

**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 и химической технологии

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Разработка основного оборудования установки очистки каустика</b> УДК 661.34.05-048.35

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К32	Боровой Виталий Юрьевич		

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	Рыжакина Т.Г.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Общей химии и химической технологии	Ан В.В.	к.т.н.		

Томск – 2017 г.

**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 и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_ Ан 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
2К32	Боровой Виталий Юрьевич

Тема работы:

Разработка основного оборудования установки очистки каустика

Утверждена приказом директора (дата, номер)

24.03.2017, 2056/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

*(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.).*

Рассчитать аппарат с механическим перемешивающим устройством периодического действия с гладкостенной рубашкой для получения раствора каустической соды с концентрацией 50 %.

Плотность обрабатываемой среды (NaOH 50%+осадок)

$\rho_c=1968\text{кг/м}^3$

Массовый расход раствора

$G=3\text{ кг/с}$

Концентрация

$Z=50\%$

Плотность среды в рубашке

$\rho_{cp}=1000\text{ кг/м}^3$

	Давление в рубашке	$P_p=0,6 \cdot 10^6 \text{ Па}$
	Давление в аппарате	$P_a=0,3 \cdot 10^6 \text{ Па}$
	Температура среды в рубашке	$t_v=100 \text{ }^\circ\text{C}$
	Рабочая температура	$t_c=80 \text{ }^\circ\text{C}$
	Срок эксплуатации аппарата	$t=15 \text{ лет}$
	Среднее время пребывания реагентов в реакторе 40 мин	
	Коэффициент динамической вязкости (NaOH, 50%) $\mu=10 \cdot 10^{-4}$ Па·с	

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке</b></p> <p><b>вопросов</b> (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).</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Технологический расчет: <ul style="list-style-type: none"> <li>- описание технологической схемы;</li> <li>- материальный и тепловой баланс аппарата;</li> <li>- гидродинамический расчет аппарата;</li> <li>- определение основных размеров аппарата.</li> </ul> </li> <li>2. Конструктивно-механический расчет аппарата: <ul style="list-style-type: none"> <li>- определение расчетных параметров;</li> <li>- определение толщины стенки обечайки, днища;</li> <li>- расчет фланцевых соединений;</li> <li>- укрепление отверстий;</li> <li>- расчет на прочность и устойчивость.</li> </ul> </li> <li>3. Социальная ответственность: <ul style="list-style-type: none"> <li>- анализ опасных факторов проектируемой производственной среды;</li> <li>- охрана окружающей среды;</li> <li>- защита в чрезвычайной ситуации.</li> </ul> </li> <li>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: <ul style="list-style-type: none"> <li>- анализ производственной мощности;</li> <li>- расчет себестоимости продукции;</li> <li>- анализ безубыточности производства;</li> <li>- определение технико-экономических показателей.</li> </ul> </li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>Лист 1 – Технологическая схема (А1). Лист 2– Общий вид аппарата (А1). Лист 3 –выносные элементы аппарата (А1). Лист 4 – Технико-экономические показатели (А1).</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)</p>	
<p><b>Раздел</b></p>	<p><b>Консультант</b></p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Рыжакина Татьяна Гавриловна</p>
<p>Безопасность жизнедеятельности и охрана окружающей среды</p>	<p>Роденков Тимофей Александрович</p>

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	<p>28.02.17г.</p>
--	-------------------

**Задание выдал руководитель:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<p>Группа</p>	<p>ФИО</p>	<p>Подпись</p>	<p>Дата</p>
<p>2К32</p>	<p>Боровой Виталий Юрьевич</p>		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2к32	Боровой Виталий Юрьевич

<b>Институт</b>	<i>(ИФВТ)</i>	<b>Кафедра</b>	<b>ОХХТ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавр	<b>Направление/специальность</b>	«Машины и аппараты химических производств»

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

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</li> <li>– негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</li> <li>– чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</li> </ul>	<p>Описание рабочей зоны</p> <p>Рабочая зона представляет из себя цех площадью (110x70) м<sup>2</sup>. Цех состоит из следующего оборудования:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Основное оборудование: Реактор кустификатор.</li> <li>- Вспомогательное оборудование</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Шестиярусный промыватель;</li> <li>2. Отстойник;</li> <li>3. Насос (6 штук);</li> <li>4. Сборник содового раствора;</li> <li>5. Сборник слабого раствора;</li> <li>6. Барабанный вакуумный фильтр;</li> <li>7. Шнековая мешалка;</li> <li>8. Приемная мешалка шлама и суспензий (2 штуки).</li> </ol>
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>Федеральный закон № 426-ФЗ от 28 декабря 2013 года «О специальной оценке условий труда»</p> <p>Федеральный закон № 184-ФЗ «о техническом регулировании от 27 декабря 2002 года.</p> <p>Федеральный закон № 123-ФЗ от 22.07.2008 г (ред от 10.07 2012г) «Технический регламент о требованиях к пожарной безопасности»</p>

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

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</li> </ul>	<p>Решение проблем: для снижения воздействия вредных факторов на рабочий персонал необходимы следующие меры:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- для защиты от воздействия вредных паров раствора производственные помещения снабжены приточной и вытяжной вентиляцией</li> <li>- для защиты рабочих работающих с реагентами и выгрузки раствора следует применять СИЗ: резиновые перчатки, резиновая обувь, прорезиненный фартук, респиратор, защитные очки.</li> </ul>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> </ul>	<p>Выявление опасных факторов при разработке и эксплуатации установок:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- утечки, пожары, взрывы, электричество;</li> <li>- термическая опасность;</li> <li>- химическая и электробезопасность (наличие химически активных сред, разрушающие изоляцию и токоведущие части электрооборудования) СанПиН 2971-84.</li> </ul> <p>В целях обеспечения электробезопасности необходимо создание системы предупреждающих знаков и ограждений: наличие изоляции токоведущих частей;</p>

– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	средств индивидуальной защиты. В целях избежания травматизма следует соблюдать нормы технического регламента при осмотре и ремонте аппаратуры.
3. Охрана окружающей среды:  – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	Проблемы: – вредные вещества, которые выделяются во время производственного процесса в атмосферу ( пары щелочи ). Для решения этой проблемы достаточно снабдить вентиляцию фильтрами – влияние на гидросферу, литосферу отсутствуют
4. Защита в чрезвычайных ситуациях:  – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	Типичная ЧС – это землетрясения и ураганы. В целях профилактики, объект оборудован амортизаторами для предотвращения обвала здания цеха. В случае урагана необходимо произвести аварийную остановку и срочно эвакуироваться согласно плана эксплуатации цеха
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:  – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	– “Трудовой кодекс Российской Федерации” от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. От 31.12.2014). – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: технический перерыв, проветривание, полная изоляция от производственных источников вибрации и шума.
<b>Перечень графического материала:</b>	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	14.04.2016
---	------------

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2к32	Боровой Виталий Юрьевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
2к32	Боровой Виталий Юрьевич

Институт	Электронного обучения	Кафедра	ОХХТ
Уровень образования	Бакалавр	направление	МАХП

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

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

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

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2. Разработка устава научно-технического проекта	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности оборудования

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

1. Расчет точки безубыточности
2. Расчет технико-экономических показателей

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

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2к32	Боровой Виталий Юрьевич		

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р1	Применять базовые математические, естественнонаучные, социально-экономические и специальные знания в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-1,2,3,19,20), Критерий 5 АИОР (п.1.1)
Р2	Применять знания в области энерго-и ресурсосберегающих процессов и оборудования химической технологии, нефтехимии и биотехнологии для решения производственных задач	Требования ФГОС (ПК-4,5,9,15 ОК-7), Критерий 5 АИОР (пп.1.1,1.2)
Р3	Ставить и решать задачи производственного анализа, связанные с созданием и переработкой материалов с использованием моделирования объектов и процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС (ПК-4,5,8,11, ОК-2,4), Критерий 5 АИОР (пп.1.2)
Р4	Проектировать и использовать новое энерго и ресурсосберегающее оборудование химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-8,11,23,24), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
Р5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-1,4,5,19-22, ОК-7,10), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
Р6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность и надежность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды.	Требования ФГОС (ПК-6,12,13,14,17, ОК-3,4,8), Критерий 5 АИОР (п.1.5)
Р7	Применять знания по проектному менеджменту для ведения инновационной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ПК-3, 8, 9, 10, 11, 12, 13), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>



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

*Цели образовательной программы*

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

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

## Реферат

Дипломный проект состоит из пояснительной записки и 4 листов графического материала формата А1. Пояснительная записка содержит 110 с., 17 рис., 5 табл., 20 источников литературы.

Целью дипломного проекта рассчитать и подобрать аппарат с механическим перемешивающим устройством и рубашкой периодического действия для получения раствора гидроксида натрия (NaOH) 50% из шлама сульфата натрия и реагентов каустификации ( $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

Произведен материальный, технологический, тепловой и конструктивно-механический расчет.

В конструктивно-механическом разделе произведен расчет толщины стенок обечайки и стандартных эллиптических крышки и днища; расчет диаметра штуцеров; расчет укреплений отверстий и фланцевых соединений; расчет вала на прочность и виброустойчивость; расчет опоры и толщины изоляции.

Применение проектируемого аппарата позволяет извлечь остатки гидроксида натрия из шлама и довести до необходимой концентрации товарного продукта.

Ключевые слова: аппарат с механическим перемешивающим устройством и рубашкой, фланец, трехлопастная мешалка.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	14
1. Технологический расчет.....	15
1.1. Материальный баланс.....	15
1.2. Расчет общего и рабочего объема реактора.....	15
1.3. Гидродинамический расчет аппарата без внутренних устройств....	16
1.4. Тепловой баланс.....	18
2. Конструктивные решения.....	24
2.1. Корпус аппарата.....	24
2.2. Привод перемешивающего устройства.....	27
2.3. Выбор муфты.....	28
2.4. Уплотнение вала.....	29
2.5. Выбор материала для изготовления аппарата.....	29
3. Конструктивно-механический расчет.....	31
3.1. Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки сосуда.....	31
3.1.1. Определение и расчет параметров материала аппарата.....	31
3.1.2. От внутреннего избыточного давления.....	33
3.1.3. От наружного избыточного давления.....	36
3.2. Расчет эллиптической крышки.....	41
3.2.1. От внутреннего давления.....	42
3.3. Расчет эллиптического днища.....	43
3.3.1. От внутреннего давления.....	43
3.3.2. От наружного давления.....	44
3.4. Расчет рубашки аппарата.....	47
3.4.1. Цилиндрическая часть.....	49
3.4.2. Эллиптическая часть.....	51
3.5. Расчет фланцевого соединения.....	52
3.6. Укрепление отверстий.....	64
3.7. Подбор опор.....	67

3.8.	Расчет вала перемешивающего устройства.....	70
3.8.1.	Расчет на виброустойчивость.....	71
3.8.2.	Расчет на жесткость.....	73
3.8.3.	Расчет на прочность.....	77
3.8.3.	Расчет на прочность при кручении.....	80
4.	Социальная ответственность .....	82
4.1.	Описание составного цеха на предмет формирования опасных и вредных факторов.....	82
4.2.	Анализ выявленных опасных факторов при различных условиях..	83
4.2.1.	Микроклиматические условия.....	83
4.2.2.	Освещение.....	85
4.2.3.	Шумы и вибрации.....	85
4.2.4.	Электробезопасность.....	85
4.3.	Техника безопасности при обслуживании химического оборудования.....	87
4.4.	Техника безопасности при ремонте.....	88
4.5.	Экологическая безопасность .....	89
4.6.	Безопасность при чрезвычайных ситуациях.....	90
4.7.	Правовые и организационные вопросы безопасности.....	91
5.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережения.....	92
5.1.	Расчет эффективного фонда времени .....	93
5.2.	Организация труда и заработной платы.....	95
5.2.1.	Определение баланса времени одного рабочего.....	95
5.2.2.	Расчет годового фонда заработной платы.....	98
5.3.	Капитальные затраты.....	101
5.4.	Расчет технологических затрат.....	103
5.5.	Экономическая оценка эффективности проекта .....	105
	Заключение.....	108
	Список использованных источников.....	109
	Приложения.....	111

					Лист
					13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

## Введение

Химические аппараты предназначены для ведения в них одного или нескольких химических, физических или физико-химических процессов. Перерабатываемые в аппарате вещества могут быть в любом агрегатном состоянии и различной химической активности. Различными могут быть температурные режимы и давления.

Характер работы аппаратов бывает непрерывный и периодический, а установка их может быть стационарной (в помещении или на открытой площадке) и не стационарной (предусматривающей или допускающей перемещение аппарата).

Аппараты с перемешивающими устройствами являются наиболее распространенным видом оборудования, используемого в химической технологии для проведения различных физических и химических процессов. Выбор аппаратов с перемешивающими устройствами и конструктивные особенности аппаратов определяются характеристикой процесса, свойствами перемешиваемой среды, производительностью технологической линии, температурными параметрами процесса и давлением, при котором процесс осуществляется. Такое многообразие факторов, влияющих на выбор конструкции, затрудняют задачу оптимального проектирования аппаратов. Решение этой задачи требует знания гидродинамических, физических и химических механизмов процесса, зависит от наличия конструкционных материалов, степени разработки стандартных конструкционных решений и от возможностей расчета нетривиальных конструкций в тех случаях, когда стандартные методы конструирования становятся неприемлемыми.

Столь сложные проблемы могут быть решены лишь на основе детального изучения отдельных характеристик оборудования с тем, чтобы на этой основе выбрать те основные параметры аппарата, которые ответственны за скорость протекания процесса в целом и оказывают влияние на конструктивное его оформление. Расчет заключается в определении

									Лист
									14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

конструктивных размеров аппарата и в выборе на их основе стандартной конструкции аппарата.

## 1. Технологический расчет аппарата

В конструктивный расчет вообще входит определение основных размеров аппарата на основании материального и теплового расчета и материального баланса по какому-то компоненту реакции. Размер аппарата зависит от гидродинамического режима в нем и от режима его работы.

### 1.1. Материальный баланс

Материальный баланс любого технологического процесса или части его составляется на основании закона сохранения веса (массы) вещества:

$$\Sigma G_{\text{исх}} = \Sigma G_{\text{кон}}$$

Примем условие, что аппарат работает в стационарном режиме и периодического действия [14]:

Тогда массовый расход раствора примем  $G_{\text{исх}} = G_{\text{кон}} = 3 \text{ кг/с}$

### 1.2. Расчет рабочего и общего объема реактора

Объем такого реактора периодического действия будет определяться единовременной загрузкой реагентов, которая зависит от средней годовой производительности и времени пребывания реагентов в реакторе. Тогда рабочий объем реакционной зоны будет равен:

$$V = G_p \cdot \tau / \rho = (3 \cdot 40 \cdot 60) / 1968 = 3.65 \text{ м}^3$$

Часто отношение высоты аппарата  $H$  к его диаметру  $D$ ,  $m$  примем равным 1.3 [15], поэтому расчет размеров реактора можно определить по уравнению:

$$D = \sqrt[3]{\frac{V}{m \cdot \pi}}; H = m \cdot D$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

$$D = \sqrt[3]{\frac{3.65}{1.3 \cdot 3.14}} = 0.963 \text{ м};$$

$$H = 0.963 \cdot 1.3 = 1.25 \text{ м}.$$

В соответствии с ГОСТ 20680-2002, выбираем номинальный объем и размеры корпуса аппарата:  $V_H = 4 \text{ м}^3$ ;  $D_H = 1.6 \text{ м}$ ;  $H = 2.25 \text{ м}$ .

Наименование аппарата: Тип 0-1 (аппарат с эллиптическим днищем и съемной эллиптической крышкой с гладкой рубашкой).

### 1.3. Гидродинамический расчет аппарата без внутренних устройств

Расчет производим в соответствии с рекомендацией [14].

Целью гидродинамического расчета является определение усредненных характеристик поля скоростей в объеме аппарата, значений осевой и радиальной сил, действующих на мешалку и мощности перемешивания.

1.3.1. Отношение диаметров аппарата к мешалке:

$$\Gamma_D = D / d_m, \quad (1.3.1)$$

где  $D$  – диаметр аппарата, м;

$d_m$  – диаметр мешалки, м.

Исходя из технических соображений выбираем трёхлопостную мешалку с прямоугольным профилем лопасти при  $D/d_m = 2.4-3$  для сосуда без перегородок [14, с.23]:

По ГОСТ 20680-75 из рекомендаций АТК 24.201.17-90 принимаем параметры мешалки,  $d_m = 0.56 \text{ м}$ ;  $d = 0.045 \text{ м}$ ;  $h = 0.07 \text{ м}$ ;  $b = 0.112 \text{ м}$ ;  $s = 0.006 \text{ м}$ ;

1.3.2. Центробежный критерий Рейнольдса:

$$Re_{\Pi} = n p d_m^2 / \mu = C G a^k S_p^l \Gamma_{dч}^m \Gamma_D^n,$$

где  $n$  – частота вращения мешалки,  $1/\text{с}$ ;

$C$  – молярная концентрация,  $\text{кмоль}/\text{м}^3$ ;

$G a$  – критерий Галилея;

$\Gamma_{dч}$  – отношение диаметра частиц к мешалки (диаметр частиц  $d_{ч} = 1.3 \text{ мм}$ ), м

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					16



$k, l, m, n$ -коэффициенты характеристики типа мешалки (для лопастных  $k=0.6$ ;  $l=0.8$ ;  $m=0.4$ ;  $n=1.9$ )[14]

Расчет значения критериев и симплексов подобия:

$$Ga = d^3 \rho^2 g / \mu = 0.56^3 \cdot 1968^2 \cdot 9.8 / 1 \cdot 10^{-3} = 6.66 \cdot 10^9$$

$$S_p = \rho_q / \rho_c = 2150 / 1968 = 1.1,$$

$$\Gamma_{dq} = d_q / d_M = 1.3 \cdot 10^{-3} / 0.56 = 2.3 \cdot 10^{-3},$$

$$\Gamma_D = 1.6 / 0.56 = 3,$$

$$Re_{\mu} = 0.5 \cdot 6.66^{0.6} \cdot 10^{5.4} \cdot 1.1^{0.8} \cdot 2.3^{0.4} \cdot 10^{-1.2} \cdot 3^{1.9} = 15 \cdot 10^5.$$

Тогда  $n = Re_{\mu} \frac{\mu}{\rho_c d_M^2} = 15 \cdot 10^5 (1 \cdot 10^{-3} / 1968 \cdot 0.56^2) = 3.4 \text{ об/с} = 222 \text{ об/мин.}$

### 1.3.3. Параметр высоты заполнения

$$\gamma = 8 \frac{H}{D} + p.$$

$$\gamma = 8 \cdot \frac{1800}{1600} + 1 = 10.$$

### 1.3.4. Параметры распределения скорости $\psi_1, \psi_2$ связаны между собой зависимостью

$$\psi_2(\psi_1) = \Phi_1 - \Phi_2 \psi_1, \quad (1.3.4)$$

Для быстроходных мешалок при  $\Gamma_D \geq 1,5$   $\Phi_1 = 0.5$   $\Phi_2 = 1,25$ .

Параметр распределения скорости  $\psi_1$  можно также определять по графикам  $\psi_1 = f(E)$  при  $\Gamma_D = \text{const}$  (см. рис. 2.18) [14, с.31].

Принимаем  $\psi_1 = 0.2$ ;

Тогда  $\psi_2 = 0.5 - 1.25 \cdot 0.2 = 0.25$

### 1.3.5. Глубина воронки:

$$h_B = B \frac{n^2 d_M^2}{2g}. \quad (1.3.5)$$

Параметр глубины воронки:

$$B = -17.2 + \exp(3.33 - 0.2\psi_1),$$

$$B = -17.2 + \exp(3.33 - 0.2 \cdot 0.2) = 9.64,$$

$$h_B = 9.64 \frac{3.4^2 \cdot 0.56^2}{2 \cdot 9.8} = 2 \text{ мм.}$$

1.3.6. Высота установки мешалки над днищем аппарата

$$H_M = 0.7 \cdot d_M = 0.7 \cdot 0.56 = 0.4 \text{ м,} \quad (1.3.6)$$

1.3.7. Мощность, потребляемая при перемешивании трёхлопастной мешалкой:

Критерий мощности :

$$K_N = 3,87 \zeta_M K_1(\psi_1), \quad (1.3.7)$$

$$\text{где } K_1(\psi_1) = 0,1\psi_1^2 + 0,222\psi_1 \cdot \psi_2(\psi_1) + 0,125[\psi_2(\psi_1)]^2, \quad (1.3.7.1)$$

$$K_N = 3.87 \cdot 0.56 \cdot 0.23 = 0.5.$$

Из графика  $K_N=f(Re)$  [15, с.558] находим значение критерия мощности перемешивания для трёхлопастной мешалки:  $K_N=0.5$

$$N = K_N \rho_c n^3 d_M^5;$$

$$N = 0.5 \cdot 1968 \cdot 3.4^3 \cdot 0.56^5 = 2261 \text{ Вт} \approx 2.26 \text{ кВт.}$$

Из ближайших нормативных значений [2, с.730] выбираем привод вертикальных перемешивающих устройств, тип 5: с двумя промежуточными опорами, мотор-редуктор типа ВО и электродвигателем серий АО2 с  $N=250$  об/мин, следовательно  $n_{\text{нор}}=250$  об/мин.

Ближайшее нормативное значение мощности привода типа 5:  $N_{\text{нор}}=3$  кВт

#### 1.4. Тепловой баланс

Целью теплового расчета аппарата с перемешивающим устройством является обеспечение требуемого теплового потока  $Q_T$  через теплообменные поверхности аппарата.

Расчет производим в соответствии с рекомендацией [14].

Тепловой баланс в общем случае определяется простым уравнением:

$$\sum Q_{\text{пр}} = \sum Q_{\text{расх}} + Q_{\text{пот}} \quad (1.4.1)$$

						Лист
						18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где  $Q_{пр}$  – физическое тепло, вносимое в аппарат реагентами, материалом аппарата (для периодических процессов), тепло фазовых переходов, тепло реакции и т. д.;

$Q_{расх}$  – физическое тепло, уносимое из аппарата продуктами реакции;

$Q_{пот}$  – тепло, теряемое в окружающую среду;

$t_{н.р}=50$  и  $t_{к.р}=80$  – температура каустификации (NaOH), °C;

$t_{н}=100$  и  $t_{к}=85$  – начальная и конечная температура воды, °C;

При расчете теплоизоляции аппарата или трубопровода величина  $Q_{пот}$  будет допустимой потерей тепла (равным 3÷5 % от максимального значения суммы вносимого или уносимого тепла) в окружающую среду. Тогда толщину слоя теплоизоляции можно рассчитать по формуле [14]:

$$s = \frac{d \left\{ \exp \left[ \frac{2\pi\lambda_{из}F(t_{п}-t_0)}{Q} \right] - 1 \right\}}{2},$$

где  $\lambda_{из}$  – коэффициент теплопроводности материала изоляции.

- Определение требуемого теплового потока

Под тепловым потоком здесь понимается поток тепловой энергии, передаваемый от среды с большей температурой к среде с меньшей.

Величина теплового потока через каждое теплообменное устройство, т. е.  $Q_i$ , определяется коэффициентом теплопередачи  $K_i$ , площадью поверхности теплообмена  $F_i$  и средней разностью температур  $\Delta T_{ср.i}$  между перемешиваемой средой и теплоносителем [14, с.25]:

$$Q_i = K_i F_i \Delta T_{ср.i}; \quad (1.4.2)$$

$$K_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_c} + \frac{1}{\alpha_T} + \Sigma \delta / \lambda}; \quad (1.4.3)$$

$\Sigma \delta / \lambda = s / \lambda + 2(s^* / \lambda^*)$  т.к. накипь образуется на внешней и внутренней поверхности аппарата

									Лист
									19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

где  $\Sigma\delta/\lambda$  – сумма термических сопротивлений стенки и загрязнений;

$\alpha_c$  – коэффициент теплоотдачи от перемешиваемой среды к стенке;  
теплообменного устройства, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$s$  – толщина теплопередающей стенки, м (примем  $s=0.002$ );

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала стенки, Вт/(м·К) (для стали X18H10T,  $\lambda=16$ Вт/(м·К));

$s^*$  – толщина накипи, образующаяся на стенке аппарата, м (примем  $s^*=0.003$ );

$\lambda^*$  – коэффициент теплопроводности накипи, Вт/(м·К) (для накипи,  $\lambda^*=2$  Вт/(м·К));

$\alpha_T$  – коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к стенке теплообменного устройства, Вт/(м<sup>2</sup>·К).

В процессе расчета необходимо из теплового баланса определить требуемый тепловой поток, выбрать то или иное теплообменное устройство, рассчитать для него коэффициент теплопередачи и в итоге определить действительный тепловой поток.

