рукой в целом и корпусом	Горнорабочие, проходчики, строительные рабочие, формовщики	Перфораторы, горные сверла, отбойные молотки, бетоноломы, сверлильные машины для отверстий большого диаметра	Рукавицы однопалые, перчатки трехпалые	2б
Работы,	Обрубщики,	Рубильные	Рукавицы	1а, 1, 2а, 2

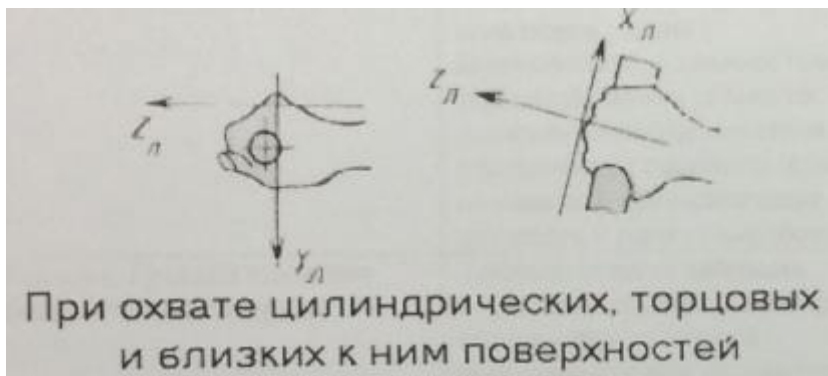
<p>требующие обхвата профильных рукояток, переключения органов управления, удержания ручных машин в различном пространственном положении; пространственная работа кистью и нажатие пусковых устройств пальцами</p>	<p>слесари-сборщики, шлифовщики, полировщики, плотники</p>	<p>молотки, гайковерты. Шлифовальные машины с цилиндрическим и (или) плоскими кругами, сверлильные машины для средних и малых отверстий. Электрорубанки и пилы</p>	<p>однопалые, перчатки трехпалые, полурукавиц, полуперчатки</p>	
<p>Точные работы, требующие манипулирования малогабаритными предметами в пространстве, мелкие, сложные и точные движения пальцев рук</p>	<p>Клепальщик, слесари-сборщики</p>	<p>Клепальные авиационные молотки, зачистные малогабаритные молотки. Высокоскоростные шлифмашины и бормашины с фигурными шлифовальными камнями, шуруповерты, пневмоотвертки</p>	<p>Полуперчатк, перчатки</p>	<p>1а</p>

Направление координатных осей при действии вибрации

Общая вибрация:



Локальная вибрация:



### 3.1.5. Микроклимат производственных помещений

На состояние человеческого организма большое влияние оказывает микроклимат производственных помещений.

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548-96 «ССБТ Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» микроклимат производственных помещений — это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей.

Микроклиматические условия регламентируются ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» и Гигиеническими требованиями к микроклимату производственных помещений (СанПиН 2.2.4.548-96) по категориям работ (легкая, средняя, тяжелая) и периоду года (холодный, теплый).

Холодный период года — период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха, равной  $+10^{\circ}\text{C}$  и ниже.

Теплый период года — период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха выше  $+10^{\circ}\text{C}$ .

Разграничение работ по категориям осуществляется на основе интенсивности общих энергозатрат организма в ккал/ч (Вт):

- 1) к категории 1а относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением (ряд профессий на предприятиях точного приборостроения и машиностроения, на часовом, швейном производствах, в сфере управления и т.п.),
- 2) к категории 1б относятся работы с интенсивностью энергозатрат 121-150 ккал/ч (140-174 Вт), производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением (ряд профессий в полиграфической промышленности, на предприятиях связи, контролеры, мастера в различных видах производства и т.п.),
- 3) к категории 1в относятся работы с интенсивностью энергозатрат 151 -200 ккал/ч (175-232 Вт), связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения (ряд профессий в механосборочных

цехах машиностроительных предприятий, в прядильно-ткацком производстве и т.п.),

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

## 3.2. Экологическая безопасность

### 3.2.1 Анализ воздействия объекта на атмосферу.

К газообразным отходам производства, загрязняющим окружающую среду, относятся пары реагентов и растворителей, участвующих в процессе полимеризации и образующихся в процессе полимеризации. Для снижения вредного воздействия на окружающую среду производственный процесс ведется в закрытом помещении, оборудованном системой вентиляции. Для контроля содержания реагентов и растворителей в отделении полимеризации установлен газоанализатор СВК-3М, сблокированный с аварийной вытяжной вентиляцией.

При эксплуатации производственного оборудования полимеризации, маслостанций, прочего оборудования цеха газообразные отходы производства, загрязняющие окружающую среду, отсутствуют. Характеристика газовых выбросов приведена в таблице 3.7.

Таблица 3.7. Характеристика газовых выбросов

Вытяжная вентиляция, отделение полимеризации	Количество источников выбросов	Суммарный объем отходящих газов, м <sup>3</sup> /ч	Периодичность, часов в год	Характеристика выброса			
				Температура, градус	Состав выброса, мг/дм <sup>3</sup>	ПДК атм.в. вредных веществ, мг/м <sup>3</sup>	Допустимое Количество нормируемых компонентов вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу, кг/ч
1	2	3	4	5	6	7	8
В1	1	18600	постоянно 8000	17	Пропилен- 4,09*10 <sup>-3</sup>	3 1,5(ОБУВ)	0,288
					Гептан – 29,91*10 <sup>-3</sup>		2,862
В2	1	18600	постоянно 8000	17	Гептан – 29,91*10 <sup>-3</sup>	1,5	0,9612
В3	1	23100	постоянно 8000	18	Гептан – 13,47*10 <sup>-3</sup>	1,5 0,1	0,7668
					Бутанол – 30,2*10 <sup>-3</sup>		0,9216

B4	1	23100	постоянно 8000	18	Пропилен – $22,43 \cdot 10^{-3}$	3	1,0728
					Гептан – $10,57 \cdot 10^{-3}$	1,5	0,7526
					Бутанол– $15,29 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,9288
B5	1	20000	постоянно 8000	18	Гептан – $3,62 \cdot 10^{-3}$	1,5	0,1116
					Бутанол– $38,5 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,6372
B6	1	20000	постоянно 8000	18	Гептан – $50,24 \cdot 10^{-3}$	1,5	2,0196
					Гептан – $23,09 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,8928
B7	1	20700	постоянно 8000	18	Пропилен– $11,98 \cdot 10^{-3}$	3	0,7704
					Гептан – $7,24 \cdot 10^{-3}$	0,1	0,2916

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

### 3.2.2 Анализ воздействия объекта на гидросферу.

В цехе предусмотрена ливневая и хоз-бытовая канализация. В нее поступают сточные воды от мытья полов в помещениях. Основным загрязнителем сточных вод являются следы масел, по содержанию не превышающие ПДК. Средний объем стоков на перекачку составляет  $20 \text{ м}^3/\text{сутки}$ . Охлаждение теплообменного оборудования производится от закрытой системы оборотного водоснабжения. Характеристика сточных вод приведена в таблице 3.8.

Таблица 3.8. Сточные воды

Наименование сбрасываемых сточных вод, отделение, аппарат	Место сбрасывания	Количество стоков, $\text{м}^3$ в сутки	Содержание контролируемых вредных веществ в сбросах (по компонентам), $\text{мг}/\text{дм}^3$	ПДК рыб.хоз. сбрасываемых вредных веществ, $\text{мг}/\text{дм}^3$	Допускаемое количество сбрасываемых вредных веществ, $\text{кг в сутки}$
Стоки от промывки оборудования, смыва полов, ливневые в случае превышения	В химзагрязненную канализацию на локальную очистку	48-240	Бутанол -90 Гептан -3 Мин.масла -5 Взвешенные -35	0,03 - - +0,75 к природному	4,3 0,14 0,24 1,7

норм по содержанию вредных веществ					
------------------------------------	--	--	--	--	--

### 3.2.3 Анализ воздействия объекта на литосферу

Во время ремонта или демонтажа оборудования происходит образование жидких и твердых отходов, характеристика которых представлена в таблице 3.9.

