

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

---

Институт Электронного обучения  
Специальность Машины и аппараты химических производств  
Кафедра Общей химии и химической технологии

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ**

Тема проекта
<b>Разработка основного оборудования установки подготовки воды для подпитки теплосети г. Северска</b>

УДК 628.31:66.067.3.022.63

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5001	Гришкин Никита Владимирович		

Руководитель

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

По разделу «Механо-технологический раздел»

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

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

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

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

Институт электронного обучения  
 Направление подготовки (специальность) Машины и аппараты химических  
 производств  
 Кафедра Общей Химии и Химической Технологии

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой  
 \_\_\_\_\_ Тихонов В.В  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
 на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5001	Гришкин Никита Владимирович

Тема работы:

<b>Разработка основного оборудования установки подготовки воды для подпитки теплосети г.Северска.</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№3107/С

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

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Режим работы непрерывный. Сырьем сернокислотного производства является отходящие серосодержащие металлургические газы с содержанием SO<sub>2</sub>=7% SO<sub>3</sub>=0.3% O<sub>2</sub>=15% CO<sub>2</sub>=6.7% N<sub>2</sub>=68.9%. Товарная продукция - сера техническая по ГОСТ 2184-77 "Кислота серная техническая". Массовая доля моногидрата H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>=92.5=94%. Электроснабжение потребителей сернокислотного производства осуществляется по 2-й категории от двухсекционного распределительного устройства 6кВ(РУ-6кВ).                  Материалы преддипломной практики:</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Введение: значения технологии сернокислотного производство в основе для промышленности и населения, объем рынка.</li> <li>2) Краткие физико-химические основы технологии сернокислотного производство технологическая схема сушильной и контактно компрессорной отделении.</li> <li>3) физико-химические основы технологии приготовления серной кислоты, классификация их добавок их состав, назначения .</li> <li>4) Технологическая схема производство серной кислоты.</li> <li>5) Технологический режим работы аппаратов для оптимального режима работы и рецептуры композиций.</li> <li>6) вопросы по социальной ответственности и безопасной эксплуатации аппаратов.</li> <li>7) Раздел посвященному финансовому менеджменту</li> <li>8) Заключение (выводы).</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Технологическая схема производство серной кислоты.</li> <li>2) Сборочные чертежи сушильной башни и теплообменника</li> <li>3) выносные элементы сушильной башни и теплообменника</li> <li>4) монтажная схема аппарата</li> </ol>

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<b>Социальная ответственность</b>	<b>Антоневич Ольга Алексеевна</b>
<b>Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>	<b>Рыжакина Татьяна Гавриловна</b>
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Реферат	

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

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Тихонов Н.В.	Канд. техн. наук		

<b>Задание принял к исполнению студент:Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5001	Гришкин Никита Владимирович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3 - 5001	Гришкин Н.В

<b>Институт</b>	<b>Электронного обучения</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ОХХТ</b>
<b>Уровень образования</b>	Инженер	<b>Направление/специальность</b>	МАХП

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

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Разработка основного оборудования установки подготовки воды для подпитки теплосети г.Сверска
--	--

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

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 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;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 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> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Вредные производственные факторы при выполнении работ на установке получения полиэтилена:</li> <li>- повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;</li> <li>- повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте;</li> <li>- токсические и раздражающие;</li> <li>- Опасные производственные факторы при выполнении работ на установке получения полиэтилена:</li> <li>- опасность поражения электрическим током;</li> <li>- движущиеся части оборудования;</li> <li>- опасность взрыва и пожара.</li> </ul>
---	--

<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>Отработанное смазочное масло вывозится за пределы предприятия и подвергается регенерации на специальных регенерирующих установках. Смазочное масло, которое не подлежит регенерации, утилизируется. В результате утилизации отработанное масло преобразуется в гидрофобный порошок, обладающий высокими силикатными свойствами, который можно использовать в строительстве при изготовлении гидрозащитных оснований, площадок, при строительстве хранилищ, отстойников, обсыпок дорог и др. <u>защита гидросферы:</u> В цехе предусмотрена ливневая и хоз- бытовая канализация. В нее поступают сточные воды от мытья полов в помещениях. Основным загрязнителем сточных вод являются следы масел, по содержанию не превышающие ПДК. Все сточные воды подвергаются механической и химической очистке на очистных сооружениях предприятия</p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> </ul>	<p>Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров.</p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p>-Система «человек-машина». Зал и кабины операторов. Взаимное расположение рабочих мест. Общие эргономические требования -Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3 - 5001	Гишкин Н.В		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-5001	Гришкин Никита Владимирович

<b>Институт</b>	<b>Электронного обучения</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ОХТ</b>
<b>Уровень образования</b>	Инженер	<b>Направление/специальность</b>	МАХП

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
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	
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
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 проекта очистки воды
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>	
1. SWOT анализ	
2. Расчет себестоимости продукции	
3. Расчет точки безубыточности	
4. Расчет технико-экономических показателей	

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	Кандидат экономических наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-5001	Гришкин Никита Владимирович		

## Реферат

Данная дипломная работа состоит из графической части и пояснительной записки.

Графическая часть содержит 10 листов формата А1.

Пояснительная записка содержит 148с., 26 табл., 18 рис.

Ключевые слова: катионный, фильтр, осветлитель, механический, монтаж.

Объектом исследования является оборудование установки подготовки воды.

Произведено описание технологической схемы установки. Выполнен технологический, конструктивный и механический расчет оборудования.

В связи с применением на производстве пожароопасных и токсичных веществ, в проекте рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности.

Выполнен расчет монтажа катионного фильтра.

Экономическая часть выражена в калькуляции себестоимости 1 тонны готовой продукции.

Определены основные технико-экономические показатели.

## Abstract

This thesis consists of the graphic part and the explanatory notes. The graphical part contains 10 sheets of A1 format. The explanatory note contains 155c., 30 tabl., 15 Fig. Key words: cationic, filter, clarifier, mechanical, installation. The object of study is the equipment of water treatment. The description of the technological scheme of the installation. Performed technological, structural and mechanical calculation of equipment.

In connection with the use in the production of flammable and toxic substances, the project considers the issues of health and safety. The calculation of the installation of the cationic filter. The economic part is expressed in costing 1ton of finished products. Identifies the main technical and economic indicators.

## Содержание

Введение	13
1 Обзор литературы	14
1.1 Предварительная очистка воды	14
1.2 Осветление	15
1.3 Обесцвечивание воды	16
1.4 Обезжелезивание воды	16
1.5 Фторирование питьевой воды	16
1.6 Обеззараживание воды	17
1.7 Отстаивание воды	17
1.8 Коагуляция	18
1.9 Осветление воды фильтрованием	21
1.10 Обработка воды методом ионного обмена	21
1.11 Ионообменные материалы	22
1.12 Катионирование	23
1.13 Электрохимические методы очистки сточных вод	24
1.14 Обессоливание и опреснение воды	24
1.15 Обескремнивание воды	25
1.16 Радиационная обработка воды	
2 Аппаратурно-технологическая схема	
2.1 Аппаратурно-технологическая схема фильтрации и дозирования реагентов	26
2.1.1. Характеристика основного и вспомогательного оборудования подпитки теплосети	26
2.2 Описание схемы подпитки теплосети	29
2.3 Физико-химические основы процесса коагуляции	30
2.4 Механические (осветлительные) фильтры	35

2.5 Установка натрий-катионирования	38
3 Расчет осветлителя	
3.1 Технологический расчет	43
3.2. Механический расчет	
3.2.1 Расчет толщины стенок всех конструктивных элементов осветлителя	46
3.2.2 Расчет фланцевого соединения	49
3.2.3 Расчет укрепления отверстий	59
4 Расчет механического фильтра	
4.1 Технологический расчет	64
4.2 Конструктивный расчет	68
4.3 Гидравлический расчет	70
4.4 Прочностной расчет	71
4.4.1 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки	71
4.4.2 Расчет толщины стенки эллиптического днища	74
4.4.3 Расчет укрепления отверстий	76
4.4.4 Расчет опор	79
5 Расчет катионитового фильтра	86
5.1 Механический расчет	86
5.1.1 Выбор конструкционных материалов элементов фильтра	87
5.1.2 Определение толщин стенок всех конструктивных элементов фильтра	87
5.1.3 Расчет прибавок к расчетным толщинам конструктивных элементов	93
5.1.4 Подбор лап	94
6 Монтаж катионитового фильтра	

6.1 Расчет полиспаста	98
6.2 Расчет стропов	100
6.3 Расчет траверсы	101
6.4 Расчет монтажных штуцеров	103
6.5 Выбор крана	104
7 Контрольно-измерительные приборы и средства автоматизации	105
8 Социальная ответственность	107
8.1 Производственная безопасность	107
8.2 Экологическая безопасность	113
8.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	117
8.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	122
9 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
9.1 Предпроектный анализ	125
9.2 SWOT-анализ	125
9.3 Экономический расчет	126
9.3.1 Расчет эффективного фонда времени	126
9.3.2 Организация труда и заработной платы	128
9.3.2.1 Определение баланса времени одного рабочего	128
9.3.2.2 Расчет годового фонда заработной платы	132
9.3.3 Расчет капитальных затрат	136
9.3.4 Расчет технологических затрат	138
9.3.5 Экономическая оценка эффективности проекта	142
9.3.8 Определение технико-экономических показателей	146
Литература	148
Спецификация	

## **Введение**

Основными задачами ТЭЦ являются производство, преобразование, распределение и отпуск электрической энергии и тепла потребителям.

Вода на ТЭЦ используется в качестве: исходного сырья для выработки пара в котлах, испарителях и паропреобразователях, охлаждающего вещества в конденсаторах турбин, охладителях продувочной воды, в подшипниках дымососов и т.д.; рабочего теплоносителя в теплофикационных отопительных сетях и сетях горячего водоснабжения.

Значение качества воды в обеспечении безаварийной и экономичной эксплуатации паросиловых установок исключительно велико. При недостаточном внимании к вопросам водоподготовки и организации рационального водного режима паровых котлов присутствующие в воде различные примеси способны вызвать:

1) Накипеобразование и шламообразование в тракте питательной воды, водяных экономайзерах, экранных и кипяtilьных трубах котлов, конденсаторах паровых турбин, испарителях, паропреобразователях, также в отопительных сетях и сетях горячего водоснабжения;

2) Коррозию металла в котельных и турбинных агрегатах, тракте питательной воды и водоподготовительной аппаратуре.

Перечисленные выше отрицательные последствия неудовлетворительного водного режима не позволяют использовать неочищенную воду для питания котлов, подпитки теплосетей, а иногда и для охлаждения конденсаторов турбин.

Чтобы удалить вредные примеси, исходную воду на ТЭЦ подвергают предварительной термической обработке (в подогревателях сырой воды) и химической обработке на водоподготовительных установках подпитки котлов и теплосети.

Водоподготовительная установка подпитки теплосети необходима для подготовки сетевой и подпиточной воды требуемого качества и необходимого количества.

## **1 Обзор литературы**

Обработка воды с целью подготовки ее для питья, хозяйственных и производственных целей представляет собой комплекс физических, химических и биологических методов изменения ее первоначального состава. Под обработкой воды понимают не только очистку ее от ряда нежелательных и вредных примесей, но и улучшение природных свойств путем обогащения ее недостающими ингредиентами. Все многообразие методов обработки воды можно подразделить на следующие основные группы: улучшение органолептических свойств воды (осветление и обесцвечивание, дезодорация и др.); обеспечение эпидемиологической безопасности (хлорирование, озонирование, ультрафиолетовая радиация и др.); концентрирование минерального состава (фторирование и обесфторирование, обезжелезивание и деманганация, умягчение или обессоливание и др.). Метод обработки воды выбирают на основе предварительного изучения состава и свойств воды источника, намеченного к использованию, и их сопоставления с требованиями потребителя.

Способы и степень очистки воды, состав и конструкции очистных сооружений в каждом конкретном случае зависит от тех требований, которые предъявляются к качеству воды, и от качества исходной воды. Основные способы улучшения качества воды для хозяйственно-питьевых целей – осветление, обесцвечивание, обезжелезивание и фторирование.

### **1.1 Предварительная очистка воды**

Обычно грубодисперсные и коллоидные примеси удаляются из воды на первых этапах ее обработки. Проведение предварительного осветления обусловлено требованиями улучшения технико-экономических показателей последующих ступеней очистки природных вод от других видов загрязнений. От совершенства технологии предварительной очистки воды в значительной степени зависит надежность работы водоподготовительной установки. Из

опыта эксплуатации установок ионитного обессоливания воды известно, что присутствие в исходной воде органических веществ приводит к «старению» анионитов, т. е. к необратимому изменению их технологических свойств.

Снижение срока службы ионитов вызывает не только повышение стоимости обессоленной воды, но и необходимость увеличения производства ионообменных материалов. Решение этой проблемы – это совершенствование технологий первых стадий очистки воды. В настоящее время предварительную очистку на ВПУ осуществляют при совмещении следующих процессов: коагуляции и осветления; коагуляции, известкования и осветления; коагуляции, известкования, магниезиального обескремнивания и осветления воды.

## **1.2 Осветление**

Осветление воды – удаление из нее взвешенных примесей – может быть достигнуто отстаиванием воды в отстойниках, центрифугированием в гидроциклонах, пропуском ее через слой ранее образованного взвешенного осадка в так называемых осветлителях, фильтрованием через слой фильтрующего порошка на намывных фильтрах или через слой зернистого фильтрующего материала в скорых фильтрах, фильтрованием через сетки на микрофильтрах, барабанных ситах, акустических фильтрах и т.д. Для ускорения процесса осаждения взвеси применяют ее коагулирование, для чего в воду добавляют химические вещества – коагулянты. В результате образуются плотные крупные агрегаты, на поверхности которых адсорбируются примеси, хлопья, быстро осаждающиеся и увлекающие за собой частицы взвеси. Вводимый в обрабатываемую воду коагулянт должен быть хорошо и быстро перемешан с ней в смесителях. При применении отстойников вода из смесителей поступает в камеру хлопьеобразования, где обеспечиваются оптимальные условия для формирования хлопьев. Затем вода передается в отстойник, где хлопья осаждаются вместе с адсорбированными на их поверхности примесями воды.

Процесс коагулирования примесей воды может протекать в контактной среде в осветлителях со слоем взвешенных хлопьев или контактных осветлителях со статическим зернистым слоем. Осветление воды в первом случае обычно заканчивается ее фильтрованием в скорых фильтрах, а во втором в результате контактного коагулирования примесей воды при ее фильтровании достигается сразу требуемая степень осветления.

Грубодисперсные взвеси могут быть успешно удалены из воды центрифугированием в гидроциклонах с последующим доосветлением на скорых фильтрах в одну или две ступени. Осветление воды достигается при ее фильтровании через сетки на микрофильтрах или через ткани на тканевых фильтрах. Осветление воды наряду с ее обесцвечиванием достигается при флотации примесей воды во флотаторах.

### **1.3 Обесцвечивание воды**

Обесцвечивание воды, т. е. удаление из нее окрашенных коллоидов или истинно растворенных примесей, обуславливающих цветность воды, может быть достигнуто при коагулировании или флотации, применении окислителей или сорбентов. Наиболее широко для этой цели используют хлорирование, фильтрование через гранулированный активный уголь и озонирование воды. Эффективное обесцвечивание воды достигается при напорной флотации, которой обязательно предшествует коагулирование примесей воды.

### **1.4 Обезжелезивание воды**

Обезжелезивание воды – снижение содержания солей железа до регламентированного ГОСТом – наиболее часто используют при централизованном водоснабжении из подземных источников. В зависимости от форм соединений железа, присутствующих в воде, применяют безреагентные или реагентные методы удаления железа.

### **1.5 Фторирование питьевой воды**

Фторирование питьевой воды осуществляется для предотвращения кариеса зубов путем внесения в нее соединений фтора. Раствор

фторсодержащего реагента вводят в обрабатываемую воду до или после скорых фильтров.

## **1.6 Обеззараживание воды**

Обеззараживание воды производят для уничтожения содержащихся в ней патогенных бактерий и вирусов. Частично это обеспечивается при коагулировании примесей воды, но наибольший эффект достигается при введении в воду после фильтрования окислителей: хлора и его производных, озона, перманганата калия.

Для доведения качества воды до питьевой кондиции помимо рассмотренных процессов иногда применяют дезодорацию (удаление нежелательных привкусов и запахов), используя аэрацию, окислители и сорбенты, производят умягчение (удаление солей жесткости), вводят в воду щелочные реагенты, осуществляют высаживание а осадок солей жесткости, производят опреснение (снижение общей минерализации воды) дистилляцией, ионным обменом, гиперфильтрацией или электродиализом и др.

При подготовке воды для технологических целей наиболее часто производят осветление воды, ее глубокое умягчение, а порой полное обессоливание, снижение окисляемости, обескремнивание, деманганацию, дегазацию, обесфторирование и др. Наряду с этим вода, используемая для охлаждения, обычно не очищается, но подвергается стабилизационной обработке во избежании коррозии металла труб и теплообменных аппаратов или их зарастания карбонатом кальция. В ряде случаев охлаждающая вода хлорируется для предотвращения биообрастаний системы.

## **1.7 Отстаивание воды**

Если вода находится в покое или движется с очень небольшой скоростью, то содержащиеся в ней взвешенные вещества, удельный вес которых больше,

чем удельный вес воды, под действием силы тяжести осаживаются. На этом основано осветление воды путем отстаивания.

Отстаивание производится в резервуарах, называемых отстойниками, через которые непрерывно протекает вода с небольшой скоростью. Выделяющиеся из воды взвешенные вещества осаждаются на дно отстойника, образуя осадок. Скорость осаждения взвешенных частиц зависит от их формы, размеров, удельного веса, шероховатости частиц и от температуры воды.

Вначале отстаивание происходит с наибольшей интенсивностью. С течением времени по мере выпадения наиболее тяжелых частиц процесс отстаивания замедляется. Для полного осветления воды потребовалось бы очень большое время, поэтому на практике ограничиваются определенной продолжительностью отстаивания и, исходя из нее, определяют размеры отстойников.

## **1.8 Коагуляция**

Среди различных методов обработки воды широко используются осадительные методы. Большое распространение получил метод коагуляции воды.

Коагуляция воды – это процесс укрупнения коллоидных и взвешенных частиц дисперсной системы, происходящий в результате взаимодействия этих частиц и объединения или агрегаты. Заканчивается этот процесс отделением агрегатов слипшихся частиц от исходной фазы.

Процесс коагуляции происходит в результате разрушения агрегативной устойчивости коллоидной системы. Агрегативная устойчивость коллоидных систем обусловлена тем, что в данном коллоидном растворе все коллоидные частицы имеют электрический заряд одинаковый по знаку, поэтому взаимного соединения частиц не происходит. Возникновение электрического заряда коллоидных частиц обуславливается либо адсорбцией ими из раствора ионов одного какого-либо знака заряда, либо отдачей ими в раствор ионов также одного знака.

С поверхности коллоидной частицы, в результате гидратации и диссоциации, в раствор переходят ионы водорода, из-за этого твердая фаза приобретает отрицательный заряд. В коллоидной частице имеются как потенциобразующие ионы, так и противоионы, т. е. адсорбционный слой. Перешедшие в раствор ионы образуют вокруг коллоидной частицы диффузионный слой или ионную атмосферу. Адсорбционный и диффузионный слои составляют двойной электрический слой.

Для того чтобы произошла коагуляция, т. е. взаимное притяжение и слипание движущихся частиц, последние должны преодолеть максимальную результирующую силу отталкивания – «силовой барьер», БД. Чем выше «силовой барьер», тем труднее его преодолеть и вызвать коагуляцию. Чем выше величина электрических зарядов, тем меньше сила взаимного отталкивания, и, следовательно, ниже «силовой барьер».

Потенциал характеризует агрегативную устойчивость коллоидной системы. Чтобы ее нарушить, нужно понизить потенциал, что может быть достигнуто добавлением к коллоидной системе электролитов.

Опытным путем установлено, что когда потенциал снижается до 0,03 В, начинается процесс коагуляции, скорость которого возрастает пропорционально снижению потенциала и достигает своего максимума при значении потенциала равном нулю.

В водоподготовке коагуляция коллоидно-дисперстных примесей под действием электролитов мало удобна, т. к. она приводит к повышению общего содержания воды, что нежелательно. В основном в атомной энергетике при очистке воды применяют процесс коагуляции, основанный на принципе взаимной коагуляции коллоидов. К коллоидному раствору, частицы которого имеют, например, отрицательный заряд, добавляют другой коллоидный раствор с положительно заряженными частицами. При этом противоположные заряды коллоидных частиц нейтрализуются с последующей агломерацией отрицательных частиц и образованием твердой макрофазы. Т. к. коллоидно-дисперстные примеси природных вод имеют

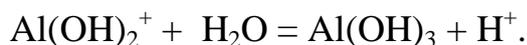
отрицательный знак потенциала, для их коагуляции применяют коллоидные растворы, имеющие положительный потенциал. Положительно заряженные коллоидные растворы образуют различные трудно растворимые в воде основные соли и гидроксиды металлов,  $\text{Al}(\text{OH})\text{SO}_4$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , ОХА (оксихлорид алюминия) и т.д. Наибольшее распространение на ВПУ получили сульфаты  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  и  $\text{FeSO}_4$ .

При добавлении к воде сульфатов аммония и железа, как сильных электролитов они полностью диссоциируют



Ионы  $\text{Al}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{2+}$ , как катионы слабых оснований, подвергаются гидролизу.

Гидролиз протекает по ступеням



При  $\text{pH} > 7,5$  ед. образуется только  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , при более низких  $\text{pH}$  образуются также положительные гидрокомплексы  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$  и  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ . При  $\text{pH} < 7,5$  ед. будет образовываться коллоидный раствор основных сульфатов алюминия:  $\text{Al}(\text{OH})\text{SO}_4$  и  $\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{SO}_4$ .

В практике водоподготовки очень важно, чтобы гидролитическое равновесие успело установиться за время, отведенное на него технологическим режимом, причем в растворе не должно оставаться катионов алюминия, не перешедших в твердую фазу, т. е. присутствие гидрокомплексов алюминия неблагоприятно отражается на последующих стадиях очистки воды ионитами. В процессе гидролиза сульфата алюминия происходит образование катионов водорода, что способствует подкислению обрабатываемой воды. В этом случае требуется искусственное регулирование значения  $\text{pH}$ , например, подщелачивание воды гидроксидом натрия.

Процесс образования коагулянта получил название хлопьеобразование. Оптимальными условиями образования крупных хлопьевидных частиц при

использовании в качестве коагулянта солей алюминия являются значения  $pH = 5,5 \div 7,5$  и энергичное перемешивание.

В практике очистки воды оптимальную дозу коагулянта определяют с помощью метода пробного коагулирования для определения оптимальных доз коагулянта и оптимальных значений  $pH$  и приводят систематически в различные времена года.

### **1.9 Осветление воды фильтрованием**

Для более глубокого удаления из воды грубодисперсных частиц, хлопьев коагулянта и скоагулированных коллоидных частиц применяется фильтрование, т.е. пропуск воды через слой зернистого или пористого материала, загруженного в осветлительные (механические) фильтры. Это вторая стадия осветления воды. При фильтровании воды твердые частицы задерживаются на поверхности или в толще фильтрующего материала. В результате фильтрования происходит осветление воды. При отсутствии предварительной коагуляции, вода, содержащая грубодисперсную смесь, образует фильтрующую пленку на поверхности фильтрующего материала. Если же применяется предварительная коагуляция в осветлителе, где задерживается основная масса взвеси и на фильтры поступает вода, содержащая мельчайшие взвешенные частицы, фильтрование идет не на поверхности, а в толще фильтрующего слоя.