- Условие определения требуемого теплового потока

$$\sum Q_i \geq Q_T$$

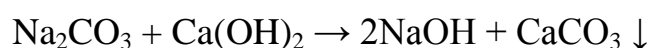
$$Q_T = Q_p + N + Q_m - Q_{\text{п}},$$

где  $Q_p$  – тепловой поток реакции экзотермической (+) или эндотермической (–), Вт;

$Q_m$  – тепло, вводимое в аппарат с материальными потоками, Вт;

$N$  – мощность, вводимая в аппарат перемешивающим устройством, Вт;

$Q_{\text{п}}$  – потери тепла в окружающую среду, Вт.



$$Q_p = Q_m \cdot n$$

где  $Q_m = -0.84$  кДж/моль – тепловой эффект каустификации 1 моля NaOH [16]

$n$  – количество молей полученного вещества;

$M(\text{NaOH}) = 0.04$  кг/моль;

						Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$n=m/M=(\rho V \cdot 0.5)/M;$$

$$n=(1968 \cdot 3.65 \cdot 0.5)/0.04=89790$$

$$Q_p=-0.84 \cdot 89790=-75424 \text{ кДж}$$

Тепло, вводимое в аппарат с материальным потоком:

$$Q_M=\sum_{i=1}^n G_{\text{исх}} c_{p1} t_{н,р} - \sum_{i=1}^n G_{\text{кон}} c_{p2} t_{к,р}; \quad (1.4.4)$$

где n – количество потоков, поступающих в реактор (n=1)

$$Q_M=3 \cdot 3260 \cdot 323 - 3 \cdot 3240 \cdot 353=-272 \text{ кДж};$$

Примем  $N=3$   $kB=3 \cdot 3.6=10.8$  кДж

Тогда  $Q_T=-75424+10.8-272=-75685$  кДж

Расчет расхода воды на обогрев раствора хлорида кальция, кг/с;  
-уравнение теплового баланса :

$$Q_T=G_B c_B (t_H - t_K) + Q_{\text{п}}; \quad (1.4.5)$$

где  $Q_{\text{п}}=3784$  кДж, принимается равной 3-5% от  $Q_T$ ;

$$G_B=(Q_T - Q_{\text{п}})/c_B (t_H - t_K)=2.5 \text{ кг/с};$$

- Расчет коэффициентов теплопередачи:

Коэффициент теплоотдачи от среды к стенке аппарата при использовании быстроходной мешалки [14, 44]:

$$\alpha_c=a_2 \cdot N^{0.29} \cdot D^{-0.71} + a_3 \cdot N^{0.18} \cdot D^{0.82};$$

где N – мощность, затрачиваемая на перемешивание, Вт;

$a_2, a_3$  – вспомогательные коэффициенты:

$$a_2=0.0237 \cdot a_1 \cdot \rho^{0.58} \cdot \mu^{-0.54}, \quad (1.4.5)$$

$$a_3=0.93 \cdot a_1 \cdot \rho^{0.36} \cdot \mu^{-0.24}, \quad (1.4.6)$$

$$a_1=(C \cdot \lambda^2)^{0.33}, \quad (1.4.7)$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

где  $\lambda=0.095$ -коэффициент сопротивления корпуса аппарата, т.к.  $\Gamma_D > 2$

$$a_1 = (0.5 \cdot 0.095^2)^{0.33} = 0.168;$$

$$a_2 = a_1 \cdot 0.0237 \cdot 1968^{0.58} \cdot 1 \cdot 10^{1.62} = 13.5;$$

$$a_3 = a_1 \cdot 0.93 \cdot 1968^{0.36} \cdot 1 \cdot 10^{-3 \cdot (-0.24)} = 12.6;$$

$$\alpha_c = 32.8 \cdot 2.2^{0.29} \cdot 1.6^{-0.71} + 12.6 \cdot 2.2^{0.18} \cdot 1.6^{0.82} = 34 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

- Коэффициент теплоотдачи от жидкости в цилиндрической рубашке к стенке аппарата при использовании быстроходной мешалки [14, 45]:
- Средняя температура теплоносителя:

$$T_{cp} = 0.5 \cdot (T_1 + T_2); \quad (1.4.8)$$

$$T_{cp} = 0.5 \cdot (373 + 353) = 363 \text{ К};$$

- Температура стенки в первом приближении:

$$T_{cp} = 0.5 \cdot (T_1 + T_{cp}); \quad (1.4.9)$$

$$T_{cp} = 0.5 \cdot (343 + 335.5) = 368 \text{ К};$$

- Вспомогательный параметр  $\Delta$ :

для воды:

$$\Delta = 3,835 \cdot 10^9 + 0,4283 \cdot 10^9 T_{cp} + 1,004 \cdot 10^7 T_{cp}^2 = 1.278 \cdot 10^{12}; \quad (1.4.10)$$

- Произведение критериев Грасгофа и Прандтля:

$$Gr \cdot Pr = N_p^3 \cdot (T_{cp} - T_{cp}) \cdot \Delta; \quad (1.4.11)$$

где  $N_p$  – высота цилиндрической части рубашки, м.

$$N_p = 2.25 - 2 \cdot 0.25 \cdot 1.6 = 1.45 \text{ м};$$

$$Gr \cdot Pr = 1.45^3 \cdot 3.75 \cdot 1.278 \cdot 10^{12} = 1.461 \cdot 10^{13};$$

По табл. 2.11 [14, с.45] находим вспомогательные коэффициенты  $C_s$  и  $f$ :  
 $C_s = 0.135$ ;  $f = 0.33$ .

- Коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_T = C_s \cdot \lambda_T \cdot (Gr \cdot Pr)^f \cdot N^{-1}; \quad (1.4.12)$$

где  $\lambda_T$  – коэффициент теплопроводности воды,  $\lambda_T = 0.668 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ .

						Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\alpha_T = 0.135 \cdot 0.668 \cdot (1.461 \cdot 10^{13})^{0.33} \cdot 2.25^{-1} = 886 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_c} + \frac{1}{\alpha_T} + \sum \delta / \lambda};$$

$$K = 1 / (1/34 + 1/886 + 0.006/16 + 0.006/2) = 30 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

- Расчет площади поверхности теплообмена аппарата периодического действия:

$$F = Q_T / K \cdot \Delta T_{cp};$$

$$\Delta T_{cp} = \frac{t_{k,c} - t_{h,c}}{\ln \frac{t_{h,b} - t_{h,c}}{t_{h,b} - t_{k,b}}} \cdot \frac{A - 1}{A' \ln A'}; \quad (1.4.13)$$

$$\text{где } A = (t_{h,b} - t_{k,c}) / (t_{k,b} - t_{k,c}) = (100 - 50) / (90 - 80) = 5$$

$$A' = (t_{h,b} - t_{k,c}) / (t_{k,b}' - t_{k,c}) = (100 - 50) / (85 - 80) = 10$$

$t_{k,b} = 90^\circ\text{C}$  - температура воды на выходе из рубашки в начале нагревания;

$t_{k,b}' = 85^\circ\text{C}$  - температура воды на выходе из рубашки в конце

нагревания;

$$\Delta T_{cp} = 5^\circ\text{C} \text{ или } 278 \text{ К};$$

$$Q_T = 75685 / 3.6 \text{ кДж} = 21024 \text{ Вт};$$

$$\text{Тогда } F = 21024 / 30 \cdot 278 = 8.4 \text{ м}^2.$$

- Расчет толщины теплоизоляции рубашки аппарата;

Выбираем дешевый и доступный материал для теплоизоляции: асбестовое волокно ( $\lambda_{из} = 0.126 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ ) [16].

По рекомендации [2, с.486] при диаметре аппарата 1.6 м выбираем диаметр рубашки 1.7 м, так как для расчета необходим наружный диаметр примем толщину рубашки  $s = 6 \text{ мм}$ , тогда  $d = 1.712 \text{ м}$

$$s = \frac{d \left\{ \exp \left[ \frac{2\pi \lambda_{из} F (t_{\pi} - t_0)}{Q} \right] - 1 \right\}}{2}$$

где  $t_{\pi} = 100^\circ\text{C}$  – температура наружной поверхности рубашки;

$t_0 = 20^\circ\text{C}$  – температура окружающей среды;

$$Q = Q_{\pi} = 3784 / 3.6 = 1051 \text{ Вт};$$

$$S = \frac{1.712 \left\{ \exp \left[ \frac{2\pi \cdot 0.126 \cdot 8.4 \cdot 80}{1051} \right] - 1 \right\}}{2} = 0.016 \text{ м} = 16 \text{ мм.}$$

## 2. Конструктивные решения

### 2.1. Корпус аппарата

По полученным данным из конструктивного расчета, в зависимости от заданных объема  $V=4 \text{ м}^3$  и диаметра аппарата  $D=1,6 \text{ м}$ , при условии, что крышка и днище аппарата – эллиптические, а корпус неразъемный, в соответствии с [2], выбираем корпус аппарата неразъемный с эллиптическим днищем и гладкой рубашкой (тип 0, исполнения 1) по ГОСТ 20680-2002.

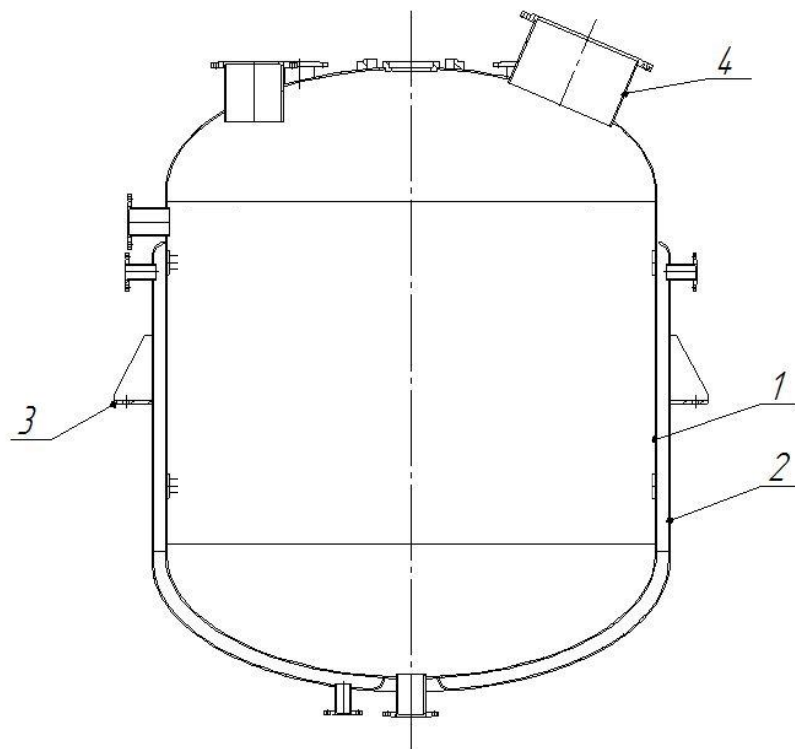


Рисунок 1 - Корпус аппарата: 1-корпус, 2 – рубашка, 3- лапа опорная ,  
4 – люк-лаз.

Данный аппарат, представленный на рисунке 1, состоит из неразъемного корпуса, в который поступает среда, которая попадая в аппарат, перемешивается трехлопастной мешалкой, и далее выходит через сливной

					Лист
					24
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	



штуцер. Аппарат оснащен рубашкой. Мешалка вращается с помощью привода, который оснащен уплотнением, для избегания попадания перемешивающей среды в подшипниковый узел.

## 2.1. Расчет штуцеров

Расчет диаметра штуцера входа реагента в реактор и выхода из него

$$d = \sqrt{v / 0.785 \cdot W},$$

где  $V$ -расход продукта,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$W$ -скорость продукта (примем равную 0.6) ,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$$V = 3 / 1968 = 0.0015 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$d = \sqrt{0.0015 / 0.785 \cdot 0.6} = 0.056 = 56 \text{ мм},$$

Принимаем условный диаметр штуцера 56 мм.

Расчет диаметра штуцера входа воды в рубашку

$$V = 2.5 / 1000 = 0.0025 \text{ м}^3/\text{с}$$

$W$  – скорость воды в напорных трубопроводах, принятая равной 1,5  $\text{м}/\text{с}$ .

$$d = \sqrt{0.0025 / 0.785 \cdot 1.5} = 0.056 = 46 \text{ мм}$$

Диаметра штуцера для технологических нужд подбираются для прохода через них измерительных приборов, принимаем условный диаметр штуцеров 50 мм

На крышке аппарата расположены штуцера, различного назначения и люк лаз для технического осмотра внутренних устройств аппарата. Схема расположения штуцеров на крышке выглядит следующим образом:

									Лист
									25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

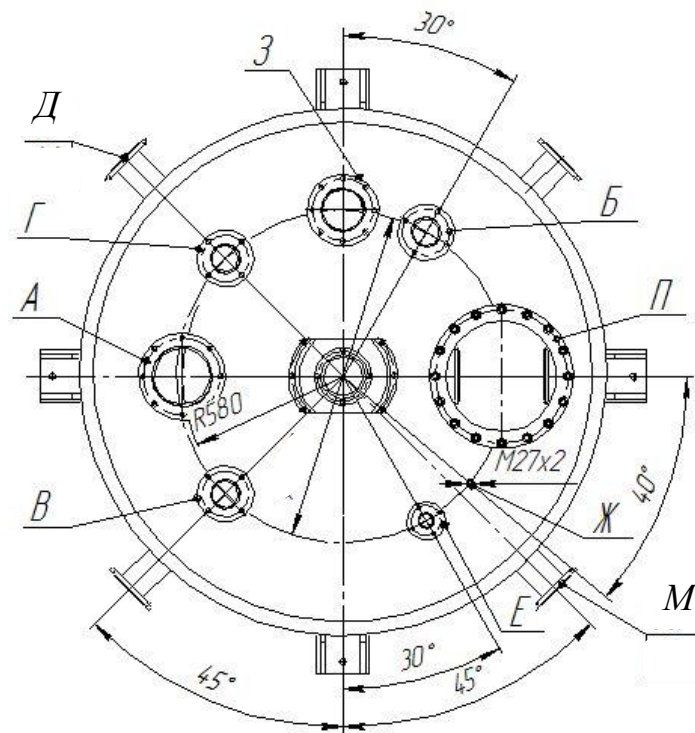


Рисунок 2 – Схема расположения штуцеров, опор-лап на корпусе аппарата с эллиптической крышкой.

Приведём таблицу, в которой указаны назначение штуцеров и их условные диаметры:

Таблица. 1- Назначения штуцеров

Назначение штуцера	Обозначение	Условный диаметр, мм
Для загрузки	А	56
Резервный	Б, В	50
Технологический	Г	50
Для манометра	Е	50
Для термометра	Ж	50
Смотровое окно	З	150
Вход и выход теплоносителя	М, М <sub>1</sub>	46
Люк	П	400

## 2.2. Привод перемешивающего устройства

Привод перемешивающего устройства включает в себя стойку, установленную на крышке аппарата, для размещения внутри неё подшипниковых опор и уплотнения вала. Выбираем стойку вертикальную, по [2] тип 2, исполнение 1. Уплотнение вала, исходя из давления в аппарате, выбираем торцовое по [6] типа ТД-6. Вращательное движение вала передаётся через муфту от закреплённого на стойке мотор-редуктора.

В соответствии с частотой вращения мешалки  $n=222\text{об/мин}$  и потребляемой мощностью  $N=2,2\text{ кВт}$ , выбираем привод вертикальный с двумя промежуточными опорами вала(тип 5)[2, с.730].

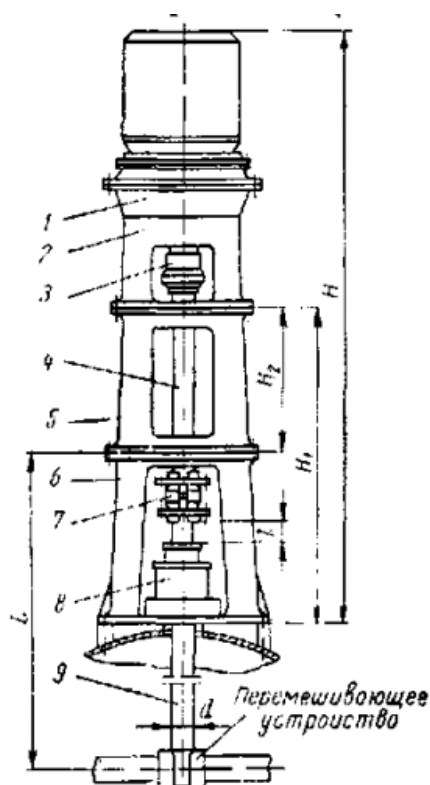


Рисунок 3 –«Привод МП-560-250-3-380В-Х18Н10Т»: 1 – мотор-редуктор; 2- переходник; 3-муфта; 4-вал промежуточный; 5-стойка; 6 – стойка; 8-уплотнение; 9-вал перемешивающего устройства.

Масса: 308 кг, N=3 кВт, n=270 об/мин.

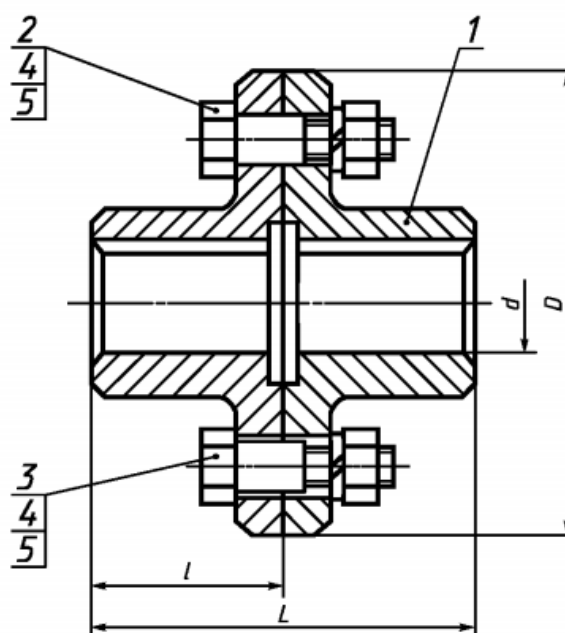
					Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	27

Таблица. 2 - Размеры привода перемешивающего устройства, мм

		Габариты 1, мм		
<b>d</b>	<b>H</b>	<b>H<sub>1</sub></b>	<b>H<sub>2</sub></b>	<b>L</b>
50	2094	860	310	2230

### 2.3. Выбор муфты

По ОСТ 26-01-1226-75 [5] выбираем фланцевую муфту с размерами приведенными в таблице 3.



1 – полумуфта; 2 – болт по ГОСТ 7817;  
 3 – болт по ГОСТ 7796; 4 – гайка по ГОСТ  
 15521; 5 – шайба по ГОСТ 6402

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Таблица. 3 - Размеры фланцевой муфты, мм:

Габариты, исполнение 1				
d	D	L	l	Масса, кг
50	140	230	110	9.8

## 2.4. Уплотнение вала

В месте входа вала в аппарат, с целью передачи механической энергии внутрь аппарата, возникает задача обеспечения герметичности. Решаем эту задачу с помощью установки уплотнительного устройства. В зависимости от технологических параметров – давления  $P=0,3$  МПа по [2], табл.1, выбираем сальниковое уплотнение.

## 2.5. Выбор материала для изготовления аппарата

При конструировании химической аппаратуры конструкционные материалы должны отвечать следующим основным требованиям:

Достаточная общая химическая и коррозионная стойкость материала в агрессивной среде с заданными параметрами по концентрации среды, ее температуре и давлению, при которых осуществляется технологический процесс, а также стойкость против других возможных видов коррозионного разрушения.

Достаточная механическая прочность для заданного давления и температуры технологического процесса с учетом специфических требований, предъявляемых при испытании аппаратов на прочность, герметичность и т.д. , и в эксплуатационных условиях при действии на аппараты различного рода дополнительных нагрузок (ветровая нагрузка, прогиб от собственного веса и т.д.).

Наилучшая способность материала свариваться, обеспечивая высокие механические свойства сварных соединений и коррозионную стойкость их в

агрессивной среде, обрабатываться резанием, давлением, подвергаться сгибу и т.п.

Низкая стоимость материала, не дефицитность и возможность получения без освоения промышленностью.

Для заданной среды – гидроксида натрия (NaOH), концентрацией 50% в соответствии с [2], табл.1, выбираем конструкционную высоколегированную сталь 12Х18Н10Т, которая является вполне стойкой в данной среде, и её скорость коррозии  $P < 0,1$  мм/год.

В таком случае для элементов аппарата добавку на коррозию, из условия эксплуатации оборудования в течение  $\tau = 15$  лет, принимаем равной:

$$c = P \cdot \tau = 0,1 \cdot 15 = 1,5 \text{ мм}$$

Для элементов с двухсторонним контактом с коррозионной средой, таких как вал, мешалка, обечайка, в случае, если есть рубашка, принимается двойная добавка  $c_1 = 2c$ .

									Лист
									30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

### 3. КОНСТРУКТИВНО-МЕХАНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ АППАРАТА

В процессе эксплуатации аппарата с рубашкой возможно не одновременное действие давлений в рубашке и внутри аппарата, поэтому необходимо произвести расчёт от каждого давления в отдельности.

#### 3.1. Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки

##### 3.1.1. Определение и расчет параметров материала аппарата

Определение допускаемых напряжений при расчетной температуре, МПа

Допускаемое напряжение для стали 12Х18Н10Т, определим согласно ГОСТ Р 52857.1-2007 табл. А.3 интерполируя стандартные значения.

$$t_p := \max(t_{п.с}, 20) \quad t_p = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

В рабочем состоянии

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 168 \\ 156 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \text{Floor}(\text{interp}(t, \sigma, t_p), 0.5) \sigma = 156 \text{ МПа}$$

Так как аппарат изготавливается из листового проката  $\eta := 1$

$$\sigma_d := \eta \cdot \sigma \quad \sigma_d = 156$$

Допускаемое напряжение для стали 12Х18Н10Т при гидравлических  
испытаниях, МПа

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

Расчетное значение предела текучести при 20 °С для стали 12Х18Н10Т примем согласно установленному нормативу ГОСТ Р 52857.1-2007 таблицей Б.1. , в соответствии с рекомендацией [1 с.14]:

$$R_{e20} := 240 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{и} := \text{Floor}\left(\frac{R_{e20}}{1.1}, 0.5\right) \sigma_{и} = 218 \text{ МПа}$$

т.к. обечайка будет изготовлена не литьем, а сваркой отдельных деталей то гидравлическое испытание должно проводиться при пробном давлении при гидравлическом испытании, МПа [1 с.14] .

В соответствии с рекомендацией ГОСТ Р 52857.1-2007 Таблица А.1, примем:

Допускаемое напряжение для стали 12Х18Н10Т при  $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\sigma_{20} := 168 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_{д20} := \eta \cdot \sigma_{20} \quad \sigma_{д20} = 168 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_{л} = 156 \text{ МПа,}$$

$$\text{Тогда: } P_{пр} := 1.25 \cdot P_a \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_{д}}$$

где,  $\sigma_{20}$  и  $\sigma_{д}$  - допускаемые напряжения для материала сосуда или его элементов соответственно при 20 °С и расчетной температуре, МПа [1 с. 14].

Примем расчетное давление сосуда равным рабочему давлению

$$P_{пр}=0.94 \text{ МПа.}$$

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					32



Модуль упругости для стали 12X18H10T при расчетной температуре

Т.к. сталь относится к теплоустойчивым и коррозионно-стойким сталям, то модуль упругости для стали при расчетной температуре, согласно таблице В.1- Расчетное значение модуля продольной упругости ГОСТ Р 52857.1-2007 [2] , будет равен:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad E := \begin{pmatrix} 2.15 \cdot 10^5 \\ 2.15 \cdot 10^5 \end{pmatrix},$$

$$E := \text{Floor}(\text{linterp}(t, E, t_p), 0.5),$$

$$E = 2.15 \times 10^5 \text{ МПа},$$

Коэффициент продольных сварных швов обечайки определяем при условии, что стыковые швы выполняются ручной сваркой с двусторонним сплошным проваром при длине контролируемых швов 100%.

$$\varphi=0.9.$$

### 3.1.2. От внутреннего избыточного давления

Расчет на прочность цилиндрической обечайки производим в соответствии с ГОСТ Р 52857.2-2007 “Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность” [3].

При наличии внутреннего давления и отсутствии его в рубашке, обечайка нагружена только внутренним давлением.