Таблица 3.9. Характеристика твердых и жидких отходов

Наименование отхода	Место складирования, транспорт, тара	Количество отходов, кг/сутки	Периодичность образования	Характеристика отходов			Примечание
				Химический состав, влажность, %	Физические показатели, плотность, кг/м <sup>3</sup>	Класс опасности и отходов	
Отходы порошка полипропилена, образующиеся в результате чистки оборудования, отборе проб.	Отходы порошка фасуются в полиэтиленовые мешки и вывозятся на полигон токсичных отходов автомобильным транспортом	224	Периодически при ремонте и чистке оборудования	Порошок полипропилена Массовая доля растворителя (гептана) до 40%	Порошок белого цвета Плотность полипропилена - 910 кг/м <sup>3</sup>	3	Данные по количеству отходов в сутки взяты по итогам работы за 2001 г.

## 3.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

### 3.3.1. Пожарная и взрывная безопасность

Отличительной особенностью производства полипропилена по пожарной и взрывопожарной безопасности связано с опасностями при работе с углеводородами и катализаторными комплексами, которые характеризуются повышенной способностью к воспламенению и детонации.

Основные опасности при работе с углеводородами и катализаторными комплексами:

1. Возгорание оборудования, трубопроводов и арматуры, работающих с углеводородами;
2. Возгорание одежды и волосяных покровов обслуживающего персонала, находившегося в среде с повышенным содержанием углеводородов;
3. Взрыв углеводородов и других взрывоопасных примесей при их утечке из реакторов, трубопроводов и др. оборудования при нарушении технологических параметров;



4. Раствор диэтилалюминийхлорида является токсичной, пожароопасной, пирофорной жидкостью. При контакте с воздухом, при разливе раствора ДЭАХ, может произойти самовоспламенение, вследствие его экзотермического окисления;

5. Загорание и взрыв баллонов, наполненных сжиженными углеводородами, при их разгерметизации.

Также при несоблюдении правил хранения и нарушений противопожарных норм возможны загорания смазочных масел и обтирочных материалов.

Для предотвращения возможных ситуаций необходимо соблюдать меры пожарной безопасности:

1. Запрещается курить и применять открытый огонь в отделении полимеризации, а также в местах, где проходят трубопроводы и производятся работы с углеводородами. Курение разрешается только в специально отведенных и оборудованных местах, определенных приказом по предприятию.

2. В зданиях производства полипропилена и в местах расположения баллонов со сжиженными углеводородами должны быть установлены ванны самопомощи, заполненные водой. Допускается устройство противопожарных душевых кабин с автоматической подачей воды при входе человека в кабину.

3. При загорании производственного оборудования необходимо прекратить поступление углеводородов в помещение. Обслуживающий персонал должен быть выведен в безопасную зону. Для тушения загоревшегося оборудования должны применяться негорючие в кислороде средства пожаротушения: вода, пена, водяной пар, двуокись углерода, инертные газы (азот, аргон), порошковые составы на основе карбоната натрия и т.д.

4. Загрязнение производственного оборудования, трубопроводов и установленной на них арматуры жировыми и другими горючими веществами не допускается. Грузоподъемные устройства должны быть оборудованы защитными приспособлениями, исключающими попадание масла на производственное оборудование и арматуру.

5. При эксплуатации производственного оборудования должна исключаться возможность утечки углеводородов.

6. В процессе эксплуатации оборудования необходимо следить за герметичностью аппаратов, машин и коммуникаций. При обнаружении утечек газообразных или жидких продуктов работа оборудования должна быть приостановлена и утечки ликвидированы. Определение мест утечек газа при помощи огня или тлеющих предметов запрещается.

7. В помещениях, где осуществляется периодический контроль за содержанием углеводородов в воздухе, при повышении концентрации пропилен в воздухе более 100 мг/м<sup>3</sup> должны быть немедленно приняты меры по нормализации состава воздуха, для предотвращения возникновения повышенного содержания взрывопожароопасных газов и образование взрывопожароопасной среды.

8. Тепло- и звукоизоляция оборудования и трубопроводов должна выполняться из негорючих или трудногорючих материалов.

9. Наружный обогрев арматуры должен производиться горячим воздухом, паром или горячей водой. Пользоваться для этой цели открытым огнем запрещается.

10. Использовать конструкции реакторов, пневмотранспортов и трубопроводов в качестве заземления при электросварочных работах не допускается.

11. Запрещается наполнять и опорожнять транспортные цистерны на площадках из асфальта и других органических покрытий.

12. Слив продуктов полимеризации следует производить в специально отведенное для этого место, возле которого должен быть установлен предупреждающий знак безопасности с поясняющей надписью "Место для слива продуктов полимеризации. Опасно. Не курить!" Слив продуктов полимеризации на грунт и асфальт запрещается.

13. Руки, а также одежда и обувь персонала, обслуживающего производственное оборудование, должны быть чистыми, без следов масла.

14. По окончании работ с углеводородами или в местах с их повышенным содержанием в окружающем воздухе запрещается в течение 30 минут приближаться к огню или раскаленным предметам и курить. Одежда, в которой производились работы, должна быть проветрена.

15. Ремонт оборудования разрешается производить только после тщательной продувки.

Классификация производственных помещений по взрывопожарной и пожарной опасности представлена в таблице 3.10.

Таблица 3.10. Взрывопожарная и пожарная опасность, классификация производственных зданий, помещений и наружных установок

Наименование производственных зданий, помещений, наружных установок	Категория взрывопожарной и пожарной опасности помещений и зданий (НТБ-105-95)	Классификация зон внутри и вне помещений для выбора и установки электроприбора и установки электрооборудования по ПЭУ.			Группа производственных процессов по санитарной характеристике (СНиП 2.09.04-87)	Средства пожаротушения
		Класс взрывоопасный или пожароопасный зоны	Категория взрывоопасных смесей (ГОСТ 12.1.011-78 с изм. N2)	Наименование веществ, определяющих категорию и группу взрывоопасных смесей.		
1	2	3	4	5	6	7
Помещение полимеризации. (Узлы: полимеризации, разложения кат. комплекса, нейтрализации пропилена,	A	B-1a	IIA T3	Гептан, бутанол, пропилен, этилен, водород	1б	Автоматическая система пенного пожаротушения. Пожарные гидранты. Огнетушители ОПУ-5.
Помещение сушки (Узлы:	A	B-1a	IIA T3	Гептан, бутанол,	1б	Автоматическая система пенного

Центрифугирова ния, сушки.				пропилен		пожаротушения. Пожарные гидранты. Огнетушители ОПУ-5.
Помещение газоанализаторо в	А	В-1а	ПА ТЗ	Гептан, пропилен, этилен, водород	1б	Огнетушители ОПУ-5.
Продуктовая компрессорная	-	В-1а	ПА ТЗ	Гептан	1б	Автоматическая система пенного пожаротушения. Пожарные гидранты. Огнетушители ОПУ-5.

### 3.3.2. Безопасность в чрезвычайных ситуациях антропогенного характера

Наиболее возможными для цеха полимеризации пропилена являются источники чрезвычайных ситуаций антропогенного характера. В первую очередь это:

- выделение продуктов полимеризации при разгерметизации оборудования, что приводит к возникновению взрыва и пожара;
- выделение углеводородов, катализаторных комплексов и продуктов полимеризации вызывает опасность удушья от недостатка кислорода;
- выделение углеводородов, катализаторных комплексов и продуктов полимеризации может привести к отравлению персонала;
- замыкание электропроводки и силовых кабелей, что приводит к возникновению пожара.

В соответствии с этим принимаются меры, направленные на минимизацию вероятности возникновения и последствий ЧС на промышленных объектах, которые включают в себя:

1. Разработку технических и организационных мероприятий, уменьшающих вероятность возникновения чрезвычайной ситуации (снабжение технологического оборудования средствами взрыво- и пожарозащиты, электро- и молниезащиты, локализации и тушения пожаров).
2. Формирование планов действия в чрезвычайных ситуациях. Подготовка персонала, служб гражданской обороны и населения к действиям при чрезвычайных ситуациях.