Процесс фильтрования имеет физико-химическую природу. Эффект осветления воды при фильтровании объясняется прилипанием взвешенных частиц к зернам фильтрующего слоя и ранее прилипшим частицам под действием молекулярных сил притяжения.

### **1.10 Обработка воды методом ионного обмена**

Метод ионного обмена заключается в том, что обрабатываемая вода пропускается через фильтры, загруженные ионитами, которые изменяют ионный состав воды. Проходя через слой ионита, вода обменивает часть своих ионов на эквивалентное количество ионов ионита, в результате чего изменяется ионный состав, как фильтруемой воды, так и самого ионита. Если

происходит обмен катионов, то такой процесс называется катионированием, если же обмен анионов, то анионированием. Эти процессы получили широкое распространение для умягчения, обессоливания и обескремнивания воды. Обработка воды методом осаждения принципиально отличается от метода ионного обмена тем, что в процессе ионного обмена удаляемые примеси не образуют осадка, и такая обработка не требует непрерывного дозирования реагентов.

### **1.11 Ионообменные материалы**

Промышленные ионообменные материалы, которые в настоящее время применяют при очистке воды, являются синтетическими продуктами. Широкое распространение получили органические иониты на основе углей и минеральные иониты.

В смолах с функциональными группами, обладающими кислотными свойствами, при диссоциации групп, образуются подвижные катионы. При этом в матрице появляются отрицательные заряды. Они сосредотачиваются у активных групп, подвергающихся диссоциации. Закрепленные в матрице группы, несущие заряд, называют фиксированными ионами. Если катионы (противоионы) подвижны, то фиксированные группы – анионы, и наоборот. Наиболее часто применяют катионы, имеющие в качестве фиксированных ионов, сульфо- и карбоксильные группы.

Иониты могут содержать одновременно функциональные группы разной природы.

Многофункциональные катиониты, содержащие сульфогруппы, являются сильнокислыми. Они полностью диссоциированы и поэтому осуществляют обмен в широкой области рН. Многофункциональные катиониты, содержащие карбоксильные группы, являются слабокислотными.

Если катиониты в качестве противоионов содержат металлы, то говорят о солевых формах катионитов. Карбоксильные катиониты в солевых формах обладают свойствами солей слабых кислот, например, они гидролизуются. Носители основных свойств органических ионообменных материалов –

первичные, вторичные и третичные аминогруппы, а также фосфониевые и сульфониевые группы. Наиболее распространены азотосодержащие аниониты.

Когда аниониты в качестве противоионов содержат гидроксид ионы, т.е. находятся в ОН-форме, они являются основаниями. Если аниониты в качестве противоионов содержат анионы тех или иных кислот, то это солевая форма анионитов. Являясь солями слабых оснований, солевые формы слабоосновных анионитов, могут гидролизироваться с появлением в растворе свободных кислот и переходом анионита в ОН-форму.

Срок службы синтетических анионитов меньше срока службы катионитов, что объясняется низкой стабильностью групп, которые в анионитах исполняют роль фиксированных ионов.

Ионообменные свойства некоторых сортов природных углей обусловлены присутствием в них карбоксильных групп. При обработке таких углей дымящей серной кислотой в результате протекания реакций поликонденсации уголь превращается в гель. По сравнению с синтетическими катионитами, полученными на основе смол, сульфированные угли имеют менее определенный и однородный состав, худшую механическую прочность и меньшую химическую стойкость.

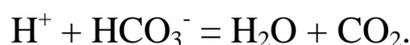
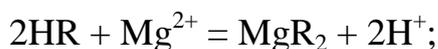
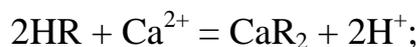
Важными технологическими показателями ионитов при их использовании в водоподготовке являются: гранулометрический состав, механическая прочность, осмотическая стабильность, химическая стойкость и емкость поглощения. Выпускаемые промышленностью крупнозернистые иониты имеют размер частиц 0,3...2 мм, порошкообразные 0,04...0,07 мм.

### **1.12 Катионирование**

В настоящее время катионирование воды осуществляют с применением Na, H и NH<sub>4</sub>-форм катионитов. Процессы катионирования всегда проводят в динамических условиях, т. е. в условиях фильтрования воды через слой катионита. Катионированная вода через слой катионита движется в направлении сверху вниз, при этом слой катионита неподвижен. В

установках непрерывного катионирования слой катионита в рабочем аппарате перемещается принудительно навстречу потоку фильтруемой воды.

Обмен катионов в природной воде на ионы водорода, содержащиеся в катионите, протекает в соответствии со следующими уравнениями реакции



Последняя реакция протекает за счет того, что при поглощении  $Ca^{2+}$ -ионов и  $Mg^{2+}$ -ионов появляются  $HCO_3^-$ -ионы (в исходной воде  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ -катионы находятся в виде  $Ca(HCO_3)_2$  и  $Mg(HCO_3)_2$ , которые и взаимодействуют с выделившимися ионами водорода.

### **1.13 Электрохимические методы очистки сточных вод**

Для очистки сточных вод от различных растворимых и диспергированных примесей применяют процессы анодного окисления и катодного восстановления, электрокоагуляции, электрофлокуляции и электродиализа. Все эти процессы протекают на электродах при пропускании через сточную воду постоянного электрического тока. Электрохимические методы позволяют извлекать из сточных вод ценные продукты при относительно простой автоматизированной технологической схеме очистки, без использования химических реагентов. Основным недостатком этих методов является большой расход электроэнергии.

Очистку сточных вод электрохимическими методами можно проводить периодически или непрерывно.

Эффективность электрохимических методов оценивается рядом факторов: плотностью тока, напряжением, коэффициентом полезного использования напряжения, выходом по току, выходом по энергии.

### **1.14 Обессоливание и опреснение воды**

Обессоливанием воды называется удаление из нее растворенных солей. Полное обессоливание применяют при обработке питательной воды для

котлов высокого давления и прямоточных, а также для некоторых видов производства.

Если при обессоливании требуется не полное удаление из воды растворенных солей, а лишь уменьшение их до такого предела, при котором соленость воды не ощущается на вкус (вода становится пресной), то этот вид обработки воды называется обычно опреснением.

Наиболее высокой степенью обессоливания, является метод – гиперфильтрации (обратным осмосом). Метод заключается в разделении истинных растворов путем их фильтрования под давлением 5-10 МПа через полупроницаемые мембраны, которые пропускают воду, но задерживают гидратированные ионы солей и молекулы органических соединений

### **1.15 Обескремнивание воды**

Воду, содержащую кремневую кислоту, нельзя использовать для питания котлов высокого давления, в химико-фармацевтической промышленности и на других химических производствах. Кремниевая кислота образует накипи с катионами кальция, магния, натрия, железа, аммония.

Обескремнивание воды достигается: осаждением известью, сорбцией гидроксидами железа, алюминия и другими химическими реагентами. Выбор метода обескремнивания воды зависит от предъявляемых к ней требований и экономических показателей.

### **1.16 Радиационная обработка воды**

При данном методе обработки воды используются рентгеновские и  $\gamma$  - лучи, электроны, протоны, нейтроны,  $\alpha$  - частицы, а также быстрые нейтроны.

Гамма-излучением эффективно обесцвечиваются природные воды с высокой цветностью, содержащие трудноудаляемые фульвокислоты.

Радиационная обработка дает возможность дезодорировать, обеззараживать и дегельминтизировать природные воды, удалять фенолы. Доза излучения, необходимая для осуществления всех этих процессов, составляет примерно 1Гр (грэй).

## 2 Аппаратурно-технологическая схема

### 2.1 Аппаратурно-технологическая схема фильтрации и дозирования реагентов

Вода на ТЭЦ используется в качестве: исходного сырья для выработки пара в котлах, испарителях и паропреобразователях, охлаждающего вещества в конденсаторах турбин, охладителях продувочной воды, в подшипниках дымососов и т.д.; рабочего теплоносителя в теплофикационных отопительных сетях и сетях горячего водоснабжения. Узел фильтрации и дозирования реагентов служит для регулирования и понижения химических компонентов содержащихся в сырой воде.

#### 2.1.1 Характеристика основного и вспомогательного оборудования подпитки теплосети

Таблица 1 – Характеристика оборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Тип оборудов ания	Кол-во устан. оборудов.	Технические данные
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
1.	Осветлитель	ЦНИИ-3	6	Ø=12,5; Н=8,0 м; V=607 м <sup>3</sup> ; Q=450 м <sup>3</sup> /час
2.	Бак коагулированной воды		6	Ø=7,8; Н=9,8 м; V=400 м <sup>3</sup> ;
3.	Механический фильтр вертикальный, двухкамерный	ФОВ2К-3,4-0,6	15	Ø=3,4; Н=5,5 м; Q=90-130 м <sup>3</sup> /час;
4.	Насос коагулированной воды	Д-500-65	3	Ø <sub>к</sub> =465 мм; Н=65 м.в.ст.; Q=500 м <sup>3</sup> /час; эл.двигат. 160 квт. АОЗ-315-4У п=1470

				об/мин
5.	Насос коагулированной воды	Д630-90	3	$\varnothing_k=490\text{мм}$ ; $H=73$ м.в.ст.; $Q=700$ м <sup>3</sup> /час; эл.двигатель А112-4М 200 кВт. $n=1485$ об/мин;
6.	Натрий-катионитовый фильтр	ФИПа-1- 3,4-0,6	16	$\varnothing=3,4$ м; $H=5,5$ м;
7.	Бак умягченной воды		4	$\varnothing=9,0$ м; $H=11,2$ м; $V=630$ м <sup>3</sup> ;
8.	Насос умягченной воды	Д630-90	3	$Q=700$ м <sup>3</sup> /час; $H=88$ м.в.ст.; эл.двигатель А111-4- 250 кВт $n=1485$ об/мин;
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
9.	Насос умягченной воды	10-Д-6	3	$Q=400$ м <sup>3</sup> /час; $H=57$ м.в.ст.; эл.двигатель А101-4 125 кВт $n=1450$ об/мин;
10.	Бак сбора шламовых вод		6	$V=16$ м <sup>3</sup>
11.	Насос шламовых вод	ФГ-51/58	3	$Q=51$ м <sup>3</sup> /час; $H=58$ м.в.ст.; эл.двигатель А02-71-2 22кВт. $n=2900$ об/мин;
12.	Бак промывки натрий		2	$V=400$ м <sup>3</sup>

	–катионитовых фильтров			
13.	Насос промывки натрий-катионитовых фильтров	X160/49- 2а-К-СД	2	Q=150 м <sup>3</sup> /час; п=2920 об/мин;
14.	Насос промывки натрий-катионитовых фильтров	8К-12	2	Q=250 м <sup>3</sup> /час; п=1450 об/мин;
15.	Насос промывки МФТ/с	Д-320-50	2	Q=400 м <sup>3</sup> /час; п=1450 об/мин;
16.	Насос ячеек коагулянта	X45/31- К-С	2	Q=36 м <sup>3</sup> /час; п=2900 об/мин;
17.	Бак мерник раствора коагулянта		3	V=10 м <sup>3</sup>
18.	Насос-дозатор коагулянта	НД-2,5 1000/16к	2	Q=1000 л/час; п=1500 об/мин;
19.	Насос ячеек соли	X45/31- Л-С	2	Q=32-45 м <sup>3</sup> /час; п=2900 об/мин;
20.	Бак раствора соли		4	V=40 м <sup>3</sup>
21.	Насос циркуляции и подачи регенеративн. раствора соли	X45/31- Л-С	2	Q=32-45 м <sup>3</sup> /час; п=2900 об/мин;
22.	Насос раствора соли открытого склада	СМ125- 80-315/4	3	Q=80 м <sup>3</sup> /час; п=1450 об/мин;
23.	Дренажный насос открытого склада соли	АХП-50- 32-200- 1,3-А	1	Q=12,5 м <sup>3</sup> /час; п=2900 об/мин;
24.	Бак сбора регенеративных вод		2	V=400 м <sup>3</sup>

	МФ т/с			
25.	Насос регенеративных вод МФ т/с	4К-90/55	3	Q=108 м <sup>3</sup> /час; п=2900 об/мин;

## 2.2 Описание схемы подпитки теплосети

2.2.1 ВПУ подпитки т/с выполнена по схеме:

- коагуляция в осветлителях;
- фильтрация на механических фильтрах;
- умягчение воды на натрий-катионитовых фильтрах.

2.2.2 Источником водоснабжения служит р.Томь. На ХВО подпитки т/с поступает подогретая до  $25 \pm 3$  °С сырая вода из турбинного цеха по двум трубопроводам Ду700 мм, расположенным на воздушной эстакаде между турбинным и химическим цехами. В павильоне осветлителей оба трубопровода объединяются в общий коллектор подачи сырой воды на осветлители.

Из коллектора сырой воды посредством регуляторов расхода вода распределяется на осветлители, где подвергается очистке методом коагуляции. В качестве коагулянта используется оксихлорид алюминия.

Из осветлителей очищенная - коагулированная вода сливается в баки коагулированной воды. Предусмотрена подача сырой воды из коллектора помимо осветлителя непосредственно в бак коагулированной воды.

Из баков коагулированной воды вода поступает на всас насосов коагулированной воды. Насосы подают воду на механические фильтры. На механических фильтрах коагулированная вода дополнительно очищается от взвешенных веществ и, уже как осветленная вода, поступает на натрий – катионитовые фильтры.

Механические и катионитовые фильтры сгруппированы блоками с секционной арматурой:

I блок – МФ №1-3, 9-11; КФ №1-4;

II блок – МФ №4-6, 12-14; КФ №5-7;

III блок – МФ №7,8,15; КФ №8-10;

Установка натрий- катионирования состоит из 2-х участков:

- производительностью 1100 м<sup>3</sup>/час, расположенная в здании ХВО т/с;
- производительностью 700 м<sup>3</sup>/час, расположенная в здании ХВО п/к;

Осветленная вода поступает на установки натрий-катионирования.

Пройдя натрий-катионитовые фильтры, вода умягчается посредством катионного обмена и становится умягченной водой.

Умягченная вода поступает в баки умягченной воды. Из баков № 1,2 насосами умягченной воды №1-3 вода подается в главный корпус в деаэраторы подпитки теплосети по двум трубопроводам Ду 500 мм, расположенным на воздушной эстакаде. Из баков № 3,4 насосами умягченной воды № 5-7 вода подается в главный корпус на ДПТС по трубопроводу Ду 300 мм в канале подземной прокладки.

2.2.3 Вспомогательные схемы и узлы:

- схема сбора и подачи шламовых вод в канал ГЗУ;
- схема сбора и подачи регенеративных вод механических фильтров;
- схема проведения взрыхляющей промывки натрий-катионитовых фильтров;
- схема проведения взрыхляющей промывки механических фильтров;
- узел коагулянта, узел соли, узел хранения и загрузки сыпучих материалов.

### **2.3 Физико-химические основы процесса коагуляции**

Коагуляция воды на ВПУ предназначена для её очистки от грубой и тонкой взвеси, коллоидных веществ, а также для обесцвечивания воды. Она осуществляется введением в обрабатываемую воду специального реагента – коагулянта. В качестве коагулянта используется оксихлорид алюминия  $AL_2(OH)_5Cl$ .

По внешнему виду ОХА представляет собой жидкость от серого или желтого до темно-серого цвета.

ОХА очень чувствителен к изменениям: температуры, давлению, нагрузке на осветлителях. Поэтому для нормальной работы осветлителя (получение коагулированной воды нужного качества) необходимо соблюдение постоянства нагрузки осветлителя и температуры подогрева исходной воды.

Процесс коагуляции определяется следующими основными факторами

#### Температура обрабатываемой воды

Решающее значение для работы осветлителя имеет постоянство выбранной температуры. Колебания температуры подогрева воды приводят к возникновению местных тепловых потоков в осветлителе, нарушению режима шламowego фильтра, выносу шлама в зону осветления и попаданию его в коагулированную воду. Колебания температуры не должны превышать  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

#### Нагрузка на осветлителе

Необходимо поддерживать на осветлителе стабильную нагрузку, как можно более редко и плавно изменять ее. Менять нагрузку (особенно при ее увеличении) не более чем на 10 % в течение каждых 15-20 минут.

#### Доза коагулянта.

Эта величина зависит, в основном, от качества исходной воды (щелочности, содержания органических и взвешенных веществ, солевого состава) и определяется лабораторно методом пробной коагуляции, а также при сезонном изменении воды.

Начало коагуляции определяется по изменению качества исходной воды, увеличению мутности и содержания взвешенных веществ в ХОВ т/с выше нормы (1,5 мг/кг – мутность, 5,0 мг/кг – взвешенные вещества), в сырой воде – содержание взвешенных веществ выше 10 мг/кг. Включаются в работу насосы-дозаторы коагулянта, устанавливается заданная хим.лабораторией доза коагулянта.

#### **Устройство осветлителя и схема его работы**

2.3.4.1 Осветлитель ЦНИИ-3 производительностью 450м<sup>3</sup>/час состоит из следующих частей):

- корпуса **1**;
- шламоуплотнителя **2**;
- шламоприёмных труб **3** с окнами;
- воздухоотделителя **4**;
- водораспределительных труб **5**;
- верхней распределительной решётки **6** с отверстиями, служащими для равномерного распределения воды по поперечному сечению осветлителя;
- сборного кольцевого желоба **7**, служащего для сбора основной массы обработанной воды;
- вертикальных успокоительных решеток **8**, служащих для гашения скорости и направления воды;
- трубопровода отвода обработанной воды **9** из шламоуплотнителя (отсечка);
- сборно-распределительного устройства **10**, служащего для сбора и отвода всей воды обработанной в осветлителе;
- трубопровода подвода исходной воды **11**;
- трубопровода отвода коагулированной воды **12**;
- трубопровода опорожнения осветлителя **14**;
- трубопровода непрерывной продувки шламоуплотнителя **15**;
- трубопровода периодической продувки шламоуплотнителя **16**.

Кроме того, осветлитель имеет 6 пробоотборных точек, расположенных на различной высоте и служащих для контроля за работой осветлителя. Шламоуплотнитель имеет донные клапана для регулировки состава шламового фильтра.

Осветлитель работает по следующей схеме:

Исходная подогретая вода по трубопроводу поступает в воздухоотделитель, из которого по водораспределительным трубам подаётся в нижнюю часть осветлителя через тангенциально расположенные сопла.

В нижней части осветлителя, примерно до нижних кромок установленных решёток, образуется зона смешивания, где происходит реакция гидролиза коагулянта и образование хлопьевидного осадка. Образовавшийся осадок восходящим током воды поднимается вверх и образует зону контактной среды или, так называемый шламовый фильтр. Верхняя граница зоны контактной среды (шламового фильтра) располагается на уровне окон шламоприёмных труб. Над шламовым фильтром до верхней распределительной решётки располагается защитная зона осветления.

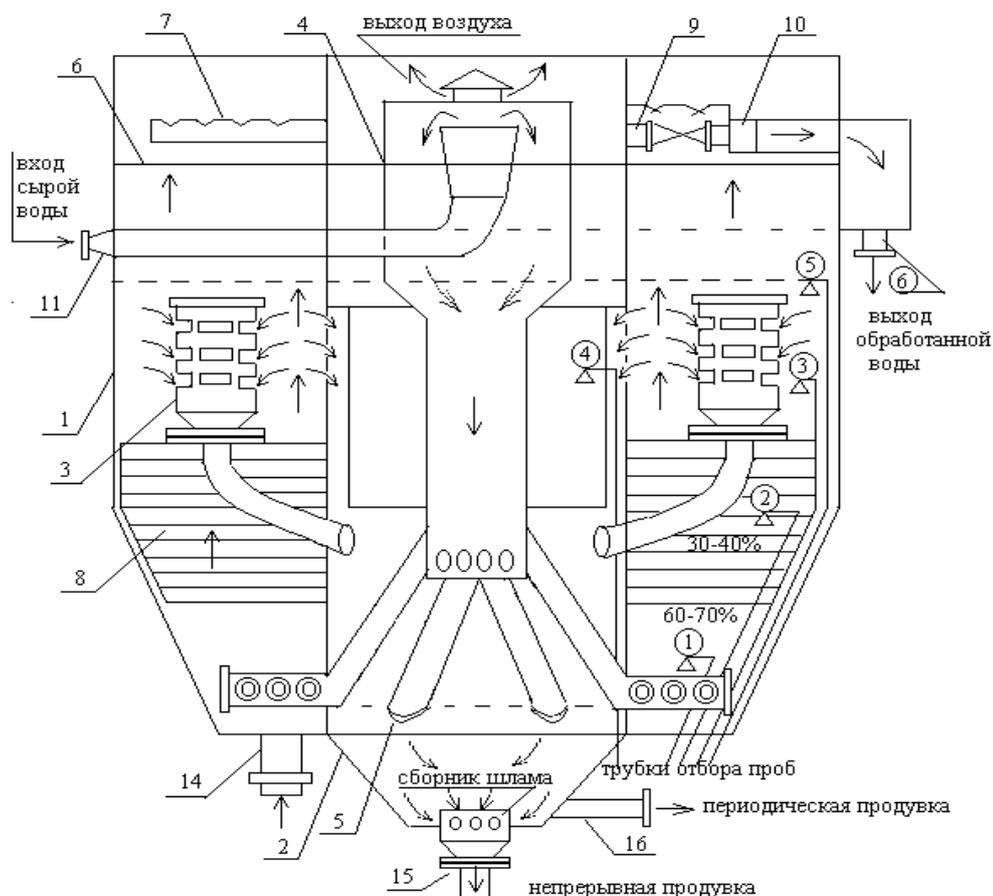


Рис. 2.1 - Схема осветлителя ЦНИИ-3

Большая часть обрабатываемой воды проходит шламовый фильтр, защитную зону осветления, верхнюю распределительную решетку и по сборному желобу поступает в распределительное устройство, откуда по трубопроводу сливается в бак коагулированной воды. Остальная часть воды вместе со шламом из верхней части шламового фильтра поступает через окна шламоприёмных труб в шламоуплотнитель, где шлам оседает и выводится через трубопроводы продувки шламоуплотнителя. Осветлённая вода из верхней части шламоуплотнителя через “отсечку” также отводится в распределительное устройство. На трубопроводе “отсечки” имеется регулирующий клапан, позволяющий регулировать расход отводимой воды и количество шлама, поступающего в шламоуплотнитель.

Для проведения контроля за работой осветлителя предусмотрены следующие точки:

- 1 – из зоны смешения (ниже вертикальных решёток);
- 2 – из зоны образования шламового фильтра;
- 3 – из зоны удаления шлама (на уровне шлагоотводящих труб);
- 4 – из шлагоотделителя (осветленная вода);
- 5 – из зоны осветлённой воды;
- 6 – обработанная коагулированная вода (из распределительного устройства);

В нижней конусной части шламоуплотнителя имеется лаз (Ди 500 мм) для осмотра и ремонта шламоуплотнителя. В верхней дренажной решётке имеется люк и лестница для осмотров и ремонта осветлителя. Все внутренние поверхности осветлителя имеют противокоррозионное покрытие на основе эпоксидной смолы.

## 2.4 Механические (осветлительные) фильтры

Назначение и устройство 2-х камерного механического фильтра:

Обработанная в осветлителе вода (коагулированная) содержит механические примеси, находящиеся в форме взвешенных частиц различной степени дисперсности – от невидимых глазом до мелких хлопьев (остатков процесса коагуляции). В момент нарушения режимов работы осветлителя количество примесей резко возрастает за счёт выносимого шлама. Для улавливания этих примесей служат механические фильтры.

Принцип работы фильтра основан на механическом улавливании насыпанным в фильтр материалом нерастворимых примесей фильтруемой воды. Фильтрующий материал должен обладать определенным гранулометрическим составом. Размер зерен должен составлять 0,8-0,9 мм с коэффициентом неоднородности 1,8-2,0. В качестве фильтрующего материала может применяться антрацит, песок, кварц. На нашей станции применяется антрацит.