									Лист
									33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

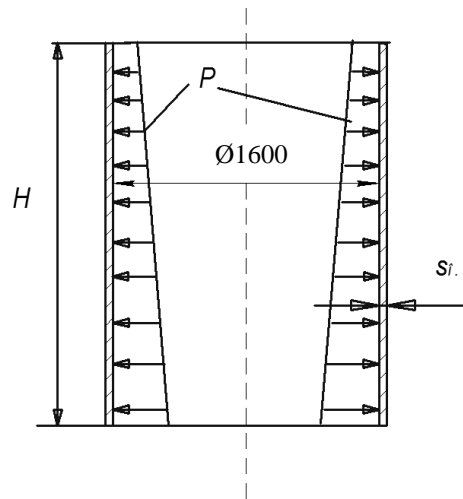


Рисунок 4 – Расчётная схема нагрузок на цилиндрическую обечайку от действия внутреннего давления.

Гидростатическое давление в аппарате:

$$P_{ГС} = \rho \cdot g \cdot H, \quad (3.1)$$

где  $\rho$  – плотность среды в аппарате, кг/м<sup>3</sup>;

$H$  – высота обечайки, м;

$$\rho = \rho_{ж} + \rho_c \cdot z = 1000 + 1968 \cdot 0.5 = 1984 \text{ кг/м}^3$$

$$P_{ГС} = 1984 \cdot 9.81 \cdot 1.6 = 3.1 \times 10^4 \text{ Па}$$

$$(P_{ГС}/P_a) \cdot 100 = 10 \text{ \%}.$$

так как гидростатическое давление составляет больше 5 % от давления в аппарате, то расчётное давление в аппарате равно:

$$P_{ap} = P_a + P_{ГС}, \quad (3.2)$$

$$P_{ap} = 0.3 \times 10^6 + 3.1 \times 10^4 = 0.331 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Толщина стенки цилиндрической обечайки:

$$S = S_p + c;$$

$$S1_P = \frac{P_{ap} \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi - P_{ap}}, \quad (3.3)$$

где  $[\sigma]$  - допускаемое напряжение при расчётной температуре, МПа;  
 $\varphi = 0.9$  - коэффициент прочности продольного шва цилиндрической обечайки

Расчётную температуру стенки принимаем равной температуре обрабатываемой среды, соприкасающейся со стенкой,  $T_p = 100^\circ\text{C}$  [8, с.9]:

Для стали 12X18H10T  $\sigma = 156 \times 10^6$  Па,

$$S1_p = (0.331 \cdot 10^6 \cdot 1.6) / (2 \cdot 156 \cdot 0.9 \cdot 10^6 - 0.331 \cdot 10^6) = 2 \times 10^{-3} \text{ м.}$$

Прибавка на коррозию:

$$c_1 = \Pi \cdot \tau, \quad (3.4)$$

где  $\Pi = 0.1 \cdot 10^{-3} \text{ м / год}$  - скорость коррозии для стали X18H10T в щелочной среде [3, с.288]:

$$c_1 = 0.1 \cdot 10^{-3} \cdot 15 = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ м,}$$

Минусовой допуск на листовой прокат [16]:

$$c_2 = 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Технологическая добавка для цилиндрической обечайки равна нулю т.к. обечайка изготавливается методом вальцовки  $c_3 = 0$ .

Суммарная прибавка к расчетной толщине цилиндрической обечайки:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (3.5)$$

$$c = 1.5 \cdot 10^{-3} + 0.5 \cdot 10^{-3} + 0 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

$$S1 = S1_p + 2 \cdot c;$$

$$S1 = 2 \times 10^{-3} + 2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Условие применимости формулы:

$$\frac{S1 - 2 \cdot c}{D} < 0.1, \quad (3.6)$$

$$\frac{6 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-3}}{1.6} = 0.0012 \cdot 10^{-3} \text{ м - условие выполняется.}$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

### 3.1.2. От наружного давления

При отсутствии давления внутри аппарата и наличии давления в рубашке, цилиндрическая обечайка корпуса нагружена наружным давлением  $p_p$  и осевым сжимающим усилием  $F$ , с которым к обечайке прижимается днище корпуса от действия на него наружного давления.

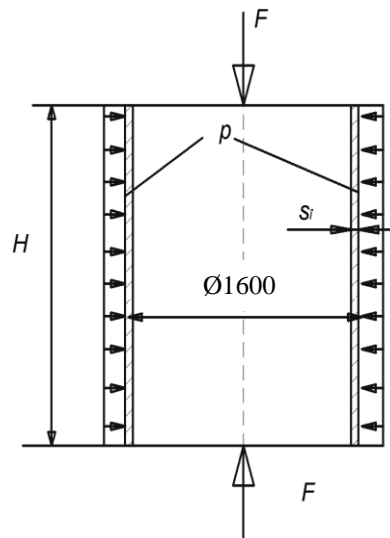


Рисунок . 5 – Расчётная схема нагрузок на цилиндрическую обечайку от действия наружного давления.

Расчётную толщину стенки определяют по формуле:

$$S_{2p} = \max \left\{ 1.06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D}{B} \left( \frac{p_p}{10^{-5} E} \cdot \frac{l_p}{D} \right)^{0.4}; \frac{1.2 p_p D}{2[\sigma] - p_p} \right\}, \quad (3.6)$$

где  $l_p$  – расчетная длина гладкой обечайки, м,

$B$  – безразмерный коэффициент,

$E$  – модуль упругости для данной стали при расчетной температуре.

Модуль упругости для стали X18H10T,  $E = 2.15 \cdot 10^5$  МПа, при

$T_p = 100^\circ\text{C}$ .

$$l_p = l + h_0 + H_d/3, \quad (3.7)$$

где  $l$  – длина обечайки, находящейся под действием наружного давления,  $l = H - 2 \cdot 0.25D - 0.15 = 1,3$  м.

$h_0$  – высота цилиндрической части (отбортовки) днища,  $h_0 = 0,04$  м;

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

$H_d$  – внутренняя высота выпуклой части днища,  $H_d = 0,4$  м.

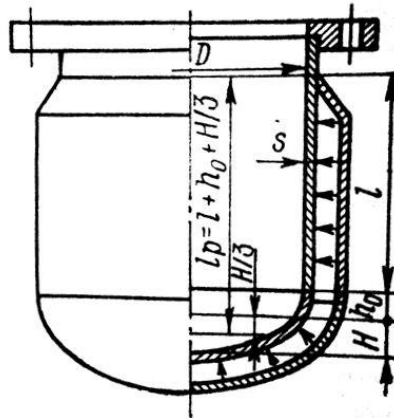


Рисунок. 6 – К определению расчетной длины гладкой обечайки.

$$l_p = 1,3 + 0,04 + 0,4/3 = 1,473 \text{ м}$$

Коэффициент В вычисляют по формуле:

$$B = \max \left\{ 1; 0,47 \cdot \left( \frac{p_p}{10^{-5} E} \right)^{0,067} \left( \frac{l_p}{D} \right)^{0,4} \right\}$$

$$0,47 \cdot \left( \frac{0,6 \cdot 10^6}{10^{-5} \cdot 2,15 \cdot 10^5} \right)^{0,067} \left( \frac{1,47}{1,6} \right)^{0,4} = 0,178;$$

Принимаем  $B=1$ .

$$S_{2p_1} = 1,06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot 1,6}{1} \left( \frac{0,6 \cdot 10^6}{10^{-5} E} \cdot \frac{1,47}{1,6} \right)^{0,4} = 9,761 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$S_{2p_2} = \frac{1,2 \cdot 0,6 \cdot 10^6 \cdot 1,6}{2 \cdot 1,23 \cdot 10^8 - 0,6 \cdot 10^6} = 3,82 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$S_{2p} = 9,761 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$$S_2 = S_{2p} + c ;$$

$$S_2 = 9,761 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3} = 12 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Условие применяемости формулы:

$$\frac{S_2 - c}{D} < 0,1, \quad (3.8)$$

$$(12 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}) / 1,6 = 6,25 \cdot 10^{-3} - \text{условие выполняется.}$$

Из двух значений выбираем наибольшее  $S=S_2=12$  мм;

Из стандартного ряда выбираем ближайшее  $S=12$  мм;

Допускаемое внутреннее избыточное давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - c)}{D + S - c}, \quad (3.9)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 1.56 \cdot 10^8 \cdot 0.9 \cdot (12 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3})}{1.6 + (12 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3})} = 1.744 \times 10^6 \text{ Па,}$$

$$p_a < [p].$$

$$0,3 \times 10^6 < 1.375 \times 10^6 \text{ условие выполняется.}$$

Допускаемое наружное давление:

$$[P_H] = \frac{[P_H]_\sigma}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P_H]_\sigma}{[P_H]_E}\right)^2}}, \quad (3.10)$$

Допускаемое наружное давление из условия прочности:

$$[P_H]_\sigma = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (S - c)}{D + (S - c)}, \quad (3.11)$$

$$[P_H]_\sigma = \frac{2 \cdot 1.56 \cdot 10^8 \cdot (12 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3})}{1.6 + (12 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3})} = 1.938 \times 10^6 \text{ Па.}$$

Допускаемое наружное давление из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[P_H]_E = \frac{2,08 \cdot E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{l_p} \cdot \left(\frac{100 \cdot (S - c)}{D}\right)^{2,5}, \quad (3.12)$$

где  $n_y = 2,4$  – коэффициент запаса прочности

$$B_1 = \min \left\{ 1; 9,45 \cdot \frac{D}{l_p} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (S - c)}} \right\}, \quad (3.12)$$

									Лист
									38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

$$9.45 \cdot \frac{1.6}{1.47} \cdot \sqrt{\frac{1.6}{100 \cdot (12 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3})}} = 14.71, \quad (3.13)$$

Принимаем  $B_1 = 1$ ;

$$[P_H]_E = \frac{2.08 \cdot 2.15 \cdot 10^{11}}{2.4} \cdot \frac{1.6}{1.3} \left[ \frac{100 \cdot (12 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3})}{1.6} \right]^{2.5} = 7.082 \times 10^{10} \text{ Па.}$$

Допускаемое наружное давление с учетом обоих условий:

$$[P_H] = \frac{[P_H]_\sigma}{\sqrt{1 + \left( \frac{[P_H]_\sigma}{[P_H]_E} \right)^2}}, \quad (3.14)$$

$$[P_H] = \frac{1.938 \cdot 10^6}{\sqrt{1 + \left( \frac{1.938 \cdot 10^6}{7.082 \cdot 10^{10}} \right)^2}} = 1.938 \times 10^6 \text{ Па.}$$

Условие устойчивости обечайки:

Поскольку обечайка работает под совместным действием наружного давления и осевой сжимающей силой, то условие устойчивости обечайки принимает вид:

$$\frac{P_p}{[P_H]} + \frac{F}{[F]} \leq 1, \quad (3.15)$$

Осевая сжимающая сила:

$$F = \frac{\pi(D+2S)^2}{4} \cdot P_p = \frac{3.14(1.6+2 \cdot 12 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 0.6 \cdot 10^6 = 1.242 \cdot 10^6 \text{ Н,} \quad (3.16)$$

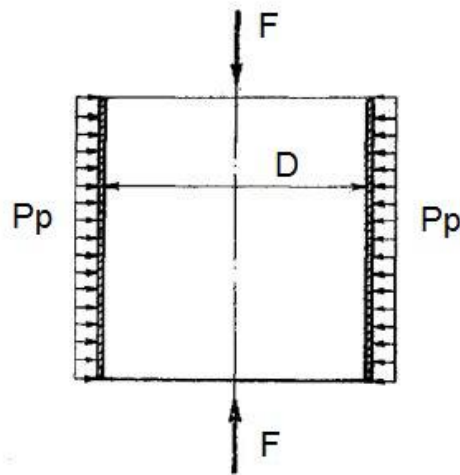


Рисунок. 7 – Действие осевой сжимающей силы на корпус  
 Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$[F] = \frac{[F]_{\sigma}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\sigma}}{[F]_E}\right)^2}}, \quad (3.17)$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия прочности, Н:

$$[F]_{\sigma} = \pi \cdot (D + S - c) \cdot (S - c) \cdot [\sigma], \quad (3.18)$$

$$[F]_{\sigma} = 3.14 \cdot (1.6 + 12 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}) \cdot (12 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}) \cdot 1.85 \cdot 10^8 = 9.352 \times 10^6 \text{ Н}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[F]_E = \frac{310 \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left(\frac{100 \cdot (S - c)}{D}\right)^{2.5}, \quad (3.19)$$

$$[F]_E = \frac{310 \cdot 2.15 \cdot 10^{11} \cdot 10^{-5}}{2.4} \cdot 1.6^2 \cdot \left(\frac{100 \cdot (12 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3})}{1.6}\right)^{2.5} = 2.195 \times 10^8 \text{ Н.}$$



Допускаемое осевое сжимающее усилие с учетом обоих условий:

$$[F] = \frac{9.352 \cdot 10^6}{\sqrt{1 + \frac{9.352 \cdot 10^6}{2.195 \cdot 10^8}}} = 9.34 \cdot 10^6 \text{ Н.}$$

Условие устойчивости обечайки:

$$\frac{P_p}{[P_H]} + \frac{F}{[F]} \leq 1, \quad (3.20)$$

$$\frac{0.6 \cdot 10^6}{1.375 \cdot 10^6} + \frac{1.24 \cdot 10^6}{9.34 \cdot 10^6} = 0.555 \text{ условие выполняется.}$$

Для работы аппарата под воздействием внешних и внутренних сил, толщина цилиндрической обечайки должна быть не менее 12 мм.

### 3.2. Расчет эллиптической крышки

Расчет на прочность эллиптической обечайки производим в соответствии с ГОСТ Р 52857.2-2007 “Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность” [3].

Крышка аппарата подвергается воздействию избыточного давления  $p_{ap} = 0.331$  МПа внутри аппарата и атмосферному давлению – снаружи.

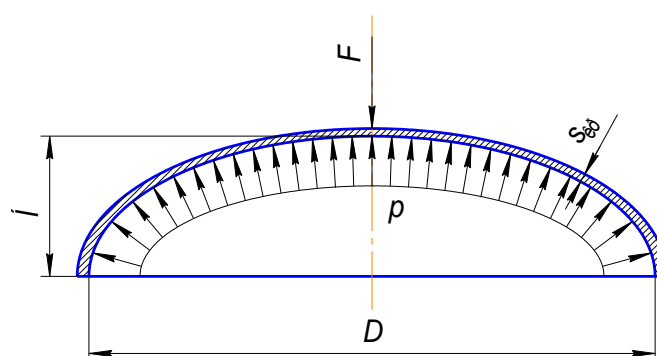


Рисунок. 8 – Расчётная схема действия нагрузок на эллиптическую крышку

### 3.2.1. От внутреннего давления

Радиус кривизны в вершине эллиптической крышки  $R=D=1.6$  м

Толщина стенки эллиптической крышки:

$$S_k = S_{кр} + c, \quad (3.21)$$

где  $S_{кр}$  - расчетная толщина стенки при действии внутреннего давления

$$S_{кр} = \frac{p_{ар} \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi - 0,5 p_{ар}}, \quad (3.22)$$

$$S_{кр} = \frac{3.31 \cdot 10^5 \cdot 1.6}{2 \cdot 1.56 \cdot 10^8 \cdot 0.9 - 0.5 \cdot 3.31 \cdot 10^5} = 1.9 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Прибавка на коррозию:

$$c_1 = \Pi \cdot \tau, \quad (3.23)$$

$$c_1 = 0.1 \cdot 10^{-3} \cdot 15 = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Минусовой допуск на листовой прокат [16]:

$$c_2 = 0.3 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Технологическая добавка для эллиптической крышки и днища:

$$c_3 = 0,15 \cdot S_{истк},$$

$$c_3 = 0.3 \cdot 10^{-3} \text{ мм.}$$

Суммарная прибавка к расчетной толщине цилиндрической обечайки:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (3.24)$$

$$c = 1.5 \cdot 10^{-3} + 0.3 \cdot 10^{-3} + 0.3 \cdot 10^{-3} = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Условие применимости формулы:

$$0.002 \leq \frac{S1 - c}{D} < 0.1;$$

$$12 \cdot 10^{-3} - 2.1 \cdot 10^{-3} / 1.6 = 6.05 \cdot 10^{-3} \text{ м условие выполняется.}$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

$$S_K = 1.9 \cdot 10^{-3} + 2.1 \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

Из стандартного ряда выбираем ближайшее большее  $S_K = 4 \cdot 10^{-3}$  м.

Допускаемое внутреннее избыточное давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot (s_k - c) \cdot \phi_p \cdot [\sigma]}{R + 0,5 \cdot (s_k - c)}, \quad (3.25)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot (4 \cdot 10^{-3} - 2.1 \cdot 10^{-3}) \cdot 0.9 \cdot 1.85 \cdot 10^8}{1.6 + 0.5 \cdot (4 \cdot 10^{-3} - 2.1 \cdot 10^{-3})} = 0.4 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Проверяем, не выходит ли значение рабочего давления за пределы допускаемого значения:

$$[p] \geq p;$$

$$0.4 \cdot 10^6 \geq 0.3 \cdot 10^6 \text{ условие выполняется.}$$

Для работы аппарата под воздействием внутреннего давления толщина эллиптической крышки и днища должна быть не менее 4 мм.

### 3.3. Расчёт эллиптического днища

Днище, соединённое с цилиндрической обечайкой сваркой и находящееся вместе с ней внутри рубашки, может оказаться под действием либо внутреннего, либо наружного давления.

#### 3.3.1. От внутреннего давления

Тогда расчётная толщина стенки эллиптического днища:

$$s_d \geq s_{op} + 2 \cdot c, \quad (3.26)$$

						Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

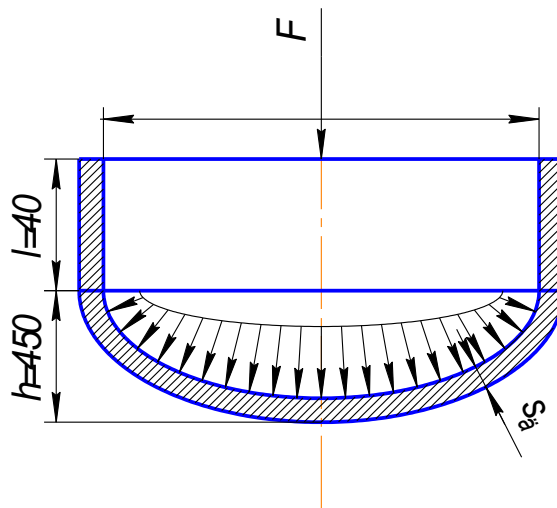


Рисунок. 9 – Расчетная схема нагрузок на эллиптическое днище от действия внутреннего давления.

$$S_{op} = \frac{p_{ap} \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi - 0,5 p_{ap}}, \quad (3.27)$$

$$S_{op} = \frac{3.31 \cdot 10^5 \cdot 1.6}{2 \cdot 1.56 \cdot 10^8 \cdot 0.9 - 0.5 \cdot 3.31 \cdot 10^5} = 1.9 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Суммарная прибавка к расчетной толщине цилиндрической обечайки:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (3.28)$$

$$c = 1.5 \cdot 10^{-3} + 0.3 \cdot 10^{-3} + 0.3 \cdot 10^{-3} = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ м,}$$

$$s_{\partial} \geq s_{op} + c = 1.9 \cdot 10^{-3} + 2.1 \cdot 10^{-3} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Из стандартного ряда выбираем ближайшее большее  $s_{\partial} = 6 \text{ мм}$ .

Допускаемое внутреннее избыточное давление:

$$[p] = \frac{2 \cdot (s_{\partial} - 2c) \cdot \phi_p \cdot [\sigma]}{R + 0,5 \cdot (s_{\partial} - 2c)}, \quad (3.29)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 1.85 \cdot 10^8 \cdot 0.9 \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 2.1 \cdot 10^{-3})}{1.6 + 0.5 \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 2.1 \cdot 10^{-3})} = 0.3 \cdot 10^6 \text{ Па,}$$

Проверяем, не выходит ли значение рабочего давления за пределы допускаемого значения:

$$[p] \geq p,$$

$$0.3 \cdot 10^6 \geq 0.3 \cdot 10^6 \text{ условие выполняется.}$$

### 3.3.2. От наружного давления

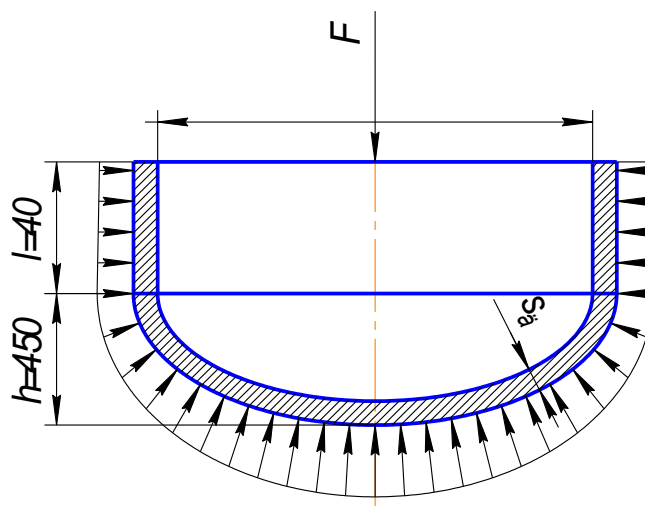


Рисунок 10 – Расчетная схема нагрузок на эллиптическое днище от действия наружного давления

Расчётную толщину стенки приближённо определяем по формуле:

$$s_{др} = \max \left\{ \frac{K_3 \cdot R}{510} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot p_p}{10^{-6} \cdot E}}; \frac{p_p \cdot R}{2 \cdot [\sigma]} \right\}, \quad (3.30)$$

$$S_{др} = \max \left\{ \frac{0.9 \cdot 1.6}{510} \cdot \sqrt{\frac{2.4 \cdot 0.6 \cdot 10^6}{10^{-6} \cdot 1.94 \cdot 10^{11}}}; \frac{0.6 \cdot 10^6 \cdot 1.6}{2 \cdot 1.85 \cdot 10^8} \right\}, \quad (3.31)$$

$$s_{кр} = \max \{0.0024; 0.00017\} = 0.0024 \text{ м.}$$

где  $K_3=0.9$  – для эллиптических крышек.

Исполнительная толщина рассчитывается с учётом поправки на коррозию и эрозию с:

$$s_d = s_{kp} + c = 2.4 + 2 \cdot 2.1 = 6.6 \text{ мм.}$$

Принимаем  $s_k = 13$  мм (так проверка на устойчивость при расчетной толщине не выполняется)

Допускаемое наружное давление:

$$[p] = \frac{[p]_n}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_n}{[p]_E}\right)^2}}, \quad (3.32)$$

где допускаемое давление  $[p]_n$  из условия прочности:

$$[p]_n = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot (s_d - c)}{R + 0.5 \cdot (s_d - c)} = \frac{2 \cdot 1.56 \cdot 10^8 \cdot (13 \cdot 10^{-3} - 2.1 \cdot 10^{-3})}{1.6 + 0.5 \cdot (13 \cdot 10^{-3} - 2.1 \cdot 10^{-3})} = 2.51 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

а допускаемое давление  $[p]_E$  из условия устойчивости в пределах упругости:

$$[p]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (s_d - 2c)}{K_3 \cdot R} \right]^2, \quad (3.33)$$

где  $K_3$  в соответствии с рис. 9, [4], при  $H/D = 0.25$  для эллиптических днищ и  $D/(s_k - c) = 1.6 / (0.012 - 2 \cdot 0.0021) = 205$ , получаем  $K_3 = 0.94$ .

$$[p]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot 2.15 \cdot 10^{11}}{2.4} \cdot \left[ \frac{100 \cdot (13 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 2.1 \cdot 10^{-3})}{0.94 \cdot 1.6} \right]^2 = 0.72 \cdot 10^6 \text{ Па,}$$

$$[p] = \frac{2.51 \cdot 10^6}{\sqrt{1 + \left(\frac{2.51 \cdot 10^6}{0.72 \cdot 10^6}\right)^2}} = 0.7 \cdot 10^6 \text{ Па,}$$

$$[p] \geq p_p$$

$$0.7 \cdot 10^6 \geq 0.6 \cdot 10^6 \text{ условие выполняется.}$$

По проведённым расчетам, окончательно принимаем толщину стенки эллиптического днища  $s_d = 13$  мм.

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					46

### 3.4. Расчет рубашки аппарата

#### 3.4.1. Определение и расчет параметров материала аппарата

Примечание: Рубашку следует изготовить из более дешевой марки стали поскольку рубашка не контактирует с агрессивной средой, согласно рекомендациям [4, с.27] выбираем марку стали 09Г2С.