В случае возникновения чрезвычайной ситуации в действие вступает План Ликвидации Аварийной Ситуации (ПЛАС). Он предусматривает порядок действия при возникновении чрезвычайной ситуации. Согласно ПЛАС в цеху должен находиться аварийный запас средств защиты в шкафу. Шкаф должен быть окрашен в желтый цвет с надписью. Содержимое шкафа включает в себя шланговые противогазы ПТТ1-1, промышленные фильтрующие противогазы ППФМ-92 с коробкой марки БКФ, самоспасатель ПДУ-3, респираторы, комплекты спецодежды, защитные очки, сапоги, перчатки и др.

Контроль содержимого осуществляется один раз в квартал газоспасательной службой. Вскрытие шкафа производится только в аварийной ситуации и с уведомлением газоспасательной службы и диспетчера комбината.

В результате воздействия тех или иных факторов возможно возникновение производственных аварийных ситуаций, которые освещены в таблице 3.11.

Таблица 3.11. Возможные производственные аварийные ситуации, способы их предупреждения и ликвидации

Возможные производственные аварийные ситуации	Причины возникновения аварийных ситуаций	Действия персонала по предупреждению и устранению аварийных ситуаций
Отключение электроэнергии	Прекращение работы оборудования	Разгрузить через аварийные клапана реакционную среду из аппарата. Произвести аварийную остановку блока полимеризации в ручном режиме.
Прекращение подачи охлаждающей воды	Перегрев оборудования.	Произвести аварийную остановку блока полимеризации в автоматическом режиме.
Разгерметизация оборудования и коммуникаций в случае пожара или взрыва	Нарушение режима работы оборудования. Аварийная остановка оборудования.	Произвести аварийную остановку блока полимеризации в автоматическом режиме. Принять исчерпывающие меры по локализации аварии. Оградить опасную зону и выставить посты. Прекратить все ремонтные, огневые и другие виды работ. Удалить в безопасное место лиц, не участвующих в ликвидации аварии. Оказать первую помощь пострадавшим. Приступить к ликвидации аварии и спасению людей.
Розлив продуктов полимеризации (гептан, катализаторный комплекс, полипропилен)	Нарушение режима работы оборудования. Разрушение производственного оборудования и резервуаров для хранения жидких продуктов разделения	Произвести аварийную остановку блока полимеризации в автоматическом режиме Разгрузить через аварийные клапана реакционную среду из аппарата. Принять исчерпывающие меры по локализации аварии. Оградить опасную зону и выставить посты. Прекратить все

	<b>"физического взрыва" или аварии</b>	ремонтные, огневые и другие виды работ. Удалить в безопасное место лиц, не участвующих в ликвидации аварии. Оказать первую помощь пострадавшим. Приступить к ликвидации аварии и спасению людей.
--	--	--

### 3.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Правовые отношения регламентируются трудовым кодексом Российской Федерации (далее ТК РФ). [9].

А именно статьями 105 ТК РФ «Разделение рабочего дня на части»: «На тех работах, где это необходимо вследствие особого характера труда, а также при производстве работ, интенсивность которых неодинакова в течение рабочего дня (смены), рабочий день может быть разделен на части с тем, чтобы общая продолжительность рабочего времени не превышала установленной продолжительности ежедневной работы. Такое разделение производится работодателем на основании локального нормативного акта, принятого с учетом мнения выборного органа первичной профсоюзной организации. (в ред. Федерального закона от 30.06.2006 N 90-ФЗ)»

Статья 103 ТК РФ «Сменная работа»: «Сменная работа - работа в две, три или четыре смены - вводится в тех случаях, когда длительность производственного процесса превышает допустимую продолжительность ежедневной работы, а также в целях более эффективного использования оборудования, увеличения объема выпускаемой продукции или оказываемых услуг. При сменной работе каждая группа работников должна производить работу в течение установленной продолжительности рабочего времени в соответствии с графиком сменности. При составлении графиков сменности работодатель учитывает мнение представительного органа работников в порядке, установленном статьей 372 настоящего Кодекса для принятия локальных нормативных актов. Графики сменности, как правило, являются приложением к коллективному договору. (в ред. Федерального закона от 30.06.2006 N 90-ФЗ) Графики сменности доводятся до сведения работников не позднее чем за один месяц до введения их в действие. Работа в течение двух смен подряд запрещается.»

А также Статья 233 ТК РФ. «Условия наступления материальной ответственности стороны трудового договора»; Статья 232 ТК РФ. «Обязанность стороны трудового договора возместить ущерб, причиненный ею другой стороне этого договора».

В том числе регулирование отношения работодателя и работника регламентируется главой 47 ТК РФ «Особенности регулирования труда лиц, работающих вахтовым методом».

Законодательство РФ об охране труда основывается на Конституции РФ и состоит из федерального закона, других федеральных законов и иных нормативных правовых актов субъектов РФ. Среди них можно выделить **федеральный закон “Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний”**. Для реализации этих законов приняты Постановления Правительства РФ “О государственном надзоре и контроле за соблюдением законодательства РФ о труде и охране труда”, “О службе охраны труда”, “О Федеральной инспекции труда” и др. [10]

Управление охраной труда осуществляет блок федеральных органов исполнительной власти, руководимый Министерством здравоохранения и социального развития Российской Федерации (Минздравсоцразвития). Оно осуществляет функции государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере здравоохранения и социального развития, социального страхования, условий и охраны труда и т. д.

Функции по контролю и надзору, которые ранее осуществлялись Санэпиднадзором Минздрава России, **переданы Федеральной службе по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор)**.

Федеральная служба по труду и занятости (Роструд) осуществляет функции по надзору и контролю в сфере труда, а также государственный надзор и контроль за соблюдением, в частности, трудового законодательства и нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права; установленного порядка расследования и учета несчастных случаев на производстве.

Федеральное агентство по здравоохранению и социальному развитию (Росздрав) организует деятельность по установлению связи заболевания с профессией, государственной службы медико-социальной экспертизы и др.

Федеральная служба по надзору в сфере здравоохранения и социального развития (Росздравнадзор) осуществляет контроль за порядком организации осуществления медико-социальной экспертизы; порядком установления степени утраты профессиональной трудоспособности в результате несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний и др.

Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Роспотребнадзор) — государственный санитарно-эпидемиологический надзор за соблюдением санитарного законодательства; организует деятельность системы санитарно-эпидемиологической службы РФ.

**В федеральном законе “О пожарной безопасности” (1994)** определяются общие правовые, экономические и социальные основы обеспечения пожарной безопасности в России, дается регулирование отношений между органами государственной власти, органами местного самоуправления, предприятиями, организациями, крестьянскими хозяйствами и иными юридическими лицами независимо от форм собственности.[11] **Федеральный закон “О промышленной безопасности опасных производственных объектов” (1997)** определяет правовые, экономические и социальные основы обеспечения безопасной эксплуатации опасных производственных объектов и направлен на предупреждение аварий на опасных производственных объектах и обеспечение готовности организаций к локализации последствий аварий.

**Федеральный закон “О радиационной безопасности населения” (1995) характеризует правовые основы обеспечения радиационной безопасности населения в целях охраны его здоровья.**

Соблюдение и средства для соблюдения безопасности на производстве полимеризации полиэтилена прописаны в инструкции 408-Р-7 предприятия ООО «Томскнефтехим» [13]

Каждому работнику администрацией предприятия выдается спецодежда, средства индивидуальной защиты (противогаз), инструмент.



## 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

### 4.1. Предпроектный анализ

#### 4.1.1. Потребители результатов исследования

Результат исследования – разработка и механический расчёт теплообменника полимеризации.

Целевой рынок - нефтеперерабатывающая отрасль промышленности.

#### 4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Таблица 4.1. – Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Наиболее влиятельными в регионе фирма – конкурентами компании являются: «ЛКМ ПОРТАЛ» и «ПластЭксперт». С индексом 1 по таблице будут оцениваться «ЛКМ ПОРТАЛ», а с индексом 2 «ПластЭксперт».