Конструктивно механический фильтр представляет собой цилиндрический сосуд, работающий под давлением до  $6 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$  (пробное давление  $9 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$ ).

Механический (осветлительный) фильтр состоит из следующих основных элементов: корпуса, нижнего и верхнего распределительного устройства, трубопроводов, запорной арматуры и пробоотборного устройства (чертёж прилагается к инструкции).

Корпус фильтра цилиндрический, сварной, из листов стали, с приваренными эллиптическими штампованными днищами. К нижнему днищу приварены три опоры для установки фильтра на фундамент.

Корпус фильтра по высоте разделён на 2 камеры глухой плоской перегородкой (среднее днище), укреплённой анкерными связями с верхним эллиптическим днищем. Через анкерные связи, изготовленные из труб,

воздух из нижней камеры отводится в верхнюю. Внутреннее давление в камерах выравнивается и все камеры находятся под одним общим давлением.

Каждая камера фильтра снабжена круглым лазом для монтажа, ревизии и ремонта всех внутренних устройств фильтра, загрузки фильтрующих материалов и периодического осмотра их поверхности во время эксплуатации.

В каждой камере фильтра имеются штуцера для крепления распределительных устройств и внешних трубопроводов к корпусу фильтра. На уровне нижних распределительных устройств приварены штуцера для гидравлической выгрузки фильтрующих материалов.

Верхнее распределительное устройство предназначено для подвода в фильтр обрабатываемой воды и удаления из него промывочной воды. Это устройство выполнено в виде штампованных воронок, расширяющие концы которых направлены вверх.

Нижнее распределительное устройство предназначено для равномерного распределения воды и сжатого воздуха по всему сечению. Оно состоит из горизонтального коллектора с отверстиями, в которые вставляются распределительные трубы с обжатыми на конус концами. Другие концы этих труб заглушены. К распределительным перфорированным трубам приваривается щелевой желобок, прикрывающий отверстия, конусные концы труб приварены прерывистым швом к коллектору. Нижнее днище фильтра под нижним распределительным устройством забетонировано.

Трубопроводы и запорная арматура расположены по фронту фильтра, они позволяют переключать все потоки воды и сжатого воздуха в процессе эксплуатации фильтра.

Пробоотборное устройство, размещённое по фронту фильтра, состоит из трубок, соединённых с трубопроводом, подводящим обрабатываемую воду к фильтру, и трубопроводом осветлённой воды. К этим трубкам присоединены вентили для отбора проб воды, поступающей для осветления и фильтрата, прошедшего через зернистую загрузку, а также два манометра, показывающих давление воды до и после фильтрования. На подающем трубопроводе установлены расходомерная диафрагма и показывающий прибор – расходомер.

Внутренняя поверхность фильтра имеет антикоррозионное покрытие на основе эпоксидной смолы.

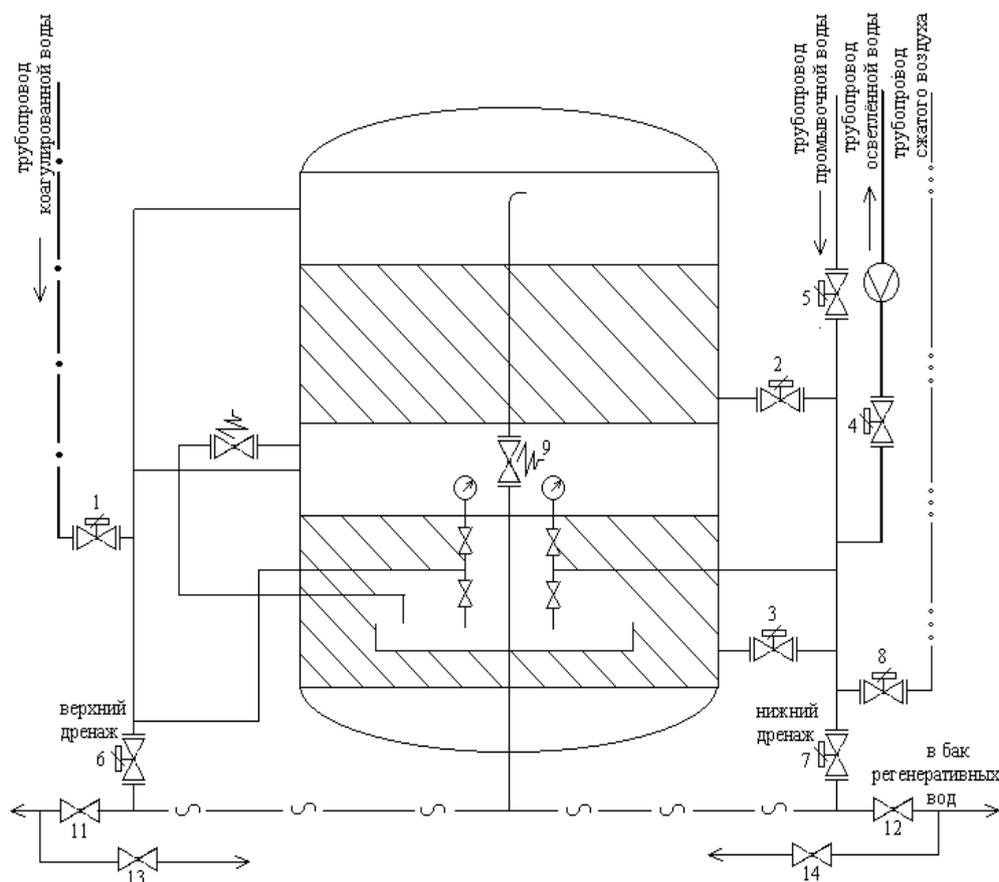


Рис. 2.2 - Схема механического фильтра

задвижка

№1 – на входе коагулированной воды в фильтр;

№2 – отвод осветлённой воды из верхней камеры и подача воды на промывку в верхнюю камеру;

№3 – отвод осветлённой воды из нижней камеры и подача воды на промывку в нижнюю камеру;

№4 – на выходе осветлённой воды из фильтра;

№5 – подача промывочной воды на фильтр;

№6 – на верхнем дренаже, для сбора воды от взрыхляющей промывки;

№7 – на нижнем дренаже, для сброса фильтра и полного опорожнения фильтра;

№8 – подача сжатого воздуха в фильтр;

вентиль №9 – воздушник;

Для проведения операций взрыхления имеются общие для механических фильтров задвижки, установленные на дренажных коллекторах:

задвижка №11 – дренажные воды от механических фильтров №1-8 – в канал;

№12 – дренажные воды от механических фильтров №1-8 – в бак регенеративных вод;

№13 – дренажные воды от механических фильтров №9-15 – в канал;

№14 – дренажные воды от механических фил

## **2.5 Установка натрий-катионирования.**

### **2.5.1 Назначение, устройство и принцип работы фильтров.**

Обработка воды методом катионного обмена заключается в фильтрации воды через слой зернистого материала – сульфоугля, практически нерастворимого в воде.

Умягчением называется процесс удаления из воды катионов накипеобразователей кальция и магния с заменой их катионами натрия, поэтому процесс называется натрий-катионированием.

В процессе фильтрации обрабатываемая вода обменивает часть катионов на эквивалентное число катионов сульфогля, что приводит к изменению катионного состава, как фильтруемой воды, так и самого катионита. Катионит постепенно насыщается катионами, поглощёнными из воды и теряет способность к катионному обмену.

Восстановление рабочей способности катионита основано на обратимости реакции катионного обмена.

Для регенерации катионита используется раствор поваренной соли, содержащий катионы натрия, необходимые для насыщения катионита.

Катионитный фильтр представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат, рабочее давление до бати. Корпус фильтра цилиндрический сварной из листовой стали с эллиптическими днищами. К нижнему днищу приварены 3 опоры для установки фильтра на фундамент. Корпус фильтра снабжён двумя лазами: верхний предназначен для загрузки фильтрующего материала, ревизии и ремонта верхнего распределительного устройства, периодических ревизий и ремонта; нижний предназначен для монтажа внутренних устройств фильтра, периодических ревизий и ремонта этих устройств. Внутри фильтр имеет верхнее и нижнее распределительное устройство.

Верхнее распределительное устройство служит для равномерного распределения обрабатываемой воды, регенерационного раствора по сечению фильтра и отвода воды при взрыхлении фильтрующей загрузки. Оно состоит из вертикального коллектора из полиэтиленовой трубы, заглушенного снизу, и радиально расположенных перфорированных полиэтиленовых труб (лучей), вставленных в отверстия вертикального коллектора. Наружные концы лучей заглушены и прикреплены к корпусу фильтра. Лучи установлены отверстиями вверх и строго горизонтально.

Нижнее распределительное устройство предназначено для равномерного сбора катионированной воды, регенерационного раствора и равномерного распределения воды при взрыхлении по сечению фильтра. Оно выполнено из коллектора с отверстиями, в которые вставляются распределительные трубы, над отверстиями распределительных труб приварены щелевые желобки. Нижняя дренажная система выполнена из нержавеющей стали.

Для контроля за работой фильтра установлены расходомер, два манометра (на входе), две пробоотборные точки (на входе и выходе воды), воздушник.

### 2.5.3 Арматура натрий-катионитных фильтров и её назначение (см.схему

Задвижка	№1 – вход осветлённой воды в фильтр;
	№2 – выход катионированной воды из фильтра;
	№3 – подача воды на взрыхление фильтра;
	№4 – подача регенерационного раствора соли;
	№5 – отвод воды при взрыхлении фильтра;
	№6 – сброс регенерационных и промывочных вод, а также для опорожнения фильтра;
вентиль	№7 – воздушник.

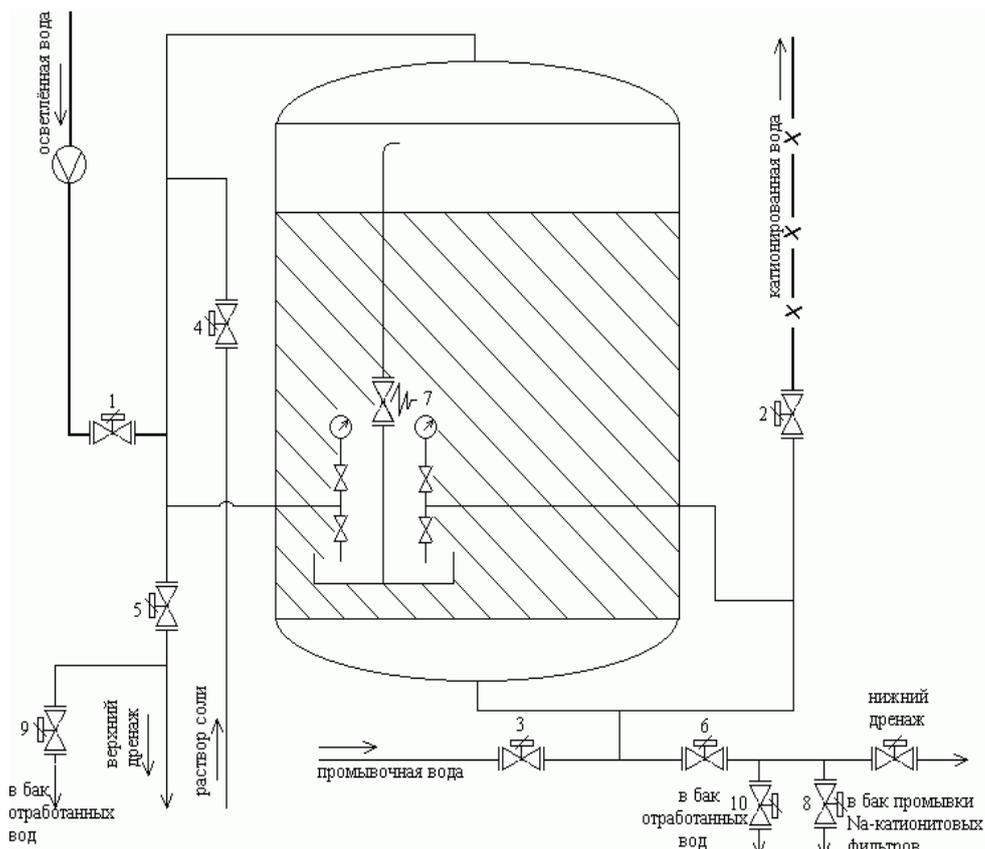
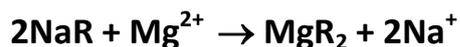
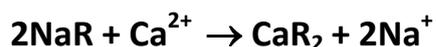


Рис. 2.3 - Схема натрий-катионитового фильтра

#### 2.5.4 Принцип работы катионитового фильтра.

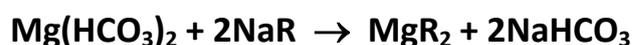
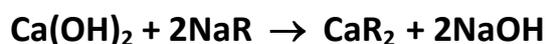
Процесс натрий-катионирования протекает по следующим реакциям:



где R – условно обозначен сложный состав сульфоугля.

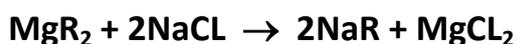
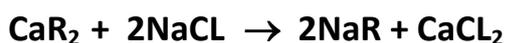
При этом, находящиеся в воде катионы кальция и магния поглощаются сульфоуглём, а вместо них в воду приходит катион натрия, ранее содержащийся в сульфоугле.

При фильтрации воды вниз катионы кальция и магния поглощаются катионитом. Происходит изменение катионного состава воды, она становится «мягкой»:



Умягчение воды происходит не по всей высоте сразу, а в верхнем слое, так называемой “зоне умягчения”, Поэтому и истощение катионита происходит послойно. Вначале кальцием и магнием насыщаются верхние слои, далее насыщаются нижерасположенные и зона умягчения смещается вниз. Как только граница зоны умягчения (нижняя) совпадает с выходным коллектором, в умягчённой воде появляется «скачок» жёсткости, катионит истощается. В таком фильтре необходимо восстановить сульфуголь.

Восстановление обменной способности сульфуголя называется регенерацией. Регенерация осуществляется путём пропуска раствора поваренной соли через истощённый сульфуголь. При этом катионы натрия вытесняют из катионита ранее поглощённые катионы кальция и магния, которые переходят в раствор и удаляются.



Восстановленный сульфуголь вновь способен к катионному обмену.

Осветлённая вода подаётся в верхнюю часть фильтра через верхнее распределительное устройство, проходит участок до поверхности сульфуголя. Этот слой называется водяной подушкой и служит для равномерной подачи воды через сульфуголь при работе фильтра и для расширения катионита при его взрыхлении.

Вода, проходя через слой сульфуголя, освобождается от механических примесей, которые могут периодически попадать в осветлённую воду. Механические примеси задерживаются, в основном, в верхнем слое сульфуголя. В сульфуголе накапливается мелочь – продукты его разложения, которые удаляются путём взрыхления.

Взрыхление сульфуголя производится перед каждой регенерацией водой из промывочного бака током снизу вверх. Вода подаётся с такой интенсивностью, чтобы сульфуголь «расширился» на высоту водяной

подушки. При этом зёрна сероугля задевают друг друга, хорошо омываются водой и освобождаются от механических примесей, мелочи, которые отводятся с водой через верхнее распределительное устройство в дренаж.

### 3 Расчет осветлителя

#### 3.1 Технологический расчет [1]

Осветлитель, включаемый в схему предварительной обработки воды, рассчитывается на 1,25 полной производительности установки.

Объем осветлителя определяется по формуле:

$$V_{осв} = \frac{1,25 \cdot Q \cdot \tau}{2}, M^3$$

где: Q – полная производительность всей установки, 1800 м<sup>3</sup>/ч,

τ – продолжительность пребывания воды в осветлителе, равная 1-1,5 часа.

$$V_{осв} = \frac{1,25 \cdot 1800 \cdot 1,5}{2} = 1687,5(M^3)$$

Так как серийно выпускаемого осветлителя такого объема нет, производим его конструктивный расчет.

Расчет основных элементов осветлителя производится по полной производительности осветлителя с принятием рекомендуемых скоростей движения воды (таблица 3.1):

Таблица 3.1 - Скорости движения основных потоков воды в осветлителе, мм/сек

Тип осветлителя	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>5</sub>	V <sub>6</sub>	V <sub>7</sub>	V <sub>8</sub>
ЦНИИ-3	1000	28,0	2,0	1,0	0,8	10,0	2,0	20,0

Полная производительность осветлителя (Q<sub>0</sub>)= 450м<sup>3</sup>/ч.

Расчета осветлителя:

3.1.1 Диаметр трубопровода  $d_1$  к воздухоотделителю и от воздухоотделителя к осветлителю определяется из уравнения:

$$Q_o = \frac{\pi \cdot d_1^2 \cdot v_1}{4} \cdot \frac{3600}{1000} = 3,6 \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot v_1, \text{ м}^3/\text{ч}$$

где  $v_1$  - скорость движения потока воды в осветлителе, 1000 мм/сек.

$$d_1 = \sqrt{\frac{450 \cdot 4}{3,6 \cdot \pi \cdot v_1}}, \text{ м}$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{450 \cdot 4}{3,6 \cdot 3,14 \cdot 1000}} = 0,40(\text{м})$$

3.1.2 Диаметр воздухоотделителя  $d_2$  определяется из уравнения:

$$d_2 = \sqrt{\frac{450 \cdot 4}{3,6 \cdot \pi \cdot v_2}}, \text{ м}$$

где  $v_2$  - скорость движения потока воды в осветлителе, 28мм/сек

$$d_2 = \sqrt{\frac{450 \cdot 4}{3,6 \cdot 3,14 \cdot 28,0}} = 2,38(\text{м})$$

3.1.3 Диаметр шламоотводных труб  $d_7$  определяется из уравнения:

$$g_o = 3,6 \cdot \frac{\pi \cdot d_7^2}{4} \cdot v_7 \cdot n, \text{ м}^3/\text{ч}$$

где:  $n$  – количество шламоотводных труб  $n=6$ ;

$v_7$  - скорость движения потока воды в осветлителе, 2,0 мм/сек;

$g_o$  – количество воды, отводимой из осветлителя в шламоотделитель, равное 6-10 % от производительности осветлителя, принимаем 27 м<sup>3</sup>/ч.

$$d_7 = \sqrt{\frac{g_o \cdot 4}{3,6 \cdot \pi \cdot v_7 \cdot n}}, \text{ м}$$

$$d_7 = \sqrt{\frac{27 \cdot 4}{3,6 \cdot 3,14 \cdot 2,0 \cdot 6}} = 0,89(\text{м})$$

3.1.4 Диаметр шламоотделителя  $d_5$  определяется по уравнению:

$$g_u = 3,6 \cdot \frac{\pi \cdot d_5^2}{4} \cdot v_5, \text{ м}^3/\text{ч}$$

где  $g_{ш}$  - расход осветленной и возвращенной массы воды из  
шламоотделителя равный 6-10 % от производительности  
осветлителя, принимаем  $45 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;

$v_5$  - скорость движения потока воды в осветлителе  $0,8 \text{ мм/сек}$ .

$$d_5 = \sqrt{\frac{g_{ш} \cdot 4}{3,6 \cdot \pi \cdot v_5}}, \text{ м}$$

$$d_5 = \sqrt{\frac{45 \cdot 4}{3,6 \cdot 3,14 \cdot 0,8}} = 4,46(\text{м})$$

3.1.5 Диаметр центральной части осветлителя  $d_3$  определяется из  
выражения:

$$Q_o = 3,6 \cdot \frac{\pi \cdot (d_3^2 - d_5^2)}{4} \cdot v_3, \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$Q_o = 3,6 \cdot \frac{3,14 \cdot (d_3^2 - 4,46^2)}{4} \cdot 2,0 = \frac{11,30 \cdot (d_3^2 - 19,89)}{2} \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$450 = 5,65 \cdot d_3^2 - 112,39$$

$$d_3 = \sqrt{\frac{450 + 112,39}{5,65}} = 9,98(\text{м})$$

3.1.6 Диаметр  $d_4$  выходной части осветлителя ЦНИИ-2 определяется из  
уравнения:

$$Q_o - g_o = 3,6 \cdot \frac{\pi \cdot (d_4^2 - d_5^2)}{4} \cdot v_4$$

$$450 - 27 = 3,6 \cdot \frac{3,14 \cdot (d_4^2 - 4,46^2)}{4} \cdot 1,0$$

$$d_4 = 13,0 (\text{м})$$

3.1.7 Площадь окон  $\sum f$  одной из шламоотводных труб определяется по  
уравнению:

$$g_o = 3,6 \cdot n \cdot \sum f \cdot v_6;$$

где  $n$  – количество шламоотводных труб, равно 6;

$v_6$  - скорость движения потока воды в осветлителе  $10,0 \text{ мм/сек}$ ;

$$27 = 3,6 \cdot 6 \cdot \sum f \cdot 10,0$$

$$\sum f = \frac{27}{3,6 \cdot 6 \cdot 10,0} = 0,125 \text{ м}^2$$

Приняв ширину окна  $L = 0,5 \cdot d_7 = 0,5 \cdot 0,89 = 0,45$

и высоту его  $h = (0,5 \div 1,0) \cdot L = 0,45$ , определяем количество окон в трубе и количество их рядов:

$$m = \frac{\Sigma f}{L} + 4 = \frac{0,125}{0,45} + 4 = 4_{\text{окна}}$$

$$m_p = m/4 = 1_{\text{ряд}};$$

3.1.8 Диаметр глухой части  $d_8$  шламоотводной трубы определяется из уравнения:

$$g_o = 3,6 \cdot n \cdot \pi \cdot d_8^2/4 \cdot v_8;$$

где  $v_8$  - скорость движения потока воды в осветлителе 20,0мм/сек;

$$27 = 3,6 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot d_8^2/4 \cdot 20,0;$$

$$226,1 \cdot d_8^2 = 27$$

$$d_8^2 = 0,119; \quad d_8 = 0,35 \text{ м}$$

3.1.9 Высота центральной части осветлителя принимается равной 2÷3 м, а выходной зоны 3 м.

Высота переходной конической части определяется по формуле:

$$h_{\text{к.ч.}} = (d_4 - d_3)/2 \cdot \text{tg}30^\circ = (13,0 - 9,98)/2 \cdot 0,6 = 2,04 = 1 \text{ (м)}.$$

## 3.2 Механический расчет

### 3.2.1 Расчет толщин стенок всех конструктивных элементов

#### осветлителя

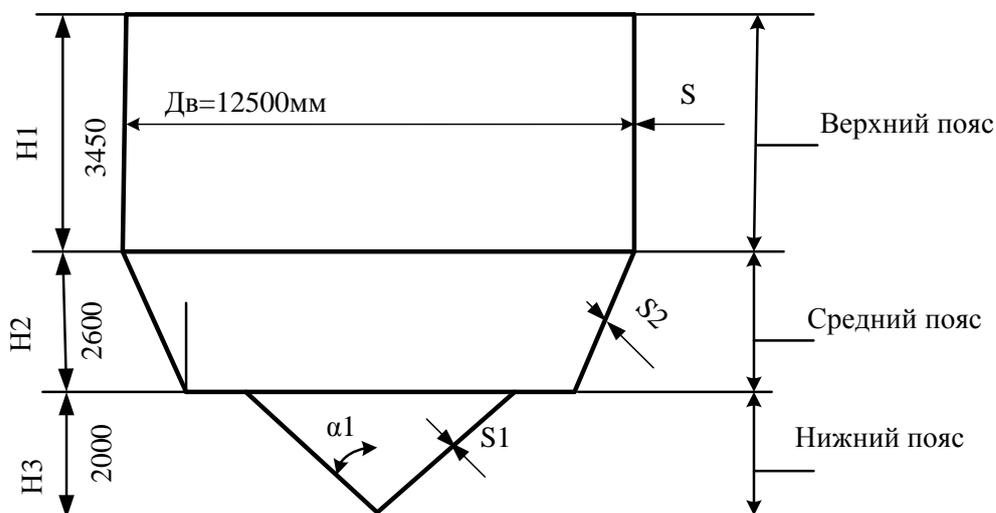


Рис. 3.1 – Эскиз осветлителя

## Исходные данные

Рабочая среда	- вода
Температура воды, °С	- 26
Материал обечаек осветлителя	- Ст3
Условия работы	- под наливом
Геометрические размеры	- согласно рис.3.1

Расчетная толщина цилиндрической стенки аппарата, работающего под наливом для наиболее нагруженной части ее, подверженной внутреннему гидростатическому давлению.