Определение допускаемых напряжений при расчетной температуре, МПа

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С, определим согласно ГОСТ Р 52857.1-2007 табл. А.1 интерполируя стандартные значения.

$$t_p := \max(t_c, 20) \quad t_p = 100$$

В рабочем состоянии

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 150 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 177 \\ 171 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_p), 0.5) \sigma = 177 \text{ МПа}, \quad +$$

Так как аппарат изготавливается из листового проката  $\eta := 1$

$$\sigma_d := \eta \cdot \sigma \quad \sigma_d = 177$$

Допускаемые напряжения для стали 09Г2С при гидравлических испытаниях, МПа

Расчетное значение предела текучести при 20 °С для стали 09Г2С примем согласно установленному нормативу ГОСТ Р 52857.1-2007 таблицей Б.1. , в соответствии с рекомендацией [1 с.104]:

									Лист
									47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

$$R_{e20} := 300 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{и} := \text{Floor}\left(\frac{R_{e20}}{1.1}, 0.5\right) \quad \sigma_{и} = 272.5 \text{ МПа},$$

т.к. обечайка будет изготовлена не литьем, а сваркой отдельных деталей то гидравлическое испытание должно проводиться при пробном давлении при гидравлическом испытании, МПа [1 с.13] .

В соответствии с рекомендацией ГОСТ 3 52857.1-2007 таблица А.1, примем:

Допускаемое напряжение для стали 09Г2С при  $t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\sigma_{20} := 184 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{д20} := \eta \cdot \sigma_{20} \quad \sigma_{д20} = 184 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{д} = 177 \text{ МПа}, \text{ Тогда:}$$

$$P_{пр} := 1.25 \cdot P_{руб} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_{д}},$$

где,  $\sigma_{20}$  и  $\sigma_{д}$  - допускаемые напряжения для материала рубашки или его элементов соответственно при  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и расчетной температуре, МПа [1 с. 11].

$P_{руб}$  – расчетное давление рубашки, МПа .

Примем расчетное давление сосуда равным рабочему давлению.

Тогда :

$$P_{пр} = 0.78 \text{ МПа}$$

В рубашку подаётся теплоноситель – горячая вода. Так как снаружи давление атмосферное, то основной нагрузкой на рубашку является внутреннее давление –  $p_p=0,6 \text{ МПа}$ . Определим величины толщин стенок цилиндрической и эллиптической частей рубашки.

						Лист
						48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



Модуль упругости для стали 09Г2С при расчетной температуре т.к. сталь относится к углеродистым и низколегированным сталям, то модуль упругости для стали при расчетной температуре, согласно таблице В.1- Расчетное значение модуля продольной упругости ГОСТ Р 52857.1-2007 [2] , будет равен:

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 150 \end{pmatrix} \quad E := \begin{pmatrix} 1.91 \cdot 10^5 \\ 1.86 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E := \text{Floor}(\text{linterp}(t, E, t_p), 0.5)$$

$$E = 1.91 \times 10^5 \text{ МПа.}$$

Модуль упругости для стали 09Г2С при 20 °С

$$E_{20} := 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа,}$$

Коэффициент продольных сварных швов обечайки определяем при условии, что стыковые швы выполняются автоматической сваркой с двусторонним сплошным проваром при длине контролируемых швов 100% [1]:

$$\phi_p := 1.$$

### 3.4.2. Цилиндрическая часть

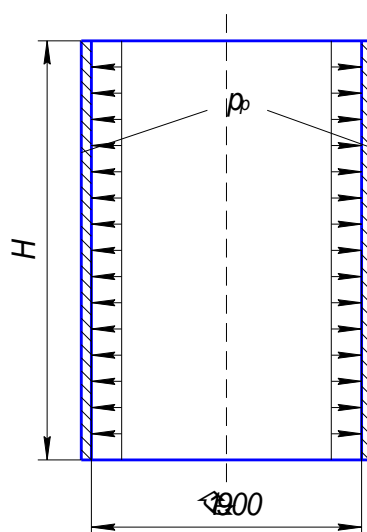


Рисунок. 11 – Расчётная схема действия нагрузок на цилиндрическую часть рубашки

Коэффициент прочности сварных швов  $\varphi$  принимаем равным –  $\varphi=0,9$ .

Определяем расчётную толщину стенки обечайки:

$$s_{pp.} = \frac{p_p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - p_p}, \quad (3.34)$$

$$s_{pp.} = \frac{0.6 \cdot 10^6 \cdot 1.7}{2 \cdot 1.85 \cdot 10^8 \cdot 0.9 - 0.6 \cdot 10^6} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

$D=1.7\text{м}$  – диаметр рубашки, выбираем стандартный из рекомендаций [2] при площади теплообмена  $S=18 \text{ м}^2$ ;

$$s_p \geq s_{pp} + c, \quad (3.35)$$

Прибавка на коррозию:

$$c_1 = \Pi \cdot \tau, \quad (3.36)$$

где  $\Pi=0.01 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  - скорость коррозии стали 09Г2С в водной среде [16];

По годовому показателю можно сделать вывод что сталь абсолютно стойкая в водной среде поэтому  $c_1$  принимаем равную 0:

$$c_1 = 0$$

Минусовой допуск на листовой прокат [16]:

$$c_2 = 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Технологическая добавка для цилиндрической обечайки равна нулю т.к. обечайка изготавливается методом вальцовки  $c_3=0$ .

Суммарная прибавка к расчетной толщине цилиндрической обечайки рубашки:

$$c = c_1 + c_2 + c_3, \quad (3.37)$$

$$c = 0 + 0.5 \cdot 10^{-3} + 0 = 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ м,}$$

$$s_p = s_{pp} + c = 3 + 0.5 = 3,5 \text{ мм,}$$

Округляя, принимаем исполнительную толщину стенки обечайки, равной  $s=6\text{мм}$ .

Допускаемое избыточное внутреннее давление рассчитываем по формуле:

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s - c)}{D + s - c} = \frac{2 \cdot 1.85 \cdot 10^8 \cdot 0.9 \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 0.5 \cdot 10^{-3})}{1.7 + 6 \cdot 10^{-3} - 0.5 \cdot 10^{-3}} = 1 \cdot 10^6 \text{ Па}, \quad (3.38)$$

$$[p] \geq p_p,$$

$1 \geq 0.6$  условие выполняется.

### 3.4.3. Эллиптическая часть

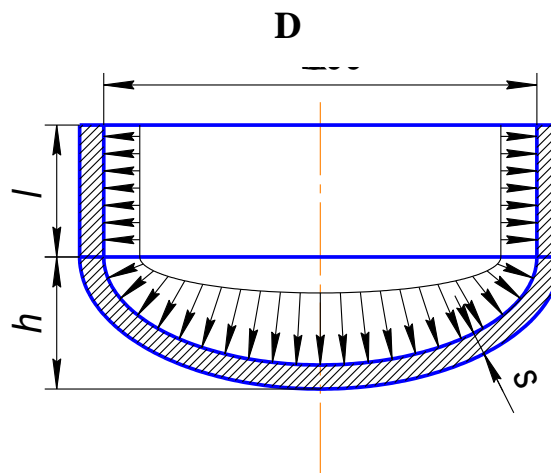


Рисунок. 12 – Расчётная схема действия нагрузок на эллиптическую часть рубашки

Расчётная толщина стенки эллиптической части рубашки:

$$S_{op} = \frac{p_p \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi - 0,5 p_p}, \quad (3.39)$$

$$S_{др} = \frac{0.6 \cdot 10^6 \cdot 1.7}{2 \cdot 1.85 \cdot 10^8 \cdot 0.9 - 0.5 \cdot 0.6 \cdot 10^6} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

Суммарная прибавка к расчетной толщине эллиптической обечайки:

$$c = c_1 + c_2 + c_3,$$

$$c = 0 + 0.5 \cdot 10^{-3} + 0 = 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

$$s_d = s_{др} + c = 3 \cdot 10^{-3} + 0.5 \cdot 10^{-3} = 3.5 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Из стандартного ряда выбираем ближайшее большее  $s_d = 6 \text{ мм}$ .

Допускаемое внутреннее избыточное давление:

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					51

$$[p] = \frac{2 \cdot (s_\delta - c) \cdot \phi_p \cdot [\sigma]}{R + 0,5 \cdot (s_\delta - c)}, \quad (3.40)$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 1,85 \cdot 10^8 \cdot 0,9 \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 0,5 \cdot 10^{-3})}{1,7 + 0,5 \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 0,5 \cdot 10^{-3})} = 1 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Проверяем, не выходит ли значение рабочего давления за пределы допускаемого значения:

$$[p] \geq p,$$

$$1 \cdot 10^6 \geq 0,6 \cdot 10^6 \text{ условие выполняется.}$$

### 3.5. Расчет фланцевого соединения

Для соединения крышки люка и корпуса мы выбрали фланцевое соединение с уплотнительной поверхностью типа выступ - впадина. Произведём расчёт фланца на прочность и герметичность. Учитывая, что толщина стенки обечайки –  $s=12$  мм, материал фланца выбираем такой же, как и у самого аппарата 12X18Г10, коэффициент прочности сварных швов  $\phi = 0,9$ , а внешняя осевая сила и изгибающий момент отсутствуют.

Расчет производим в соответствии с ГОСТ Р 52857.4-207. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений [9] и табличными данными по материалам [5].

Расчетная температура элементов фланцевого соединения (по табл. 1.37) [5].

$$t_\phi = 0,96t = 0,96 \cdot 80 = 76,8 \text{ }^\circ\text{C}, \quad (3.41)$$

$$t_b = 0,95t = 66,5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

где,  $t_\phi, t_b, t$  - расчетная температура соответственно фланцев, болтов и обечайки;

Допускаемое напряжение для болтов из стали 40Х (по табл. 1.38) [5]:

$$[\sigma]_b = 230 \text{ МПа,}$$

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					52

Толщина  $s_0$  втулки фланца из условия:

$$s_0 \geq s.$$

где  $s$  – исполнительная толщина аппарата.

Принимаем -  $s_0 = 12$  мм.

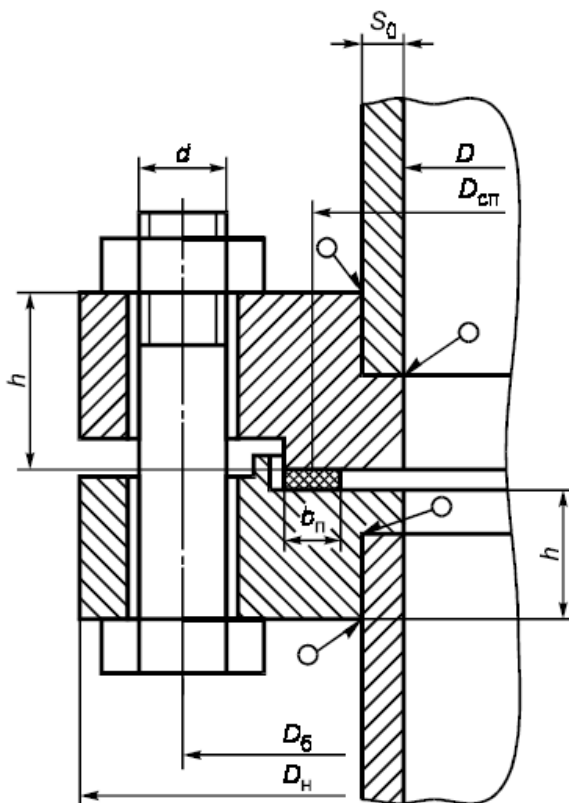


Рисунок. 14 – Фланец с выступ - впадиной

Высота втулки фланца:

$$h_b \geq 0.5\sqrt{D(s_0 - c)} = 0.5 \cdot \sqrt{1600(12 - 1.5)} = 64.8 \text{ мм}, \quad (3.42)$$

Принимаем  $h_b = 65$  мм.

Диаметр  $D_б$  болтовой окружности фланцев:

$$D_б \geq D + 2(s_1 + d_б + u), \quad (3.43)$$

где  $u$  – нормативный зазор между гайкой и втулкой ( $u = 4 \div 6$  мм),  
принимаем  $u = 5$  мм.

$d_б$  – наружный диаметр болта, выбираем по табл. 1.40  $d_б = 20$  мм

$$D_б \geq 1600 + 2(2 \cdot 12 + 20 + 5) = 1698 \text{ мм}$$

Принимаем -  $D_б = 1700$  мм.

Наружный диаметр фланца:

$$D_H \geq D_6 + a. \quad (3.44)$$

где  $a$  – конструктивная добавка для размещения гаек по диаметру фланца, принимаем по табл. 1.41,  $a = 40$  мм.

$$D_H \geq 1700 + 40 = 1740 \text{ мм},$$

Принимаем -  $D_H = 1740$  мм.

Наружный диаметр прокладки:

$$D_{H.п} \geq D_6 - e, \quad (3.45)$$

где  $e$  - нормативный параметр, зависящий от типа прокладки и принимаемый по табл. 1.41 [5],  $e = 30$  мм.

$$D_{H.п} \geq 1740 - 30 = 1710 \text{ мм},$$

Принимаем -  $D_{H.п} = 1710$  мм.

Средний диаметр прокладки:

$$D_{с.п} \geq D_{H.п} - b, \quad (3.46)$$

где  $b$  - ширина прокладки, принимаемая по табл. 1.42 [5],  $b = 13$  мм.

$$D_{с.п} \geq 1710 - 13 = 1697 \text{ мм}$$

$$D_{с.п} = 1697 \text{ мм}.$$

Количество болтов, необходимое для обеспечения герметичности соединения,

$$n_6 \geq \pi D_6 / t_{ш}, \quad (3.47)$$

где  $t_{ш}$  - рекомендуемый шаг расположения болтов, выбираемый в зависимости от давления по табл. 1.43 [5]:

$$t_{ш} = (4.2 \div 5) d_6,$$

$$t_{ш} = 4.8 \cdot 20 = 96 ,$$

$$n_6 \geq \frac{3.14 \cdot 1700}{96} = 55.6.$$

Принимаем -  $n_6 = 56$  шт.

Высота (толщина) фланца ориентировочно:

$$h_\phi \geq \lambda_\phi \sqrt{D s_{эк}}, \quad (3.48)$$

где  $\lambda_\phi$  – принимается согласно рис. 1.40,  $\lambda_\phi = 0.37$ ;

									Лист
									54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

$s_{\text{эк}}$  – эквивалентная толщина втулки, для плоского приварного фланца -

$$s_{\text{эк}} = s_0 = 12 \text{ мм};$$

$$h_{\phi} \geq 0.37\sqrt{1200 \cdot 12} = 44.4 \text{ мм},$$

Принимаем -  $h_{\phi} = 45 \text{ мм}$ .

Болтовая нагрузка, необходимая для обеспечения герметичности соединения. Расчет сводится к определению нагрузок для двух различных состояний: при монтаже -  $F_{61}$  и в рабочих условиях -  $F_{62}$ .

Болтовая нагрузка в условиях монтажа:

$$F_{61} = \max \begin{cases} 0.5\pi D_{\text{с.п}} b_0 p_{\text{пр}} \\ 0.4[\sigma]_{620} n_6 f_6 \end{cases} \quad (3.49)$$

где  $b_0$  - эффективная ширина прокладки (при  $b \leq 15 \text{ мм}$   $b_0 = b$ );

$p_{\text{пр}}$  – минимальное давление обжатия прокладки;

$[\sigma]_{620}$  - допускаемое напряжение для материала болтов при 20°C;

$f_6$  - расчетная площадь поперечного сечения болта;

$$b_0 = b = 13 \text{ мм};$$

$$p_{\text{пр}} = 3 \text{ МПа (по табл. 1.44) [5, с.100];}$$

$$[\sigma]_{620} = 230 \text{ МПа (по табл. 1.38) [5, с.94];}$$

$$f_6 = 2.35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \text{ (по табл. 1.45) [5, с.101];}$$

$$0.5\pi D_{\text{с.п}} b_0 p_{\text{пр}} = 0.5 \cdot 3.14 \cdot 1.697 \cdot 0.013 \cdot 3 \cdot 10^6 = 104 \text{ кН},$$

$$0.4[\sigma]_{620} n_6 f_6 = 0.4 \cdot 230 \cdot 10^6 \cdot 56 \cdot 2.35 \cdot 10^{-4} = 1189 \text{ кН},$$

Тогда  $F_{61} = 1189 \text{ кН}$ .

Линейная податливость прокладки:

$$y_{\text{п}} = \frac{k_{\text{п}} h_{\text{п}}}{E_{\text{п}} \pi D_{\text{с.п}} b'} \quad (3.50)$$

где  $h_{\text{п}}$  - высота (толщина) прокладки,  $h_{\text{п}} = 2 \text{ мм}$ ;

$k_{\text{п}}$  – коэффициент обжатия прокладки:  $k_{\text{п}} = 0.09$ ;

$E_{\text{п}}$  - модуль упругости материала прокладки.

$$E_{\text{п}} = 4[1 + b/(2h_{\text{п}})], \quad (3.51)$$

									Лист
									55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

$$E_{\Pi} = 4[1 + 13/(2 \cdot 2)] = 17 \text{ МПа},$$

$$y_{\Pi} = \frac{0.09 \cdot 0.002}{17 \cdot 10^6 \cdot 3.14 \cdot 0.437 \cdot 0.013} = 5.94 \cdot 10^{-10} \text{ м/Н}$$

Угловая податливость фланца:

$$y_{\Phi} = [1 - \nu(1 + 0.9\lambda_{\Phi}')]\psi_2/(h_{\Phi}^3 \cdot E), \quad (3.52)$$

где  $\nu, \lambda_{\Phi}'$  - безразмерные параметры:

$$\nu = \frac{1}{1 + 0.9\lambda_{\Phi}'(1 + \psi_1 h_{\Phi}^2 / s_{\text{ЭК}}^2)} \lambda_{\Phi}' = h_{\Phi} / \sqrt{D s_{\text{ЭК}}},$$

$\psi_1, \psi_2$  - коэффициенты, определяемые по формулам:

$$\psi_1 = 1.28 \lg(D_{\text{Н}}/D) \psi_2 = (D_{\text{Н}} + D) / (D_{\text{Н}} - D),$$

$$\psi_1 = 1.28 \lg\left(\frac{1740}{1600}\right) = 0.047 \psi_2 = \frac{(1740+1600)}{(1740-1600)} = 23.8,$$

$$\lambda_{\Phi}' = 51/\sqrt{1600 \cdot 12} = 0.37,$$

$$\nu = \frac{1}{1 + 0.9 \cdot 0.37(1 + 0.047 \cdot 51^2 / 12^2)} = 0.37,$$

$$y_{\Phi} = \frac{[1 - 0.375(1 + 0.9 \cdot 0.37)]23.8}{51^3 \cdot 2 \cdot 10^5} = 1.88 \cdot 10^{-5} \text{ м/Н}.$$

$E = 2 \cdot 10^5$  МПа - модуль упругости материала фланца (табл. Ж.1) [5]

Линейная податливость болтов:

$$y_{\text{б}} = l_{\text{б}}/E_{\text{б}}n_{\text{б}}f_{\text{б}}, \quad (3.53)$$

где  $E_{\text{б}} = 2 \cdot 10^5$  МПа - модуль упругости материала болтов (табл. Ж.1) [5].

$l_{\text{б}}$  - расчетная длина болта.

$$l_{\text{б}} = l_{\text{б.о}} + 0.28d, \quad (3.54)$$

где  $l_{\text{б.о}}$  - расстояние между опорными поверхностями головки болта и гайки,  $l_{\text{б.о}} = 52$  мм,  $d$  - диаметр отверстия под болт,  $d = 23$  мм.

$$l_{\text{б}} = 52 + 0.28 \cdot 23 = 58 \text{ мм},$$

$$y_{\text{б}} = 0.058/2 \cdot 10^{11} \cdot 55 \cdot 2.35 \cdot 10^{-4} = 2.24 \cdot 10^{-11} \text{ м/Н},$$

Тогда коэффициент жесткости фланцевого соединения:

$$k_{\text{ж}} = \frac{y_{\text{б}} + 0.5y_{\Phi}(D_{\text{б}} - D - s_{\text{ЭК}})(D_{\text{б}} - D_{\text{с.п}})}{y_{\Pi} + y_{\text{б}} + 0.5y_{\Phi}(D_{\text{б}} - D_{\text{с.п}})^2}, \quad (3.55)$$

									Лист
									56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					



$$k_{ж} = \frac{2.24 \cdot 10^{-11} + 0.5 \cdot 1.88 \cdot 10^{-5}(1.7 - 1.6 - 0.012)(1.7 - 1.697)}{5.94 \cdot 10^{-10} + 2.24 \cdot 10^{-11} + 0.5 \cdot 1.88 \cdot 10^{-5}(1.7 - 1.697)^2} = 3.572.$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях:

$$F_{б2} = F_{б1} + (1 - k_{ж}) + F_t. \quad (3.56)$$

где  $F_t$  – усилие, возникающее от температурных деформаций:

$$F_t = \frac{y_б n_б f_б E_б (\alpha_ф t_ф - \alpha_б t_б)}{y_п + y_б + 0.5 y_ф (D_б - D_{с.п})^2}, \quad (3.57)$$

где  $\alpha_ф, \alpha_б$  – соответственно коэффициенты линейного расширения материала фланцев и болтов (табл. Ж.2);  $t_ф, t_б$  – соответственно температура фланца, болтов,

$$\alpha_ф = 16.6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C},$$

$$\alpha_б = 13.1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C},$$

$$F_t = \frac{2.24 \cdot 10^{-11} \cdot 55 \cdot 2.35 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^{11} (16.6 \cdot 10^{-6} \cdot 70 - 13.1 \cdot 10^{-6} \cdot 67)}{5.94 \cdot 10^{-10} + 2.24 \cdot 10^{-11} + 0.5 \cdot 1.88 \cdot 10^{-5} (1.7 - 1.697)^2} \\ = -16.4 \text{ кН},$$

$$F_{б2} = 1189000 + (1 - 3.572) - 16410 = 1173 \text{ кН}.$$

При  $F_t < 0$  должно выполняться условие:

$$[\sigma]_б n_б f_б - |F_t| > F_{б2}, \quad (3.58)$$

$$230 \cdot 10^6 \cdot 55 \cdot 2.35 \cdot 10^{-4} - 16410 = 2956.6 \text{ кН} > 1173 \text{ кН}.$$

Условие прочности болтов:

$$F_{б1} / (n_б f_б) \leq [\sigma]_{б20} \text{ и } F_{б2} / (n_б f_б) \leq [\sigma]_{б20}, \quad (3.59)$$

$$\frac{1189 \cdot 10^3}{55 \cdot 2.35 \cdot 10^{-4}} = 92 \cdot 10^6 \leq 230 \cdot 10^6 \text{ и } \frac{1173 \cdot 10^3}{16 \cdot 2.35 \cdot 10^{-4}} = 91.9 \cdot 10^6 \leq 230 \cdot 10^6.$$

Условие прочности прокладки:

$$\frac{F_{бmax}}{\pi D_{н.п} b} \leq [p_{пр}], \quad (3.60)$$

где  $[p_{пр}]$  – допускаемое давление на прокладку,

$$[p_{пр}] = 20 \text{ МПа (табл. 1.44) [5]},$$

$$F_{бmax} = \max\{F_{б1}; F_{б2}\}, F_{бmax} = F_{б1} = 1189 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

$$\frac{1189 \cdot 10^3}{3.14 \cdot 1.71 \cdot 0.013} = 17 \text{ МПа} \leq 20 \text{ МПа.}$$

Условие прочности втулки фланца для сечения, ограниченного размером  $s_0$ :

$$\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_k^2 - \sigma_1 \sigma_k} \leq [\sigma]_1.$$

Максимально напряжение в сечении, ограниченном размером  $s_0$ :

$$\sigma_1 = T_\phi M_0 \nu / (D^* (s_1 - c)^2), \quad (3.61)$$

$$D^* = D \text{ при } D \geq 20s_1 = 20 \cdot 12 = 240 \text{ мм,}$$

$$D^* = 1600 \text{ мм.}$$

где  $f_\phi, T_\phi$  – безразмерные параметры, определяемые соответственно по (рис. 1.42) [5] и формуле:

$$T_\phi = \frac{D_H^2 (1 + 8.55 \lg (D_H/D)) - D^2}{(1.05D^2 + 1.945D_H^2)(D_H/D - 1)}, \quad (3.62)$$

$$T_\phi = \frac{1740^2 (1 + 8.55 \lg (1740/1600)) - 1600^2}{(1.05 \cdot 1600^2 + 1.945 \cdot 1740^2)(1740/1600 - 1)} = 1.88,$$

$M_0$  – приведенный изгибающий момент, вычисляемый из условия:

$$M_0 = \begin{cases} 0.5(D_6 - D_{c.п})F_{61} \\ 0.5[(D_6 - D_{c.п})F_{62} + (D_{c.п} - D - s_{эк})F_d][\sigma]_{20}/[\sigma] \end{cases} \quad (3.63)$$

где  $F_d$  – равнодействующая внутреннего давления.

$$F_d = p_p \pi D_{c.п}^2 / 4, \quad (3.64)$$

$$F_d = \frac{0.3 \cdot 10^6 \cdot 3.14 \cdot 1.697^2}{4} = 678 \text{ кН,}$$

$$0.5(1.7 - 1.697)1189 \cdot 10^3 = 1797 \text{ Нм,}$$

$$0.5[(1.7 - 1.697)1173 \cdot 10^3 + (1.697 - 1.6 - 0.012)678 \cdot 10^3] \frac{196 \cdot 10^6}{196 \cdot 10^6} = 30570 \text{ Нм.}$$

Принимаем  $M_0 = 30570 \text{ Нм.}$

$$\sigma_1 = 1.88 \cdot 30570 \cdot 0.375 / (1600(12 - 1.5)^2) = 1.22 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_k = \frac{M_0 (1 - \nu(1 + 0.9\lambda_\phi')) \psi_2}{D h_\phi^2},$$

$$\sigma_k = \frac{30570(1 - 0.375(1 + 0.9 \cdot 0.37))23.8}{1.6 \cdot 0.051^2} = 87.4 \text{ МПа.}$$

									Лист
									58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Допускаемое напряжение для фланца в сечении  $s_0$  принимается равным пределу текучести материала фланца, т.е.  $[\sigma]_1 = \sigma_T$  [5, с.101],

$$[\sigma]_1 = \sigma_T = 210 \cdot 10^6 \text{ МПа},$$

$$\sqrt{(1.22 \cdot 10^6)^2 + (87.4 \cdot 10^6)^2} - 1.22 \cdot 10^6 \cdot 87.4 \cdot 10^6 = 199 \text{ МПа} \leq 210 \text{ МПа},$$

Условие выполняется.