Таблица 4.1.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1 Повышение производительности труда пользователя	0,07	4	5	2	0,28	0,35	0,14
2 Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,14	4	3	4	0,56	0,42	0,56
3 Энергоэкономичность	0,10	5	5	5	0,5	0,5	0,5
4 Надежность	0,15	5	4	5	0,75	0,6	0,75
5 Безопасность	0,15	5	5	5	0,75	0,75	0,75
Экономические критерии оценки эффективности							
1 Конкурентоспособность продукта	0,09	3	5	4	0,27	0,45	0,36
2 Уровень проникновения на рынок	0,06	3	3	4	0,18	0,18	0,24
3 Цена	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
4 Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	5	2	5	0,35	0,14	0,35
5 Срок выхода на рынок	0,05	3	4	3	0,15	0,2	0,15

6 Финансирование научной разработки	0,04	4	5	5	0,16	0,2	0,2
Итого	1	46	45	46	4,35	4,11	4,32

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i,$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Конкурентоспособность разработки составила 4,35, в то время как двух других конкурентных аналогов 4,11 и 4,32 соответственно.

$4,35/4,11=1,058$  и  $4,35/4,32=1,007$ . Результаты показывают, что данная разработка является наиболее конкурентоспособным.

## 4.2. Организационный план

Начальник цеха подчинен начальнику производства полипропилена. В цехе 3 отделения: отделение полимеризации, отделение регенерации и отделение разложения.

Начальник цеха отвечает за бесперебойную работу трудовых ресурсов и оборудования. Все распоряжения начальника цеха подлежат обязательному выполнению.

Начальник отделения отвечает за технологический процесс, охрану труда и технику безопасности.

Начальник смены отвечает за выполнение сменного задания, обеспечение и рациональное использование трудового времени.

Старший механик следит за исправностью всех машин, оборудования, трубопроводов; составляет график ППР; принимает технологический процесс и новое оборудование.

Механик отвечает за проведение ППР в установленные сроки.

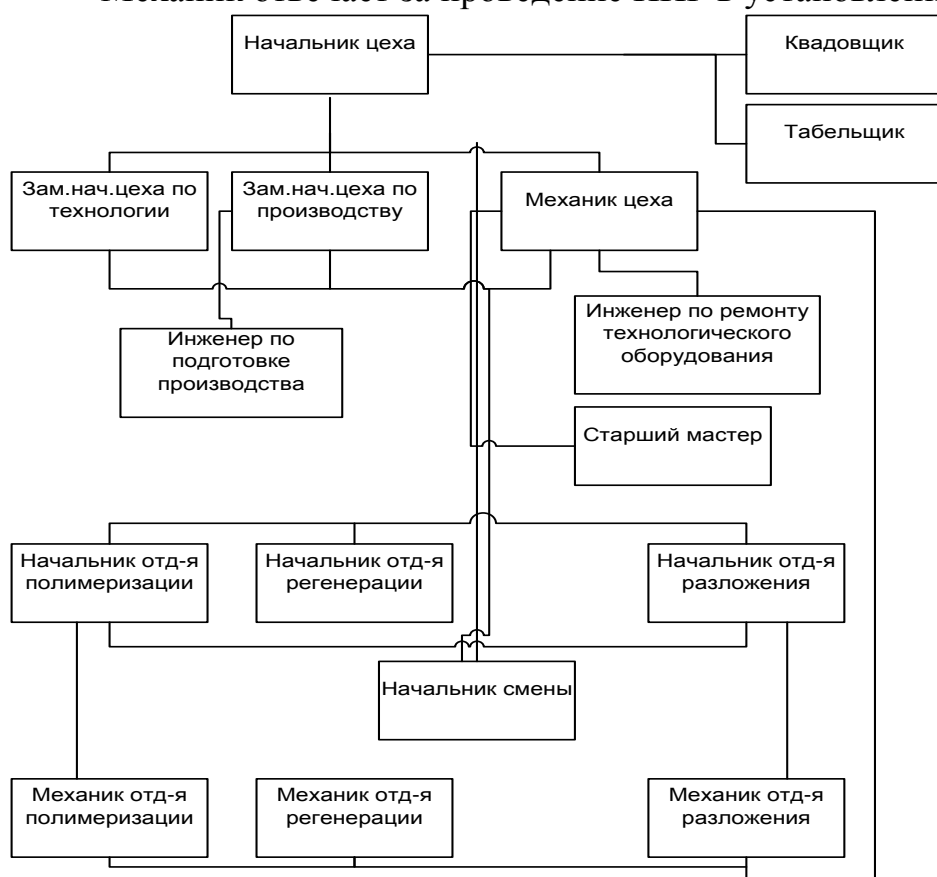


Рисунок 4.1. Структура организации производственной деятельности цеха производства «полипропилен»

Таблица 4.2. – Штатное расписание цеха производства полипропилена

Наименование структурных подразделений, профессий и должностей	Разряды	Категория	Кол-во штатных единиц	Должностной оклад, тариф, (руб.)		Установленный тариф, окладе нормальными условиями труда, (руб.)	Установленный тариф, окладе вредными условиями труда, (руб.)	З/плата в месяц, (руб.)	Месячный фонд з/платы с учетом численности, (руб.)
				мин.	мах.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Цех полимеризации полипропилена		рук.	1	7800	8800		9856	12813	12813
		рук.	1	7020	7920		8870	11532	11532
		рук.	1	7020	7920		8870	11532	11532
		спец.	1	7100	8000		8960	11648	11648
		рук.	3	6200	7200		8064	10483	31450
			3	6200	7200		8064	10483	31450
		рук.	1	6200	7200		8064	10483	10483
		рук.	5	4500	5500		6160	10373	51866
		спец.	1	3150	3900	3900		5070	5070
		спец.	1	3950	4500	4500		5850	5850
		служ.	1	2320	2900	2900		3770	3770
				19					
Отд. полимеризации	6	раб.	10	19,7	21,55		21,55	6051	60512
	5	раб.	18	16,1	19,2		19,2	5391	97044
			28						157557
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Отд. Регенерации растворителя	Оператор дистанционного пульта управления	6	раб.	1	19,7	21,55		21,55	6051	6051	
	Аппаратчик перегонки	6	раб.	6	19,7	21,55		21,55	6051	36307	
	Аппаратчик перегонки	5	раб.	10	16,1	19,20		19,20	5391	53914	
	Машинист компрессорных установок	6	раб.	4	19,7	21,55		21,55	6051	24205	
	Машинист компрессорных установок	5	раб.	2	16,1	19,20		19,20	5391	10783	
	Итого по отделению:			23							125209
Отд. Очистки сточных вод гранул-я агактического полипропилена	Аппаратчик разложения	6	раб.	7	19,7	21,55		21,55	6051	42359	
	Аппаратчик разложения	5	раб.	8	16,1	19,20		19,20	5391	43131	
	Аппаратчик подготовки сырья, отпуска полуфабрикатов и продукции	5	раб.	1	16,1	19,20		19,20	5391	5391	
	Итого по отделению:			16							90881

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Общехозяйственный персонал	Слесарь-ремонтник по ремонту технологического оборудования	6	раб.	6	23,1	25,6		25,60	5459	33297
	Слесарь-ремонтник по ремонту технологического оборудования	5	раб.	9	19,5	22,56		22,56	4890	44014
	Слесарь-ремонтник по ремонту технологического оборудования	4	раб.	3		18,44		18,44	3997	11992
	Слесарь-ремонтник по ремонту технологического оборудования	5	раб.	4	16,1	19,2		19,20	5391	21565
	Уборщик производственных помещений		раб.	5		1900		1900	2470	12350
	Кладовщик		раб.	1		2160	2160			2808
	Итого:			28						
Всего по цеху полимеризации: ИТОГО				114						653838
В том числе:										
руководителей				12						129675
специалистов				6						54018
служащих				1						3770
рабочих				95						466376

### 4.3. Расчет производственной мощности

Под производственной мощностью понимают максимально возможный выпуск продукции в определенной номенклатуре и ассортименте при наиболее полном использовании в течение года оборудования производительных площадей, применении прогрессивных технических норм производительности оборудования и удельных норм расхода сырья, материалов и топлива.

Под производственной мощностью оборудования следует понимать его максимальную способность выпускать продукцию за определенный календарный период времени при наилучших организационно-технических условиях.