Допускаемое напряжение равно

$$[\sigma] = \sigma_{\delta} = \frac{\sigma_{\delta}' \cdot D_{\delta 1} \cdot P}{P_{\delta}} \cdot \eta \quad \text{Па}$$

где  $\sigma_{\delta}'$  - напряжение при рабочей температуре;

$P_{\delta}$  – запас прочности;

$\eta$  – поправочный коэффициент.

$\eta=1$ , а  $P_{\delta}=2,6$ , тогда

$$[\sigma] = \frac{380 \cdot 10^6}{2,6} \cdot 1 = 146 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Коэффициент прочности  $\varphi=0,95$ .

Величина прибавки  $C=C_1+C_2+C_3$ , м.

Где  $C_1=0$  – прибавка на коррозию, исходя из условий разъедания материала стенки средой и срока службы аппарата, м;

$C_2=0$  – прибавка на эрозию, если таковая имеет место при работе аппарата, м;

$C_3=0,8 \cdot 10^{-3}$  м – прибавка на минусовый допуск по толщине листа.

Тогда  $C=C_3=0,8 \cdot 10^{-3}$  м.

Расчетная толщина цилиндрической части верхнего пояса.

$$S = \frac{D_{\delta} \cdot P}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P} + C, \text{ м}$$

где  $P=P_{\text{ж}}=10 \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot H_{\text{ж}}=10 \cdot 1000 \cdot 3,45=0,035 \cdot 10^6$  (Па)

Тогда

$$S = \frac{12,5 \cdot 0,035 \cdot 10^6}{2 \cdot 146 \cdot 10^6 \cdot 0,95 - 0,035 \cdot 10^6} + 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,0016(м)$$

Принимаем  $S=2$  мм.

Расчетная толщина конической части верхнего пояса.

$$S_2 = \frac{D_e \cdot P}{2 \cdot \cos \alpha \cdot ([\sigma] \cdot \varphi - P)} + C, м$$

где  $P=P_{ж}=10 \cdot \rho_{ж} \cdot H_{ж}=10 \cdot 1000 \cdot 6,05=0,061 \cdot 10^6$  (Па);

$\alpha=22^\circ$

Тогда

$$S_2 = \frac{12,5 \cdot 0,061 \cdot 10^6}{2 \cdot 0,9272 \cdot (146 \cdot 10^6 \cdot 0,95 - 0,061 \cdot 10^6)} + 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,0038(м)$$

Принимаем  $S_2=4$  мм.

Расчетная толщина конического днища нижнего пояса

$$S_1 = \frac{D_e \cdot P \cdot Y}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi} + C, м$$

где  $Y$  – фактор формы днища.

При радиусе отбортовки  $R_6=0$  фактор формы берется как для днищ с  $R_6/D_6=0,01$  и  $\alpha_1=50^\circ$  то будем иметь  $Y=3,2$ .

Давление  $P=P_{ж}=10 \cdot \rho_{ж} \cdot H_{ж}=10 \cdot 1000 \cdot 8,05=0,081 \cdot 10^6$  (Па)

Тогда

$$S_1 = \frac{9,98 \cdot 0,081 \cdot 10^6 \cdot 3,2}{2 \cdot 146 \cdot 10^6 \cdot 0,95} + 0,8 \cdot 10^{-3} = 0,0101(м)$$

Принимаем  $S_3=12$  мм.

### 3.3 Расчет фланца $D := 200$

Расчет ведем в программе Mathcad по [7]

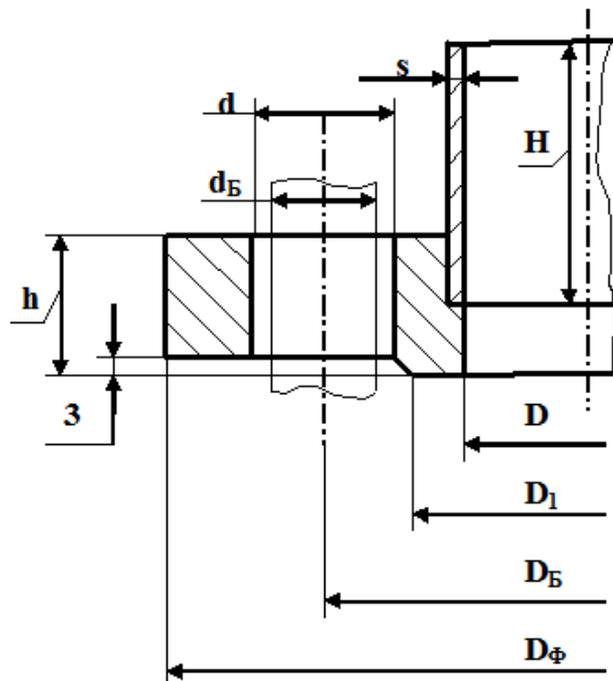


Рисунок 5.5 – Фланец корпуса и рубашки аппарата  
Конструктивные размеры фланца [27]

$D := 200$ мм	$h := 30$ мм	$P := 0.6$ МПа
$D_{\text{H}} := 315$ мм	$h_{\text{H}} := 2$ мм	$M := 0$ Н*мм
$D_0 := 280$ мм	$S_0 := 10$ мм	$F := 0$ Н
$D_{\text{СП}} := 215$ мм	$d := 16$ мм	$c_0 := 1$ мм
$b_{\text{H}} := 25$ мм	$n := 8$	$t := 25$ °C

Материал обечаек и фланцев - сталь ВСт3

Материал болтов - сталь 35

Материал прокладки - паронит ПОН.[27]

Фланцы с гладкой уплотнительной поверхностью рекомендуется применять для условных давлений среды до 1,6 МПа

#### Определение расчетных параметров

Расчетные температуры[1]

расчетная температура неизолированных плоских фланцев

$$t_{\phi} = 0,96 t \quad [1]$$

$$t_{\phi} := 0.96 \cdot t$$

$$t_{\phi} = 24$$

расчетная температура болтов

$$t_6 := 0.85 \cdot t \quad t_6 = 21.25$$

Допускаемые напряжения для болтов из стали 35 [1]

В рабочем состоянии

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 130 \\ 126 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{д.б} := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_6), 0.5)$$

$$\sigma_{д.б} = 129.5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при рабочей температуре [1]

$$E_6 := 1.9 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для болтов при  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  [1]

$$\sigma_{206} := 146 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при температуре испытания  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  [1]

$$E_{206} := 1.9 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 35 при  $t = 20\text{-}100 \text{ }^\circ\text{C}$  [1]

$$\alpha_6 := 11.2 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$$

Допускаемые напряжения для фланцев и обечаек стали ВСт3 [1]

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 154 \\ 149 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_\phi), 0.5) \quad \sigma = 153.5 \text{ МПа}$$

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

$$\sigma_{д.ф} := \eta \cdot \sigma \quad \sigma_{д.ф} = 153.5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали ВСт3 при рабочей температуре

$$E := 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали ВСт3 при  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\sigma_{20} := 154 \text{ МПа} \quad \sigma_{д20} := \eta \cdot \sigma_{20} \quad \sigma_{д20} = 154 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали ВСт3 при температуре испытания  $20 \text{ }^\circ\text{C}$

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

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

Коэффициент линейного расширения стали ВСт3 при  $t = 20 - 100 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\alpha_{\phi} := 11.6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$$

Эффективная ширина плоской прокладки

$$b_m := 25 \text{ мм}$$
$$b_0 := \begin{cases} b_0 \leftarrow b_{\Pi} & \text{if } b_{\Pi} \leq 15 \\ b_0 \leftarrow \text{Ceil}(3.8 \cdot \sqrt{b_{\Pi}}, 1) & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$b_0 = 19 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки [7]

$$m := 2.5$$
$$q_{\text{обж}} := 20 \text{ МПа}$$
$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{обж}} := 1$$

$$E_{\Pi} := 2000 \text{ МПа}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке,

$$P_{\text{обж}} := 0.5 \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P| \quad P_{\text{обж}} = 9.625 \times 10^3 \text{ Н}$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения,

$$R_{\Pi} := \begin{cases} \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot P & \text{if } P \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$R_{\Pi} = 1.925 \times 10^4 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечений болтов (шпилек)

$$f_{\text{б}} := 180 \text{ мм}^2$$

Суммарная площадь сечения болтов (шпилек) по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра

$$A_{\text{б}} := n \cdot f_{\text{б}} \quad A_{\text{б}} = 1.44 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{сп}})^2 \cdot P \quad Q_d = 2.178 \times 10^4 \text{ Н}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента,

$$Q_{FM} := \max\left(\left|F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{сп}}\right|, \left|F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{сп}}\right|\right) \quad Q_{FM} = 0 \text{ Н}$$

Податливость прокладки

$$y_{\Pi} := \frac{h_{\Pi} \cdot K_{обж}}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{сп} \cdot b_{\Pi}} \quad y_{\Pi} = 5.922 \times 10^{-8} \text{ мм/Н}$$

Расстояние между опорными поверхностями гайки и головки болта или опорными поверхностями гаек

$$L_{60} := 34 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости

$$L_6 := L_{60} + 0.28 \cdot d \quad L_6 = 38.48 \text{ мм}$$

Податливость болтов

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6} \quad y_6 = 1.406 \times 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

Расчетные параметры фланцев:

- параметр длины обечайки

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} \quad l_0 = 44.721 \text{ мм}$$

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру

$$K := \frac{D_H}{D} \quad K = 1.575$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца,

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} \quad \beta_T = 1.677$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} \quad \beta_U = 4.893$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[ 0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] \quad \beta_Y = 4.488$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \quad \beta_Z = 2.351$$

- коэффициенты для фланцевых соединений с приварными встык фланцами с прямой втулкой, плоскими фланцами и свободными фланцами [7]

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

- коэффициент  $\lambda$

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad \lambda = 1.639$$

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке

$$y_\phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad y_\phi = 3.431 \times 10^{-10}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом,

$$y_{\phi H} := \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H} \quad y_{\phi H} = 8.015 \times 10^{-11}$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками (болтами),

$$C_F := \max \left[ 1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_6}{n \cdot \left( 2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5} \right)}} \right] \quad C_F = 1.093$$

Приведенный диаметр плоского фланца  $D_{пр} := D$

Плечо действия усилий в болтах (шпильках) для приварных встык и плоских фланцев

$$b := 0.5(D_6 - D_{сп}) \quad b = 32.5$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев

$$e := 0.5 \cdot (D_{сп} - D - S_0) \quad e = 2.5$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев

$$S_3 := S_0$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев

$$\gamma := \frac{1}{y_{\Pi} + y_6 \cdot \frac{E_{206}}{E_6} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\Phi} \cdot \frac{E_{20}}{E}} \quad \gamma = 1.081 \times 10^6$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой для приварных встык и плоских фланцев с плоскими прокладками

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2 \cdot e \cdot y_{\Phi} \cdot b}{y_{\Pi} + y_6 + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\Phi}} \quad \alpha = 0.996$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом

$$\alpha_M := \frac{y_6 + 2 \cdot y_{\Phi H} \cdot b \cdot \left( b + e - \frac{e^2}{D_{\text{СП}}} \right)}{y_6 + y_{\Pi} \cdot \left( \frac{D_6}{D_{\text{СП}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\Phi H} \cdot b^2} \quad \alpha_M = 0.787$$

Нагрузка, вызванная стесненностью температурных деформаций, в соединениях с приварными встык и плоскими фланцами

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_{\Phi} \cdot h \cdot (t_{\Phi} - 20) - 2\alpha_6 \cdot h \cdot (t_6 - 20)] \quad Q_t = 2.102 \times 10^3 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на болты (шпильки) при затяжке, необходимая для обеспечения в рабочих условиях давления на прокладку, достаточного для герметизации фланцевого соединения

$$P_{61} := \max \left[ \left[ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{СП}}} \right], \left[ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{СП}}} - Q_t \right] \right]$$

$$P_{61} = 4.095 \times 10^4 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на болты (шпильки) при затяжке, необходимая для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов (шпилек)

$$P_{62} := \max(P_{\text{обж}}, 0.4 \cdot A_6 \cdot \sigma_{206})$$

$$P_{\text{обж}} = 9.625 \times 10^3 \text{ Н} \quad P_{62} = 8.41 \times 10^4 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на болты (шпильки) фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения:

$$P_{6M} := \max(P_{61}, P_{62}) \quad P_{6M} = 8.41 \times 10^4 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на болты (шпильки) фланцевых соединений в рабочих условиях

$$P_{6p} := P_{6M} + (1 - \alpha) \cdot (Q_d + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{\text{сп}}}$$

$$P_{6p} = 8.628 \times 10^4 \text{ Н}$$

### Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки

Расчетные напряжения в болтах (шпильках)

- при затяжке

$$\sigma_{61} := \frac{P_{6M}}{A_6} \quad \sigma_{61} = 58.4 \text{ МПа}$$

- в рабочих условиях

$$\sigma_{62} := \frac{P_{6p}}{A_6} \quad \sigma_{62} = 59.917 \text{ МПа}$$

Проверка условий прочности болтов (шпилек) при затяжке и в рабочих условиях

$$Usl\_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности в при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{61} > \sigma_{206} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{62} > \sigma_{д.6} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl\_1 = \text{"Условия прочности выполняются"}$$

$$\sigma_{61} = 58. \text{ МПа} \quad \sigma_{206} = 146 \text{ МПа} \quad \sigma_{62} = 59.917 \text{ МПа} \quad \sigma_{д.6} = 129.4 \text{ МПа}$$

Удельное давление на прокладку

$$q := \frac{\max(P_{\bar{6}M}, P_{\bar{6}P})}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\Pi}} \quad q = 5.11 \quad \text{МПа}$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок)

$$Us1\_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1\_2 = \text{"Условие прочности прокладки выполняется"}$$

$$q = 5.11 \quad \text{МПа} \quad q_d = 130 \quad \text{МПа}$$

### Расчет фланцев на статическую прочность

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

$$M_M := C_F \cdot P_{\bar{6}M} \cdot b \quad M_M = 2.988 \times 10^6 \quad \text{Н*мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях

$$M_P := C_F \cdot \max[P_{\bar{6}P} \cdot b + (Q_d + Q_{FM}) \cdot e, |Q_d + Q_{FM}| \cdot e]$$

$$M_P = 3.125 \times 10^6 \quad \text{Н*мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

- меридиональное изгибное напряжение во втулке приварного встык фланца, обечайке плоского фланца

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{\text{пр}}} \quad \sigma_{0M} = 112.531 \quad \text{МПа}$$

- напряжения в тарелке приварного встык фланца или плоского фланца в условиях затяжки:

- радиальное напряжение

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M \quad \sigma_{RM} = 18.35 \quad \text{МПа}$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{ТМ} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RМ} \quad \sigma_{ТМ} = 31.361 \text{ МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

- меридиональные изгибные напряжения для приварных встык фланцев с прямой втулкой и плоских фланцев

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} \quad \sigma_{0p} = 117.695 \text{ МПа}$$

- максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца

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

$$\sigma_{0mp} = 3.669 \text{ МПа}$$

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

- радиальное напряжение

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p \quad \sigma_{Rp} = 19.193 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} \quad \sigma_{Tp} = 32.801 \text{ МПа}$$

Проверка условий статической прочности фланцев

$$\sigma_{Pmax} := \max \left( \left( \left( \left| \sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Tp} \right| \right), \left( \left| \sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Rp} \right| \right), \left( \left| \sigma_{0p} + \sigma_{0mp} \right| \right) \right) \right)$$

$$\sigma_{3max} := \max \left( \left| \sigma_{0M} + \sigma_{RM} \right|, \left| \sigma_{0M} + \sigma_{TM} \right| \right)$$

PR\_1 := "Условия статической прочности при затяжке и в рабочих условиях выполняются"

PR\_3 := "Условия статической прочности НЕ выполняются"

KT = 1.3 при расчете с учетом стесненности температурных деформаций. При расчете без учета стесненности температурных деформаций KT = 1.

$$K_T := 1.3$$

$$Usl_3 := \begin{cases} PR_1 & \text{if } \sigma_{3max} < K_T \cdot \sigma_{20} \wedge \sigma_{Pmax} < K_T \cdot \sigma_{д.ф} \\ PR_3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl\_3 = "Условия статической прочности при затяжке и в рабочих условиях выполняются"

$$\sigma_{3max} = 143.892 \text{ МПа} \quad K_T \cdot \sigma_{20} = 200.2 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{Pmax} = 146.827 \text{ МПа} \quad K_T \cdot \sigma_{д.ф} = 199.55 \text{ МПа}$$

### Проверка углов поворота фланцев[7]

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца

$$\Theta := M_p \cdot y_{ф} \cdot \frac{E_{20}}{E} \quad \Theta = 1.072 \times 10^{-3}$$

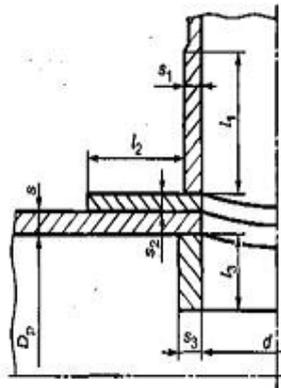
Допустимый угол поворота плоского фланца  $\Theta_d := 0.013$

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

Usl\_P = "Условие поворота плоского фланца выполняется"

### 3.4 Расчет укрепления отверстий

Проводим по [1], ГОСТ Р52857.3-2007 расчет производим в программе Mathcad



Исходные данные:

Внутренний диаметр оболочки-  $D := 4800$  мм

Марка стали ВСт3

Внутреннее расчетное давление  $P_r := 0.6$  МПа

Расчётная температура  $t_R := 25$  C°

Длина неукреплённой части оболочки  $l := 2400$  мм

Исполнительная толщина стенки оболочки  $s := 12$  мм

Расстояние от центра укрепления отверстия до оси  $x := 1000$  мм

Диаметр отверстия  $d := 800$  мм

Толщина стенки (внутренней) штуцера  $s_1 := 10$

Толщина стенки (внешней) штуцера  $s_3 := 10$

Длина внешней части штуцера  $l_1 := 150$  мм

Длина внутренней части штуцера  $l_3 := 5$  мм

Ширина накладного кольца  $l_2 := 0.5d$

Толщина накладного кольца  $s_2 := s$

Прибавка расчетной толщины стенки  $c := 1.0$  мм

Коэффициент прочности  $\phi := 1$   
сварных швов  
Материал сталь ВСт3

Допускаемое напряжение для материала при расчётной температуре, МПа  
 $\sigma_d := 146$

Допускаемое напряжение для материала накладного кольца при расчетной температуре  
 $\sigma_{d1} := \sigma_d$

Допускаемое напряжение для материала внешней части штуцера при расчетной температуре

$$\sigma_{d2} := \sigma_d$$

Допускаемое напряжение для материала внутренней части штуцера при расчетной температуре

$$\sigma_{d3} := \sigma_d$$

Высота  $h := 0.25 \cdot D$

### Расчёт укрепления отверстия в оболочке

Выбор типа оболочки

$$n := 2$$

$$\text{Тип} := \begin{cases} \text{"цилиндрическая оболочка"} & \text{if } n = 1 \\ \text{"коническая оболочка"} & \text{if } n = 2 \end{cases}$$

### Расчётный диаметр оболочки

$$D_p := \begin{cases} D_p \leftarrow D & \text{if } n = 1 \\ D_p \leftarrow \frac{D^2}{2 \cdot h} \cdot \sqrt{1 - 4 \cdot \frac{D^2 - 4 \cdot h^2}{D^4} \cdot x^2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$D_p = 8.953 \times 10^3$$

$$\text{Тип} = \text{"коническая оболочка"}$$

### Расчётный диаметр отверстия

$$d_p := \begin{cases} d_p \leftarrow d + 2 \cdot c & \text{if } n = 1 \\ d_p \leftarrow \frac{(d + 2 \cdot c)}{\sqrt{1 - \left(2 \cdot \frac{x}{D_p}\right)^2}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d_p = 822.791 \quad \text{мм}$$

Проверка условий применения формул для расчёта укрепления отверстий:

$$\begin{aligned}
 \text{Usl} := & \left| \begin{array}{l}
 \text{if } n = 1 \\
 \quad \left| \begin{array}{l}
 \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} \text{ if } \frac{(d_p - 2 \cdot c)}{D} > 1 \\
 \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} \text{ if } \frac{(s - c)}{D} > 0.1 \\
 \text{"условия применения формул выполняются"} \text{ otherwise}
 \end{array} \right. \\
 \text{if } n = 2 \\
 \quad \left| \begin{array}{l}
 \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} \text{ if } \frac{(d_p - 2 \cdot c)}{D} > 0.6 \\
 \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} \text{ if } \frac{(s - c)}{D} > 0.1 \\
 \text{"условия применения формул выполняется"} \text{ otherwise}
 \end{array} \right.
 \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

Tip = "коническая оболочка"

Usl = "условия применения формул выполняется"

**Расчётная толщина стенки оболочки:**

$$s_p := \left| \begin{array}{l}
 s_p \leftarrow \frac{P_r \cdot D_p}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P_r} \text{ if } n = 1 \\
 s_p \leftarrow \frac{P_r \cdot D_p}{4 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P_r} \text{ otherwise}
 \end{array} \right.$$

$$s_p = 9.208 \quad \text{мм}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s'_p := \frac{P_r \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_{d1} \cdot \phi - P_r} = 1.651 \quad \text{мм}$$

Расчётные длины штуцеров:

$$l_{fp} := \min \left[ l_1, \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s - c)} \right] \quad l_{fp} = 93.926 \quad \text{мм}$$

$$l_{3p} := \min \left[ l_3, 0.5 \cdot \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s_3 - 2 \cdot c)} \right] \quad l_{3p} = 5 \quad \text{мм}$$

Расчётная ширина накладного кольца:

$$l_{2p} := \min \left[ l_2, \sqrt{D_p \cdot (s_2 + s - c)} \right] \quad l_{2p} = 400 \quad \text{мм}$$

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

$$l_p := \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 313.824 \quad \text{мм}$$

Отношения допускаемых напряжений:  
для внешней части штуцера

$$\chi_1 := \min \left( 1, \frac{\sigma_{d1}}{\sigma_d} \right) \quad \chi_1 = 1$$

для накладного кольца

$$\chi_2 := \min \left( 1, \frac{\sigma_{d2}}{\sigma_d} \right) \quad \chi_2 = 1$$

для внутренней части штуцера

$$\chi_3 := \min \left( 1, \frac{\sigma_{d3}}{\sigma_d} \right) \quad \chi_3 = 1$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления

$$d_{op} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 125.529 \quad \text{мм}$$

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

$$d_o := 2 \cdot \left[ \left( \frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 247.681 \quad \text{мм}$$

Проверка необходимости укрепления отверстия

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"Необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_o < d \\ \text{"Укрепление не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "коническая оболочка"

Prov = "Необходимо укрепление отверстия"

**Проверка условия укрепления одиночного отверстия**

$$A_1 := l_p \cdot (s_1 - s'_p - c) \cdot \chi_1 = 690.227 \quad \text{мм}^2$$

$$A_2 := l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 = 4.8 \times 10^3 \quad \text{мм}^2$$

$$A_3 := l_{3p} \cdot (s_3 - c - c) \cdot \chi_3 = 40 \quad \text{мм}^2$$

$$A_{p.c} := l_p \cdot (s - s_p - c) = 562.383 \quad \text{мм}^2$$

$$A_p := 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 3.21 \times 10^3 \quad \text{мм}^2$$

$$\text{Summa} := A_1 \cdot \chi_1 + A_2 \cdot \chi_2 + A_3 \cdot \chi_3 + A_{p.c} = 6.093 \times 10^3 \quad \text{мм}^2$$

$$\text{Prov}' := \begin{cases} \text{"условие укрепления выполняется"} & \text{if Summa} \geq A_p \\ \text{"условие укрепления НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "коническая оболочка"

Prov' = "условие укрепления выполняется"

Отверстие укреплено избыточными толщинами стенки корпуса, штуцера и накладным кольцом.