### 3.5.1 Расчет фланцев на статическую прочность

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру, в соответствии с приведенной формулой К.4 ГОСТ Р 52857.4-2007 [1, с.23 ] вычисляются по формуле:

$$K := \frac{D_H}{D} = 1.108$$

Коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} = 1.872$$

$$\beta_U := \frac{[K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1]}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} = 20.729$$

$$\beta_Y := \left[ 0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] \cdot \frac{1}{(K - 1)} = 19.054$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} = 9.756$$

В соответствии с рекомендацией ГОСТ Р 52857.4-2007 [1, с.24 ], коэффициенты для фланцевых соединений с приварными стык фланцами с прямой втулкой, плоскими фланцами и свободными фланцами:

$$\beta_F := 0.91 \quad \beta_V := 0.55 \quad f := 1$$

В соответствии с формулой К.11 ГОСТ Р 52857.4-2007 [ 1, с. 24 ] коэффициент  $\lambda$ :

$$h_{\text{ww}} := 22 \text{ мм}$$

(толщина тарелки фланца)

$$\lambda := \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} + \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} = 0.633$$

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке

$$y_\phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} = 1.119 \times 10^{-10} \quad \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

В соответствии с формулой К.18 ГОСТ Р 52857.4-2007 [ 1, с. 25 ] -коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками (болтами)

$$C_F := \max \left[ 1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_6}{n \cdot \left( 2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5} \right)}} \right] = 1 \quad \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык фланца или плоски фланец при затяжке:

$$M_M := C_F \cdot F_{61} \cdot b \quad M_M = 3.478 \times 10^7 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях

$$M_P := C_F \cdot \max \left[ F_{61} \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e, |Q_d + Q_{FM}| \cdot e \right]$$

$$M_P = -3.037 \times 10^7 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

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

$$c_0 := 1 \text{ мм} \text{ прибавка на коррозию}$$

$D_{пр}$  приведенный диаметр фланца, в случае с плоским и выступ впадины фланцем принимается равным  $D$

$$D_{пр} := D$$

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{пр}}$$

$$\sigma_{0M} = 159.876 \text{ МПа}$$

Напряжение в тарелке приварного встык фланца или плоского в условиях затяжки:

радиальное

$$\sigma_{Rm} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M \quad \sigma_{Rm} = 86.691 \text{ МПа}$$

Окружное напряжение

$$\sigma_{Tm} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rm} \quad \sigma_{Tm} = 10.641 \text{ МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях.

Меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с прямой втулкой и плоских фланцев:

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} \quad \sigma_{0p} = -139.61 \text{ МПа}$$

максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца

$$\sigma_{0mp} := \max \left[ \frac{Q_d + F + \frac{4M}{D_{сп}}}{\pi(D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)}, \frac{Q_d + F - \frac{4M}{D_{сп}}}{\pi(D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)} \right]$$

---


$$\sigma_{0mp} = 4.455 \text{ МПа}$$

Напряжения в тарелке приварного встык фланца или плоского фланца в рабочих условиях

Радиальное напряжение:

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p \quad \sigma_{Rp} = -75.703 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} \quad \sigma_{Tp} = -9.293 \text{ МПа}$$

					Лист
					62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

PR\_1 := "Условия статической прочности при затяжке НЕ выполняются"

PR\_2 := "Условия статической прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"

PR\_3 := "Условия статической прочности выполняются"

КТ := 1.3 коэффициент, учитывающий стесненность температурных деформаций

$$Usl_3 := \begin{cases} PR_1 & \text{if } \left( \max \left( \left| \sigma_{0M} + \sigma_{RM} \right|, \left| \sigma_{0M} + \sigma_{TM} \right| \right) > \text{КТ} \cdot \sigma_{20.6} \right) \\ PR_2 & \text{if } \max \left( \left( \left| \sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Tp} \right| \right), \left( \left| \sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Rp} \right| \right), \left( \left| \sigma_{0p} + \sigma_{0mp} \right| \right) \right) > \text{КТ} \cdot \sigma_d \\ PR_3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl\_3 = "Условия статической прочности выполняются"

Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца с выступ впадиной:

$$\Theta := M_p \cdot y_\phi \cdot \frac{E_{20}}{E}$$

$$\Theta = -2.996 \times 10^{-3}$$

Допустимый угол поворота плоского фланца  $\Theta_d := 0.013$

$$Usl_P := \begin{cases} \text{"Условие при испытаниях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > 1.3 \cdot \Theta_d \\ \text{"Условие в рабочих условиях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > \Theta_d \\ \text{"Условие поворота плоского фланца выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl\_P = "Условие поворота плоского фланца выполняется"

### 3.6. Расчет укрепления отверстий

Расчет производится по ГОСТ Р 52857.3-2007 “Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий” [8].

3.8.1. Расчет толщины стенки люка и штуцеров:

$$S_{\text{Л}} = S_{\text{ЛР}} + c_{\text{Л}}, \quad (3.65)$$

$$S_{\text{Ш}} = S_{\text{ШР}} + c_{\text{Ш}}, \quad (3.66)$$

где  $S_{\text{ЛР}} = \frac{p_{\text{ар}} \cdot d_{\text{л}}}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi - p}$  - Расчетная толщина стенки люка;

где  $S_{\text{ШР}} = \frac{p_{\text{ар}} \cdot d_{\text{ш}}}{2 \cdot [\sigma] \cdot \phi - p}$  - Расчетная толщина стенки штуцеров;

$$S_{\text{ШР}} = \frac{3.33 \cdot 10^5 \cdot 0.05}{2 \cdot 1.56 \cdot 10^8 \cdot 0.9 - 3.33 \cdot 10^5} = 5.937 \times 10^{-5} \text{ м},$$

$$S_{\text{ЛР}} = \frac{3.33 \cdot 10^5 \cdot 0.4}{2 \cdot 1.56 \cdot 10^8 \cdot 0.9 - 3.33 \cdot 10^5} = 4.749 \times 10^{-4} \text{ м}.$$

Прибавка на коррозию:

$$c_1 = \Pi \cdot \tau,$$

где  $\Pi = 0.1 \cdot 10^{-3} \text{ м/год}$  - скорость коррозии

$$c_1 = 0.1 \cdot 10^{-3} \cdot 15 = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

Минусовой допуск на трубный прокат по ГОСТ 9941-81:

$$c_2 = 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

Технологическая добавка для цилиндрического штуцера равна нулю т.к. штуцер изготавливается методом вальцовки  $c_3=0$ .

Суммарная прибавка к расчетной толщине трубы:

									Лист
									64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					



$$c_{Л(Ш)} = c_1 + c_2 + c_3, \quad (3.67)$$

$$c_{Л(Ш)} = 1,5 \cdot 10^{-3} + 0,5 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м,}$$

Тогда

$$S_{Л} = 4,75 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-3} = 2,47 \cdot 10^{-3} \text{ м,}$$

$$S_{Ш} = 6 \cdot 10^{-5} + 2 \cdot 10^{-3} = 2,06 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Из стандартного ряда выбираем ближайшее большее значение  $S_{Л}=6$  мм, т.к. штуцер для люка испытывает нагрузки, как от веса крышки, так и от веса человека при ремонте.

Из стандартного ряда выбираем ближайшее большее значение  $S_{Ш}=3$  мм.

Диаметр укрепляемого элемента

$$D_p = 2 \cdot D \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{x}{D}\right)^2} = 2 \cdot 1,6 \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{0,8}{1,6}\right)^2} = 1,6 \text{ м,} \quad (3.68)$$

где  $x=0,8$  – расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптической крышки.

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{S_{\kappa} - c}{S_p} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (S_{\kappa} - c)}, \quad (3.69)$$

$$d_0 = 2 \cdot \left( \frac{6 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}}{3,5 \cdot 10^{-3}} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{1,6 \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3})} = 0,07 \text{ м}$$

Условие  $d \leq d_0$  не выполняется для люка. Следовательно, требуется укрепление для люка

где  $d = 0,4$  - внутренний диаметр люка;

Условие  $d \leq d_0$  выполняется для загрузочных и технологических штуцеров. Следовательно, их укреплять не нужно.

### 3.8.2. Расчет укрепления штуцеров комбинированным методом

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					65

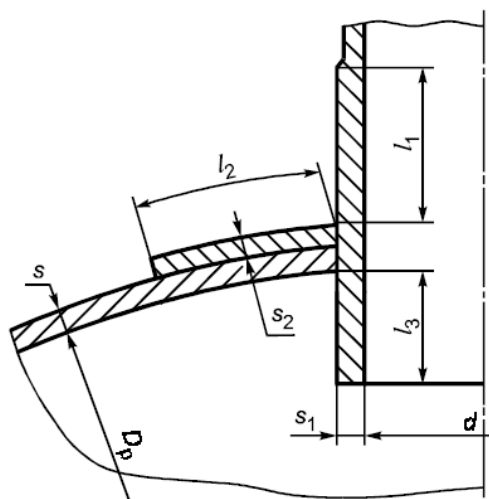


Рисунок. 15 – Укрепление отверстия при наличии проходящего штуцера

Примем исполнительную толщину накладного кольца равной толщине стенки эллиптической крышки  $s_2=6$  мм

Расчет длины внешней части штуцеров:

$$L_{1p}=1,25 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_{ш})(s_1 - c_{ш})}, \text{ м}$$

$$l_{1p}=1,25 \cdot \sqrt{(0,05 + 2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}) \cdot (3 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3})} = 9,186 \times 10^{-3} \text{ м.}$$

Расчет длины внутренней части штуцеров:

$$l_{3p}=0,5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c_{ш})(s_3 - c_{ш} - c_{ш1})}, \text{ м}$$

где  $s_3=s_1$ , так как штуцер проходящий;

$$l_{3p}=0,5 \cdot \sqrt{(0,05 + 2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}) \cdot (3 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3})} = 3,674 \times 10^{-3} \text{ м.}$$

Расчет ширины зоны укрепления с помощью накладного кольца:

$$l_p=L_0=\sqrt{D_p(s - c)},$$

$$l_p=L_0=\sqrt{1,6 \cdot (6 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3})}=0,08 \text{ м.}$$

Расчет ширины накладного кольца:

$$l_{2p}=\sqrt{D_p(s_2 + s - c)},$$

$$l_{2p}=\sqrt{1,6 \cdot (6 \cdot 10^{-3} + 6 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3})}=0,126 \text{ м.}$$

Примем исполнительную ширину накладного кольца  $l_2=126$  мм.

Расчетный диаметр отверстия в стене обечайки:

$$d_p = d + 2 \cdot c_s,$$

$$d_p = 0.05 + 2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0.054 \text{ м.}$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления:

$$d_{op} = 0.4 \sqrt{D_p(s - c)},$$

$$d_{op} = 0.4 \sqrt{1.6(6 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3})} = 0.032 \text{ м.}$$

Условие укрепления одиночных отверстий:

$$l_{1p}(s_1 + s_{1p} - c_s)\chi_1 + l_{2p}s_2\chi_2 + l_{3p}(s_3 + c_s - c_{s1})\chi_3 + l_p(s + s_p - c) \geq 0.5 \cdot (d_p + d_{op})s_p,$$

где  $c_s$  и  $c_{s1}$  - сумма прибавок к расчетной толщине стенки штуцера;

$\chi_1, \chi_3$  - отношение допускаемых напряжений для внешней и внутренней части штуцера;

$\chi_1 = \chi_3 = 1$  так как изготовлены из одной марки стали;

$\chi_2 = (149 \cdot 10^6 / 156 \cdot 10^6) = 0.95$ , так как кольцо изготовлено из стали Ст3.

$$1,46 \cdot 10^{-3} \geq 1,72 \cdot 10^{-4}.$$

Вывод: В ходе проверки на надобность укрепления отверстий выяснилось, что укреплять необходимо отверстие под люк лаз. В результате был предложен комбинированный метод укрепления в ходе, которого условия укрепления одиночных отверстий выполняется.

									Лист
									67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

### 3.7. Подбор опор

Опоры-лапы служат для установки аппаратов на фундамент и несущие конструкции. Размеры и форма, которых зависит от величины и характера нагрузок. Опоры-лапы испытывают нагрузку от общего веса аппарата в рабочих условиях, а цапфы только от веса корпуса аппарата при монтаже (без привода и среды). Максимальный вес аппарата рассчитывается с учётом веса всех составных частей аппарата и максимального веса среды.

Вес составных частей принимаем по ГОСТ 6533-78 для эллиптических частей, содержащий информацию о массе типовых элементов, остальное вычисляем приближённо.

Масса привода:  $m_{пр} = 308$  кг;

Масса эллиптической крышки аппарата:  $m_{кр} = 285$  кг;

Масса цилиндрической обечайки корпуса:

$$m_{об} = 2\pi \cdot l \cdot \rho_k \left( \left( \frac{D_H}{2} \right)^2 - \left( \frac{D_B}{2} \right)^2 \right) = 2 \cdot 3.14 \cdot 1.3 \cdot 7920 \left( \left( \frac{1.624}{2} \right)^2 - \left( \frac{1.6}{2} \right)^2 \right) = 1293 \text{ кг};$$

Масса эллиптического днища аппарата:  $m_{д} = 360$  кг; 0.66-

Масса цилиндрической части рубашки:

$$m_{цр} = 2\pi \cdot l \cdot \rho_p \left( \left( \frac{D_H}{2} \right)^2 - \left( \frac{D_B}{2} \right)^2 \right) = 2 \cdot 3.14 \cdot 1.3 \cdot 7850 \left( \left( \frac{1.706}{2} \right)^2 - \left( \frac{1.700}{2} \right)^2 \right) = 256 \text{ кг};$$

Масса эллиптической части рубашки:  $m_{эр} = 266$  кг;

Масса аппарата:

$$m_a = m_{кр} + m_{пр} + m_{д} + m_{об} \\ m_a = 285 + 308 + 360 + 1293 = 2246 \text{ кг}.$$

									Лист
									68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Масса рубашки:

$$m_p = m_{цр} + m_{эр},$$
$$m_p = 256 + 266 = 522 \text{ кг}$$

При расчёте максимального веса рабочей среды, предполагаем, что аппарат заполнен полностью рабочей средой

$$m_c = \rho \cdot V,$$

где  $\rho=1968 \text{ кг/м}^3$  – плотность рабочей среды,  $V=4 \text{ м}^3$  – номинальный объём аппарата, тогда:

$$m_c=1968 \cdot 4=7872 \text{ кг},$$

Масса теплоносителя в рубашке:

$$m_{с.руб} = \frac{\pi(D_p - D_{об})}{4} \cdot H \cdot \rho_{с.руб},$$

$$m_{с.руб} = \frac{3,14(1,7 - 1,6)}{4} \cdot 1,6 \cdot 1000 = 464 \text{ кг},$$

Нагрузка на опоры:

$$G = (m_a + m_p + m_c + m_{с.руб}) \cdot g,$$

$$G = (2246 + 522 + 7872 + 464) \cdot 9.81 = 109 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Выбранный типоразмер опоры-лапы проверяется на грузоподъёмность по условию:

$$G_{он} < G_{дон},$$

где

$$G_{он} = \frac{G}{n_{он}} = \frac{109 \cdot 10^3}{4} = 27.25 \cdot 10^3 \text{ Н,}$$

									Лист
									69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

где  $n_{оп}=4$  – число опор-лап.

$G_{доп}$  – допускаемая нагрузка на опору, выбираем опору с  $G_{доп}=30кН$ , для опоры с увеличенным вылетом, так как аппарат с теплоизоляцией

$$27.25 кН < 30 кН.$$

условие выполняется.

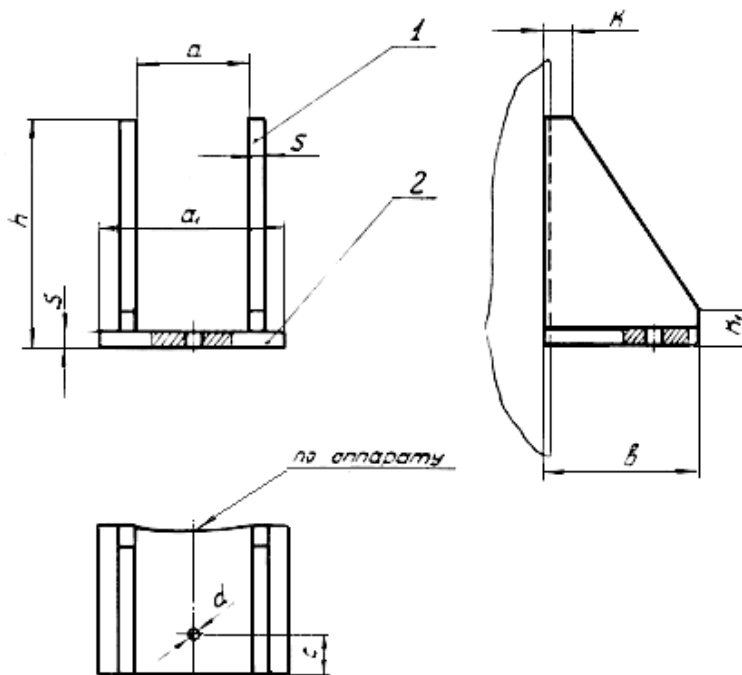


Рисунок. 15 – Опора по ОСТ 26-01-153-82

1 – косынка, 2 – основание

Окончательно принимаем по ОСТ 26-01-153-82 [8] опоры с размерами:

Таблица. 4 - Размеры опор

Допускаемая нагрузка на одну опору, Н	Тип опоры	a	a <sub>1</sub>	b	c	h	S	K	K <sub>1</sub>	d	Масса, кг
30000	1	125	190	140	45	240	18	25	40	24	3,16

### 3.8. Расчёт вала перемешивающего устройства

Для вертикального аппарата, снабжённого трехлопастной мешалкой, произведём расчёт вала постоянного поперечного сечения на жёсткость, прочность и виброустойчивость.

Основные действующие нагрузки на вал – это центробежная сила, приложенная к центру тяжести закреплённой на нём массы (мешалки) и гидродинамические силы.

В результате расчёта по материалам [14], определим диаметр вала перемешивающего устройства, с учётом поправки на коррозионные и эрозионные воздействия, оказываемые на вал обрабатываемой средой.

Исходными данными для расчёта вала являются следующие величины, в соответствии с рис. 16 и данными к курсовому проекту тип вала консольный:

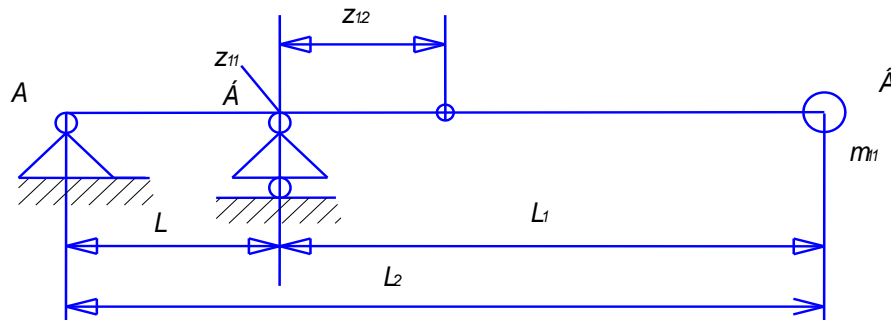


Рисунок. 16 – Расчётная схема консольного вала  
постоянного сечения

Длина вала	$L_2=2.23$ м
Длина консоли	$L_1=1.92$ м
Длина пролёта	$L=0.31$ м
Координата центра тяжести мешалки	$l_{11}=L_1=1.92$ м
Координата опасных сечений	
по жёсткости	$z_{12}=0.86$ м
по прочности	$z_{11}=0$ м

где  $z_{11}$  – место посадки подшипника

Масса мешалки	$m_{11}=5,1$ кг
Масса вала $m_{12}=15$ кг	
Материал вала	X18H10T
Частота вращения вала	$n=250$ об/мин
Перемешиваемая среда	Щелочь(NaOH, 50%)
Диаметр аппарата	$D=1.6$ м
Тип мешалки	Пропеллерная
Диаметр мешалки	$d_M=0.56$ м
Число мешалок	$n_M=1$
Мощность, потребляемая при перемешивании	$N=2.2$ кВт

### 3.5.1. Расчет на виброустойчивость

Относительная длина консоли:

$$a_{п1} = L_1/L_2,$$
$$a_{п1} = 1.92/2.23 = 0.86,$$

Относительная координата центра тяжести мешалки:

$$a_j = l_{11}/L_1 = 1.92/1.92 = 1.$$

Безразмерный динамический прогиб вала в центре тяжести мешалки, в соответствии с графиком – рис.3.17, [2, с.175]:

$$\bar{y}_{l_{11}} = f(\bar{l}_{11}; \bar{L}) = 1.$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72



Угловая скорость вала:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = (3.14 \cdot 250) / 30 = 26.18 \text{ рад/с.}$$

Безразмерный коэффициент, учитывающий приведённую массу вала:

$$f = \frac{16 \cdot \rho_B \cdot \omega^2 \cdot L_1 \cdot L_2}{3E} = (16 \cdot 7850 \cdot (26.18)^2 \cdot 1.92 \cdot 2.23) / (3 \cdot 2 \cdot 10^{11}) = 6.2 \times 10^{-4},$$

где  $\rho_B = 7920 \text{ кг/м}^3$  – плотность материала вала;

$E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$  – модуль упругости материала вала.

Приведённая масса деталей:

$$m_{1np} = m_{11} \cdot \bar{y}_{l_{11}}^2 \cdot m_{12} = 15 + 5.11 \cdot 1^2 = 20.11 \text{ кг.}$$

Суммарная приведённая масса:

$$m_{np} = m_{1np} = 20.11 \text{ кг.}$$

Комплексы для консольного вала:

$$A_1 = (\rho_B \cdot \omega^2 \cdot L^4) / (12 \cdot \zeta_d^2 \cdot E) = (7920 \cdot 0.31^4 \cdot 26.18^2) / (12 \cdot 0.7^2 \cdot 2 \cdot 10^{11}) = 4.26 \times 10^{-8} \text{ м}^2,$$

$$A_2 = (m_B \cdot \omega^2 \cdot L^3) / (3\pi \cdot \zeta_d^2 \cdot E) = (15 \cdot 0.31^3 \cdot 26.18) / (3 \cdot 3.14 \cdot 0.7^2 \cdot 2 \cdot 10^{11}) = 6.37 \times 10^{-10} \text{ м}^2,$$

где  $\zeta_d = 0.7$  – коэффициент виброустойчивости (табл. 3.1) [14];

$m_B$  – масса вала.