Производственная мощность выражается качеством выпускаемой продукции и измеряется в единицах. Если аппарат стоит в конце технологической линии, то его мощность определяется по готовому продукту. Во всех остальных случаях мощность рассчитывается по перерабатываемому сырью, а затем, с использованием коэффициентов выхода, переводится на конечный продукт.

Мощность технологического аппарата будет определяться по часовой производительности, а также характером действием и временем работы в течение года. В производстве полипропилена основным аппаратом является реактор полимеризации. Процесс идет непрерывно.

Проектная мощность - 100000 т в год, в том числе:

- 1) порошка гомополимера пропилен -  $G := 88000$  т в год;
- 2) порошка сополимера пропилен с этиленом - 12000 т в год.

Для непрерывного производства расчет производственной мощности производится по формуле:

$$N_{II} = P_{\text{техн}} \cdot T_{\text{эфф}} \cdot n$$

Где  $P_{\text{техн}}$  – производительная мощность аппарата в единицу времени, т/ч;

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

$n = 1$  – количество единиц оборудования.

**Определение величины эффективного времени:**

Под эффективным временем работы аппарата понимается максимально возможное время, которое отработает оборудование с учетом характера его действия, режима работы производства, времени необходимого для проведения планово-предупредительных работ (ППР), применяемых в соответствии с утвержденными данными-нормативами.

В общем виде величина эффективного времени выражается следующим образом:

$$T_{эфф} = T_{кал} - T_{нпр}$$

Где  $T_{кал}$  – календарный фонд времени работы оборудования, ч;

$T_{нпр}$  – время на ремонтные простои, ч.

Календарный (годовой фонд времени работы реактора) при непрерывном цикле работы производства - 365 суток. Таким образом:

$$T_{кал} = 365 \cdot 24 = 8760ч.$$

Время ремонта, простои определяются из графика ППР, построенного по нормативам (таблица 4.3) Время между сменными ремонтами называется межремонтным временем (циклом). Плановое время простоя по нормативам ППР составляет 384 часа, но действительное время простоя реактора 936 часов в год.

Таблица. 4.3.

Норматив графика планово-предупредительных работ (ППР)

Оборудование	Капитальный ремонт		Текущий ремонт	
	Межремонтный цикл (ч)	Простои на ремонте (ч)	Межремонтный цикл (ч)	Простои на ремонте (ч)
Реактор	17280	288	1440	24

$$T_{нпр} = 936ч.$$

Эффективное время работы оборудования:

$$T_{эфф} = T_{кал} - T_{нпр} = 8760 - 936 = 7824ч.$$

Техническая норма производительности аппарата составляет:

$$P_{техн} = \frac{G}{T_{кал}} = \frac{88000}{8760} = 10,046т / ч.$$

Определим частоту проведения капитальных ремонтов.

Межремонтные циклы:

$$M_{р.ц} = 17280ч; M_{м.т.р} = 1440ч; T_{ц.к} = \frac{M_{р.ц}}{T_{кал}} = \frac{17280}{8760} = 1,97$$

Таким образом капитальный ремонт проводится 1 раз в 2 года.

Определим количество текущих ремонтов между капитальными ремонтами.

$$n_{м.р} = \frac{M_{р.ц}}{M_{м.т.р}} - 1 = \frac{17280}{1440} - 1 = 11$$

Эффективное среднемесячное время:

$$T_{эфф.ср.м} = 30 \cdot 24 = 720ч.$$

Время между текущими ремонтами:



$$T_{т.р} = \frac{M_{м.т.р}}{T_{эфф.ср.м}} = \frac{1440}{720} = 2 \text{ мес.}$$

Таким образом ремонт проводится 6 раз в год.

Производственной мощности:

$$N_{П} = П_{техн} \cdot T_{эфф} \cdot n = 10,046 \cdot 7824 \cdot 1 = 78600 \text{ м / год.}$$

### **Режим работы работников**

Производство “Полипропилен” работает непрерывно, поэтому бригады формируются по принципу сменности. Согласно заводским данным график сменности является четырех -бригадным. График сменности представляет собой изображение очередности выхода работающих на работу. А, Б, В, Г - условное обозначение бригад. Основные рабочие на производстве работают в двухсменном режиме, первая смена работает с 8.00 до 20.00 часов, а вторая смена с 20.00 до 8.00 часов.

График двухсменного 4-бригадного режима работы на январь 2015 года приведен в таблице 7.5.

График работы дневного персонала на январь 2015 года приведен в таблице 7.6.

Таблица. 4.4. График двухсменного 4-бригадного режима работы на январь 2015

Месяц	График	Смена	Число месяца																														
			1 чт	2 пт	3 сб	4 вс	5 пн	6 вт	7 ср	8 чт	9 пт	10 сб	11 вс	12 пн	13 вт	14 ср	15 чт	16 пт	17 сб	18 вс	19 пн	20 вт	21 ср	22 чт	23 пт	24 сб	25 вс	26 пн	27 вт	28 ср	29 чт	30 пт	31 сб
Январь	1	А	12	12		4	$\frac{8}{4}$	8			12	12		4	$\frac{8}{4}$	8				12		4	$\frac{8}{4}$	8			12	12		8	$\frac{8}{4}$	8	
	2	Б		4	$\frac{8}{4}$	8			12	12		4	$\frac{8}{4}$	8			12	12		4	$\frac{8}{4}$	8			12	12		4	$\frac{8}{4}$	8			12
	3	В	$\frac{8}{4}$	8			$\frac{1}{2}$	12		4	4	8			12	12		4	$\frac{8}{4}$	8			12	12		4	$\frac{8}{4}$	8			12	12	
	4	Г			12	12			4	$\frac{8}{4}$	8			12	12		4	$\frac{8}{4}$	8			12	12		4	$\frac{8}{4}$	8			12	12		4

Примечание: 12 - смена, работающая с 8.00 до 20.00 ч., 8/4 - смена, работающая с 20.00 до 8.00 ч.

Продолжение таблицы 4.5

По графику (ч.)	По норме (ч.)	Отклонение от нормы (ч.)	Количество (ч.)		Норма дней	Отработано дней
			ночных	праздных		
192	151	21	96	20	16	16
180	151	17	96	12	15	15
192	151	13	96	28	16	16
180	151	17	84	12	15	15

Таблица. 4.6. График работы дневного персонала на январь 2015

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
П	П	В	В	8,2	8,2	П	8,2	7,2	В	В	8,2	8,2	8,2	8,2	7,2
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
В	В	8,2	8,2	8,2	8,2	7,2	В	В	8,2	8,2	8,2	8,2	7,2	В	

Таблица. 4.7. Затраты на строительство производственных зданий

Здания	$C_{1м}^3$ , руб.	$V_{зд}$ , м <sup>3</sup>	$C_{от}$ , руб.	$C_{вен}$ , руб.	$C_{вод}$ , руб.	$C_{кан}$ , руб.	$C_{осв}$ , руб.	$C_{зд}$ , руб.
АБК (административно бытовой корпус)	400	1140	3000	8000	2500	700	620	470820
Слесарное помещение	300	1235	2700	8000	2500	700	850	385250
Трансформаторная	200	540	1800	8000	2500	700	550	121550
Рабочая зона	250	2160	1000	8000	2500	700	600	552800
Хранилище ценного материала	300	361	1200	8000	2500	700	500	121200
Склад готовой продукции	350	1064	4000	8000	2500	700	1400	389000
Сумма								2040620

Величина капитальных затрат на **строительство здания** может быть определена укрупнено:

$$C_{зд} = (C_{1м}^3 \times V_{зд}) + C_{от} + C_{вен} + C_{вод} + C_{кан} + C_{осв},$$

где  $C_{зд}$  - стоимость здания;

$C_{1м}^3$  - стоимость одного кубического метра производственного здания;

$V_{зд}$  - объем здания;

Стоимость санитарно-технических работ:

$C_{от}$  - стоимость затрат на отопление;

$C_{вен}$  - стоимость затрат на вентиляцию;

$C_{вод}$  - стоимость затрат на водопровод;

$C_{кан}$  - стоимость затрат на канализацию;