## 4 Расчет механического фильтра

### 4.1 Технологический расчет

В дипломной работе проводим расчет механического фильтра. Схема этого фильтра показана на рисунке 4.1.

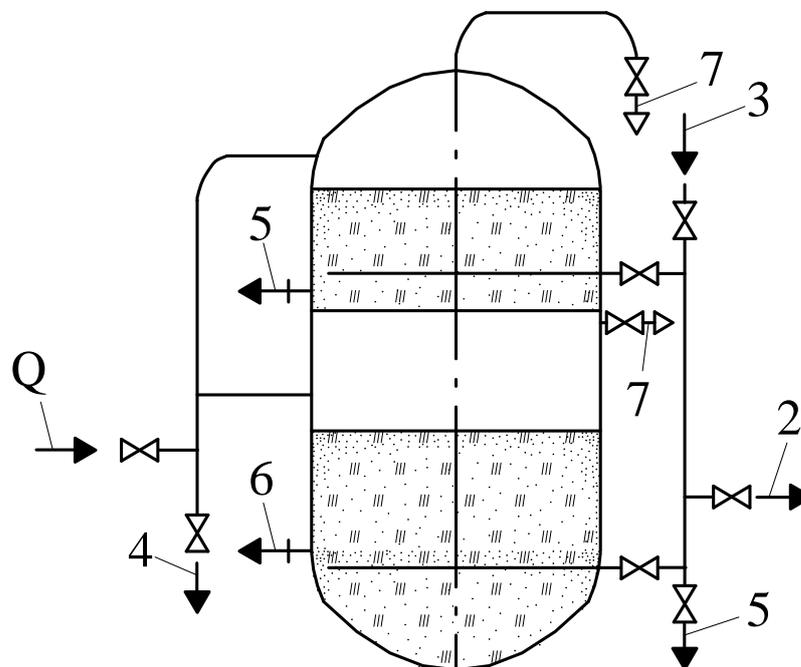


Рис. 4.1– Схема механического вертикального двухкамерного фильтра

- 1 – подвод исходной воды;
- 2 – отвод обработанной воды;
- 3 – подвод промывочной воды;
- 4 – отвод промывочной воды;
- 5 – сброс первого фильтрата;
- 6 – гидровыгрузка фильтрующего материала;
- 7 – воздушник.

Расчет механических фильтров выполняется исходя из производительности, учитывающей расход осветленной воды на собственные нужды всех установленных фильтров.

Необходимая площадь фильтрования приблизительно определяется по формуле:

$$F' = \frac{Q}{w}, \text{ м}^2,$$

где  $Q$  – производительность фильтров по осветленной воде без учета расхода воды на их собственные нужды,  $Q = 1300 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;

$w$  – скорость фильтрования при нормальном режиме работы фильтров, м/ч, указанная в таблице 4.1,  $w = 10 \text{ м/ч}$ .

$$F' = \frac{1300}{10} = 130 \text{ м}^2,$$

Таблица 4.1 – Расчетная скорость фильтрования в механических фильтрах

Фильтрующий материал	Диаметр зерна, мм	Скорость фильтрования, м/ч	
		нормальная	максимальная
Антрацит	0,5 – 1,2	6,0	7,5
Антрацит	0,8 – 1,8	10,0	12,0
Кварц	0,5 – 1,2	10,0	12,0

Исходя из соображений эксплуатационной надежности число одновременно работающих фильтров одинакового диаметра принимается не менее трех.

Необходимая площадь фильтрования каждого фильтра определяется по формуле:

$$f' = \frac{F'}{n},$$

где  $f'$  – необходимая площадь фильтрования каждого фильтра,  $\text{м}^2$ ;

$n$  – количество фильтров, возьмем  $n = 10$ .

По таблице Б подбирается площадь  $f$  серийно выпускаемых заводами фильтров с округлением полученного по формуле значения в сторону увеличения ( $f > f'$ )  $f' = 14,2 \text{ м}^2$ .

Таблица 4.2 – Основные размеры стандартных механических фильтров

Наименование параметра	Фильтр	Диаметр фильтра, мм					
		1000	1600	2000	2600	3000	3400
Площадь фильтрования, $\text{м}^2$	Однокамерный	0,79	1,77	3,14	5,30	7,10	9,10
	Двухкамерный	1,58	3,54	6,28	10,6	14,2	18,2
Высота слоя, мм	Однокамерный	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	Двухкамерный	900	900	900	900	900	900

Расход воды на взрыхляющую промывку каждого фильтра определяется по формуле:

$$q_{\text{взр}} = \frac{f \cdot i \cdot t_{\text{взр}} \cdot 60}{1000}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $f$  – площадь фильтрования каждого фильтра,  $\text{м}^2$ ;

$i$  – интенсивность взрыхления фильтра, которая принимается для фильтров, загруженных антрацитом, в пределах 10–12 л/(с· $\text{м}^2$ ),

$$i = 11 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2);$$

$t_{\text{взр}}$  – продолжительность взрыхляющей промывки фильтра, которая принимается для фильтров, загруженных антрацитом, в пределах 5–6 мин,  $t_{\text{взр}} = 6$  мин.

$$q_{\text{взр}} = \frac{14,2 \cdot 11 \cdot 6 \cdot 60}{1000} = 56,232 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Расход воды на отмывку механических фильтров путем спуска в дренаж первого мутного фильтрата со скоростью 4 м/ч в течение 10 мин определяется по формуле:

$$q_{\text{отм}} = \frac{f \cdot w \cdot t_{\text{отм}}}{60}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $w$  – скорость фильтрования, м/ч;

$t_{\text{отм}}$  – продолжительность отмывки фильтра,  $t_{\text{отм}} = 10$  мин.

$$q_{\text{отм}} = \frac{14,2 \cdot 10 \cdot 10}{60} = 23,667 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Часовой расход воды на собственные нужды всех фильтров определяется по формуле:

$$q_{\text{ч}} = \frac{(q_{\text{взр}} + q_{\text{отм}}) \cdot m \cdot n}{24}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $m$  – количество отмывок каждого фильтра в сутки, принимается равным 1–3,  $m = 2$ .

$$q_{\text{ч}} = \frac{(56,232 + 23,667) \cdot 2 \cdot 10}{24} = 66,583, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Производительность механических фильтров с учетом расхода воды на их собственные нужды определяется по формуле:

$$Q_{\text{бр}} = Q + q_{\text{ч}}, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

$$Q_{\text{бр}} = 1300 + 66,583 = 1366,58 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Действительная скорость фильтрования при работе всех фильтров равна:

$$w_n = \frac{Q_{\text{бр}}}{n \cdot f}, \text{ м/ч},$$

$$w_n = \frac{1366,58}{10 \cdot 14,2} = 9,62 \text{ м/ч},$$

а во время выключения одного из фильтров на промывку

$$w_{n-1} = \frac{Q_{\text{бр}}}{(n-1) \cdot f}, \text{ м/ч},$$

$$w_{n-1} = \frac{1366,58}{(10-1) \cdot 14,2} = 10,69 \text{ м/ч}.$$

Кроме одновременно работающих механических фильтров, на каждую их группу, устанавливается один дополнительный фильтр такого же диаметра без загрузки его фильтрующим материалом, который используется для гидроперегрузки во время ревизии или ремонта одного из фильтров.

Высота фильтрующего слоя принимается по данным таблицы 4.2 для стандартных механических фильтров.

Продолжительность полезной работы фильтра  $T$  между промывками определяется из уравнения:

$$\Gamma \cdot f \cdot h = \frac{G_s \cdot Q_{\text{бр}}}{1000 \cdot n} (T + t), \text{ кг},$$

где  $\Gamma$  – удельная грязеемкость фильтрующего материала,  $\Gamma = 1,5 \text{ кг/м}^3$ , (см. таблицу 4.3);

$h$  – высота входной части осветлителя,  $h = 9,4 \text{ м}$ ;

$G_s$  – концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей на осветлительные фильтры,  $\text{г/м}^3$ ;  $G_s = 10 \text{ г/м}^3$  для схем ВПУ с осветлителями;

$t$  – продолжительность операций, связанных с промывкой фильтра,  $t = 0,5$  ч.

$$T = \left( \frac{G \cdot f \cdot h \cdot 1000 \cdot n}{G_6 \cdot Q_{6p}} \right) - t = \left( \frac{1,5 \cdot 14,2 \cdot 9,4 \cdot 1000 \cdot 10}{10 \cdot 1366,58} \right) - 0,5 = 146,0 \text{ ч.}$$

Таблица 4.3 – Удельная грязеемкость фильтрующих материалов, кг/м<sup>3</sup>

Фильтрующие материалы	Коагуляция без осветлителя	Коагуляция с осветлителем	Без коагуляции
Антрацит	1,75	1,5	1,0
Кварц или мрамор	1,5	1,25	0,75

Суточное количество циклов каждого фильтра определяется по формуле:

$$m = \frac{24}{T + t} = \frac{24}{146,0 + 0,5} = 0,16.$$

## 4.2 Конструктивный расчет

Диаметр патрубков определяется по следующей формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot W}},$$

где  $V$  – объемный расход жидкости, м<sup>3</sup>/с;

$W$  – скорость потока при движении жидкости в трубопроводах,

$W = 0,5–5$  м/с.

Объемный расход жидкости, приходящейся на один фильтр  $V$ , м<sup>3</sup>/ч, определяем по формуле:

$$V = \frac{Q}{n} = \frac{1300}{05} = 0,036 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $n$  – общее количество фильтров.

Тогда диаметр патрубка для подвода и отвода исходной воды в камерах получаем:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,036}{3,14 \cdot 1,2}} = 0,195 \text{ м.}$$

Подбираем стандартный патрубок  $d=200$ мм

Диаметр патрубков для подвода и отвода промывочной воды рассчитываем как:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,036}{3,14 \cdot 1,2}} = 0,195 \text{ м.}$$

Подбираем стандартный патрубок  $d=200\text{мм}$  по [3]

Подбираем для данного аппарата стандартные фланцевые штуцера и стандартные приварные фланцы, а также параметры эллиптического днища фильтра.

Конструкция стандартного фланцевого штуцера и его основные параметры представлены на рисунке 4.2.

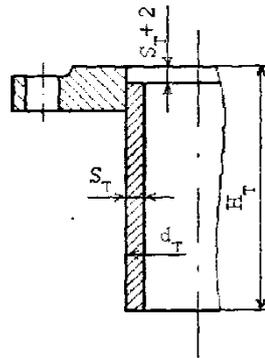


Рис. 4.2 – Конструкция стандартного фланцевого штуцера

В таблице 4.4 представлены размеры стандартных фланцевых штуцеров.

Таблица 4.4- Размеры стандартных фланцевых штуцеров [3]

Наименование	$D_y$ , мм	$d_T$ , мм	$S_T$ , мм	$H_T$ , мм
для исходной воды и промывочной воды	200	219	6	160;220
для сброса первого фильтрата и гидровыгрузки фильтрующего материала	100	108	5	155;215
для воздушника	50	57	3	155;215
дренаж	80	89	3	155;215

На рисунке 4.3 представлена конструкция стандартного приварного фланца, а в таблице 4.5 представлены его размеры для труб и трубной арматуры.

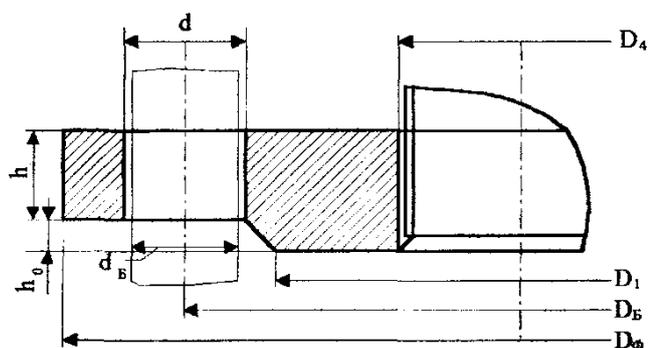


Рис. 4.3 - Конструкция стандартного приварного фланца

Таблица 4.5- Размеры стандартных приварных фланцев [3]

$D_y$ , мм	$D_\phi$ , мм	$D_B$ , мм	$D_1$ , мм	$D_4$ , мм	$h$ , мм	$d$ , мм	$z$
80	185	150	128	91	15	18	4
100	205	170	148	110	15	18	4
200	315	280	258	234	19	20	8

В таблице 4.6 представлены размеры стандартных отбортованных эллиптических днищ с внутренним базовым диаметром для фильтра.

Таблица 4.6– Размеры отбортованного эллиптического днища

$D$ , мм	$s_D$ , мм	$H_D$ , мм	$h_{Ц}$ , мм	$F_D$ , м <sup>2</sup>	$V_D$ , м <sup>3</sup>
3000	10-18	750	60	10,32	3,9423

### 4.3 Гидравлический расчёт

Цель гидравлического расчета: определение гидравлического сопротивления фильтра.

$$\Delta P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4,$$

где  $P_1, P_3$  – гидравлическое сопротивление исходной воды, поступающей из трубопровода и рассеиваемой на фильтрующий материал;

$P_2, P_4$  – гидравлическое сопротивление рассеянной воды при прохождении её через фильтрующий материал.

Гидравлическое сопротивление слоя воды:

$$P_1 = P_3 = \rho_{\text{воды}} \cdot g \cdot h_{\text{воды}},$$

где  $h_{\text{воды}}$  – высота слоя воды,  $h_{\text{воды}} = 1$  м;

$\rho_{\text{воды}}$  – плотность воды при температуре  $30$  °С,  $\rho_{\text{воды}} = 996$  кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>;

$$P_1 = P_3 = 996 \cdot 9,8 \cdot 1 = 9760,8 \text{ Па}.$$

Гидравлическое сопротивление слоя фильтрата:

$$P_2 = P_4 = \rho_{\text{фильтрата}} \cdot g \cdot h_{\text{фильтрата}},$$

где  $h_{\text{фильтрата}}$  – высота слоя фильтрата,  $h_{\text{фильтрата}} = 0,9$  м;

$\rho_{\text{фильтрата}}$  – плотность фильтрата,  $\rho_{\text{фильтрата}} = 650$  кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>;

$$P_2 = P_4 = 650 \cdot 9,8 \cdot 0,9 = 5733 \text{ Па}.$$

Гидравлическое сопротивление фильтра равно:

$$\Delta P = 9760,8 + 5733 + 9760,8 + 5733 = 30987,6 \text{ Па}.$$

Рассчитаем полезную мощность:

$$N_n = \Delta P Q = 30987,6 \cdot 1990/3600 = 17129,3 \text{ Вт}.$$

## 4.4 Прочностной расчет

### 4.4.1 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки

Определяем толщину стенки сварной цилиндрической обечайки корпуса фильтра, работающего под избыточным внутренним давлением, по следующим данным [4]:

- материал обечайки – сталь марки Ст3;
- проницаемость материала обечайки в рабочей среде  $\Pi = 0,06$  мм/год (прибавка на коррозию, эрозию  $C_1 = 1$  мм;  $C_3 = 0$ );
- среда – вода,  $\rho_{\text{ж}} = 996$  кг/м<sup>3</sup> ;
- температура  $t = 30$  °С;
- внутренний диаметр  $D = 3,0$  м;
- высота слоя антрацита  $H_1 = 0,9$  м;
- шов продольный сварной стыковой двухсторонний ( $\varphi_{\text{ш}} = 1$ );
- рабочее давление  $P_{\text{раб}} = 0,6$  МПа;

- давление при испытании  $P_{исп} = 0,75$  МПа;
- коэффициент прочности  $\varphi_p = 0,9$ ;
- поправочный коэффициент  $\eta = 1$ ;
- высота пространства занятого водой  $H_2 = 1,0$  м.

### Рабочие условия

Расчётное давление  $P$ , Н/м<sup>2</sup> с учётом гидростатического столба жидкости рассчитываем по формуле:

$$P_R = P_{раб} + g \cdot \rho_{ж} \cdot 2 \cdot H_2 + g \cdot \rho_a \cdot 2 \cdot H_1,$$

где  $\rho_a$  - плотность антрацита,  $\rho_a = 650$  кг/м<sup>3</sup>.

$$P_R = 0,6 \cdot 10^6 + 9,8 \cdot 996 \cdot 2 \cdot 0,9 + 9,8 \cdot 650 \cdot 2 \cdot 1 = 0,630 \text{ МПа.}$$

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 154 \\ 149 \end{pmatrix} \quad tp := 30$$

$$\sigma^* := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, tp), 0.5)$$

$$\sigma^* = 153 \text{ МПа}$$

Номинальное напряжение стали  $\sigma^* = 153$  МПа.

Допускаемое напряжение определяем по формуле [5]:

$$[\sigma] = \eta \sigma^* = 1 \times 153 = 153 \text{ МПа.}$$

Номинальную расчётную толщину стенки обечайки  $S_R$  м, для данного отношения определяем по формуле [5]:

$$S_R = \frac{P_R D}{2[\sigma]\varphi_p - P_R} = \frac{0,630 \cdot 3,0}{2 \cdot 153 \cdot 0,9 - 0,630} = 6,9 \text{ мм.}$$

Выбираем прибавку на округление толщины стенки (до ближайшего размера по сортаменту)  $C_2 = 0,5$  мм. Суммарную прибавку к номинальному размеру стенки  $C$ , мм, определяем по формуле:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 1 + 0,5 + 0 = 1,5 \text{ мм.}$$

Толщину стенки обечайки  $S$ , мм, находим по формуле:

$$S = S_R + C,$$

$$S = 6,9 + 1,5 = 8,4 \text{ мм.}$$

Округляем до 10 мм.

Проверим уравнение:

$$\frac{S - C_k}{D} = \frac{10 - 1,5}{3000} = 0,0028 < 0,1,$$

т.е. условие выполнено.

Допускаемое давление в обечайке определяем по формуле:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p (S - C)}{D + (S - C)} = \frac{2 \cdot 153 \cdot 0,9 \cdot (10 - 1,5) \cdot 10^{-3}}{3,4 + (10 - 1,5) \cdot 10^{-3}} = 0,78 \text{ МПа.}$$

Расчет произведен, верно, так как выполняется условие, что  $P_R \leq [P]$ .

### Условия испытаний

Расчётное давление  $P$ ,  $\text{Н/м}^2$  с учётом гидростатического столба жидкости рассчитываем по формуле:

$$P_R = P_{\text{исп}} + g \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot 2 \cdot H_2 + g \cdot \rho_{\alpha} \cdot 2 \cdot H_1,$$

где  $\rho_{\alpha}$  - плотность катионита,  $\rho_{\alpha} = 650 \text{ кг/м}^3$ .

$$P_R = 0,75 \cdot 10^6 + 9,8 \cdot 996 \cdot 2 \cdot 0,9 + 9,8 \cdot 650 \cdot 2 \cdot 1 = 0,780 \text{ МПа.}$$

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 154 \\ 149 \end{pmatrix} \quad t_p := 30$$

$$\sigma^* := \text{Floor} (\text{linterp} (t, \sigma, t_p), 0,5)$$

$$\sigma^* = 153 \text{ МПа}$$

Номинальное напряжение стали  $\sigma^* = 153 \text{ МПа}$ .

Допускаемое напряжение определяем по формуле [5]:

$$[\sigma] = \eta \sigma^* = 1 \times 153 = 153 \text{ МПа.}$$

Номинальную расчётную толщину стенки обечайки  $S_R$  м, для данного отношения определяем по формуле [5]:

$$S_R = \frac{P_R D}{2[\sigma]\varphi_p - P_R} = \frac{0,780 \cdot 3,4}{2 \cdot 153 \cdot 0,9 - 0,780} = 8,52 \text{ мм.}$$

Выбираем прибавку на округление толщины стенки (до ближайшего размера по сортаменту)  $C_2 = 0,5 \text{ мм}$ . Суммарную прибавку к номинальному размеру стенки  $C$ , мм, определяем по формуле:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 1 + 0,5 + 0 = 1,5 \text{ мм} .$$

Толщину стенки обечайки  $S$ , мм, находим по формуле:

$$S = S_R + C,$$

$$S = 8,52 + 1,5 = 10,02 \text{ мм} .$$

Округляем до 12 мм.

Проверим уравнение:

$$\frac{S - C_k}{D} = \frac{12 - 1,5}{3000} = 0,0035 < 0,1 ,$$

т.е. условие выполнено.

Допускаемое давление в обечайке определяем по формуле:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p (S - C)}{D + (S - C)} = \frac{2 \cdot 153 \cdot 0,9 \cdot (12 - 1,5) \cdot 10^{-3}}{3,4 + (12 - 1,5) \cdot 10^{-3}} = 0,961 \text{ МПа} .$$

Расчет произведен, верно, так как выполняется условие, что  $P_R \leq [P]$ .

#### 4.4.2 Расчет толщины стенки эллиптического днища

Определяем толщину стенки нижнего стандартного отбортованного эллиптического днища для обечайки вертикального аппарата по следующим данным [4]:

- материал обечайки – сталь марки Ст 3;
- диаметр днища  $D = 3,0 \text{ м}$ ;
- высота днища  $H = 0,75 \text{ м}$
- днище сварное из двух частей, сварной шов ручной электродуговой ( $\varphi_{ш} = 1,0$ );
- давление среды  $P_c = 0,6 \text{ МПа}$ ;
- допускаемое напряжение  $\sigma_d = 153 \text{ МПа}$ ;
- прибавка на коррозию и эрозию  $C_1 = 1 \text{ мм}$ ;
- плотность бетона  $\rho_B = 2000 \text{ кг/м}^3$ ;

Рабочие условия

Расчётное давление в нижней части обечайки рассчитываем по формуле:

$$P_R = P_c + g\rho_6 H = 0,6 + 9,8 \cdot 2000 \cdot 0,75 \cdot 10^{-6} = 0,609 \text{ МПа};$$

Номинальную расчётную толщину стенки обечайки  $S_R$ , м, для данного отношения определяем по формуле:

$$S_R = \frac{P_R \cdot R}{2 \cdot \sigma_D \cdot \varphi_{ш} - P_R \cdot 0,5},$$

где  $R$  – радиус кривизны в вершине днища,  $R = D^2/(4H)$ ;  $R = D$  – для эллиптических днищ с  $H = 0,25D$ ;  $H = 0,25 \cdot 3,0 = 0,75$  м;

Тогда 
$$S_R = \frac{0,609 \cdot 3,0}{2 \cdot 153 \cdot 1 - 0,609 \cdot 0,5} = 5,98 \text{ мм}$$

Выбираем прибавку на округление толщины стенки (до ближайшего размера по сортаменту)  $C_2 = 0,7$  мм. Суммарную прибавку к номинальному размеру стенки  $C$ , мм, определяем по формуле:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 1 + 0,7 + 0 = 1,7 \text{ мм}.$$

Толщину стенки днища с учетом прибавок находим по формуле:

$$S = S_R + C,$$

$$S = 5,98 + 1,7 = 7,68 \text{ мм}.$$

Округляем до 10 мм, как и у обечайки.