Тогда, расчётный диаметр вала:

$$d_p = \sqrt{A_1 + \sqrt{A_1^2 + A_2}} = \sqrt{4.26 \cdot 10^{-8} + \sqrt{(4.26 \cdot 10^{-8})^2 + 6.37 \cdot 10^{-10}}} = 0.0503 \text{ м,}$$

Исполнительный диаметр вала, с учётом поправок—

$$d \geq d_p + 2c = 50 + 2 \cdot 1.5 = 53 \text{ мм, принимаем } d = 60 \text{ мм.}$$

Линейная масса вала:

$$m_B = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \rho_B = \pi / 4 \cdot (0.06)^2 \cdot 7920 = 22 \text{ кг/м.}$$

Относительная масса мешалки:

									Лист
									73
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

$$\bar{m}_{np} = \frac{m_{np}}{m_e \cdot L_1} = 20.11/22 \cdot 1.92 = 0.5.$$

Корень частотного уравнения, в соответствии с рис.3.12, [14]:

$$\alpha_1 = f(\bar{m}_{np}; \bar{L}) = 1.65.$$

Момент инерции сечения вала:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = 3.14 \cdot (0.06)^4 / 64 = 6.362 \times 10^{-7} \text{ м}^4.$$

Первая критическая угловая скорость вала:

$$\omega_{кр} = \left( \frac{\alpha_1}{L_1} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m_e}} = \left( \frac{1.65}{1.85} \right)^2 \cdot \sqrt{1.94 \cdot 10^{11} \cdot 6.362 \cdot 10^{-7} / 22} = 59.5 \text{ рад/с.}$$

Условие виброустойчивости:

$$\frac{\omega}{\omega_{кр}} \leq 0.7 \frac{26.18}{59.5} = 0.44 \leq 0.7; \text{ условие выполняется.}$$

### 3.5.2. Расчет на жёсткость

Эксцентриситет массы мешалки:

$$e_{11} = \frac{10^{-3}}{\sqrt{\omega}} = \frac{10^{-3}}{\sqrt{26.18}} = 1.954 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Относительная координата опасного по жёсткости сечения:

$$\bar{z}_{12} = \frac{z_{12}}{L_1} = 0.86/1.92 = 0.24.$$

Безразмерный динамический прогиб вала, в соответствии с рис. 3.17, [5]:

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					74

$$a_z = k_2 \cdot a_n = 0.06 \cdot 0.83 = 0.05.$$

$$\bar{y}_{z_{12}} = f(\bar{z}_{12}; \bar{L}) = 0.23.$$

Приведённый эксцентриситет массы мешалки:

$$e_{11np} = \frac{e_{11}}{\bar{y}_{l_{11}}} = 1.954 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Приведённая масса вала:

$$m_{г. np} = m_г \cdot L_1 \cdot q = 22 \cdot 1.92 \cdot 0.277 = 11.27 \text{ кг.}$$

Смещение оси вала от оси вращения за счёт зазоров в опорах:

$$\Delta_{l_{11}} = \frac{(\Delta_A + \Delta_B) \cdot (l_{11} + L)}{L} - \Delta_A = \frac{(1.85 + 0.38)(13 \cdot 10^{-6} + 50 \cdot 10^{-6})}{0.38} - 13 \cdot 10^{-6} = 3.697 \cdot 10^{-4} \text{ м,}$$

$$\Delta_{z_{12}} = \frac{(\Delta_A + \Delta_B) \cdot (z_{12} + L)}{L} - \Delta_A = \frac{(0.45 + 0.38)(13 \cdot 10^{-6} + 50 \cdot 10^{-6})}{0.38} - 13 \cdot 10^{-6} = 1.376 \cdot 10^{-4} \text{ м,}$$

где  $\Delta_A = 13$  мкм – радиальный зазор в опоре А, в соответствии с табл. 3.5, [5], для радиального однорядного шарикового подшипника в верхней опоре и  $\Delta_B = 50$  мкм – радиальный зазор в опоре Б, в соответствии с табл. 3.5, [5], для радиального однорядного шарикового подшипника опоры.

Смещение оси вала от оси вращения за счёт начальной изогнутости вала в соответствии с ОСТ 26-01-1245-75:

В месте установки мешалки:

$$\varepsilon_{l_{11}} = \varepsilon_B \cdot \bar{y}_{l_{11}} = 0.06 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 6 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

В месте установки уплотнения вала:

$$\varepsilon_{z_{12}} = \varepsilon_B \cdot \bar{y}_{z_{12}} = 0.06 \cdot 10^{-3} \cdot 0.24 = 14 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

									Лист
									75
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

где  $\varepsilon_B=0.06$  мм – начальная изогнутость вала в точке приведения В, табл. 3.7[5].

Смещение оси вала от оси вращения в точке приведения В за счёт зазоров в опорах:

$$\Delta_B = (\Delta_A + \Delta_B) \cdot \frac{L_2}{L} - \Delta_A = (13 \cdot 10^{-6} + 50 \cdot 10^{-6}) \cdot \frac{2.23}{0.86} - 13 \cdot 10^{-6} = 3.567 \cdot 10^{-4} \text{ м,}$$

Приведённый эксцентриситет массы вала с мешалкой:

$$e_{np} = \frac{m_{1np} \cdot e_{11np}}{m_{np} + m_{e,np}} + \Delta_B + \varepsilon_B = (20.11 \cdot 1.954 \cdot 10^{-4}) / (20.11 + 5.11) + 3.567 \cdot 10^{-4} + 0.06 \cdot 10^{-3} = 5.727 \cdot 10^{-4}$$

Динамический прогиб оси вала в точке приведения В:

$$y_B = \frac{e_{np}}{\left(\frac{\omega_{кр}}{\omega}\right)^2 - 1} = 5.727 \cdot 10^{-4} / (59.5/26.18)^2 - 1 = 5.954 \cdot 10^{-5} \text{ м,}$$

Динамическое смещение центра тяжести мешалки:

$$A_{l_{11}} = y_B \cdot \bar{y}_{l_{11}} + \Delta_{l_{11}} + \varepsilon_{l_{11}} + e_{11},$$

$$A_{l_{11}} = 6 \cdot 10^{-5} \cdot 1 + 3.697 \cdot 10^{-4} + 6 \cdot 10^{-5} + 1.954 \cdot 10^{-4} = 6.8 \cdot 10^{-4} \text{ м,}$$

Динамическое смещение оси вала в опасном по жёсткости сечении в месте установки уплотнения вала:

$$A_{z_{12}} = y_B \cdot \bar{y}_{z_{12}} + \Delta_{z_{12}} + \varepsilon_{z_{12}} = 5.954 \cdot 10^{-5} \cdot 0.05 + 1.376 \cdot 10^{-4} + 3 \cdot 10^{-6} = 1.436 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

									Лист
									76
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Динамическое смещение оси вала в точке приведения В:

$$A_B = y_B + \Delta_B + \varepsilon_B = 5.954 \cdot 10^{-5} + 3.567 \cdot 10^{-4} + 0.06 \cdot 10^{-3} = 4.762 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Условие жёсткости:

$$A_{z_{12}} \leq [A_{z_{12}}],$$

где  $[A_{z_{12}}] = 0.2$  мм – допускаемое смещение вала в зоне сальникового уплотнения, при частоте вращения 250 об/мин, [5], стр. 178.

$$0.1436 \leq 0.2.$$

Условие выполняется.

### 3.5.3. Расчет на прочность

Сосредоточенная центробежная сила:

$$P_{11} = m_{11} \cdot \omega^2 \cdot A_{11} = 15 \cdot (26.18)^2 \cdot 7.691 \cdot 10^{-4} = 7.9 \text{ Н.}$$

Приведённая центробежная сила, действующая на вал в точке приведения В:

$$P_{ВпрQ} = m_{в.пр} \cdot \omega^2 \cdot A_{BQ} = 11.27 \cdot (26.18)^2 \cdot 4.762 \cdot 10^{-4} = 3.679 \text{ Н.}$$

Реакция опоры А:

$$R_{AQ} = \frac{1}{L} \cdot (P_{11} \cdot L_1 + P_{ВпрQ} \cdot L_1) = 1/0.38 \cdot (7.9 \cdot 1.85 + 3.679 \cdot 1.85) = 56.37 \text{ Н.}$$

						Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77

Реакция опоры Б:

$$R_{BQ} = \frac{1}{L} \cdot (P_{11} \cdot L_2 + P_{BnpQ} \cdot L_2) = 1/0.38 \cdot (7.9 \cdot 2.23 + 3.679 \cdot 2.23) = 68 \text{ Н.}$$

Изгибающий момент в опасном по прочности сечении:

$$M_{uz_{11}Q} = P_{BnpQ} (L_1 - z_{11}) + P_{11Q} (l_{11} - z_{11}) = 3.679 \cdot (1.85 - 0) + 7.9(1.85 - 0) = 21.4 \text{ Н·м.}$$

Крутящий момент в опасном сечении по прочности:

$$M_{kz_{11}Q} = \frac{N}{\omega} = 2.7 \cdot 10^3 / 26.8 = 100.7 \text{ Н·м.}$$

Момент сопротивления вала в опасном по прочности сечении:

$$W_{z_{11}} = \frac{\pi}{32} \cdot d^3 = (3.14/32) \cdot (0.06)^3 = 2.121 \cdot 10^{-5}.$$

Эквивалентное напряжение в опасном по прочности сечении:

$$\sigma_{\text{экв.}z_{11}Q} = \frac{\sqrt{M_{uz_{11}Q}^2 + M_{kz_{11}Q}^2}}{W_{z_{11}}} = \frac{\sqrt{21.4^2 + 100^2}}{2.121 \cdot 10^{-5}} = 4.822 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Допускаемое напряжение:

$$[\sigma_{z_{11}}] = \frac{\varepsilon_m \cdot \sigma_{-1}}{k_{\sigma \cdot z_{11}} \cdot n_{\min}} = \frac{0.7 \cdot 235 \cdot 10^6}{0.67 \cdot 2} = 1.23 \cdot 10^8 \text{ Па,}$$

						Лист
						78
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где  $\epsilon_m=0.7$  - масштабный фактор в зависимости от диаметра вала для легированной стали, рис. 3.19, [5], стр. 179;

$\sigma_{-1}=0.5 \cdot \sigma_B=0.5 \cdot 470 \cdot 10^6=235$  МПа – предел выносливости материала вала,  
 $\sigma_B=500$  МПа – предел прочности материала вала, [5], стр. 181;

$k_{\sigma, z_{11}}=0.67$  – коэффициент концентрации напряжений, для вала со шпоночной канавкой, выполненной торцовой фрезой, [14], стр.79;

$n=2$  – запас прочности.

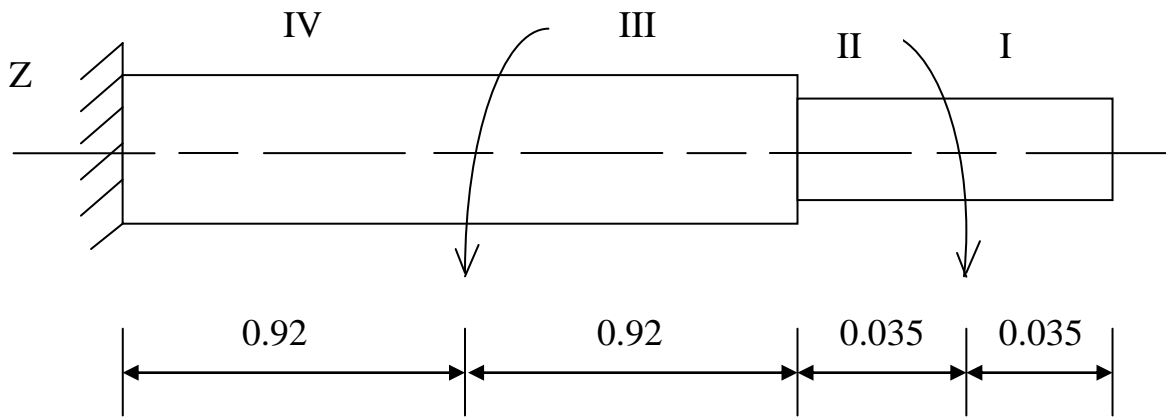
Условие прочности:

$$\sigma_{\text{экв.}z_{11Q}} \leq [\sigma_{z_{11}}],$$

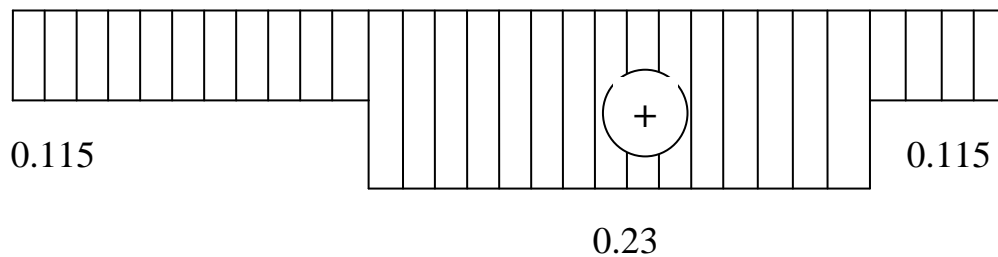
4.8 МПа  $\leq$  123 МПа, условие прочности выполняется.

### 3.5.4. Расчет на прочность и жесткость при кручении

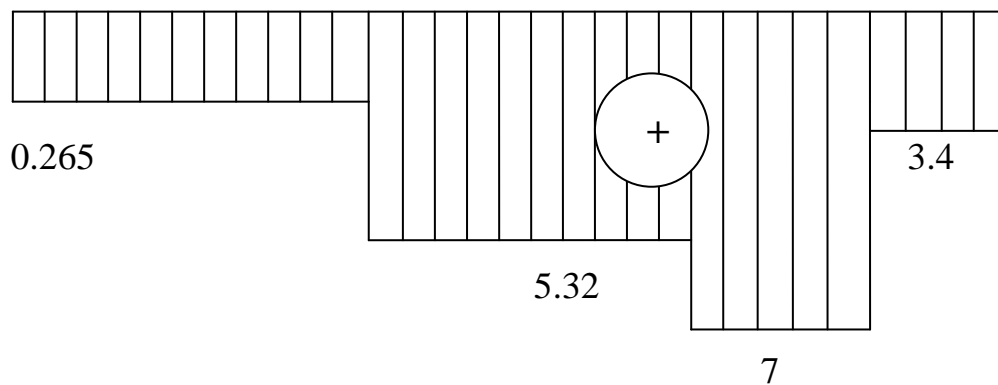
При перемешивании жидкости мешалкой вал испытывает нагрузки кручения, поэтому целесообразно проверить вал на прочность при кручении.



Эпюра  $M_z$ , кН·м



Эпюра  $\tau$ , МПа





- 1) Разбиваем вал на четыре участка. Границами участков являются сечения, в которых действуют внешние моменты и сечения, где изменяется диаметр вала.
- 2) Определяем крутящие моменты в поперечных сечениях каждого участка вала и строим их эпюру.

Поскольку на вал действует только сопротивление среды реактора, то крутящий момент на всех участках одинаков.

$$M_{кр} = N_M / \omega,$$

$$M_{кр} = 3000 / 26.18 = 114.6 \text{ Н}\cdot\text{м} = 0.115 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

- 3) Определяем величины крутящих моментов в поперечных сечениях каждого участка вала:

$$M_z = \sum M_z^{осм};$$

$$M_{z1} = 0.115 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_{z2} = 0.115 + 0.115 = 0.230 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_{z3} = 0.115 + 0.115 = 0.230 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_{z4} = 0.115 + 0.115 = 0.115 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

- 4) Определяем полярные моменты сопротивления поперечных сечений вала:

$$W_\rho = \frac{\pi d^3}{16} \approx 0.2 d^3,$$

Для участков I и II:

$$W_\rho = 0.2 \cdot (5.5)^3 = 33.27 \text{ см}^3$$

Для участков III и IV:

$$W_\rho = 0.2 \cdot (6)^3 = 43.2 \text{ см}^3.$$

- 5) Определяем максимальные касательные напряжения в поперечных сечениях вала и строим их эпюру:

$$\tau = \frac{M_z}{W_\rho},$$

$$\tau_1 = 0.115 \cdot 10^6 / 33.27 \cdot 10^3 = 3.4 \text{ МПа};$$

$$\tau_2 = 0.230 \cdot 10^6 / 33.27 \cdot 10^3 = 7 \text{ МПа};$$

$$\tau_3 = 0.230 \cdot 10^6 / 43.2 \cdot 10^3 = 5.32 \text{ МПа};$$

$$\tau_4 = 0.115 \cdot 10^6 / 43.27 \cdot 10^3 = 2.65 \text{ МПа}.$$

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					81

Опасным является второй участок вала.

Вывод о прочности вала: так как  $\tau_{\max} = 7 \text{ МПа} < [\tau] = 85 \text{ МПа}$ , то прочность вала обеспечивается.

#### 4. Социальная ответственность

##### 4.1. Описание составного цеха на предмет формирования опасных и вредных факторов

Таблица 4.1

Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Факторы		Наименование документов
	Вредные	Опасные	
Получение 50% гидроксида натрия	Физические: отклонение показателей микроклимата в помещении	Физические: давление (нарушение герметичности аппарата под давлением); электрический ток	ГОСТ 12.1.005 – 88 (с изм. № 1 от 2000 г.)  СайПиН 2.2.4.548-96
	Химические: утечка токсичных и вредных веществ (по характеру воздействия на организм человека – раздражающие, токсические; по пути проникновения органы дыхания, желудочно-кишечный тракт, кожный покров и слизистая оболочка)		ГОСТ 12.1.005 – 88 (с изм. № 1 от 2000 г.)  СайПиН 2.2.4.548-96

## 4.2. Анализ выявленных опасных факторов при различных условиях

### 4.2.1. Микроклиматические условия

Под действием метеорологических условий производственной среды согласно ГОСТ 12.1.005 – 88 понимается сочетание температуры, влажности, скорости движения и запыленности воздуха. Метеорологические условия производственной среды регламентируются «санитарными нормами промышленных предприятий» СанПиН 2.2.4.548-96. Рабочей зоной производственного помещения пространство высотой 2 м над уровнем пола.

Таблица 4.2 Значение температуры, относительной влажности для рабочей зоны помещения.

Параметры		Допустимые	
Оптимальные			
Температура, °С	Влажности, %	Температура, °С	Влажности, %
20-22 зимой	50-60	15-25 зимой	45-70
20-25 летом	50-60	28-27 летом	45-75

Для поддержания нормальных условий труда в помещении пульта управления широко применяется система кондиционирования, а также для поддержания теплового равновесия между человеческом и окружающей средой проводятся ряд мероприятий, основные из которых:

- дистанционное управления теплоизлучающими процессами процессами и аппаратами.
- источники интенсивного влаговыделения с открытой поверхностью испарения снабжают крышками или же оборудуют местными отсосами.

С целью защиты от воздействия вредных паров раствора производственного помещения снабжены приточной и вытяжной вентиляцией по ГОСТ 12.4.021-75. На случай аварии предусмотрена аварийная система вентиляции.

В производственных помещениях должны быть предусмотрены датчики сигнализации предельных концентраций паров щелочи.

Нормируемые показатели аэроионного состава воздуха:

Аэроионный состав воздуха устанавливается в зависимости от процессов ионизации и деионизации.

1. Нормируемыми показателями аэроионного состава воздуха производственных и общественных помещений являются:

· концентрации аэроионов (минимально допустимая и максимально допустимая) обеих полярностей  $r^+$ ,  $r^{3/4}$  определяемые как количество аэроионов в одном кубическом сантиметре воздуха (ион/см<sup>3</sup>).

· коэффициент униполярности  $U$  (минимально допустимый и максимально допустимый), определяемый как отношение концентрации аэроионов положительной полярности к концентрации аэроионов отрицательной полярности.

2. Минимально и максимально допустимые значения нормируемых показателей определяют диапазоны концентраций аэроионов обеих полярностей и коэффициента униполярности, отклонения от которых могут привести к неблагоприятным последствиям для здоровья человека.

3. Значения нормируемых показателей концентраций аэроионов и коэффициента униполярности приведены в таблице.

Таблица 4.3

Нормируемые показатели	Концентрация аэроионов, $r$ (ион/см <sup>3</sup> )		Коэффициент униполярности $U$
	положительной полярности	отрицательной полярности	
Минимально допустимые	$r^+ \geq 400$	$r^{3/4} > 600$	0,4 ≤ $U$ < 1,0
Максимально допустимые	$r^+ < 50000$	$r^{3/4} \leq 50000$	

4. В лечебных целях могут применяться другие показатели аэроионного состава воздуха, если это предусмотрено утвержденными в установленном порядке методиками лечения или применения аэроионизаторов.

#### 4.2.2. Освещение

Один из важнейших элементов благоприятных условий труда является рациональное освещение помещений и рабочих установок.

На производстве применяется естественное и искусственное освещение.

Нормирование естественного освещения промышленных зданий сводится к нормированию коэффициента естественного освещения. По СанПиН 2.2.4.548 – 96.

Для работ, выполняемых в лабораториях и относящимся к точным работам, при боковом освещении коэффициент естественной освещенности должен быть не менее 1,5%.

Искусственное освещение нормируется в единицах освещенности – люках (лк). Выбор освещенности производится в соответствии с СанПиН 2.2.4.548 – 96. По санитарным нормам на ПУ освещенность должна быть 300

лк, при этом используются люминисцентные лампы типа Т8. Они позволяют создать искусственный свет, приближенный к 300 лк.

### 4.2.3. Шумы и вибрация

Источниками интенсивного шума и вибрации являются машины и механизмы с неуравновешенными вращающимися массами (мешалки), в отдельных кинематических парах которых возникает трение и соударения. Повышение вибрации на рабочих местах неблагоприятно сказывается на организм человека. Допустимые уровни параметров шума и вибрации на рабочем месте определяются по ГОСТ 12.1.003-83 и ГОСТ 12.1.012-90.

На площадках аппаратов и вокруг них шумы и вибрации не превышают допустимые.

Реализованные средства защиты путём введения в колебательную систему дополнительной упругой связи, препятствующей передаче вибрации от источника колебаний на основание или смежные конструкции.

### 4.2.4. Электробезопасность

Электробезопасность в соответствии с ГОСТ 12.1.019 – 70 обеспечивается:

1. конструкцией электроустановок;
2. техническими способами и средствами защиты;
3. организационными и техническими мероприятиями.

Отдельно или в сочетании с другими применяется:

- 1) защитное заземление;
- 2) зануление;
- 3) защитное отключение;
- 4) изоляция токоведущих частей;
- 5) электрическое разделение сетей;
- 6) предупредительная сигнализация, блокировка;
- 7) использование знаков безопасности;
- 8) электрозщитные средства.

Для обеспечения безопасной работы в электроустановках выполняется комплекс организационных мероприятий:

- 1) организуется инструктаж и обучение безопасными методам работы;
- 2) проверка знаний правил безопасности;
- 3) доступ к работе оформляется в соответствующем наряд-допуске.

Основными причинами поражения электрическим током являются:

а) случайные прикосновения к токоведущим частям под напряжением возможно в результате:

- ошибочных действий при проведении работ;

									Лист
									85
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

- неисправности защитных средств, которыми пострадавший касался;
- токоведущих частей.

б) появление напряжения на отключенных токоведущих частях в результате:

- ошибочного включения отключенной установки;
- замыкание между отключенными и находящимися под напряжением токоведущих частей оборудования и др.

в) появление напряжения на металлических конструктивных частях оборудования в результате:

- повреждения изоляции токоведущих частей;
- замыкание фазы сети на землю;

г) возникновение напряжения шага на участке земли, где находится человек в результате:

- замыкания фазы на землю;
- выноса потенциала протяженным токопроводящим предметом.

Вероятность исключения указанных причин зависит от обучения персонала.

Основными мероприятиями по защите работников от электротравм являются:

- 1) обеспечение недоступности токопроводящих частей путем изоляции, ограждений.
- 2) применение малых напряжений в местных и переносных источников света;
- 3) использование изоляции токоведущих частей;
- 4) применение коллективных средств защиты от поражения электрическим током, таких как заземление, зануление, защитное отключение;
- 5) обучение и аттестация персонала.

Для защиты от статического электричества и вторичных проявлений молний, аппараты, трубопроводы и металлоконструкций должны быть заземлены.

В случаи проведения ремонтных работ необходимо применять средства индивидуальной защиты: диэлектрические перчатки, коврики, сапоги и прорезиненные костюмы, инструмент с изолированными ручками.

#### *Категории опасных помещений*

В отношении опасности поражения людей электрическим током разделяют:

А) помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия создающие опасность;

Б) помещения с повышенной опасности, в которых характеризуются наличием в них одного из следующих условия создающие опасность:

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						86

- сырость;
- токопроводящая пыль;
- токопроводящие полы (металлические, железобетонные, земляные);
- высокая температура;
- возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим корпусам оборудования с другой.

#### 4.3. Техника безопасности при обслуживании химического оборудования

К обслуживанию сосудов, работающих под давлением, допускаются лица, достигшие восемнадцатилетнего возраста, прошедшие производственное обучение, сдавшие экзамен квалификационной комиссии и имеющие соответствующее соответствующее удостоверение. Работа на сосудах под давлением разрешается только на исправном аппарате, прошедшие техническоеосвидетельствование, с непросроченным сроком внутреннего осмотра и гидравлического испытания. Обслуживающий персонал обязан строго соблюдать инструкцию по режиму работы сосудов и безопасному обслуживанию и своевременно проверять исправность работы аппаратов, контрольно-измерительных приборов и предохранительных устройств.