$C_{осв}$  - стоимость затрат на освещение

Таблица. 4.8. Потребность основных фондах

Основные фонды	До увеличения выхода полипропилена		После увеличения выхода полипропилена	
	Кол-во единиц	Общая стоимость, руб.	Кол-во единиц	Общая стоимость, руб.
1. Здания, сооружения производственного назначения	6	2040620	6	2040620
2. Передаточные устройства	20	1000000	20	1000000
3. Машины и оборудование	36	40000000	36	42000000
3.1. Реактор	6	22500000	6	24260000
3.2. Теплообменник	6	3000000	6	3240000
3.3. Центрифуга	4	4000000	4	4000000
3.4. Емкость	10	10000000	10	10000000
3.5. Насосы	10	500000	10	500000
4. Транспортные средства	10	3000000	10	3000000
5. Инструмент со сроком службы более 1 года	50	200000	50	200000
6. Производственный инвентарь и принадлежности	100	500000	100	500000
7. Хозяйственный инвентарь	100	900000	100	900000
8. Прочие	50	100000	50	100000
Итого	372	47740620	372	49740620

Таблица. 4.9. Расчет амортизационных отчислений

№ п/п	Наименование основных фондов	Норма амортизации, %	До увеличения выхода полипропилена		
			С <sub>оф</sub> , тыс. руб.	АО <sub>1</sub> , тыс. руб.	С <sub>ост</sub> , тыс. руб.
1.	Здания, сооружения	2	2040,62	40,8124	1999,808
2.	Передаточные устройства	12	1000	120	880
3.	Машины и оборудование	10	40000	4000	36000
4.	Служебный транспорт	11	3000	330	2670
5.	Инструмент сроком службы более 1 года	10	200	20	180
6.	Производственный инвентарь и принадлежности	13	500	65	435
7.	Хозяйственный инвентарь	10	900	90	810
8.	Прочее	5	100	5	95
	Итого		47740,62	4670,812	43069,81

Таблица. 4.10. Расчет амортизационных отчислений

№ п/п	Наименование основных фондов	Норма амортизации, %	После увеличения выхода полипропилена		
			С <sub>оф</sub> , тыс. руб.	АО <sub>1</sub> , тыс. руб.	С <sub>ост</sub> , тыс. руб.
1.	Здания, сооружения	2	2040,62	40,8124	1999,808
2.	Передаточные устройства	12	1000	120	880
3.	Машины и оборудование	10	40000	4000	37800
4	Служебный транспорт	11	3000	330	2670
5	Инструмент сроком службы более 1 года	10	200	20	180
6	Производственный инвентарь и принадлежности	13	500	65	435
7	Хозяйственный инвентарь	10	900	90	810
8	Прочее	5	100	5	95
	Итого		47740,62	4670,812	44869,81

### Определение себестоимости продукции до повышения производительности

Таблица. 4.11. Калькуляция себестоимости одной тонны гомополимера пропилена. Производственная мощность: 78600 т/год.

№ п/п	Наименование статей расхода	Единицы измерения	Цена за 1 ед., руб.	Расход в нат.ед.		Затраты, руб.		Прим.
				На 1т	В год	На 1 т	В год	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Основные материалы	т						
	Пропилен		14000	1,0959	86140	15343,00	1205960000	
	Гептан		368000	0,0600	4716	22080,00	1735488000	
	Бутанол		210000	0,0035	275	735,00	57771000	
	TiCl <sub>3</sub>		3150000	0,0007	54	2173,34	170824500	
	ДЭАХ		4260000	0,0026	204	11078,17	870744000	
	NaOH		92000	0,0060	472	552,00	43387200	
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		130000	0,0060	472	780,00	61308000	
	Тальк		8000	0,0008	63	6,45	506800	
	Диатермическое масло		315000	0,0003	21	84,40	6633900	
	Мел		6000	0,0025	197	15,00	1179000	
	Полиакриламид		465000	0,0005	39	227,83	17907150	
Природный газ	м <sup>3</sup>	17500	0,0520	4087	909,96	71522500		
3	Электроэнергия	кВт	1,4	380,0254	29870000	532,04	41818000	
4	Заработная плата основных рабочих					64,7	5596512	Таб. 3
5	Единый социальный налог					16,8	1455093	30 % от ст.4
6	Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования (РСЭО)					0,88	106000	
6.1	Амортизация активной части основных фондов (АЧОП)					57,37	4510000	
6.2	Заработная плата вспомогательных рабочих					18	1556100	Таб. 3
6.3	Единый социальный налог					4,7	404586	
7	Цеховые расходы							
7.1	Амортизация пассивной части					2,046	1608124	

	основных фондов (ПЧОФ) или арендная плата							
7.2	Заработная плата ИТР, служащих, МОП					8,1	693456	
7.3	Единый социальный налог					2,1	180298	
8	Общепроизводственные расходы							
9	Коммерческие расходы (Реклама)					0,7	60000	
Полная себестоимость						54692,57221	4301220219	
Условно-переменные затраты						54517,17621	4285050050	
Условно-постоянные затраты						175,396	16170169	

**Определение себестоимости продукции после повышения производительности на 10%**

Таблица. 4.12. Калькуляция себестоимости одной тонны гомополимера пропилена. Производственная мощность: 86460 т/год.

№ п/п	Наименование статей расхода	Единицы измерения	Цена за 1 ед., руб.	Расход в нат.ед.		Затраты, руб.		Прим.
				На 1т	В год	На 1 т	В год	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Основные материалы	т						
	Пропилен		14000	1,0959	94752	15342,60	1326521196	
	Гептан		368000	0,0600	5186	22080,00	1908448000	
	Бутанол		210000	0,0035	275	735,00	57771000	
	TiCl <sub>3</sub>		3150000	0,0007	55	2205,00	173313000	
	ДЭАХ		4260000	0,0026	204	11076,00	870573600	
	NaOH		92000	0,0060	472	552,00	43387200	
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>		130000	0,0060	472	780,00	61308000	
	Тальк		8000	0,0008	63	6,40	503040	
	Диатермическое масло		315000	0,0003	24	94,50	7427700	
	Мел		6000	0,0025	197	15,00	1179000	
	Полиакриламид		465000	0,0005	39	232,50	18274500	
Природный газ	м <sup>3</sup>	17500	0,0520	4087	910,00	71526000		
3	Электроэнергия	кВт	1,4	380,0254	29869996	532,04	41817995,02	
4	Заработная плата основных рабочих					64,7	5596512	Таб. 3
5	Единый социальный налог					16,8	1455093	30 % от ст.4
6	Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования (РСЭО)					0,88	106000	
6.1	Амортизация активной части основных фондов (АЧОП)					57,37	4510000	
6.2	Заработная плата вспомогательных рабочих					18	1556100	Таб. 3
6.3	Единый социальный налог					4,7	404586	
7	Цеховые расходы							
7.1	Амортизация пассивной части					2,046	1608124	



	основных фондов (ПЧОФ) или арендная плата							
7.2	Заработная плата ИТР, служащих, МОП					8,1	693456	
7.3	Единый социальный налог					2,1	180298	
8	Общепроизводственные расходы							
9	Коммерческие расходы (Реклама)					0,7	60000	
Полная себестоимость						54736,43156	4598220400	
Условно-переменные затраты						54561,03556	4582050231	
Условно-постоянные затраты						175,396	16170169	

#### 4.4. План доходов и расходов

Таблица 4.13. План доходов и расходов

№	Наименование статей	До повышения производительности	После повышения производительности
1	Объем продаж, м <sup>3</sup>	78600	86460
2	Цена за 1 тонну, тыс.руб.	80	80
3	Выручка от реализации, тыс.руб. (стр.1*стр.2)	6288000	6916800
4	Условно-переменные затраты (табл.10, табл.11), тыс.руб.	4285050	4582050
5	Условно-постоянные затраты (табл.10, табл.11), тыс.руб.	16170	16170
6	Проценты по кредитам, тыс.руб.	0	0
7	Прибыль до вычетов налогов (стр.3-стр.4-стр.5-стр.6)	1986780	2318580
8	Налоги, относящиеся на финансовый результат (2,2% от остаточной стоимости имущества), тыс.руб.	947,5	987,1
9	Налогооблагаемая прибыль (стр.7-стр.8), тыс.руб.	1985832,5	2317592,9
10	Налог на прибыль (24% от стр.9), тыс.руб.	476599,8	556222,3
11	Чистая прибыль (стр.9-стр.10), тыс.руб.	1509232,7	1761370,6

#### 4.5. Анализ безубыточности

Цель анализа - определение точки безубыточности, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков. Это означает, что выручка от реализации продукции (В) должна быть равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

$$B = Z_{\text{пост}} + Z_{\text{пер}}$$

Выразим эту формулу через объем продаж (Q):

$$Q \cdot C_i = Z_{\text{пост}} + Z_{\text{пер}} \cdot Q,$$

где  $Z_{\text{пост}}$  - постоянные затраты на весь выпуск продукции, руб.;

$Z_{\text{пер}}$  - переменные затраты на единицу продукции, руб./т;

$C_i$  - цена единицы продукции, руб./т.