Допускаемое давление в днище определяем по формуле:

$$P_D = \frac{2 \cdot \sigma_D \cdot \varphi_{ш} (S - C)}{R + (S - C) \cdot 0,5} = \frac{2 \cdot 153 \cdot 1 \cdot (10 - 1,7) \cdot 10^{-3}}{3,0 + (10 - 1,7) \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}} = 0,845 \text{ МПа}.$$

### Условия испытаний

Расчётное давление в нижней части обечайки рассчитываем по формуле:

$$P_R = P_c + g\rho_6 H = 0,75 + 9,8 \cdot 2000 \cdot 0,75 \cdot 10^{-6} = 0,765 \text{ МПа};$$

Номинальную расчётную толщину стенки обечайки  $S_R$ , м, для данного отношения определяем по формуле:

$$S_R = \frac{P_R \cdot R}{2 \cdot \sigma_D \cdot \varphi_{ш} - P_R \cdot 0,5},$$

где  $R$  – радиус кривизны в вершине днища,  $R = D^2/(4H)$ ;  $R = D$  – для эллиптических днищ с  $H = 0,25D$ ;  $H = 0,25 \cdot 3,0 = 0,75$  м;

$$\text{Тогда} \quad S_R = \frac{0,765 \cdot 3,0}{2 \cdot 153 \cdot 1 - 0,765 \cdot 0,5} = 7,51 \text{ мм}$$

Выбираем прибавку на округление толщины стенки (до ближайшего размера по сортаменту)  $C_2 = 0,7$  мм. Суммарную прибавку к номинальному размеру стенки  $C$ , мм, определяем по формуле:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 1 + 0,7 + 0 = 1,7 \text{ мм}.$$

Толщину стенки днища с учетом прибавок находим по формуле:

$$S = S_R + C,$$

$$S = 7,51 + 1,7 = 9,21 \text{ мм}.$$

Округляем до 12 мм, как и у обечайки.

Допускаемое давление в днище определяем по формуле:

$$P_D = \frac{2 \cdot \sigma_D \cdot \varphi_{ш} (S - C)}{R + (S - C) \cdot 0,5} = \frac{2 \cdot 153 \cdot 1 (12 - 1,7) \cdot 10^{-3}}{3,0 + (12 - 1,7) \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}} = 1,049 \text{ МПа}.$$

Верхнее днище выбираем такое же, как и нижнее из конструктивных соображений.

#### 4.4.3. Расчет укрепления отверстий

**Наибольший допустимый диаметр неукрепленного отверстия в обечайке  $D=3000$  мм.**

*Наибольший допустимый диаметр отверстия*, не требующий дополнительного укрепления, определяется по формуле:

$$d_0 = 2 \times \left( \frac{S - C}{S_R} - 0,8 \right) \times \sqrt{D_R (S - C)},$$

где  $S = 12$  мм – исполнительная толщина стенки;

$S_R$  – расчетная толщина стенки;

$D_R$  – расчетный внутренний диаметр;

$C = 1$  мм – прибавка на коррозию и минусовый допуск.

$$d_0 = 2 \times \left( \frac{12 - 1}{8,52} - 0,8 \right) \times \sqrt{3000 \times (12 - 1)} = 89 \text{ мм}$$

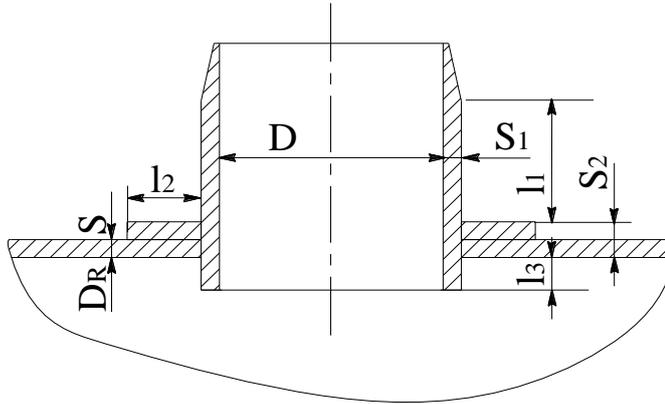
$$D_R = D = 3000 \text{ мм.}$$

Следовательно, отверстия  $D_y$  больше 89 мм требуют укрепления.

**Укрепление отверстия  $D_y$  750 с помощью штуцера и кольца.**

Условия укрепления отверстия:

$$l_{1R}(S_1 - S_{1R} - C_s) + l_{2R} \times S_2 + l_{3R}(S_1 - 2C_s) + l_R(S - S_R - C) \geq 0.5(d_R - d_{OR})S_R$$



Расчетную длину внешней части штуцера находим как:

$$l_{1R} = \min \{l_1; 1,25\sqrt{(d + 2C_s)(S_1 - C_s)}\} = \min \{110; 1,25\sqrt{(750 + 2 \times 1)(19,5 - 1)}\} = \\ = \min \{110; 143,5\} = 110 \text{ мм}$$

$l_1$  - длина внешней части штуцера,  $l_1 = 110$  мм;

$d$  - внутренний диаметр штуцера,  $d = 750$  мм;

$S_1$  - толщина стенки штуцера,  $S_1 = 19,5$  мм;

$\phi_1$  - продольный шов штуцера,  $\phi_1 = 0,9$ ;

$\phi$  - шов обечайки в зоне врезки штуцера,  $\phi = 0,9$ ;

$P$  - расчетное внутреннее избыточное давление,  $P = 0,65$  МПа.

Расчетную толщину стенки штуцера определяем как:

$$S_{1R} = \frac{P(d + 2C_s)}{2\phi_1 \times [\sigma] - P} = \frac{0,65(750 + 2 \times 1)}{2 \times 0,9 \times 153 - 0,65} = 1,779 \text{ мм}$$

Расчетную ширину накладного кольца рассчитываем как:

$$l_{2R} = \min \{l_2; \sqrt{D_R(S_2 + S - C)}\} = \min \{195; \sqrt{3000(20 + 9 - 1)}\} = 195 \text{ мм}$$

толщина накладного кольца  $S_2 = 20$  мм,

ширина накладного кольца,  $l_2 = 195$  мм;

Расчетную длину внутренней части штуцера находим как:

$$l_{3R} = \min \left\{ l_3; 0,5 \sqrt{(d + 2C_S)(S_1 - 2C_S)} \right\} = \min \left\{ 8; 0,5 \sqrt{(750 + 2 \times 1)(19,5 - 2 \times 1)} \right\} = \{8; 57\} = 8 \text{ мм}$$

$l_3$  - длина внутренней части штуцера,  $l_3=8$  мм

Расчетную ширину зоны укрепления определяем как:

$$l_R = \sqrt{D_R(S - C)} = \sqrt{3000(12 - 1)} = 182 \text{ мм}$$

$$d_R = d + 2C_S = 750 + 2 \times 1 = 752 \text{ мм}$$

$$d_{0R} = 0,4 \sqrt{D_R(S - C)} = 0,4 \sqrt{3000(12 - 1)} = 73 \text{ мм}$$

$$l_{1R}(S_1 - S_{1R} - C_S) + l_{2R} \times S_2 + l_{3R}(S_1 - 2C_S) + l_R(S - S_R - C) \geq 0,5(d_R - d_{0R})S_R$$

$$110(19,5 - 1,779 - 1) + 195 \times 20 + 8(19,5 - 2 \times 1) + 193(12 - 8,52 - 1) \geq 0,5(752 - 77)11,16$$

$$5848,43 > 3766,5$$

Принимаем толщину стенки штуцера  $S_1=19,5$  мм, толщина накладного кольца  $S_2=20$ мм, ширина накладного кольца,  $l_2=19,5$  мм

### **Укрепление отверстия $D_y 200$ с помощью штуцера и кольца.**

Условия укрепления отверстия:

$$l_{1R}(S_1 - S_{1R} - C_S) + l_{2R} \times S_2 + l_{3R}(S_1 - 2C_S) + l_R(S - S_R - C) \geq 0,5(d_R - d_{0R})S_R$$

Расчетную длину внешней части штуцера находим как:

$$l_{1R} = \min \left\{ l_1; 1,25 \sqrt{(d + 2C_S)(S_1 - C_S)} \right\} = \min \left\{ 100; 1,25 \sqrt{(220 + 2 \times 1)(6,8 - 1)} \right\} = \min \{100; 45\} = 45 \text{ мм}$$

$l_1$  - длина внешней части штуцера,  $l_1=100$  мм;

$d$  - внутренний диаметр штуцера,  $d=220$  мм;

$S_1$  - толщина стенки штуцера,  $S_1=6,8$  мм;

$\varphi_1$  - продольный шов штуцера,  $\varphi_1=0,9$ ;

$\varphi$  - шов обечайки в зоне врезки штуцера,  $\varphi=0,9$ ;

$P$  - расчетное внутреннее избыточное давление,  $P=0,65$ МПа.

Расчетную толщину стенки штуцера определяем как:

$$S_{1R} = \frac{P(d + 2C_S)}{2\varphi_1 \times [\sigma] - P} = \frac{0,65(220 + 2 \times 1)}{2 \times 0,9 \times 153 - 0,65} = 0,53 \text{ мм}$$

Расчетную ширину накладного кольца рассчитываем как:

$$l_{2R} = \min \left\{ l_2; \sqrt{D_R(S_2 + S - C)} \right\} = \min \left\{ 85; \sqrt{3400(8 + 12 - 1)} \right\} = 85 \text{ мм}$$

толщина накладного кольца  $S_2=8$  мм,

ширина накладного кольца,  $l_2=85$  мм;

Расчетную длину внутренней части штуцера находим как:

$$l_{3R} = \min \{l_3; 0,5\sqrt{(d + 2C_S)(S_1 - 2C_S)}\} = \min \{10; 0,5\sqrt{(220 + 2 \times 1)(6,8 - 2 \times 1)}\} = \\ = \{10; 16\} = 10 \text{ мм}$$

$l_3$  - длина внутренней части штуцера,  $l_3=10$  мм

Расчетную ширину зоны укрепления определяем как:

$$l_R = \sqrt{D_R(S - C)} = \sqrt{3000(12 - 1)} = 182 \text{ мм}$$

$$d_R = d + 2C_S = 220 + 2 \times 1 = 222 \text{ мм}$$

$$d_{OR} = 0,4\sqrt{D_R(S - C)} = 0,4\sqrt{3000(12 - 1)} = 73 \text{ мм}$$

$$l_{1R}(S_1 - S_{1R} - C_S) + l_{2R} \times S_2 + l_{3R}(S_1 - 2C_S) + l_R(S - S_R - C) \geq 0,5(d_R - d_{OR})S_R$$

$$45(6,8 - 0,53 - 1) + 85 \times 10 + 10(6,8 - 2 \times 1) + 193(12 - 8,52 - 1) \geq 0,5(222 - 77)11,16 \\ 1104,3 > 809,1$$

Принимаем толщину стенки штуцера  $S_1=6,8$  мм, толщина накладного кольца  $S_2=8$ мм, ширина накладного кольца,  $l_2=85$  мм

#### 4.4.4 Расчет опор [3]

Определение массы пустого аппарата:

$$m_{АП} = V_{АП} \cdot \rho_{Fe}$$

где  $\rho_{Fe}$  – плотность стали, равная  $7800$  кг/м<sup>3</sup>;

$V_{АП}$  – объем аппарата, м<sup>3</sup>.

$$V_{АП} = (V_{Ц,ОБ} + V_{ДН} + V_{КР}) \cdot 1,3$$

Найдём объём цилиндрической обечайки:

$$V_{Ц,ОБ} = \pi \cdot D \cdot 2 \cdot (H_1 + H_2) \cdot \delta_{ст},$$

где  $H_1$  – высота слоя воды,  $H_1 = 1$  м;

$H_2$  – высота слоя антрацита,  $H_2 = 0,9$  м;

$\delta_{ст}$  – толщина стенки обечайки,  $\delta_{ст} = 14 \cdot 10^{-3}$  м;

$D$  – диаметр обечайки,  $D = 3$  м,

$$V_{Ц,ОБ} = 3,14 \cdot 3 \cdot (1 + 0,9) \cdot 2 \cdot 14 \cdot 10^{-3} = 0,501 \text{ м}^3.$$

Найдём объём днища:

$$V_{\text{дн}} = \pi \cdot D \cdot H \cdot \delta_{\text{ст}},$$

где  $H$  – высота днища,  $H = 0,75$  м;

$\delta_{\text{ст}}$  – толщина стенки днища,  $\delta_{\text{ст}} = 14 \cdot 10^{-3}$  м;

$D$  – диаметр днища,  $D = 3$  м,

Тогда:  $V_{\text{дн}} = 3,14 \cdot 3 \cdot 0,75 \cdot 14 \cdot 10^{-3} = 0,099$  м<sup>3</sup>,

Из конструкции аппарата видно, что объём крышки равен объёму днища:

$$V_{\text{кр}} = V_{\text{дн}} = 0,099 \text{ м}^3.$$

$$V_{\text{АП}} = (0,501 + 0,099 + 0,099) \cdot 1,3 = 0,909 \text{ м}^3;$$

$$m_{\text{АП}} = 0,909 \cdot 7800 = 7091 \text{ кг}.$$

Определим массу антрацита по следующей формуле:

$$m_a = \rho_a \cdot V_a,$$

где  $\rho_a$  – плотность антрацита,  $\rho_a = 550$  кг/м<sup>3</sup>;

$V_a$  – объём антрацита,  $V_a = f \cdot h_a$ ;

$h_a$  – высота слоя антрацита,  $h_a = 0,9$  м.

Тогда  $V_a = 14,2 \cdot 0,9 = 12,78$  м<sup>3</sup>;

$$m_a = 550 \cdot 12,78 = 7029 \text{ кг}.$$

Определение массы воды находящейся в фильтре.

Высота слоя воды, находящейся в фильтре составляет 1 м.

$$V_{\text{воды}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h_{\text{воды}};$$

$$V_{\text{воды}} = \frac{3,14 \cdot 3^2}{4} \cdot 1 = 2,36 \text{ м}^3;$$

$$m_{\text{воды}} = 2,36 \cdot 997 = 2349 \text{ кг}.$$

Находим массу аппарата в рабочем состоянии:

$$m_{\text{АПраб}} = m_{\text{АП}} + m_a + m_{\text{воды}},$$

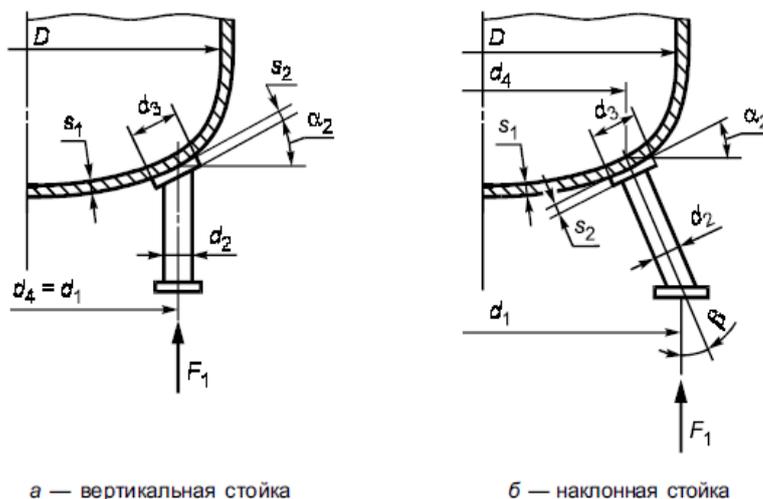
$$m_{\text{АПраб}} = 7091 + 7029 \cdot 2 + 2349 \cdot 2 = 25850 \text{ кг}$$

Нагрузку, на одну опору рассчитываем по формуле:

$$G = \frac{m_{\text{Апраб}}}{n} \cdot g$$

где  $n$  - стандартное количество опор, равное 3шт.

$$G = \frac{25850}{3} \cdot 9,8 = 42,22 \text{ кН.}$$



### Аппарат из стали 3

- $t_{\text{rab}} := 30$       рабочая температура в аппарате, °С;
- $\sigma_t := 153$       допустимое напряжение при расчетной температуре, МПа;
- $c_1 := 1$       сумма прибавок к расчетной толщине стенки, мм;
- $P_{\text{rab}} := 0.75$       внутреннее избыточное или наружное давление, МПа
- $\phi := 1$       коэффициент прочности сварных швов обечайки, расположенных в области опорного узла;
- $D := 3000$       внутренний диаметр цилиндрической обечайки или выпуклого днища, мм;
- $H := 750$       высота выпуклой части днища по внутренней поверхности без учета цилиндрической отбортовки, мм;
- $R := \frac{D}{2}$       радиус цилиндрической обечайки или выпуклого днища, мм;
- $\beta := 1 \cdot \text{deg}$       угол между осью опорной стойки и вертикалью;
- $d_2 := 400$       наружный диаметр опорной стойки, мм;
- $d_e := d_2$       эффективный диаметр опорной стойки, мм;
- $H_1 := 22006$       диаметр опорной стойки, мм;
- $H_2 := 502230$       диаметр опорной стойки, мм;

### Тип закрепления стоек:

допускаемое напряжение при температуре 20 °С, МПа;

$\sigma_{20} := 154$  предел текучести при расчетной температуре, МПа;

tz = 1

tz :=

Свободные стойки
Закрепленные стойки

### Тип днища:

td = 1

td :=

Эллиптическое днище
Горосферическое днище типа_A
Горосферическое днище типа_B
Горосферическое днище типа_C

### Выберите условия работы:

ÓÐ = 1

ÓÐ :=

Рабочие условия
Условия испытаний

### Расчёт:

Расчётная температура

$$t := \begin{cases} \max(t_{\text{rab}}, 20) & \text{if } \text{ÓÐ} = 1 \\ 20 & \text{if } \text{ÓÐ} = 2 \end{cases}$$

$$t = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемое напряжение при расчетной температуре:

$$\sigma_d := \begin{cases} \sigma_t \cdot \phi & \text{if } \text{ÓÐ} = 1 \\ \frac{\sigma_0}{1.1} & \text{if } \text{ÓÐ} = 2 \end{cases}$$

$$\sigma_d = 153 \text{ } \text{МПа}$$

Расчётное давление:

$$p := \begin{cases} p_{rab} & \text{if } \text{ÓÐ} = 1 \\ 1.25 \cdot p_{rab} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma_t} & \text{if } \text{ÓÐ} = 2 \end{cases}$$

$$p = 0.75 \text{ МПа}$$

Исполнительная толщина стенки корпуса:

$$s_r := \frac{p \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - p}$$

$$s_{\text{нн}} := \text{floor}(s_r + c_1 + 1)$$

$$s = 9 \text{ мм}$$

**Действие момента на опору :**

$$M := \begin{cases} 0 & \text{if } tz = 1 \\ 1 \times 10^3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$M = 0 \text{ Н·м}$$

Выбираем количество стоек:

$$n := \begin{matrix} 3 \text{ стойки} \\ 4 \text{ стойки} \end{matrix} \quad n = 1$$

Вертикальное усилие на опорную стойку:

$$F_1 := \begin{cases} \left( \frac{G}{3} + \frac{M}{0.75 \cdot d_4} \right) & \text{if } n = 1 \\ \frac{G}{2} + \frac{M}{d_4} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_1 = 8.444 \times 10^4 \text{ Н}$$

Проверка условий, допускающих действие момента:



**Допускаемое вертикальное усилие:**

$$F_{d1} := 1.57 \cdot \sigma_d \cdot (s - c_1)^2 \cdot \frac{\cos(\beta)}{\cos(\alpha_2 - \beta)} \cdot \sqrt{1 + 5 \cdot \frac{d_e^2}{r_m \cdot (s - c_1)}}$$

$$F_{d1} = 1.205 \times 10^5 \text{ Í}$$

**Допускаемое давление:**

$$p_d := \frac{2 \cdot (s - c_1) \cdot \phi \cdot \sigma_d}{\sqrt{3} \cdot (s - c_1)}$$

$$p_d = 1.628 \text{ Í}$$

**Проверка несущей способности выпуклого днища:**

$$\text{Í} := \begin{cases} \text{"Óñéíâåá áùíñéý áðñý."} & \text{if } \left| \frac{F_1 - p \cdot \frac{\pi \cdot d_e^2}{4}}{F_{d1}} + \frac{p}{p_d} \leq 1 \right. \\ & \left. \frac{F_1}{F_{d1}} \leq 1 \right. \\ \text{"Óñéíâåá ÍÁ áùíñéý áðñý."} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Í} = \text{"Óñéíâåá áùíñéý áðñý."}$$

Выбираем **В**

качестве опоры трубу с накладкой со следующими параметрами:  $D_{\text{тр}} = 400 \text{ мм}$

и  $s_{\text{ст}} = 20 \text{ мм}$ .

## 5 Расчет катионитового фильтра

По заданной производительности 220 м<sup>3</sup>/ч выбираем стандартный фильтр:  
Производительность 220 м<sup>3</sup>/ч, рабочее давление 0,6МПа.

### 5.1 Механический расчет

Целью данного раздела является расчет отдельных конструктивных элементов катионитового фильтра, работающего в условиях нагружения низким давлением (до 1 МПа).

#### Данные для расчета

Исходные данные приведены в таблице 5.1

Таблица 5.1 – Исходные данные для механического расчета

Вещество	H <sub>2</sub> O
D <sub>1</sub> , мм	3400
d <sub>1</sub> = d <sub>2</sub> , мм	200
d <sub>3</sub> , мм	100
d <sub>4</sub> , мм	100
d <sub>5</sub> = d <sub>6</sub> , мм	800
L, мм	4600
P, МПа	0,6
t, °C	25

Срок службы аппарата – 10 лет.

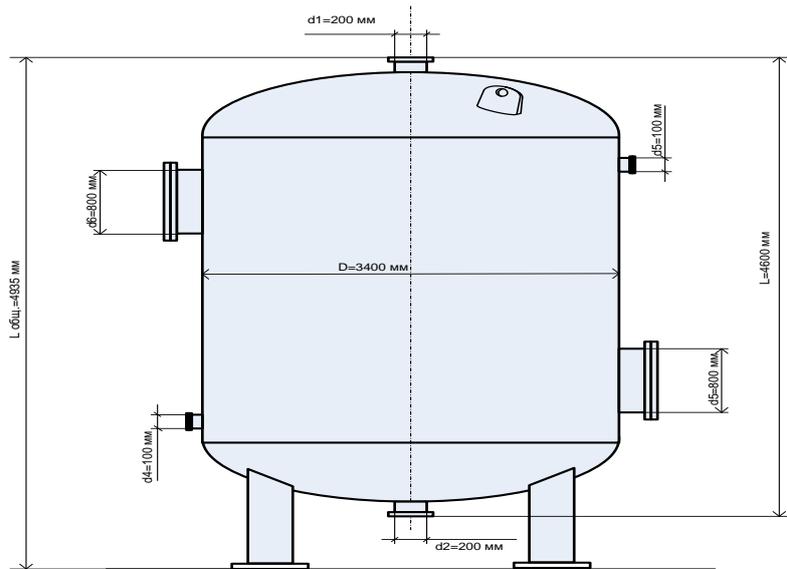


Рисунок 5.1 – Эскиз катионитового фильтра.

### 5.1.1 Выбор конструкционных материалов элементов фильтра

Выбор конструкционного материала осуществляем с учётом рабочих температур, агрессивности сред и их концентраций. По рекомендациям [27] для корпуса фильтра, заполненного  $H_2O$ , выбираем углеродистую сталь ВСт3.