При производстве щелочи (NaOH)работник работающий в непосредственном контакте с веществом должен соблюдать инструкцию по охране труда при работе с кислотами и щелочами, из которой следует:

Общие требования:

- 1) к работам со щелочами и другими едкими веществами допускаются лица не моложе 18 лет прошедшие инструктаж по охране труда;
- 2) работник должен соблюдать: правила внутреннего распорядка, должностную инструкцию, инструкцию по охране труда, правила личной гигиены.
- 3) Работник должен быть обеспечен спецодеждой и другими СИЗ(резиновые перчатки, резиновая обувь, прорезиненный фартук, респиратор, защитные очки) и правильно их использовать. Срок службы вышеуказанных средств индивидуальной защиты устанавливаются до их износа. Запрещается работать с едкими веществами в поврежденной спецодежде или при её отсутствии.
- 4) Работник обязан уметь оказывать первую помощь при несчастном случае, в первую очередь – промыть пораженное место 1 %-ным раствором лимонной кислоты, а затем большим количеством воды. Раствор должен быть в составе медицинской аптечки на складе;
- 5) О каждом несчастном случае, произошедшем на производстве, начальник склада извещает директора предприятия.
- 6) Лица, допустившие невыполнение или нарушение инструкции по охране труда, подвергаются дисциплинарному взысканию и

										Лист
										87
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

внеплановому инструктожу.

Требования безопасности во время работы:

- 1) Концентрированная щелочь (кислоты) должны храниться и фасоваться в стеклянную тару. Наполнение сосудов и переливание следует проводить сифоном или на фасовочном оборудовании. Щелочи фасуются только сухим пластмассовым совком.
- 2) Бутылки с кислотами, бочки и мешки со щелочами следует переносить вдвоем в специальных обрешетках или перевозить на тележке.
- 3) При работе с едкими веществами и их растворами запрещается засасывать жидкость ртом через пипетку.
- 4) Растворы для нейтрализации щелочи должны быть приготовлены заранее и находится на полке рядом с рабочим местом в течении всего рабочего времени. Также должны быть приготовлены песок для засыпания разливов кислот и емкость с водой.

#### 4.4. Техника безопасности при ремонте

К проведению ремонтных работ допускаются лица, достигшие восемнадцатилетнего возраста, годные по состоянию здоровья, прошедшие обучение и аттестацию на право проведения ремонтных работ, а также обучение и аттестацию по охране труда.

При выполнении ремонта большая доля приходится на слесарные операции. Поэтому основные правила безопасности относятся к обеспечению безопасного выполнения слесарных работ.

До начала работы должна быть проверена исправность инструментов и приспособлений: молотки и кувалды должны быть слегка выпуклы, не косую и не сбитую, без трещин поверхность бойка и должны быть надежно закреплены на ручках путем расклинивания металлическими завершенными клиньями. Ручки молотков и кувалд должны быть с гладкой поверхностью, без трещин и сучков.

Гаечные ключи должны быть параллельны. Применять прокладки при наличии зазора между плоскостями губок и головок болтов не допускается.

Разборка аппарата, остановленного для внутреннего осмотра, чистки, ремонта, может производиться только после освобождения его от продукта производства. Приступать к ремонту без разрешения механика цеха или мастера механической службы не разрешается.

При ремонте запрещается загромождать рабочим площадки, установки и территорию вокруг них. После окончания работ проводится уборка строительных отходов, материалов и оборудование.

При возникновении опасности на территории ремонтируемого оборудования, ремонтные работы прекращаются, рабочие удаляются в безопасное место и принимают меры к ликвидации опасности.

									Лист
									88
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					



Возобновление ремонтных работ разрешается после выяснения и устранения причин опасности.

К работам внутри ёмкости допускаются лица мужского пола, достигшие двадцатилетнего возраста. Работа внутри емкости без подстраховки не допускается. Рабочий внутри емкости должен быть в спецодежде, поверх которой надевается пояс с крестообразными лямками, к которым крепится спасательная веревка. Работать внутри емкости допускается только в шланговом противогазе, свободный конец которого должен находиться за пределами цеха в зоне чистого воздуха. Инструмент подается в сумке только после спуска рабочего. Светильники должны быть во взрывозащищенном исполнении, включать который нужно вне емкости. Работать внутри емкости 15 минут и столько же отдыхать.

К сварочной работам допускаются лица, сдавшие экзамен и получившие удостоверение на право выполнения этих работ. Сварщик должен быть одет в спецодежду, брюки должны быть одеты поверх ботинок, должны быть одеты верхонки, а также маска или очки. Место для сварочных работ должно быть ограждено сплошной перегородкой. Включение в сеть электросварочных аппаратов должно производиться посредством рубильников. Длина провода между питающей сетью и передвижному сварочным агрегатом не должно превышать 10 м. Провода должны иметь защитную от механических повреждений оболочку. Провода должны иметь защитную от механических повреждений оболочку. Корпуса электросварочных агрегатов, сварочные стволы, плиты, а также обратные провода должны быть заземлены.

Перед началом сварочных работ ведут подготовку помещения. Из помещения удаляют всё сырье, тару и горючих газов. Перед началом электросварочных работ аппарат должен быть заполнен водой или инертным газом. При проведении сварочных работ внутри аппарата необходимо иметь наряд-допуск, утвержденный техническим директором завода.

#### 4.5. Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды – это охрана природной среды окружающей человека, то есть комплекс международных, государственных, региональных, административно-хозяйственных и общественных мероприятий по обеспечению физических, химических и биологических параметров функционирования природных систем в пределах, необходимых с точки зрения здоровья и благосостояния человека.

									Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					89

В зависимости от физико-химических параметров веществ, содержащихся в отходах и выбросах, и от требований, предъявляемых к степени очистки, применяют различные методы очистки.

Очистные сооружения предназначены для очистки и фильтрации жидких, твердых и газообразных отходов со всех технологических цехов завода. Очистные сооружения включают в себя: пруды-отстойники, накопители, станцию нейтрализации, насосную станцию, газо-воздушные фильтры, внутривозрадные сети трубопровода.

Средства индивидуальной защиты для работников очистных сооружений – это матерчатая одежда, резиновая обувь, перчатки, головные уборы. Грязь и мусор из помещения удаляется влажной уборкой. В цехе используется приточно-вытяжная влажная уборка. В цехе используется приточно-вытяжная вентиляция для удаления загрязненного воздуха.

#### **4.6. Безопасность при чрезвычайных ситуациях**

##### **Производственные аварии**

Аварии могут возникнуть из-за утечки взрывоопасной смеси через неплотности оборудования и трубопроводов, несоблюдения норм технического режима, повреждения оборудования, замыкание электрооборудования и др.

При возникновении пожара обслуживающему персоналу необходимо:

- 1) Локализовать очаг возгорания;
- 2) Сообщить начальнику смены, позвонить в пожарную часть;
- 3) Не входить в зону задымления при видимости менее 10 м;
- 4) При движении через горящее пространство накрыться с головой мокрым куском плотной ткани;
- 5) Тушение электрооборудования и электропроводок осуществляется только после их обесточивания, либо использовать углекислотный огнетушитель;
- 6) При утечке вредных веществ необходимо быстро покинуть зону выброса перпендикулярно направлению ветра. При необходимости использовать самоспасатель.

##### **Стихийные бедствия**

Возможные стихийные бедствия:

- 1) Ураганы – это ветры большой силы и скоростью более 32 м/сек;
- 2) Наводнение;
- 3) Снежные заносы и обледенения;
- 4) Оползни;
- 5) Пожары.

									Лист
									90
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

б) Землетрясение.

Стихийные бедствия – это явления природы, которые вызывают экстремальные ситуации, нарушающие жизнедеятельность людей и работы объектов.

Наиболее опасным для данного региона является землетрясение и ураганы. Снегопады, которые могут длиться от нескольких часов до нескольких суток. Бури и ураганы несут большие разрушения.

В случае перечисленных стихийных бедствий необходимо произвести аварийную остановку и срочно эвакуироваться согласно плана эксплуатации цеха.

**4.7. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

1. Режим труда и отдыха:

Баланс времени одного рабочего устанавливает число дней подлежащих отработки одним среднесуточным рабочим в год, в зависимости от принятого режима работы цеха, продолжительности работы цеха и продолжительности рабочего дня. Цех будет работать в 3 смены продолжительностью по 8 часов. Работа будет производиться четырьмя производственными бригадами.

Таблица 4.3. График сменности рабочих бригад

Смены	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
С 8 до 16	А	А	Б	Б	В	В	Г	Г	А	А	Б	Б	В	В	Г	Г	А	А	Б	Б	В	В	Г	Г	А	А	Б	Б	В	В
С 16 до 24	Г	Г	В	В	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В	Б	Б
С 24 до 8	Б	Б	Г	Г	А	А	В	В	Б	Б	Г	Г	А	А	В	В	Б	Б	Г	Г	А	А	В	В	Б	Б	Г	Г	А	А
Выходные	В	В	А	А	Г	Г	Б	Б	В	В	А	А	Г	Г	Б	Б	В	В	А	А	Г	Г	Б	Б	В	В	А	А	Г	Г

2. Обеспечение персонала спецодеждой

Работодатель, в соответствии со ст. 221 Трудового кодекса РФ обязан обеспечить приобретение и выдачу за счет собственных средств специальной одежды, специальной обуви и других СИЗ работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особо температурных условиях или связанных с загрязнением. На работодателе также лежит обязанность по обеспечению хранения, стирки, сушки, дезинфекции, дегазации, дезактивации и ремонту выданных работникам спецодежды, спецобуви и других СИЗ.

### 3. Порядок медосмотров

Поскольку производство является достаточно вредным, рекомендуется проводить плановые медицинские осмотры через каждые 6 месяцев. Также в статье 214 ТК РФ определено, что прохождение обязательного предварительного и периодических медосмотров — обязанность работника. Вместе с тем в ст. 219 ТК РФ сказано, что прохождение внеочередного медицинского осмотра в соответствии с медицинскими рекомендациями является уже правом работника, которое он может реализовывать по своему усмотрению. Обеспечение и обязательных, и внеочередных медосмотров, а также сохранение за работником места и среднего заработка на время таких медицинских осмотров — обязанность работодателя.

## 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### Предпроектный анализ

#### Потенциальные потребители

Продукт: Каустическая сода (NaOH)

Целевой рынок: ООО «Сибур», ОАО «Роснефть», рынок Европы.

#### SWOT-анализ.

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

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b> С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии С3. Умеренная стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4. Квалифицированный руководитель. С5. Мобильность рабочего места	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b> Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой Сл2. Большое количество конкурентов
--	--	--

<p><b>Возможности:</b>  В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ  В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт научных исследований  В3. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>Проектирование участка подготовки реагентов</p>	<p>1. Повышение квалификации кадров  2. Привлечение новых заказчиков</p>
<p><b>Угрозы:</b>  У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства  У2. Развитая конкуренция технологий производства  У3. Исчерпание природных ресурсов</p>	<p>1. Продвижение новой технологии с целью появления спроса  2. Использование импортного сырья  3. Применение технологии для извлечения остатков целевого продукта из отходов</p>	<p>1. Повышение квалификации кадров  2. Привлечение новых заказчиков  3. Применение технологии к альтернативным источникам</p>

### Экономический расчет

#### 5.1. Расчет эффективного фонда рабочего времени

За основной расчетный период принимаем календарный год – 365 дней или 8760 часов.

Номинальный фонд работы оборудования:

$$T_n = D_p \cdot R_p,$$

где:  $D_p$  – количество рабочих дней в расчетном периоде;

$R_p$  – количество рабочих часов в сутки.

При непрерывном режиме работы номинальный фонд времени равен календарному:

$$T_n = T_k = 8760 \text{ часов.}$$

Эффективный фонд времени за вычетом остановок на ремонт и времени на технологические остановки, проводимые в рабочее время в соответствии с установленной системой планово-предупредительного ремонта (ППР) будет составлять:

$$T_{эф} = T_k - T_{рем} - T_{то};$$

где  $T_{эф}$  – эффективный фонд рабочего времени оборудования;

$T_k$  – номинальный фонд рабочего времени;

$T_{\text{рем}}$  – время простоя оборудования на ремонтах за расчетный период;  
 $T_{\text{то}}$  – время технологических остановок за расчетный период.

На предприятиях химической промышленности системой ППР предусматривается проведение следующих категорий ремонта: текущий, средний, капитальный. Расчет осуществляется для основных аппаратов. Эффективное время вспомогательного оборудования принимаем по ведущему аппарату.

Таблица 9.1 - Баланс времени работы оборудования и времени его простоя

Время работы между ремонтами, час			Время простоя при ремонте, час			Затраты на ремонт		
Кап.	Сред.	Тек.	Кап.	Сред.	Тек.	Кап.	Сред.	Тек.
43200	17280	720	2160	360	16	3260	700	1500

Общее количество ремонтов за ремонтный период:

$$R = R_{\text{ц}} / T_{\text{т}},$$

где  $R$  – количество всех ремонтов за ремонтный цикл;

$R_{\text{ц}}$  – длительность ремонтного цикла;

$T_{\text{т}}$  – пробег оборудования между текущими ремонтами.

$$R = \frac{43200}{720} = 60 \text{ ремонтов за ремонтный цикл.}$$

Длительность ремонтного цикла:

$$\frac{R_{\text{ц}}}{T_{\text{н}}} = \frac{43200}{8760} = 5 \text{ лет}$$

Количество средних ремонтов за ремонтный цикл:

$$R_{\text{с}} = \frac{R_{\text{ц}}}{T_{\text{н}}} - 1, R_{\text{с}} = \frac{R_{\text{ц}}}{T_{\text{с}}} - 1,$$

где  $T_{\text{с}}$  – пробег оборудования между средними ремонтами;

$$R_{\text{с}} = \frac{43200}{17280} - 1 = 2, \text{ средних ремонта за ремонтный цикл.}$$

Количество текущих ремонтов:

$$R_{\text{т}} = \frac{R_{\text{ц}}}{T_{\text{н}}} - R_{\text{с}} - 1 = \frac{51840}{720} - 2 - 1 = 69 \quad R_{\text{с}} = \frac{R_{\text{ц}}}{T_{\text{н}}} - R_{\text{с}} - 1 = \frac{43200}{720} - 2 - 1 = 57 \text{ текущих}$$

ремонтов.

Всего ремонтов в течение расчетного времени:  $60 : 5 = 12$ , т. е. 2 средних и 57 текущих ремонтов.

Время на ремонт оборудования в расчетный период:

$$T_{\text{рем}} = 11 \cdot T_{\text{т}}' + T_{\text{ср}} = 11 \cdot 16 + 360 = 536 \text{ часов.}$$

Время технологически неизбежных остановок:  $T_{\text{то}} = T_{\text{п}} + T_{\text{по}}$ ,

где  $T_{\text{по}}$  – время остановки, 720 ч;

$T_{\text{п}}$  – время пуска, 2 ч;

$$T_{\text{то}} = 720 + 2 = 272 \text{ час.}$$

Эффективный фонд работы оборудования:  $T_{\text{эф}} = T_{\text{н}} - T_{\text{рем}} - T_{\text{то}}$

$$T_{\text{эф}} = 8760 - 536 - 720 = 7504 \text{ ч (313 дней).}$$

Часовая производительность оборудования:

$$П_{\text{час}}=G \cdot 60 \cdot 2,$$

где  $G=3,5$  кг/с – массовый расход вещества.

$$П_{\text{час}}=3,2 \cdot 60 \cdot 60=12600 \text{ кг/час}=12,6 \text{ т/час.}$$

### Расчет производственной мощности

Под производственной мощностью производства понимается максимально возможным годовым выпуском готовой продукции в номенклатуре и ассортименте, предусмотренных на плановый период при наилучшем использовании производственного оборудования

$$M=T_{\text{эф}} \cdot П_{\text{час}} \cdot K_{\text{об}},$$

где  $K_{\text{об}}=1$  – количество однотипного оборудования, установленного в цеху.

$$M=7504 \cdot 12,6=94550,4 \text{ т/год.}$$

Для анализа использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен:

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

$$K_{\text{экс}}=7504/8760=0,86.$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен:

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

где  $Q_{\text{пп}}$  – производительность единицы оборудования в единицу времени;  $Q_{\text{max}}$  – максимальная производительность в единицу времени.

$$K_{\text{инт}}=3,4/3,5=0,97$$

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{им}}=K_{\text{экс}} \cdot K_{\text{инт}},$$

$$K_{\text{им}}=0,86 \cdot 0,97=0,85.$$

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

$$N_{\text{год}}=K_{\text{им}} \cdot M,$$

$$N_{\text{год}}=0,85 \cdot 94550,4=81000 \text{ т/год}$$

## 5.2 Организация труда и заработной платы

### 5.2.1 Определение баланса времени одного рабочего

Баланс времени одного рабочего устанавливает число дней подлежащих отработке одним среднесуточным рабочим в год, в зависимости от принятого режима работы цеха, продолжительности работы цеха и продолжительности рабочего дня. Цех будет работать в 3 смены продолжительностью по 8 часов. Работа будет производиться четырьмя производственными бригадами. График сменности рабочих бригад составим согласно рекомендациям [25].

Таблица 9.2 - График сменности бригад.

Смен ы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
С 8 до 16	А	А	Б	Б	В	В	Г	Г	А	А	Б	Б	В	В	Г	Г	А	А	Б	Б	В	В	Г	Г	А	А	Б	Б	В	В
С 16 до 24	Г	Г	В	В	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В	Б	Б
С 24 до 8	Б	Б	Г	Г	А	А	В	В	Б	Б	Г	Г	А	А	В	В	Б	Б	Г	Г	А	А	В	В	Б	Б	Г	Г	А	А
Выхо д-ные	В	В	А	А	Г	Г	Б	Б	В	В	А	А	Г	Г	Б	Б	В	В	А	А	Г	Г	Б	Б	В	В	А	А	Г	Г

где А,Б,В,Г — вахты.

Длительность сменоборота:  $T_{см.об.} = n_{\sigma} \cdot T_{м}$ ,

где  $n_{\sigma}$  — число вахт;

$T_{м}$  — число дней, в которые бригада ходит в смену.

$T_{см.об.} = 4 \cdot 2 = 8$  дней.

За длительность сменоборота бригада отдыхает 2 дня, за год 180 дней. Таким образом, на одного среднесуточного рабочего приходится 180 выходных дней. Составим баланс рабочего времени среднесуточного рабочего, с целью определения фонда рабочего времени.

Таблица 9.3 - Баланс рабочего времени среднесуточного рабочего

Элементы времени	Количество дней	Часы
Календарное число дней	365	2920
Нерабочие дни, выходные	96	768
Номинальный фонд рабочего времени	269	2368
Планируемые невыходы:		
а) очередные отпуска	33	264
б) по болезни	12	96
в) выполнение общественных обязанностей	1	8
г) отпуск, в связи с учебой	3	24
ИТОГО:	49	392
Эффективный фонд рабочего времени	220	1976

Эффективный фонд рабочего времени составит:

$T_{эф} = 269 - 49 = 220$  дней =  $220 \cdot 8 = 1976$  часов.

Расчет численности рабочих, служащих и ИТР.

### Расчет численности основных рабочих.

Численность производственных рабочих определяется, исходя из прогрессивных норм обслуживания при полном обеспечении рабочими всех мест. Число рабочих мест определяется, исходя из необходимых точек



наблюдения и операций обслуживания процесса, а также объема работы на управление каждым участком .

1) Определим явочное число основных рабочих в сутки:

$$R_{яв} = \frac{F \cdot C}{H_{обс}}$$

где  $H_{обс}$  – норма обслуживания(примем равной 1);

$F$  – количество установок (8);

$C$  – количество смен в сутки.

Учитывая, что работа основных производственных рабочих заключается в наблюдении за ходом процесса, а также, учитывая уровень автоматизации оборудования, цеха, примем 4 человека.

$$R_{яв} = 4 \cdot 3 = 12 \text{ рабочих.}$$

2) Определим списочное число основных рабочих:

$$R_C = R_{яв} \frac{T_{эф.обор.}}{T_{эф.раб.}},$$

где  $T_{эф.обор.}$  – проектируемое число дней работы оборудования в год;

$T_{эф.раб.}$  – проектируемое число дней работы в год одного рабочего.

$$R_C = 12 \cdot \frac{313}{220} = 17(\text{чел})$$

Приведем состав рабочего персонала ниже в таблицу 9.4.

Таблица 9.4 - Численность основных рабочих

Профессия	Тариф разряд	Число рабочих в смену	$R_{яв}$ в сутки	$R_C$ в сутки	Число рабочих дней в году	Число рабочих дней оборуд.	Число смен в сутки
Аппаратчик	7	1	2	5	136	313	3
Оператор	5	2	4	7			
Слесарь по обслуживанию оборудования	5	1	2	5			

### Численность вспомогательного персонала и ИТР.

С учетом специфики данного цеха и приборного оформления комплектуем цех вспомогательным обслуживающим персоналом в составе:

Таблица 9.5 - Численность вспомогательного персонала

№ п/п	Профессия	Тариф разряд	Оклад, руб	Количество человек
1	Аппаратчик по приготовлению	4	12000	1

	химреагентов			
2	Контролер качества продукции и техпроцесса	7	17500	1
3	Слесарь-ремонтник	6	15500	3

Расчет ИТР производится в связи с потребностью цеха в каждой группе работников.

Таблица 9.6 - Численность ИТР.

№ п/п	Наименование должности	Тариф разряд	Оклад, руб	Количество человек
1	Начальник цеха		40000	1
2	Инженер-технолог		25500	1
3	Инженер по ремонту		20500	1
Итого				3

### 5.2.2 Расчет годового фонда заработной платы

#### Расчет фонда заработной платы основных рабочих.

Расчетный фонд заработной платы (ЗП) складывается из основной и дополнительной заработной платы.

Основной фонд (ЗП):

$$Z_{\text{осн.}} = Z_{\text{тар}} + D_{\text{пр}} + D_{\text{н.вр.}} + D_{\text{праз.}} + \Phi_{\text{м}}[19],$$

где  $Z_{\text{тар}}$  – тарифный фонд;

$D_{\text{пр}}$  – оплата премий;

$D_{\text{н.вр.}}$  – доплаты за ночные смены;

$D_{\text{праз.}}$  – доплата за работу в праздники;

$\Phi_{\text{м}}$  – фонд мастера.

а) Тарифный фонд

$$Z_{\text{тар}} = Z_{\text{тар}}^4 + Z_{\text{тар}}^5 + Z_{\text{тар}}^{\text{сл}},$$

где  $Z_{\text{тар}}^4$ ,  $Z_{\text{тар}}^5$  – ЗП по тарифным ставкам рабочих различной квалификации,

$Z_{\text{тар}}^{\text{сл}}$  – ЗП по тарифной ставке слесаря по обслуживанию.

$$Z_{\text{тар}}^i = R_{\text{сп}}^i \cdot T_{\text{эф}} \cdot T_{\text{сп}}^i,$$

где  $R_{\text{с}}$  – списочное число рабочих;

$T_{\text{эф}}$  – эффективное время работы одного среднесписочного рабочего;

$T_{\text{сп}}$  – тарифная часовая ставка.

Часовая тарифная ставка составляет:

для аппаратчика 7<sup>го</sup> разряда – 118 руб./час;

для аппаратчика 5<sup>го</sup> разряда – 89 руб./час;

для слесаря по обслуживанию – 81 руб./час.

$$Z_{\text{тар}}^7 = 5 \cdot 1976 \cdot 118 = 1\,165\,840 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{тар}}^5 = 7 \cdot 1976 \cdot 89 = 1\,231\,048 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{тар}}^{\text{сл}} = 5 \cdot 1976 \cdot 81 = 800\,280 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{тар}} = 1\,165\,840 + 1\,231\,048 + 800\,280 = 3\,197\,168 \text{ руб.}$$

									Лист
									98
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

б) Доплата за работу в ночное время осуществляется отчислением 40% от тарифной ЗП:

$$D_{н.вр.} = Z_{тар.} \cdot \frac{П}{100},$$

где П – процент отчисления.

$$D_{н.вр.} = 3197168 \cdot \frac{40}{100} = 1278867.2 \text{ руб.}$$

в) Доплата премий – 80% от тарифной ЗП:

$$D_{пр} = Z_{тар.} \cdot \frac{П}{100} = 3\,197\,168 \cdot \frac{80}{100} = 2\,557\,734,4 \text{ руб.}$$

г) Доплата за работу в праздничные дни.