Тогда точка безубыточности до повышения производительности:

$$Q_{\text{ТБ}} = \frac{Z_{\text{пост}}}{C_i - Z_{\text{пер}}} = \frac{16170169}{80000 - 54517} = 634, \text{ т.}$$

Точка безубыточности после повышения производительности:

$$Q_{\text{ТБ}} = \frac{Z_{\text{пост}}}{C_i - Z_{\text{пер}}} = \frac{16170169}{80000 - 54561} = 635, \text{ т.}$$

Проверим данный факт графически, построив график безубыточности. По графику минимальный объем выработки составляет 634 т/год и 635 т/год, что полностью совпадает с аналитическим методом расчета.

Фондоотдача до повышения производительности:

$$\Phi_1 = \frac{N \cdot C}{C_{\text{оф}}} = \frac{78600 \cdot 80000}{4301220219} = 1,46 \text{ руб} / \text{руб.}$$

Фондоотдача после повышения производительности:

$$\Phi_2 = \frac{N \cdot C}{C_{\text{оф}}} = \frac{86460 \cdot 80000}{4598220400} = 1,5 \text{ руб} / \text{руб.}$$

Увеличение фондоотдачи

Определим величину относительного увеличения себестоимости продукции после повышения производительности:

$$\Delta_{\phi} = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\Phi_1} \cdot 100\% = \frac{1,5 - 1,46}{1,46} \cdot 100\% = 2,74\%$$

Увеличение прибыли

Определим относительное увеличение прибыли после повышения производительности:

$$\Delta_{\text{пр}} = \frac{1761370,6 - 1509232,7}{1509232,7} \cdot 100\% = 16,7\%$$

Вывод: В данном проекте, прибыль увеличилась на 16,7 % и фондоотдача увеличилась на 2,74% так что проект более ресурсоэффективен.

## Расчет точки безубыточности (формулы и график)

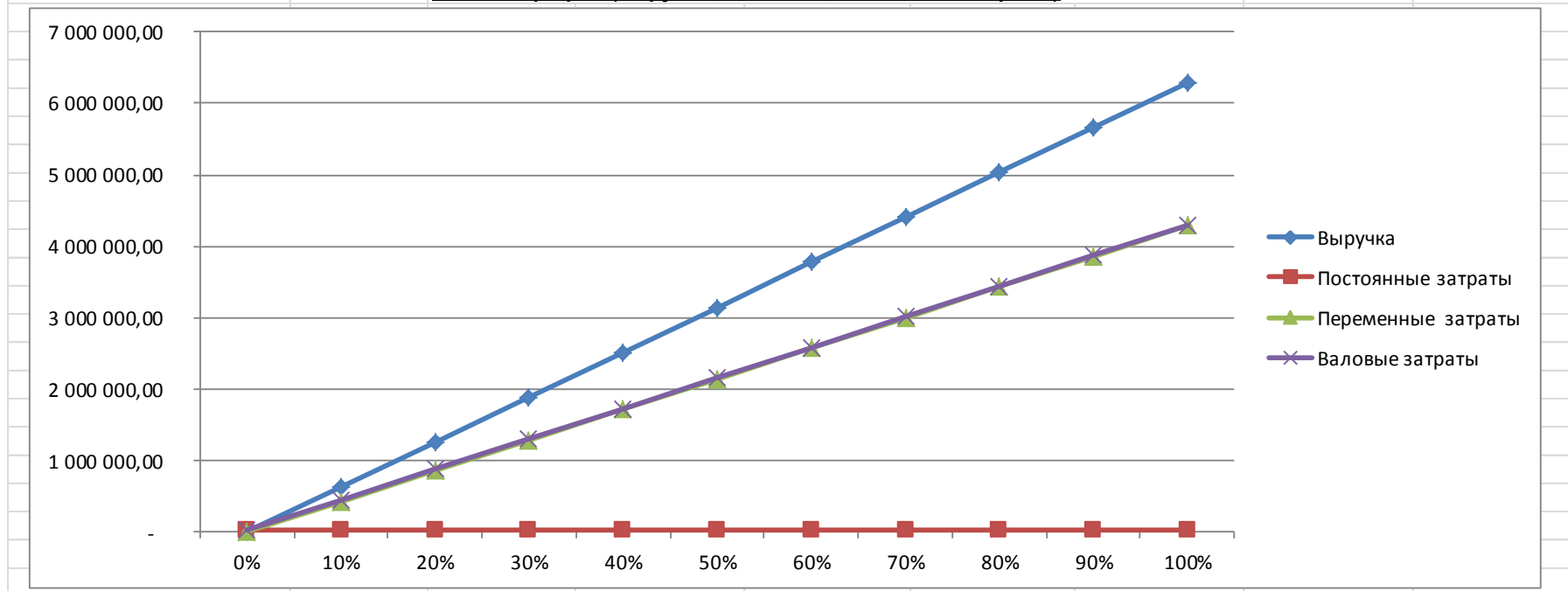
После повышения производительности

Исходные данные		Расчитываемые значения	
Выручка (руб.)	6 288 000,00	Цена за тонну товара	80,00
Реализация (м:3.)	78 600,00	Средние переменные издержки	54,52
Постоянные затраты (руб.)	16 170,00	<b>Точка безубыточности (руб.)</b>	<b>50 763,60</b>
Переменные затраты (руб.)	4 285 050,00	<b>Точка безубыточности (шт.)</b>	<b>634,55</b>