#### Определение допускаемых напряжений

Допускаемое напряжение для фильтра определяем по [21]. Для стали ВСт3 при температуре  $t = 25^\circ C$  принимаем  $[\sigma_1] = 134$  МПа.

#### Выбор расчетного значения модуля упругости

Выбор расчетного значения модуля продольной упругости проводим по рекомендациям [21]: – для аппарата, изготовленного из стали ВСт3, при температуре  $t = 25^\circ C$  модуль продольной упругости принимаем  $E = 1,91 \cdot 10^5$  МПа.

### 5.1.2 Определение толщин стенок всех конструктивных элементов фильтра

Расчет толщины стенки  $S$  из условия действия внутреннего избыточного давления  $P$

По [1] толщину стенки  $S_1$  рассчитываем по уравнениям:

$$S_{R_1} = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P};$$

Подставив численные значения в уравнения (1), получим:

$$S_{R_1} = \frac{0,6 \cdot 3400}{2 \cdot 134 \cdot 1 - 0,6} = 7,6 \text{ мм};$$

$$S \geq 7,6 + 1 = 8,6 \text{ мм}.$$

Принимаем  $S_1 = 10 \text{ мм}$ .

Допускаемое внутреннее избыточное давление рассчитываем по формуле:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - C)}{D + (S - C)}$$

или, подставив численные данные, получим, что

$$[P] = \frac{2 \cdot 134 \cdot 1 \cdot (10 - 1)}{3400 + (10 - 1)} = 0,71 \text{ МПа}$$

Так как  $P < [P]$ , т. е.  $0,6 \text{ МПа} < 0,71 \text{ МПа}$ , условие прочности выполняется.

Расчет толщин стенок патрубков из условия действия внутреннего избыточного давления  $P_1$

Толщины стенок патрубков рассчитываем по уравнению:

$$S_i = \frac{P_j (d_i + 2 \cdot C)}{2 \varphi [\sigma_j] - P_j}.$$

Рассмотрим патрубки:

– для патрубка с диаметром  $d_1 = 200 \text{ мм}$  толщина стенки  $S_2$  равна:

$$S_2 = \frac{P (d_1 + 2 \cdot C)}{2 \varphi [\sigma] - P} = \frac{0,6 \cdot (200 + 2 \cdot 1)}{2 \cdot 134 - 0,6} = 0,5 \text{ мм};$$

– для патрубка с диаметром  $d_2 = 200 \text{ мм}$  толщина стенки  $S_3$  равна:

$$S_3 = \frac{P (d_2 + 2 \cdot C)}{2 \varphi [\sigma] - P} = \frac{0,6 \cdot (200 + 2 \cdot 1)}{2 \cdot 134 - 0,6} = 0,5 \text{ мм};$$

– для патрубка с диаметром  $d_3 = 100 \text{ мм}$  толщина стенки  $S_4$  равна:

$$S_4 = \frac{P (d_3 + 2 \cdot C)}{2 \varphi [\sigma] - P} = \frac{0,6 \cdot (100 + 2 \cdot 1)}{2 \cdot 134 - 0,6} = 0,3 \text{ мм};$$

– для патрубка с диаметром  $d_4 = 100$  мм толщина стенки  $S_5$  равна:

$$S_5 = \frac{P(d_4 + 2 \cdot C)}{2\varphi[\sigma] - P} = \frac{0,6 \cdot (100 + 2 \cdot 1)}{2 \cdot 134 - 0,6} = 0,3 \text{ мм};$$

– для патрубка с диаметром  $d_5 = 800$  мм толщина стенки  $S_6$  равна:

$$S_6 = \frac{P(d_5 + 2 \cdot C)}{2\varphi[\sigma] - P} = \frac{0,6 \cdot (800 + 2 \cdot 1)}{2 \cdot 134 - 0,6} = 1,8 \text{ мм};$$

– для патрубка с диаметром  $d_6 = 800$  мм толщина стенки  $S_7$  равна:

$$S_7 = \frac{P(d_6 + 2 \cdot C)}{2\varphi[\sigma] - P} = \frac{0,6 \cdot (800 + 2 \cdot 1)}{2 \cdot 134 - 0,6} = 1,8 \text{ мм}$$

По ОСТ 26–1407–09 выбираем штуцера с фланцами стальными приварными встык с соединительным выступом. Размеры стандартных патрубков приняты по рекомендациям [1] и приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Размеры стандартных патрубков

Патрубок	$D_y$ , мм	$S_T$ , мм	$d_T$ , мм	$H_T$ , мм
1	200	6	219	220
2	200	6	219	220
3	100	5	108	215
4	100	5	108	215

Для патрубков 800 мм согласно ГОСТ Р 52857.4 – 2007 принимаем кусок трубы с размерами приведенных в таблице 5.3

Таблица 5.3 – Размеры патрубков на 800 мм

Патрубок	$D_y$ , мм	$S_T$ , мм	$d_T$ , мм	$H_T$ , мм
5	800	10	800	200
6	800	10	800	200

Эскиз патрубка приведен на рисунке 5.2.

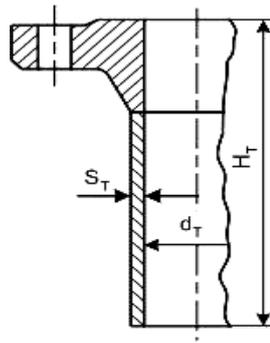


Рисунок 5.2 – Эскиз патрубка

По ОСТ 26–1404–76 принимаем:

$$S_2 = 6 \text{ мм};$$

$$S_3 = 6 \text{ мм};$$

$$S_4 = 5 \text{ мм};$$

$$S_5 = 5 \text{ мм}.$$

$$S_6 = 10 \text{ мм}.$$

$$S_7 = 10 \text{ мм}.$$

Определение толщины стенки эллиптического днища (крышки) из условия действия внутреннего избыточного давления  $P_1$ .

Толщину стенки эллиптического днища рассчитываем по формулам [1]:

$$S_{8R} = \frac{PR}{2\varphi[\sigma] - 0,5P}; \quad S8 \geq S_{8R} + C,$$

где  $R = \frac{D^2}{4H}$  – радиус кривизны в вершине днища. Для эллиптического

днища при  $H = 0,25 D$  радиус кривизны  $R = D_1 = 3400 \text{ мм}$ .

Подставив численные значения в формулу (4), получим:

$$S_{8R} = \frac{0,6 \cdot 3400}{2 \cdot 1 \cdot 134 - 0,5 \cdot 0,6} = 7,6 \text{ мм},$$

$$S8 \geq 7,6 + 1 = 8,6 \text{ мм}.$$

Принимаем  $S_8 = 10 \text{ мм}$ .

Допускаемое внутреннее избыточное давление рассчитываем по формуле [1]:

$$[P] = \frac{2(S_9 - C)\varphi[\sigma]}{R + 0,5(S_9 - C)}$$

или, подставив численные значения, имеем:

$$[P] = \frac{2 \cdot (10 - 1) \cdot 1 \cdot 134}{3400 + 0,5 \cdot (10 - 1)} = 0,71 \text{ МПа.}$$

Так как  $P_1 < [P_1]$ , т. е.  $0,6 \text{ МПа} < 0,71 \text{ МПа}$ , следовательно  $S_8$  рассчитано верно.

Расчет толщины стенки  $S_1$  в месте приварки к фланцу с учетом краевых сил и моментов:

Для проверки толщины стенки элементов от действия краевых сил и моментов составляем эквивалентную схему, которая приведена на рисунке 5.3.

Главные напряжения рассчитываем по формулам[1]:

$$\sigma_u = \frac{P R}{2S_1'} \pm \frac{6(2 - \mu)P}{4K^2(S_1')^2};$$

$$\sigma_t = \frac{P R}{2S_1'} + \frac{(2 - \mu)PR}{2S_1'} \pm \frac{6(2 - \mu)P \mu}{4K^2(S_1')^2},$$

где  $S_1' = S_1 - C = 10 - 1 = 9 \text{ мм} = 0,009 \text{ м}$ ;

$R = 0,5D = 0,5 \cdot 3400 = 1700 \text{ мм} = 1,7 \text{ м}$ ;

$K = 1,285 / \sqrt{RS_1'} = 1,285 / \sqrt{1,7 \cdot 0,009} = 10,38$  – коэффициент затухания;

$\mu$  – коэффициент Пуассона. Для стальных материалов  $\mu = 0,3$ .

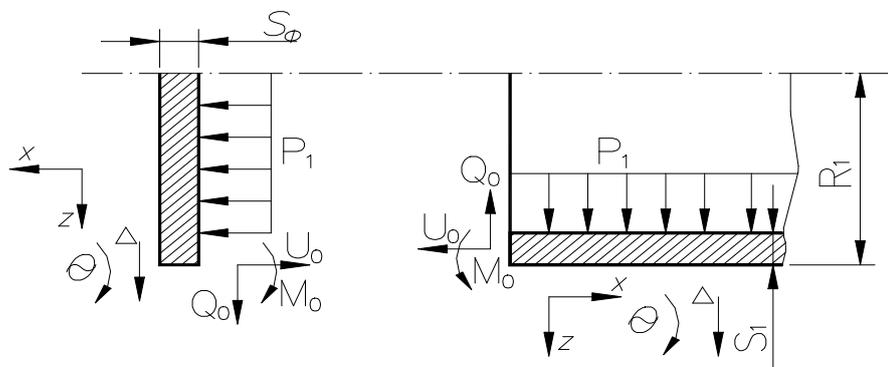


Рисунок 5.3 – Эквивалентная схема соединения цилиндрической обечайки с фланцем

Подставив численные значения в формулы для  $\sigma_u$  и  $\sigma_t$ , получим:

$$\sigma_u = \frac{0,6 \cdot 1,7}{2 \cdot 0,009} + \frac{6 \cdot (2 - 0,3) \cdot 0,6}{4 \cdot 10,38^2 \cdot 0,009^2} = 231,98 \text{ МПа};$$

$$\sigma_t = \frac{0,6 \cdot 1,7}{2 \cdot 0,009} + \frac{(2 - 0,3) \cdot 0,6 \cdot 1,7}{2 \cdot 0,009} + \frac{6 \cdot (2 - 0,3) \cdot 0,6 \cdot 0,3}{4 \cdot 10,38^2 \cdot 0,009^2} = 205,59 \text{ МПа}.$$

По четвертой теории прочности определим эквивалентное напряжение по формуле:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2} \leq [\sigma]$$

или, подставив численные значения, получим:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{261,17^2 + 229,91^2 - (261,17 \cdot 229,91)} = 172,3 \text{ МПа}.$$

Допускаемое напряжение в краевой зоне равно:

$$[\sigma_{\text{кр}}] = 1,3[\sigma_1] = 1,3 \cdot 134 = 174,2 \text{ МПа}.$$

Так как  $\sigma_{\text{экв}} < [\sigma_{\text{кр}}]$ , т. е. 172,3 МПа < 174,2 МПа, то условие прочности выполняется.

Подставив численные значения в формулы для  $\sigma_u$  и  $\sigma_t$ , получим:

$$\sigma_u = \frac{0,6 \cdot 1,7}{2 \cdot 0,008} - \frac{6 \cdot (2 - 0,3) \cdot 0,6}{4 \cdot 11,07^2 \cdot 0,008^2} = -133,7 \text{ МПа};$$

$$\sigma_t = \frac{0,6 \cdot 1,7}{2 \cdot 0,008} + \frac{(2 - 0,3) \cdot 0,6 \cdot 1,7}{2 \cdot 0,008} - \frac{6 \cdot (2 - 0,3) \cdot 0,6 \cdot 0,3}{4 \cdot 11,07^2 \cdot 0,008^2} = 112,9 \text{ МПа}.$$

По четвертой теории прочности определим эквивалентное напряжение по формуле:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2} \leq [\sigma]$$

или, подставив численные значения, получим:

$$\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{(-133,7)^2 + 112,9^2 - ((-133,7) \cdot 112,9)} = 170,5 \text{ МПа}.$$

Так как  $\sigma_{\text{экв}} < [\sigma_{\text{кр}}]$ , т. е. 170,5 МПа < 174,2 МПа, то условие прочности выполняется. Значит толщина стенки  $S_1$  рассчитана верно.

### 5.1.3 Расчет прибавок к расчетным толщинам конструктивных элементов

Для компенсации коррозии, эрозии и утонения стенки элемента фильтра вводится прибавка к расчетной толщине стенок аппарата, т. к. исполнительная толщина стенки элемента аппарата определяется по формуле [1]:

$$S \geq S_R + C,$$

где  $S$  – исполнительная толщина стенки элемента аппарата;

$S_R$  – расчетная толщина стенки элемента аппарата;

$C$  – прибавка к расчетной толщине стенки аппарата, которая определяется по формуле [1]:

$$C = C_1 + C_2 + C_3,$$

где  $C_1$  – прибавка, учитывающая влияние коррозии и эрозии, мм. Она находится по формуле:

$$C_1 = П \cdot \tau$$

где  $П$  – глубинный показатель или скорость коррозии, мм/год;

$\tau$  – срок службы аппарата, год.

Так как скорость коррозии не превышает 0,05 мм/год, т. е.  $П \leq 0,05$  мм/год, то принимаем  $C_1 = 1$  мм;

$C_2$  – прибавка для компенсации минусового допуска элемента, мм;

$C_3$  – прибавка, учитывающая утонение стенки аппарата при технологических операциях, мм.

Прибавки  $C_2$  и  $C_3$  не учитываем, т. к. их сумма не превышает 5 % от номинальной толщины листа, т. е.  $C_2 = 0$  и  $C_3 = 0$ .

Тогда прибавка к расчетной толщине стенки аппарата равна:

$$C = C_1 = 1 \text{ мм.}$$

Принимаем, что  $C = 1$  мм.

## Выбор коэффициентов прочности сварных швов

По [1] выбираем шов стыковой, доступный сварке с одной стороны и имеющий в процессе сварки металлическую подкладку со стороны корня шва, прилегающую по всей длине шва к основному металлу, с коэффициентом прочности  $\phi = 1$ .

### 5.1.4 Подбор лап

Подбор лап производим по [27]

Для того чтобы рассчитать лапы, определяем:

а) вес содержимого в аппарате:

$$G_{\text{ср}} = V_{\text{ц}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot g = \frac{1}{4} \pi D_1^2 \cdot (L+1) \cdot \rho_{\text{в}} \cdot g = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 3,4^2 \cdot (4,6+1) \cdot 1350 \cdot 9,8 = 672318,9 \text{ Н};$$

б) вес аппарата:

$$G_{\text{ап-та}} = 2G_{\text{ц.обчак}} + 4G_{\text{фл}} = G_{\text{корп}} + G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6,$$

где  $G_{\text{корп}}$  – вес корпуса аппарата, равный

$$G_{\text{корп}} = V_{\text{корп}} \cdot \rho_{\text{ст}} \cdot g.$$

Здесь объем корпуса  $V_{\text{корп}}$  равен  $0,48 \text{ м}^3$

Тогда вес корпуса аппарата равен:

$$G_{\text{корп}} = 0,48 \cdot 7850 \cdot 9,8 = 36926,4 \text{ Н};$$

Здесь  $V_{\text{фл}}$  – объем фланца, который определяется по формуле:

$$V_{\text{фл}} = \frac{1}{4} \pi d_T^2 H_T - \frac{1}{4} \pi (d_T - 2 \cdot S_T) H_T.$$

Подставив численные значения для каждого фланца, найдем объем и вес фланцев:

– объемы фланцев:

$$V_1 = V_2 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,219^2 \cdot 0,220 - \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,219 - 2 \cdot 0,006)^2 \cdot 0,220 = 0,0008 \text{ м}^3;$$

$$V_3 = V_4 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,108^2 \cdot 0,215 - \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,108 - 2 \cdot 0,005)^2 \cdot 0,215 = 0,00035 \text{ м}^3;$$

$$V_5 = V_6 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 0,800^2 \cdot 0,200 - \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,800 - 2 \cdot 0,010)^2 \cdot 0,200 = 0,0055 \text{ м}^3;$$

– вес фланцев:

$$G_1 = G_2 = 0,0008 \cdot 7800 \cdot 9,8 = 61,152 \text{ Н};$$

$$G_3 = G_4 = 0,00035 \cdot 7800 \cdot 9,8 = 26,754 \text{ Н};$$

$$G_5 = G_6 = 0,0055 \cdot 7800 \cdot 9,8 = 420,42 \text{ Н}.$$

Тогда вес аппарата равен:

$$G_{\text{апп-га}} = 36926,4 + 61,152 + 26,754 + 420,42 = 37434,726 \text{ Н}.$$

в) суммарную нагрузку:

$$G_{\text{max}} = (G_{\text{ср}} + G_{\text{апп-га}}) \cdot 1,4 = (672318,9 + 37434,726) \cdot 1,4 = 993655,076 \text{ Н} = 993,655 \text{ кН}.$$

Опоры аппарата выбираем по ОСТ 26–665–79 [4]. Для аппарата принимаем количество опор (лап)  $n = 3$ . Тогда нагрузка, действующая на одну лапу, равна:

$$Q = \frac{G_{\text{max}}}{n} = \frac{993,6}{3} = 331,218 \text{ кН}.$$

Определим необходимую площадь фундамента по формуле:

$$F = \frac{G_{\text{max}}}{[\sigma]_{\phi}},$$

где  $[\sigma]_{\phi}$  – допускаемое напряжение фундамента. В качестве фундамента выбираем кирпичную кладку, для которого  $[\sigma]_{\phi} = [\sigma]_{\text{сжс}} = 0,6 \text{ МПа}$ . Тогда

$$F = \frac{993,6 \cdot 10^3}{0,6 \cdot 10^6} = 3710,5 \cdot 10^{-3} = 3,7 \text{ м}^2$$

Расчет на прочность фундамента:

$$[\sigma] = \frac{G}{F_{\text{пл. фонд}}} \leq [\sigma]_{\text{сжс. фонд}}.$$

$$F_{\text{площадь фундамента}} = 3,7 \text{ м}^2$$

$$[\sigma] = \frac{993,6 \cdot 10^3}{3,7} = 268 \cdot 10^3 = 0,268 \text{ МПа} \leq 0,6 \text{ МПа}$$

Так как  $\sigma = [\sigma_{\text{сжс. фонд}}]$ , т. е.  $0,268 \text{ МПа} < 0,6 \text{ МПа}$ , то условие прочности

выполняется.

### 5.1.5 Проверка на прочность элементов фильтра, при гидравлических испытаниях

Определение допускаемых напряжений при гидравлических испытаниях и пробных давлений проводим по [21]

Допускаемое напряжение при гидравлических испытаниях определяем по формуле:

$$[\sigma]_{II} = \frac{\sigma_m^{20}}{1,1} = \frac{[\sigma]^{20} \cdot 1,25}{1,1},$$

где  $\sigma_T^{20}$  – минимальное значение предела текучести при температуре +20°C;

$[\sigma]^{20}$  – допускаемое напряжение материала элемента при +20°C.

Тогда

$$[\sigma]_{II_{an-ma}} = \frac{140 \cdot 1,25}{1,1} = 190,9 \text{ МПа};$$

Определяем пробное давление по формулам [1]:

$$(P_{np})_1 = \max \left\{ 1,25 \cdot P_1 \cdot \frac{[\sigma]_{\kappa}^{20}}{[\sigma]_{\kappa}}; 0,2 \right\} = \max \left\{ 1,25 \cdot 0,6 \cdot \frac{140}{134}; 0,2 \right\} = \max \{0,9 \text{ МПа}; 0,2 \text{ МПа}\} = 0,9 \text{ МПа};$$

Проверка на прочность корпуса фильтра при гидравлических испытаниях.

Производим проверку толщины стенки корпуса  $S_1$  при действии внутреннего давления  $P_1$ :

$$[P_1] = \frac{2 \cdot [\sigma]_{II_{an-ma}} \cdot \varphi \cdot (S_1 - C)}{D_1 + (S_1 - C)};$$

$$[P_1] = \frac{2 \cdot 190,9 \cdot 1 \cdot (9 - 1)}{3400 + (9 - 1)} = 0,92 \text{ МПа}.$$

Так как  $(P_{np})_1 < [P_1]$ , т. е. (0,9 МПа < 0,92 МПа), то условие прочности соблюдается и толщина стенки  $S_1$  найдена верно.

Проверка на прочность днища фильтра при гидравлических испытаниях.

Проверку толщины стенки днища  $S_8$  производим при действии внутреннего давления  $P_1$ :

$$[P_1] = \frac{2 \cdot [\sigma]_{\text{норм}} \cdot \varphi \cdot (S_8 - C)}{D_1 + (S_8 - C)};$$

$$[P_1] = \frac{2 \cdot 190,9 \cdot 1 \cdot (9 - 1)}{3400 + (9 - 1)} = 0,92 \text{ МПа.}$$

Так как  $(P_{\text{пр}})_1 < [P_1]$ , т. е.  $(0,9 \text{ МПа} < 0,92 \text{ МПа})$ , то условие прочности соблюдается и толщина стенки  $S_8$  найдена верно.

## 6 Монтаж катионитового фильтра

Сосуды на место можно транспортировать железнодорожным транспортом на открытом подвижном составе в соответствии с "Правилами перевозки грузов" и "Техническими условиями погрузки и крепления грузов"; автомобильным транспортом в соответствии с "Общими специальными правилами перевозки грузовым автотранспортом"; морским и речным транспортом в соответствии с "Общими специальными правилами перевозки грузов".

Аппарат можно установить как на металлоконструкции, так и на бетонный фундамент.

Положение аппарата на фундаменте выверяется в соответствии с "Инструкцией по монтажу сосудов и аппаратов колонного и башенного типа" ВСН 351-88.

При расположении нескольких аппаратов на монтажной площадке обеспечивается необходимое расстояние между аппаратами в соответствии с действующими нормами для их обслуживания при эксплуатации и ремонте, а также противопожарными нормами ПТУ СП 01-83.

В дипломном проекте необходимо смонтировать фильтр. Монтаж фильтра проводится на фундаменте высотой 300 мм, вес 7.1 т, высота 5.11 м. Монтаж осуществляется с помощью автомобильного крана.

### 6.1 Расчет полиспаста

Исходные

$G_0 := 7.1$  вес аппарата, т

$h_{\text{ф}} := 0.3$  высота фундамента, м

$G_3 := 0.3$  ориентировочный вес грузозахватных устройств, т

Расчет :

Усилие на подвижный

$$P_{\text{п}} := 10 \cdot (G_0 + G_3) \quad P_{\text{п}} = 74 \quad \text{кН}$$

Усилие на неподвижный

$$P_{\text{н}} := 1.1 \cdot P_{\text{п}} \quad P_{\text{н}} = 81.4 \quad \text{кН}$$

По приложению I [18] по максимальному усилию подбираем два одинаковых блока БМ-10 с характеристиками:

$G_{\text{б}} := 10$  грузоподъемность блока,

$m := 2$  количество роликов в блоке;

$d_{\text{р}} := 0.4$  диаметр роликов, м

$m_{\text{б}} := 0.135$  масса блока, т

$l_n := 2.5$  длина полиспаста в стянутом виде, м

Общее количество роликков полиспасте :

$$m_o := 2 \cdot m \quad m_o = 4$$

Коэффициент полезного действия полиспаста определяется по приложению II [18] выбирая блоки с роликами на подшипниках скольжения и принимая один отводной блок, установленный на сбегавшей ветви полиспаста.

$$\eta := 0.817$$

Усилие в сбегавшей ветви полиспаста

$$S_n := \frac{P_n}{m_o \cdot \eta} \quad S_n = 22.644 \text{ кН}$$

Коэффициент запаса по приложению III [18] для канатов для полиспастов с изменяющейся длиной под нагрузкой от 5 до 50 т при соотношении диаметра ролика к диаметру каната более 16:

$$k_3 := 4$$

Разрывное усилие в сбегавшей ветви полиспаста:

$$R_k := S_n \cdot k_3 \quad R_k = 90.575 \text{ кН}$$

По проложению IV [18] подбираем канат для оснастки полиспаста ЛК-РО конструкции 6х36(1+7+7/7+14)+1 о.с. (ГОСТ 7668-80) с характеристиками.