Принято 11 праздничных дней в году. Доплата в праздничные дни осуществляется по двойным тарифным ставкам:

$$D_{пр} = D_{пр}^5 + D_{пр}^7 + D_{пр}^{сл}$$

$$D_{пр}^i = R_{яв} \cdot N \cdot T_{ст}^i,$$

где N – число праздничных дней в году.

$$D_{пр}^5 = 4 \cdot 178 \cdot 11 \cdot 8 = 62656 \text{ руб.}$$

$$D_{пр}^7 = 2 \cdot 236 \cdot 11 \cdot 8 = 41536 \text{ руб.}$$

$$D_{пр}^{сл} = 2 \cdot 162 \cdot 11 \cdot 8 = 28512 \text{ руб.}$$

$$D_{пр} = 62656 + 41536 + 28512 = 132\,704 \text{ руб.}$$

д) Премия из фонда мастера – 3% от  $Z_{тар.}$ :

$$\Phi_M = Z_{тар.} \cdot \frac{П}{100} = 3\,197\,168 \cdot \frac{3}{100} = 95\,915,04 \text{ руб.}$$

$Z_{осн} = 3197168 + 1278867.2 + 2557734,4 + 132704 + 95915,04 = 7\,262\,377,64$  руб.

### **Расчет фонда дополнительной заработной платы.**

Определим процент дополнительной заработной платы [19]:

$$П_{д.з.} = \frac{T_{от}}{T_{эф}} \cdot 100\%,$$

где  $T_{эф}$  – эффективное количество рабочих дней в год;

$T_{от}$  – планируемое количество дней отгулов среднесуточного рабочего.

$$П_{д.з.} = \frac{49}{220} \cdot 100\% = 22\%$$

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot \frac{П_{д.з.}}{100} = 7\,262\,377,64 \cdot \frac{22}{100} = 1\,597\,723,08 \text{ руб.}$$

Годовой фонд заработной платы основных рабочих:

$$Z = Z_{осн} + Z_{доп} = 7\,262\,377,64 + 1\,597\,723,08 = 8\,860\,100,72 \text{ руб.}$$

С учетом районного коэффициента:

$$Z_{осн. раб} = 8\,860\,100,72 \cdot 1,2 = 10\,632\,120,9 \text{ руб.}$$

### **Расчет фонда заработной платы вспомогательных рабочих.**

									Лист
									99
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

а) Фонд ЗП вычисляем путем умножения числа штатных единиц на их месячный оклад и на число месяцев работы в году. Число месяцев работы в году для вспомогательного персонала принимаем равным 11 месяцев.

$$\Phi_{\text{осн}}^{\text{всп.}} = 1 \cdot 11 \cdot 12\ 000 + 1 \cdot 11 \cdot 17\ 500 + 3 \cdot 11 \cdot 15\ 500 = 836\ 000 \text{ руб.}$$

б) Дополнительная ЗП вспомогательного персонала находится по формуле:

$$Z_{\text{доп.}}^{\text{всп.}} = \frac{\Phi_{\text{осн.}}^{\text{всп.}} \cdot D_{\text{отп.}}}{B_{\text{к}}}$$

где  $\Phi_{\text{осн}}^{\text{всп.}}$  – основной фонд заработной платы;

$D_{\text{отп.}}$  – календарное количество дней отпуска: для вспомогательного персонала – 28 дней;

$B_{\text{к}}$  – календарный год – 365 дней.

$$Z_{\text{доп.}}^{\text{всп.}} = \frac{836\ 000 \cdot 28}{365} = 64\ 131,5 \text{ руб.}$$

в) Доплата премий – 80% от тарифной ЗП:

$$D_{\text{пр}}^{\text{всп.}} = \Phi_{\text{осн}}^{\text{всп.}} \cdot \frac{P}{100} = 836\ 000 \cdot \frac{80}{100} = 668\ 800 \text{ руб.}$$

г) Годовой фонд заработной платы вспомогательных рабочих:

$$\Phi_{\text{зп}}^{\text{всп.}} = \Phi_{\text{осн}}^{\text{всп.}} + Z_{\text{доп}}^{\text{всп.}} + D_{\text{пр}}^{\text{всп.}} = 836\ 000 + 64\ 131,5 + 668\ 800 = 1\ 568\ 931,5 \text{ руб.}$$

С учетом районного коэффициента:

$$\Phi_{\text{зп}} = 1\ 568\ 931,5 \cdot 1,2 = \mathbf{1\ 882\ 717,8} \text{ руб.}$$

### ***Расчет годового фонда заработной платы ИТР.***

Оклады должностных лиц ИТР устанавливаются в зависимости от категории цеха.

Начальник цеха – 40 000 руб.

Инженер-технолог – 25 500 руб.

Инженер по ремонту – 20 500 руб.

а) Фонд ЗП вычисляем путем умножения числа штатных единиц на их месячный оклад и на число месяцев работы в году. Число месяцев работы в году для ИТР принимаем равным 11 месяцев.

$$\Phi_{\text{осн}} = 1 \cdot 11 \cdot 40\ 000 + 1 \cdot 11 \cdot 25\ 500 + 1 \cdot 11 \cdot 20\ 500 = 946\ 000 \text{ руб.}$$

б) Дополнительная ЗП ИТР находится по формуле:

$$Z_{\text{доп.}} = \frac{\Phi_{\text{осн}} \cdot D_{\text{отп.}}}{B_{\text{к}}}$$

где  $\Phi_{\text{осн}}$  – основной фонд заработной платы;

$D_{\text{отп.}}$  – календарное количество дней отпуска: для ИТР – 30 дней;

$B_{\text{к}}$  – календарный год – 365 дней.

$$Z_{\text{доп.}} = \frac{946\ 000 \cdot 30}{365} = 77\ 753,42 \text{ руб.}$$

в) Доплата премий – 80% от тарифной ЗП:

										Лист
										100
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

$$D_{\text{пр}} = \Phi_{\text{осн.}} \cdot \frac{П}{100} = 946000 \cdot \frac{80}{100} = 756800 \text{ руб.}$$

г) Годовой фонд заработной платы ИТР:

$$\Phi_{\text{зп}} = \Phi_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + D_{\text{пр}} = 946000 + 77\,753,42 + 756800 = 1\,780\,553,42 \text{ руб.}$$

С учетом районного коэффициента:

$$\Phi_{\text{зп}} = 1\,780\,553,42 \cdot 1,2 = 2\,136\,664,1 \text{ руб.}$$

Общий фонд заработной платы:

$$\Phi_{\text{общ}} = Z_{\text{осн. раб}} + Z_{\text{всп. раб}} + Z_{\text{ИТР}} :$$

$$10\,632\,120,9 + 1\,882\,717,8 + 2\,136\,664,1 = 14\,651\,502,8 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды:

Отчисления от заработной платы составляют 30% от  $Z_{\text{общ}}$ :

$$\Phi_{\text{страх.}} = 14\,651\,502,8 \cdot 0,3 = 4\,395\,450,84 \text{ руб.}$$

### 5.3. Расчет капитальных затрат

#### Расчет капитальных затрат на строительство

Величина капитальных затрат на здание цеха и его сооружение определяется по укрупненным параметрам. Такими параметрами являются: стоимость  $1\text{ м}^3$  здания согласно действующим поясным ценам на строительство и стройматериалы с учетом характера здания, его размеры и назначение.

Выбираем под цех каркасное здание:

длина – 110 м,

ширина – 70 м.

высота – 10 м.

Производственная площадь –  $7700 \text{ м}^2$ ;

Полный объем здания –  $77000 \text{ м}^3$ .

Стоимость  $1 \text{ м}^3$  – 3600 руб;

Стоимость санитарно-технических работ составляет 500 руб./ $\text{м}^2$ ;

Полная стоимость здания составит:

$$C_{\text{зд}} = 77000 \cdot (3600 + 500) = 315700\,000 \text{ руб.}$$

#### Расчет стоимости основного оборудования

Наименование основных средств	Цена, руб	Количество, шт	Стоимость, руб.
1.Оборудование			
1.1. Реактор кустификатор	350 000	1	350 000
1.2.Шестиярусный промыватель	778000	1	778000
1.3. Отстойник	20000	1	20000
1.4. Насос	10000	6	60000
1.5. Сборник содового раствора	15000	1	15000

Лист

101

1.6. Сборник слабого раствора	20000	1	20000
1.7. Барабанный вакуумный фильтр	800 000	1	800 000
1.8. Шнековая мешалка	300 000	1	300 000
1.9. Приемная мешалка шлама и суспензий	150 000	2	300 000
<b>Итого</b>			<b>26 430 000</b>

### Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования

- транспортные расходы на перевозку оборудования, заготовительно-складские работы составляют 8% от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{тр}} = 26\,430\,000 \cdot 0,08 = 2\,114\,400 \text{ руб.}$$

- стоимость монтажных работ составляет 20% от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{монт.}} = 26\,430\,000 \cdot 0,2 = 5\,286\,000 \text{ руб.}$$

- стоимость специальных работ принимаем 10% от стоимости оборудования (строительство фундаментов, трубопроводов, пусконаладочных работ):

$$Z_{\text{сп. р.}} = 26\,430\,000 \cdot 0,1 = 2\,643\,000 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты на оборудование составят:

$$Z_{\text{к. об.}} = C_{\text{об}} + Z_{\text{тран.}} + Z_{\text{монт.}} + Z_{\text{сп. р.}} = 26\,430\,000 + 2\,114\,400 + 5\,286\,000 + 2\,643\,000 = 36\,473\,400 \text{ руб.}$$

Сумма капитальных затрат.

$$\sum Z_{\text{кап}} = C_{\text{зд}} + Z_{\text{к. об.}} = 315\,700\,000 + 36\,473\,400 = 352\,173\,400 \text{ руб.}$$

### Расчет затрат на производство

Расходы на охрану труда и технику безопасности составляют 12% от  $\Phi_{\text{общ.}}$ :

$$Z_{\text{о.т.}} = 14\,651\,502,8 \cdot 0,12 = 1\,758\,180,34 \text{ руб.}$$

Затраты на текущий ремонт здания составляют 2% от стоимости здания:

$$Z_{\text{т.р.}} = 315\,700\,000 \cdot 0,02 = 6\,314\,000 \text{ руб.}$$

Содержание здания (включает в себя затраты на освещение, отопление, вентиляцию) – 2% от стоимости здания:

$$Z_{\text{сод.}} = 315\,700\,000 \cdot 0,02 = 6\,314\,000 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления – 5% от стоимости здания:

$$Z_{\text{ам.}} = 315\,700\,000 \cdot 0,05 = 15\,785\,000 \text{ руб.}$$

Сумма затрат на содержание и эксплуатацию здания составляет:

$$\sum Z = 6\,314\,000 + 6\,314\,000 + 15\,785\,000 = 28\,413\,000 \text{ руб.}$$

Текущий ремонт производственного оборудования обходится в 7% от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{т.р.}} = 26\,430\,000 \cdot 0,07 = 1\,850\,100 \text{ руб.}$$

Отчисления на амортизацию оборудования – 10% от стоимости оборудования:

									Лист
									102
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

$$Z_{ам} = 26\,430\,000 \cdot 0,1 = 2\,643\,000 \text{ руб.}$$

Расходы на содержание оборудования составляют 3% от стоимости оборудования:

$$Z_{сод.} = 26\,430\,000 \cdot 0,03 = 792\,900 \text{ руб.}$$

Сумма расходов на содержание и эксплуатацию оборудования составляет:

$$\Sigma Z = 1\,850\,100 + 2\,643\,000 + 792\,900 = 5\,286\,000 \text{ руб.}$$

Таким образом, общепроизводственные расходы составят [19]:

$$Z_{общ.} = 2\,841\,3000 + 5\,286\,000 = 33\,699\,000 \text{ руб.}$$

#### 5.4. Расчет технологических затрат

##### Расчет затрат на электроэнергию

$$Z_{эн.} = T_э \cdot N_T \cdot T_{р. об.},$$

где  $T_э$  – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб. (0,974 руб.);

$N_T$  – суммарная мощность электродвигателей, кВт (85 кВт);

$T_{р. об.}$  – время работы оборудования в год, час (7504 час.).

$$Z_{эн.} = 0,974 \cdot 85 \cdot 7504 = 621\,256,16 \text{ руб.}$$

##### Расчет затрат на воду

$$Z_{вод.} = T_в \cdot T_{р. об.} \cdot B,$$

где  $T_в$  – стоимость 1 м<sup>3</sup> воды, руб. (4 руб/м<sup>3</sup>);

$B$  – часовой расход воды, м<sup>3</sup> (10 м<sup>3</sup>);

$$Z_{вод.} = 4 \cdot 7504 \cdot 10 = 300\,160 \text{ руб.}$$

##### Расчет затрат на карбонат натрия

$$Z_{ц. н.} = T_к \cdot K,$$

где  $T_к$  – стоимость 1 т карбоната натрия, руб. (13 800 руб.);

$K$  – годовой расход карбоната натрия, тонны (20521 т).

$$Z_{ц. н.} = 13\,800 \cdot 20\,521 = 283\,189\,800 \text{ руб.}$$

##### Расчет затрат на гидроксид кальция (15 200 000 000 и 1 190 000 000)

$$Z_{ц. н.} = T_к \cdot K,$$

где  $T_к$  – стоимость 1 т Ca(OH)<sub>2</sub>, руб. (10 000 руб.);

$K$  – годовой расход Ca(OH)<sub>2</sub>, тонны (50000 т);

$$Z_{ц. н.} = 10\,000 \cdot 50\,000 = 500\,000\,000 \text{ руб.}$$

##### Расчет затрат на освещение

$$Z_{осв.} = T_э \cdot N_T \cdot T_{р. об.},$$

$N_T = 115$  кВт – суммарная мощность всего электрооборудования,

$$Z_{осв.} = 0,974 \cdot 115 \cdot 7504 = 840\,523 \text{ руб.}$$

##### Калькуляция себестоимости получения 1 т гидроксида натрия

Сумма цеховой себестоимости и общезаводских расходов составляет общезаводскую себестоимость:

$$C_{об. зав.} = C_{цех.} + Z_{об. зав.},$$

где  $C_{цех.}$  – цеховая себестоимость (складывается из суммы условно-переменных и условно-постоянных затрат);

									Лист
									103
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

З<sub>об.зав.</sub>—общезаводские расходы (составляют 10 % от цеховой себестоимости).

Калькуляция себестоимости приведена в таблице 18[19].

Таблица 9.7 - Проектная калькуляция себестоимости получения 1 тонны гидроксида натрия

Статьи расходов	Ед. измер	Цена ед. прод., руб.	Расход на получение 1 т 50% NaOH		Затраты на весь объем руб.
			В нат. ед.	В руб./т	
Затраты на сырье:					
Карбонат натрия	т	13 800		3496,17	283 189 800
Гидроксид кальция	т	10 000		6172,83	500 000 000
Вода	т	4		3,7	300160
Технологические затраты:					
Электроэнергия	кВт·ч	0,974		7,6	621 256,16
H <sub>2</sub> O	м <sup>3</sup>	4,0		3,33	262 814
<b>Итого условно-переменные затраты</b>	руб.			9683.63	784 374 030
Фонд ЗП рабочих(осн. и всп.)	руб.			154.5	12 514 500
Отчисления на соц. нужды(общ)	руб.			54,26	4 395 060
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:					
—амортизация оборудования;	руб.			32,63	2 643 000
—тек.и кап. ремонт;	руб.			22,84	1 850 100
—содержание оборудования;	руб.			9,78	792 900
Цеховые расходы:					
— на освещение;	кВт·ч	0,974		9,58	840 523
—амортизация здания;	руб.			194,88	15 785 000
—тек.и кап. ремонт;	руб.			77,95	6 314 000
—ЗП ИТР, служ. и МОП;	руб.			21,98	1 780 553,42
—расходы на ОТ и ТБ	руб.			21,7	1 758 180,34



<b>Итого условно-постоянные затраты</b>	руб.			600,1	48 608 100
Цеховая себестоимость	руб.			10 283,73	832 982 130
Общезаводские расходы, 10% от цеховой себестоимости	руб.			1028,37	83 297 970
Коммерческие расходы	руб.			102,84	8 330 040
<b>Полная себестоимость</b>	руб.			11414,9 4	924 610 140
<b>Условно переменные затраты</b>	руб.			9683.63	784 374 030
<b>Условно постоянные затраты</b>	руб.			1731,31	140 236 110

### Определение цены 1 т готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = C \cdot (1 + P/100),$$

где С – полная себестоимость единицы готовой продукции;

Р – рентабельность продукции (%).

Рентабельность продукции можно принять от 10% до 25% [19].

$$Ц = 11414,94 \cdot \left(1 + \frac{15}{100}\right) = 13127,18 \text{ руб.}$$

*Если сравнивать с рыночной ценой то данный продукт в России имеет среднестатистическую цену  $C_{\text{рын}} \approx 20000$  руб/т [20], это позволяет сделать вывод что продукт конкурентно-способный.*

### 5.5. Экономическая оценка эффективности проекта

Выручка составит [26]:

$$Pr_{\text{об}} = Ц \cdot V_{\text{пр}} = 13\,127,18 \cdot 81000 = 1\,063\,301\,661 \text{ руб.}$$

Следовательно, балансовая прибыль составит:

$$Pr_{\text{бал}} = Pr_{\text{об}} - C = 1\,063\,301\,661 - 924\,610\,140 = 138\,691\,521 \text{ руб.}$$

Определим чистую прибыль производства:

$$Pr_{\text{чист}} = Pr_{\text{бал}} - 0,20 \times Pr_{\text{бал}} [26],$$

$$Pr_{\text{чист}} = 138\,691\,521 - 0,20 \times 138\,691\,521 = 110\,953\,217 \text{ руб.}$$

По формуле находим точку безубыточности и сравниваем с графиком.

$$Q = Z_{\text{пост}} / (Ц - Z_{\text{пер}}) = 140\,236\,110 / (13\,127,18 - 9683.63) = 40\,724,28 \text{ тонн.}$$

Из графика (рис. 9.1) видно, что безубыточность данного производства составляет 40 724,28 т/год.

									Лист
									105
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

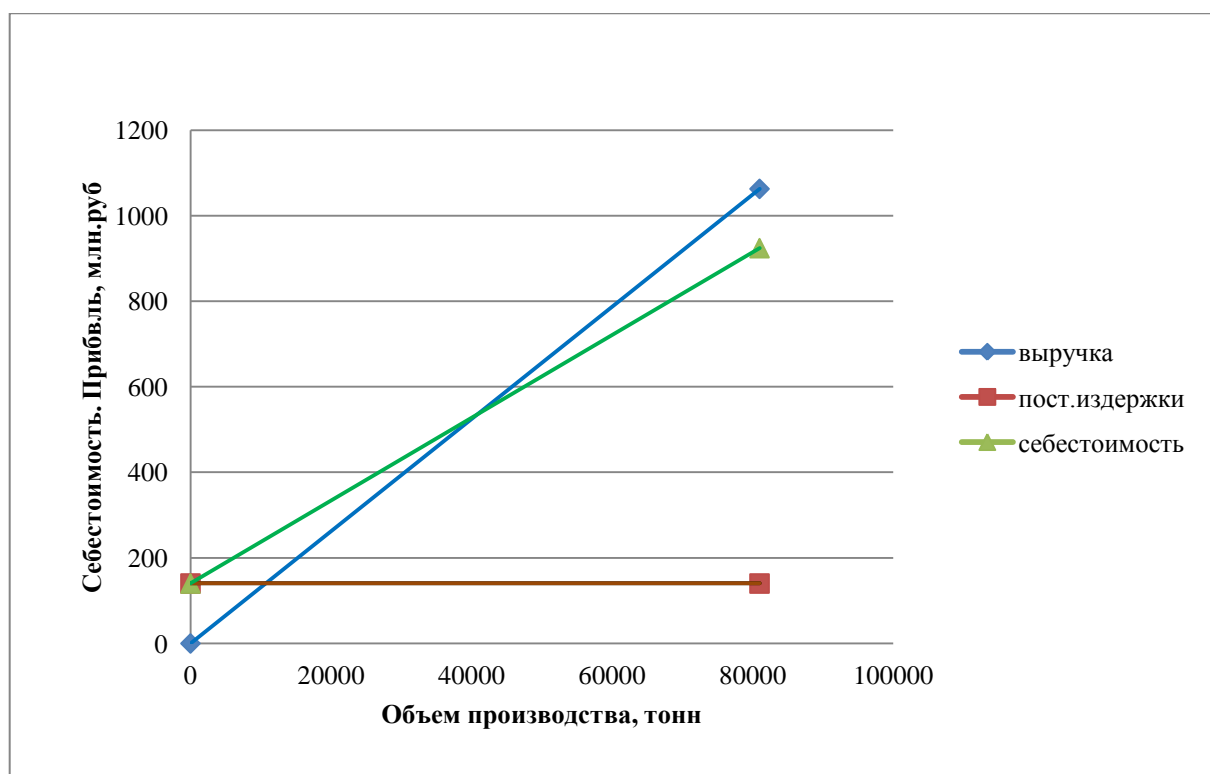


Рис. 17 График безубыточности

Таблица 21 - Техничко - экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Отчетный год
1. Объем производства	тыс. т	81
2. Объем продаж	тыс. т	81
3. Цена 1 тонны	руб.	13 127,18
4. Выручка от продажи (2*3)	тыс. руб.	1 063 301,661
5. Суммарные издержки	тыс. руб.	924 610,140
5.1.Издержки переменные	тыс. руб.	784 374,030
5.2.Издержки постоянные	тыс. руб.	140 236,110
6. Операционная прибыль (4-5)	тыс. руб.	138 691,521
7. Налог на прибыль (6*20%)	тыс. руб.	27 738,307
8. Чистая прибыль (6-7)	тыс. руб.	110 953,217
9. Себестоимость 1 тонны	руб.	11414,94
10. Стоимость основных средств	тыс. руб.	26 430
11. Численность основных рабочих	чел.	17
12. Фондовооруженность (10/11)	тыс. руб./чел.	1554,7
13. Фондоотдача (4/10)	руб./руб.	40,2
14. Фондоемкость (10/4)	руб./руб.	0,02



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам расчетов можно утверждать, что спроектированный аппарат прослужит указанный срок при условии соблюдения рабочих параметров указанных в техническом задании:

Рабочее давление в аппарате 0,3 МПа

Давление в рубашке 0,6 МПа

Температура 80°C

Число оборотов мешалки 250 об/мин

Обрабатываемая среда – NaOH 50%

Все элементы аппарата, расчет которых приведен в дипломном проекте, удовлетворяют условиям прочности, жесткости, и устойчивости.

Исполнительные толщины стенок элементов аппарата, учитывающие внутренние и внешние воздействия на аппарат, приведены в таблице 5.

Таблица. 5 - Исполнительные толщины стенок

Аппарат			Рубашка		Патрубок под люк
Крышка	Обечайка	Днище	Обечайка	Днище	
6	12	12	6	6	6

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 52857.1-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.
2. Михалев М.Ф. и др. Аппарат с вертикальным перемешивающим устройством. Методические указания. – Л.:ЛТИ им. Ленсовета 1986.- 60 с.
3. Лащинский А.А. Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры.
4. ГОСТ Р 52857.2-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.
5. Михалев М.Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. – Л.: Машиностроение 1984. – 300 с.
6. ОСТ 26-01-1226-75 Полумуфты фланцевые.
7. ОСТ 26-02-1243-75 Уплотнения валов торцевые для аппаратов с перемешивающими устройствами. Типы, параметры, конструкции и основные размеры. Технические требования.
8. ОСТ 26-01-153-82 Опоры (лапы, стойки) аппаратов. Конструкция и размеры.
9. ГОСТ Р 52857.4-2007 Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.
10. Укрепление отверстий.
11. ГОСТ 13716-73 Устройства строповые для сосудов и аппаратов.

										Лист
										109
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

12. ОСТ 26-01-1245-75 Мешалки. Типы, параметры, конструкции и основные размеры.
13. ГОСТ 23360-78 Соединения шпоночное с призматическими шпонками.
14. Романов А.Б. и др.: Выбор посадок и требования точности. Учебное пособие.- СПб: СПбГТИ(ТУ), 2005. – 93 с.
14. Беляев В.М, Миронов В.М. Расчет и конструирование основного оборудования отрасли.
- 15 .Павлов К.Ф, Романков П.Г, Носков А.А Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии.
16. Электронный ресурс: Технические таблицы. [www.tehtab.ru](http://www.tehtab.ru)
17. СанПин 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
18. СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение».
19. Экономика и управление производством, расчет экономического эффекта дипломного проекта. Методические указания к выполнению экономической части дипломного проекта для студентов ИПР заочной форм обучения. Рыжакина Т.Г. 2011 г.
20. Электронный ресурс: Рыночная себестоимость «FLAGMA». <http://flagma.ru/>

										Лист
										110
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						