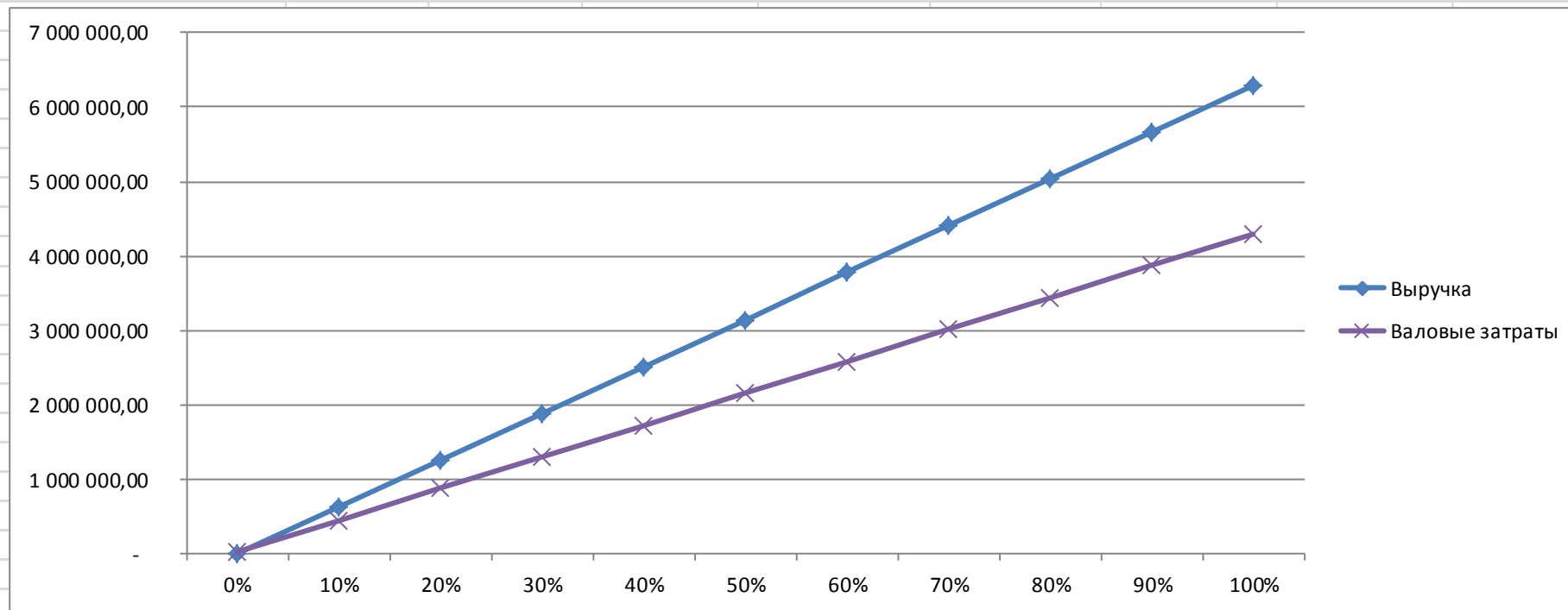
  

Объем выпуска	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
<b>Выручка</b>	-	628 800,00	1 257 600,00	1 886 400,00	2 515 200,00	3 144 000,00	3 772 800,00	4 401 600,00	5 030 400,00	5 659 200,00	6 288 000,00
<b>Постоянные затраты</b>	16 170,00	16 170,00	16 170,00	16 170,00	16 170,00	16 170,00	16 170,00	16 170,00	16 170,00	16 170,00	16 170,00
<b>Переменные затраты</b>	-	428 505,00	857 010,00	1 285 515,00	1 714 020,00	2 142 525,00	2 571 030,00	2 999 535,00	3 428 040,00	3 856 545,00	4 285 050,00
<b>Валовые затраты</b>	15 000,00	444 675,00	873 180,00	1 301 685,00	1 730 190,00	2 158 695,00	2 587 200,00	3 015 705,00	3 444 210,00	3 872 715,00	4 301 220,00
<b>Реализация</b>	-	7 860,00	15 720,00	23 580,00	31 440,00	39 300,00	47 160,00	55 020,00	62 880,00	70 740,00	78 600,00

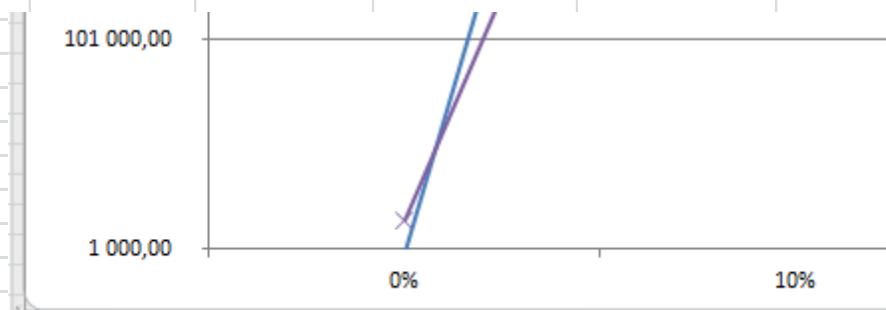
**Полный график (выручка, валовые, детальные затраты)**



**Сокращенный график (выручка и валовые затраты)**



**Пересечение линии выручки и валовых затрат (точка безубыточности)**



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Объектом исследования являлся конденсатор паров гептана полимеризации пропилена на производстве «Полипропилен» ОАО "СИБУР - Томскнефтефим".

В процессе работы был проведен расчет материального, теплового балансов, гидравлический, конструктивный расчеты конденсатора паров гептана Е1В. По полученным данным был создан чертеж конденсатора паров гептана ФЮРА.ПП.002.000 СБ. В экономической части рассчитана годовая экономия при повышении производительности на 10%. Предусмотрены мероприятия для обеспечения безопасных условий труда, техники безопасности, пожаро-взрывобезопасности, про санитарии и охраны окружающей среды.

Результаты расчетов показали, что повышение мощности на 10% не влечет за собой изменения технологического режима и аппаратурного оформления реактора полимеризации пропилена.

В результате экономические показатели улучшаются: снижается себестоимость полипропилена, увеличивается прибыль.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. В.М.Беляев, В.М.Миронов В. В. Тихонов. Конструирование и расчёт элементов оборудования отрасли. Часть I. Аппараты с механическими перемешивающими. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 95 с.
2. Кувшинский М.Н., Соболева А.П. Курсовое проектирование по предмету Процессы и аппараты химической промышленности. Учебное пособие для учащихся техникумов. - 2-е изд. перераб.и доп.- М.: Высш. школа, 1980.- 223с.
3. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. - Лю: Химия, 1987. - 576 с.
4. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/ Г. С. Борисов, В. П. Брыков, Ю. И. Дытнерский и др. Под ред. Ю. И. Дытнерского, 2-е изд., перераб. и дополн. - М.:Химия, 1991. — 496 с.
5. А. А. Лацинский, А. Р. Толчинский. Основы конструирования и расчет химической аппаратуры. Л., «Машиностроение», 1970г., 752с.
6. М.Ф. Михалева, Н.П.Третьяков, А.И. Мильченко, В.В. Зобнин. Расчёт и конструирование машин и аппаратов химических производств. Л.: Машиностроение, Ленингр. 1984. -301с.
7. ОСТ 26 291 «Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия».
8. Теплообменное оборудование для нефтегазовой промышленности. Каталог.
9. Семакина О.К. Машины и аппараты химических производств. Учеб. Пособие. Часть 1 /Том. политехн. ун-т. – Томск, 2003. – 118 с.
10. Л.В. Курмаз, А.Т. Скойбеда. Детали машин. Проектирование: Справочное учебно-методическое пособие. -2-е изд., испр.: М.: Высш. Шк., 2005. – 309с.:ил.
11. А.Г. Касаткин. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. -10-е изд. Стрелитипное, доработанное. – М.: ООО ТИД «АльЯнс», 2004. – 753с.
12. О.К. Семакина, В.М. Миронов. Машины и аппараты химических производств. Учеб. Пособие. Часть 2 /Том. политехн. ун-т. – Томск, 2012. – 126 с.
14. ОСТ 26-2002-83. Люки с плоскими крышками стальных сварных сосудов и аппаратов. Конструкция.
15. АТК 24.218.06-90. Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных. Типы, основные параметры, размеры и общие технические требования.
16. ГОСТ 9931-85. Корпусы цилиндрические стальных сварных сосудов и аппаратов.
17. ГОСТ Р 52857.3-2007. Укрепление отверстий.
18. ОСТ 26-2091-93. Опоры горизонтальных сосудов и аппаратов. Конструкция.

19. ГОСТ 6533-78. Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов.
20. ГОСТ Р 52857.7-2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
21. ГОСТ Р 52857.2-2007. Расчет обечаек и днищ.
22. ГОСТ 15118-79. Аппараты теплообменные кожухотрубчатые с неподвижными трубными решётками и кожухотрубчатые с температурным компенсатором на кожухе. Размещение отверстий под трубы в трубных решётках и перегородках. Основные размеры.
23. ГОСТ 28759.3-90. Фланцы сосудов и аппаратов стальные приварные встык.
24. ОСТ 26-01-984-82. Рубашки неразъемные с эллипсоидным днищем стальных сварных сосудов и аппаратов. Основные параметры и размеры.
25. ГОСТ Р 52857.1-2007 Общие требования.
26. ГОСТ Р 52857.4-2007 Расчет фланцевых соединений.
27. В.М.Беляев, В.М.Миронов В. В. Тихонов. Конструирование и расчёт элементов оборудования отрасли. Часть II. Аппараты с механическими перемешивающими. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 9163 с.
28. ГОСТ Р 52857.5-2007 Обечайки и днища от воздействия опорных нагрузок.
29. Каталог уплотнения