Маркировочная группа - 1666

$$R := 96.3 \text{ разрывное усилие, кН}$$

$$d_k := 13,5 \text{ диаметр каната, мм}$$

$$m_k := 0.697 \text{ масса 1000 м каната, т}$$

Принимаем длину сбегавшей ветви полиспаста:

$$l_1 := 25 \text{ м}$$

Расчетный запас длины каната:

$$l_2 := 10 \text{ м}$$

Необходимая длина полиспаста в растянутом виде для подъема аппарата в вертикальное положение и подъема над платформой на 0.5 м.

$$h := 8 \text{ м}$$

Длина каната для оснастки полиспаста составит:

$$L := m_0 \cdot (h + 3.14 \cdot d_T) + l_1 + l_2 \quad L = 72.024 \text{ м}$$

Суммарная масса полиспаста:

$$G_n := 2 \cdot m_6 + L \cdot \frac{m_k}{1000} \quad G_n = 0.32 \text{ т}$$

Усилие на канат, закрепляющий неподвижный блок:

$$P_6 := 10 \cdot G_0 + 10 \cdot G_n + S_n \quad P_6 = 96.846 \text{ кН}$$

Принимаем канат для крепления верхнего блока полиспаста из 4 ветвей.

По приложению III [18] определяем коэффициент запаса прочности для каната, как для стропа:

$$k_2 := 6$$

Разрывное усилие в каждой ветви крепящего каната:

$$R_{kv} := \frac{P_6 \cdot k_3}{4} \quad R_{kv} = 145.269 \text{ кН}$$

По приложению IV [18] подбираем канат для оснастки полиспаста ЛК-РО 6х36 (1+7+7/7+14)+1 о.с. (ГОСТ 7668-80) с характеристиками:

Маркировочная группа - 1764

$$R := 150,0 \text{ разрывное усилие, кН}$$

$$d_k := 16,5 \text{ диаметр каната, мм}$$

$$m_k := 1.045 \text{ масса 1000 метров каната, т}$$

По усилию в сбегаящей ветви полиспаста принимаем по приложению V [18] электролебедку типа ЛМ-3-50 с тяговым усилием 25 кН и канатоемкостью 140 м.

## 6.2 Расчет стропа

Для расчета принимаем витой строп с параметрами:

$n := 7$  число канатных витков в сечении одной ветви стропа

$m := 4$  количество витвей стропа

$\alpha := 20$  угол между ветвями стропа

$P := 72$  усилие приложенное к стропу, кН

Натяжение в одном канатном витке стропа:

$$S := \frac{P}{m \cdot n \cdot \cos(\alpha)} \quad S = 6.301 \text{ кН}$$

Коэффициент запаса для витых строп:

$$k_s := 5$$

Разрывное усилие в одном канатном витке стропа:

$$R_s := S \cdot k_s \quad R_s = 31.506 \text{ кН}$$

По разрывному усилию в одном канатном витке стропа по приложению

IV [18] подбираем канат ЛК-РО 6х36 (1+7+7/7+14)+1 о.с. (ГОСТ7668-80) с характеристиками:

Маркировочная группа - 1568

$$R_k := 90.6 \text{ разрывное усилие, кН}$$

$$d_k := 0.0135 \text{ диаметр каната, м}$$

$$m_k := 0.697 \text{ масса 1000 метров каната, т}$$

Расчетный диаметр поперечного сечения стропа:

$$d_s := 3 \cdot d_k \quad d_s = 0.041 \text{ м}$$

Коэффициент соотношения диаметров захватного устройства и поперечного сечения ветвей стропа для захватного устройства цилиндрической формы:

$$K_c := 4$$

Минимальный диаметр захватного устройства:

$$D_z := K_c \cdot d_s \quad D_z = 0.162 \text{ м}$$

Шаг свивки стропа:

$$t := 30 \cdot d_k \quad t = 0.405 \text{ м}$$

Требуемая длина стропа по центральному

$$l := 5 \quad l = 5 \text{ м}$$

Требуемая длина каната для изготовления витого

$$L_k := 2.2 \cdot n \cdot l + 2 \cdot t \quad L_k = 77.81 \text{ м}$$

Принимаем длину каната  $L_k = 78 \text{ м}$

### 6.3 Расчет траверсы

Принимаем для монтажа траверсу работающую на изгиб.

Исходные данные:

$B := 3600$  расстояние между монтажными штуцерами, мм

$G_0 := 7.1$  вес аппарата,  
г.

Расчет :

Коэффициент

$k_n := 1.1^{кн}$

Коэффициент динамичности:

$k_d := 1.1$

Нагрузка действующая на траверсу:

$P := 10 \cdot G_0 \cdot k_n \cdot k_d$        $P = 85.91$  кН

Изгибающий момент:

$M := P \cdot \frac{B}{4}$        $M = 7.732 \times 10^4$  кН·см

Коэффициент условия работы:

$m := 0.85$

Расчетное сопротивление прокатной стали класса С38/23 по приложению VI [18] при работе на изгиб.

$R := 210$  МПа

Требуемый момент

$W_{тр} := \frac{M}{0.1m \cdot R}$        $W_{тр} = 4.332 \times 10^3$        $W_{тр} := \text{см}^3 \cdot 0.3$

Подбираем для траверсы по приложению VII [18] стальную бесшовную горячедеформированную трубу со следующими параметрами:

Наружный диаметр трубы - 203 мм;

Внутренний диаметр трубы - 167 мм;

Момент сопротивления - 453 см<sup>3</sup>

Масса 1 м трубы -  $g_T := 82.12$  кг

Полная масса траверсы составит:

$G_T := g_T \cdot \frac{B}{1000}$        $G_T = 295.632$  кг

## 6.4 Расчет монтажных штуцеров

Исходные

$l_{\text{Ш}} := 10$  вылет штуцера, см;

$d_{\text{Н}} := 10.2$  наружный диаметр штуцера, см;

$d_{\text{В}} := 7$  внутренний диаметр штуцера, см;

$G_0 = 7.1$  вес аппарата, г;

Расчет :

Коэффициент

$k_{\text{н}} := 1.1^{\text{кн}}$

Коэффициент динамичности:

$k_{\text{д}} := 1.1$

Коэффициент неравномерности

$k_{\text{н}} := 1.2$

Усилие от стропа, действующее на каждый монтажный

$$N := \frac{10 \cdot G_0 \cdot k_{\text{н}} \cdot k_{\text{н}} \cdot k_{\text{д}}}{2} \quad N = 51.546 \text{ кН}$$

Момент от усилия в стропе, действующего на штуцер:

$$M := N \cdot \frac{l_{\text{Ш}}}{2} \quad M = 257.73 \text{ кН} \cdot \text{см}$$

По приложению VII [18] момент сопротивления сечения данного штуцера:

$$W := 81 \text{ см}^3$$

Коэффициент условия

$$m := 0.85$$

Расчетное сопротивление прокатной стали класса С38/23 по приложению VI при работе на изгиб:

$$R := 210 \text{ МПа}$$

Условие проверки прочности на изгиб:

$$\frac{M}{W} \leq 0.1m \cdot R$$

$$\frac{M}{W} = 3.227 < 0.1m \cdot R = 17.85 \quad \text{условие прочности выполняется.}$$

Коэффициент, учитывающий глубину провара для ручной сварки:

$$\beta := 0.7$$

Толщина

$$h_{\text{ш}} := 1.2 \quad \text{см}$$

Радиус штуцера:

$$r := \frac{d_{\text{н}}}{2} \quad r = 5.1 \quad \text{см}$$

Условие проверки прочности сварного кольцевого

$$\frac{M}{\beta \cdot h_{\text{ш}} \cdot \pi \cdot r^2} \leq 0.1m \cdot R$$

$$\frac{M}{\beta \cdot h_{\text{ш}} \cdot \pi \cdot r^2} = 3.808 < 0.1 \cdot m \cdot R = 17.85 \quad \begin{array}{l} \text{условие прочности сварного} \\ \text{кольцевого шва} \\ \text{выполняется.} \end{array}$$

## 6.5 Выбор крана

Для установки механического фильтра на площадку подбираем кран

МКА-10М.

Технические характеристики крана:

Грузоподъемность - 10 т

Высота подъема крюка - 16 м

Грузовой момент - 400 кН

Длина стрелы - 18 м

Скорость подъема груза - 3,7 ... 36,5 м/мин

Масса автокрана - 14,5 т.

## 7 Контрольно-измерительные приборы и средства автоматизации

Для осуществления контроля за работой осветлителя и управления его работой, на щите управления установлены следующие приборы контроля:

- показывающие приборы уровня в баках коагулированной воды;
- показывающий самопишущий прибор температуры исходной воды;
- показывающий прибор давления сырой воды;
- показывающий самопишущий прибор расхода сырой воды;
- сигнализирующие приборы уровня в баках шламовых вод и в баках-мерниках коагулянта;
- показывающий прибор расхода исходной воды на осветлитель;
- регулятор постоянной нагрузки на осветлитель;

На щит управления вынесены ключи управления электрифицированной арматурой и световой сигнализации отключения от технологических установок.

На щит управления выведен показывающий самопишущий прибор и счётчик расхода умягчённой воды; ключи управления затворами умягчённой воды.

Для контроля за расходом умягчённой воды ХВО т/с (ст.) на щит ХВО п/к выведен самопишущий показывающий прибор и счётчик расхода умягчённой воды.

Таблица 7.1 – Контрольно-измерительные приборы

№ пп	Название прибора	Тип прибора	Предел измерений	Что измеряет	Место установки
1	2	3	4	5	6
1.	Автоматический самопишущий	КСД-1	0-2000 т/ч	Расход сырой воды осв.т/с1-6	Щит управления
2.	Автоматический показывающий	КПД-1	0-10 м	Уровень в баках	Щит управления
3.	Прибор регулирующий	Р.25.1.2.	-	Расход воды на промывку МФ и КФ	Щит управления
4.	Сигнализатор предельных сопротивлений	СПР-04-Э	2-1 КоМ	Уровень в баках: -шламовых вод, коагулянта.	Щит управления

5.	Электронный показывающий прибор	Элемер ТМ 5103	0-1000 т/ч	Расход сырой воды на осв.т/с №1-№6	Щит управления
6.	Преобразователь измерительный	Сапфир-22	0-63 КПА	Расход сырой воды на осв.т/с №1-№6	Павильон осветителей
7.	Расходомер	ДСП-71Им	0-250 т/ч 0-160 т/ч	Расход воды на фильтры	Фильтровый зал
8.	Дифманометр	ДМ 23573	0-63 КПА	Расход воды на фильтры, на осветители	Фильтровый зал, павильон осветителей
9.	Манометр	МТП-160 МПЧ МТП-100 МЭД 223	0-6 0-6 0-10 0-10	Давление в трубопроводах; Уровень в баках	Фильтровый зал, павильон осветителей
10.	Автоматический самопишущий прибор	КСМ-2-004	0-60,4 °С	Температура сырой воды на осветителях	Щит управления

## 8 Социальная ответственность

### Введение

При организации производства основной целью работодателя является снижение себестоимости продукции и повышение прибыли.

В государственном масштабе актуальны вопросы сохранения жизни и здоровья населения. Решение этой социальной задачи связано с улучшением условий труда, соблюдением мер электрической, пожарной и экологической безопасности. Решению данного блока социальных проблем и посвящен данный раздел

### 8.1 Производственная безопасность

Таблица 1 Опасные и вредные факторы при выполнении работы на оборудовании установки подготовки воды для подпитки теплосети по ГОСТ 12.0.003-74

Таблица №1

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Микроклиматические условия и качество воздуха	1. уровень превышения ПДК	1. Опасность поражения реагентами.	1. Санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (Гост 12.1.005-88) 2. Нормы СНиП 23-05-95 Для искусственного освещения, где $\min = 200$ лк. 3. Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука по ГОСТ 12.1.003-83
2. Производственная освещенность	2. Недостаточная или чрезмерная освещенность. 3. Токсичность пыли ванадиевой контактной массы.	2. Опасность поражения электрическим током.	
3. Шумы и вибрации	3. Превышение уровня звукового давления на производстве.	3. Опасность разрушения фундамента установок и ослабления	

<p>4. Работа с химическими веществами</p> <p>5. Электронапряжение</p>		<p>конструкций. Развития профессиональных заболеваний-виброболезни.</p> <p>4. Опасность попадания внутрь. Отравление.</p> <p>5. Опасность электропоражений</p>	<p>4. Техника безопасности на предприятии по работе с химическими веществами и реагентами.</p> <p>5. Электробезопасность в отделении водоподготовки в соответствии с ГОСТ 12.1.019 и ПОТ Р М -016 -20001 Опасность взрыва и пожара регулируется ВНТП 3-85, ПБ 08-624-03 «Общие Правила противопожарного режима в Российской Федерации».</p>
---	--	--	---

1. Микроклиматические условия и качество воздуха.
2. Производственная освещенность.
3. Шумы и вибрация.
4. Работа с химическими веществами.
5. Электробезопасность.

В таблице 2 представлены вредные вещества, меры защиты и профилактики.

**Таблица № 2 характеристика вредных и опасных веществ и предлагаемые средства защиты**

№ п/п	Наименование вещества	Источники возникновения	Свойства вещества	Воздействие на организм	Допустимые нормы	Средства защиты
1	2	3	4	5	6	7
1.	Опасность поражения реагентами.	Сыпучие реагенты-известь,магnezита,фосфат,коагулянт, соды. ОХА-оксихлорид алюминия	ОХА –густая вязкая жидкость от серого или желтого до темно-серого цвета,без запаха, не летучая,не горячая, хорошо разводится в воде.	Опасно попадание внутрь,т.к. может вызвать отравление и нарушение двигательной активности и ритма дыхания, судороги. Раздражение кожи и глаз.	4 класс по $Al_2O_3$	кислотостойкие перчатки, защитные очки или маски, респираторы; резиновые сапоги, спецодежда с пропиткой.
2.	Производственная освещенность.	В водоподготовительном помещении используется общее искусственное люминесцентное освещение. Световой поток распределяется	Искусственная освещенность- свет созданный за счет внутреннего освещения,при использовании светодиодных светильников и ламп накаливания.	Ухудшение зрения при недостаточном освещении, при чрезмерном- быстрое утомление и снижение работоспособности органов зрения	при естественном освещении = 80 лк; при комбинированном =200 лк.	Стены и потолки помещений, в которых размещено производство, должны иметь покрытие, легко поддающееся мойке и чистке. Для полов используются материалы, удовлетворяющие гигиеническим и

		равномерно по всей площади без учета расположения рабочих мест.	Естественный- создается за счет природных источников света.			эксплуатационным нормам данного производства.
3.	Шумы и вибрации	Интенсивным источником шума является электродвигатели и насосы	Шум как гигиенический фактор представляет собой совокупность звуков, неблагоприятно воздействующих на организм человека, мешающих его работе и отдыху	Шум звукового диапазона замедляет <u>реакцию человека</u> на поступающие от технических устройств сигналы, это приводит к снижению внимания и увеличению ошибок при выполнении различных видов работ. Шум угнетает <u>центральную нервную систему (ЦНС)</u> , вызывает изменения скорости дыхания и пульса, способствует	80 дБ	Изменение направленности излучения шума; рациональная планировка предприятий и производственных помещений, акустическая обработка помещений, применение звукоизоляции

				нарушению обмена веществ, возникновению сердечно-сосудистых заболеваний, <u>язвы желудка</u> , гипертонической болезни.		
4	Опасность поражения химическими веществами	Возникают в результате пренебрежения мер безопасности. Некорректного обращения.	характерное повреждение тканей человеческого организма.	Покраснение кожи, возникновение пузырей, повреждение слое эпидермиса	1-я степень повреждения	Соблюдение мер техники безопасности на производстве при работе с химическими веществами, работа в защитной амуниции, использование защитных перчаток и средств предотвращающих химическое отравление и воздействия на кожу Противоожоговые средства, мази, повязки
5	Опасность	при эксплуатации	движение	судорожное	1 мА	недоступностью

	поражения электрическим током	водоподготовительной установки могут стать: случайное прикосновение к токоведущим частям, находящимся под напряжением; прикосновение к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением; появление напряжения на конструктивных частях помещения.	электрически заряженных частиц под воздействием электрического поля. Такими частицами могут являться: в проводниках – электроны, в электролитах – ионы (катионы и анионы), в полупроводниках – электроны	сокращение мышц без потери сознания; судорожное сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранившимися дыханием и работой сердца; потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (или того и другого); состояние клинической смерти.		токоведущих частей; надлежащей, а в отдельных случаях повышенной (двойной) изоляцией; заземлением или занулением корпусов электрооборудования и элементов электроустановок, могущих оказаться под напряжением; надежным и быстродействующим автоматическим защитным отключением;
6	Опасность взрыва и пожара	взрывы резервуаров с горючими веществами и аварийно химически опасными веществами, обрушение	открытое пламя, искра, электрические дуги, нагретые поверхности и др.	Потеря видимости вследствие задымления, пониженная концентрация кислорода	0.000001 ОФП	<u>Электропроводку</u> во избежание возникновения <u>короткого замыкания</u> , способного привести к пожару, <u>изолируют</u> . Изолируют от

		<p>элементов строительных конструкций, замыкание электрических сетей.</p>				<p>влаги <u>розетки</u>, расположенные в санузлах и на внешних стенах. Устанавливают <u>УЗО</u> и автоматические <u>предо</u> <u>хранители</u>. Теплоизолируют газовые и электрические плиты от <u>деревянной</u> мебели. Для тушения <u>окурков</u> используют пепельницы, а <u>свечи</u> зажигают в подсвечниках.</p>
--	--	---	--	--	--	---

## 2. Экологическая безопасность

В результате деятельности производство оказывает воздействие на литосферу в виде на атмосферу в виде... на гидросферу в виде...

В таблице 3 представлена экологическая безопасность производства согласно Технологический регламент «Производство серной кислоты СК-3» [3].

Таблица № 3 ХАРАКТЕРИСТИКА ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА, СТОЧНЫХ ВОД И ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ

Наименование отходов	Краткая характеристика	Нормируемое кол-во	Массовая доля вредных примесей, %		Примечание
			норма	Факт	
<b>Кислые стоки:</b> конденсат от электрофильтров, от промывки отходящих газов, оборудования.	Содержание, концентрация, g/dm <sup>3</sup> : H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> -серная кислота Cu - медь Fe - железо As - мышьяк Sb - сурьма Bi - висмут Mn - марганец Pb - свинец F - фтор Zn - цинк Re - рений	360 m <sup>3</sup> /сутки	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Не более 40g/l	21,5 g/l	Выводится на очистные сооружения и нейтрализуется раствором карбонатных пород (известковым молоком).
			Cu 0.1 – 3.0 g/l	0,7 g/l	
			Fe 0.1 – 2,0 g/l	0,55 g/l	
			As 0,1 – 1,5 g/l	0,5 g/l	
			Sb 0,1 – 0,6 g/l	0,2 g/l	
			Bi -0,05 – 0,1 g/l	0,05 g/l	
			Mn 0,01 – 0,03 g/l		
			Pb 1,0 – 20,2 mg/l		
			F - 0,01 – 2,0 g/l	4,3	
			Zn 0,1 – 1,5 g/l		

			Re - 0,002 – 0,4 mg/l	mg/l 0,05 g/l 0,6 g/l 0.03m g/l	
Шлам свинцово-висмутовый	Массовая доля: Pb - свинец Bi - висмут	2500÷5000 t/год	Pb - 40÷60% Bi - 0.1÷0.5%	46,1% 0,23%	Складируется на территории очистных сооружений
Выхлопные газы	SO <sub>2</sub> - сернистый ангидрид SO <sub>3</sub> - серный ангидрид	120000 m <sup>3</sup> /h СК-3 60000 m <sup>3</sup> /h СК-2	Массовая доля: в соответствии с технологической инструкцией SO <sub>2</sub> не более 0,3% SO <sub>3</sub> не более 0,0035 % В соответствии с томом ПДВ: SO <sub>2</sub> - 25,725t/г. SO <sub>3</sub> - 11,432 t/г.	0,40% 0,0065%	Выбрасываются через выхлопную трубу Н – 180 m в атмосферу.

**Примечание:** Контроль за отходами ведется лабораторией комбината (ЦЭАЛ) согласно графика и цеховой лабораторией согласно режимных карт.

Таблица № 4 влияние отходов производства на атмосферу, гидросферу, литосферу

<b>Название</b>	<b>Воздействие на атмосферу</b>	<b>Воздействие на гидросферу</b>	<b>Воздействие на литосферу</b>
конденсат от электрофильтров, от промывки отходящих газов, оборудования.	При горении топлива потребляется большое количество <u>кислорода</u> , а также происходит выброс значительного количества продуктов сгорания таких как: летучая зола, газообразные <u>окислы углерода</u> , <u>серы</u> .	Прежде всего, сброс воды из конденсаторов турбин, а также промышленные стоки.	Для захоронения больших масс золы требуется много места. Данные загрязнения снижаются использованием золы и шлаков в качестве строительных материалов.
Шлам свинцово-висмутовый	Удаляемый воздух перед выбросом в атмосферу проходит очистку от радиоактивных аэрозолей на аэрозольных фильтрах, благодаря чему обеспечивается низкий уровень радиоактивных аэрозолей в газообразном вентиляционном выбросе	При нарушении гидроизоляции шламового амбара снижается продуктивность почвенного покрова, происходит загрязнение подземных водоносных горизонтов и, как следствие, загрязнение подземных и поверхностных вод.	загрязненная почва оказывает слабое токсическое воздействие на ферменты бактерий.
Выхлопные газы	Выхлопные трубы оснащены фильтрами - нейтрализаторами, что способствует меньшему загрязнению атмосферы	Создание бессточной системы водоснабжения на участках предприятия оказывает наименьшее влияние на гидросферу	50 % попавших выхлопных газов в атмосферу, попадает в литосферу

### **8.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.**

#### ***Правила аварийной остановки производства, возможные аварийные состояния производства, способы их предупреждения и устранения***

Неполадки и аварийные состояния производства могут возникнуть при:

- прекращение подача электроэнергии;
- прекращение подачи сернистого газа из металлургического цеха;
- прекращение подачи воды водооборотного цикла;
- разрушение коммуникаций, аппаратуры, ёмкостей;
- возникновение пожара, грозящего безопасности обслуживающего

персонала, выводу из строя действующего оборудования.

Во всех аварийных ситуациях обслуживающий персонал обязан действовать согласно «Плана локализации аварийных ситуаций» и инструкций по рабочим местам с незамедлительным уведомлением диспетчера завода и начальника цеха.

В таблице 5 изложены возможные причины, которые могут привести к возникновению аварийных ситуаций на сооружениях промышля, причины их возникновения и способы устранения. [3]

Таблица 5 - Возможные виды аварийного состояния производства и способы их устранения

<i>Контактно-компрессорное отделение</i>			
1.	Резкое увеличение давления в системе контактирования	1.1 Закрытие одного из дросселей на газходах контактного узла	1.1.1 Проверить положение дросселей и отрегулировать давление в системе .
2.	Увеличение сопротивления слоев контактной массы в контактном аппарате.	2.1 Засорение контактной массы, механическое разрушение, спекание	2.1.1 Во время капитального ремонта контактную массу просеять, дополнить новой или заменить полностью.
3.	Повышение температуры на выходе из 1-го слоя контактного аппарата выше 600°C	3.1 Повышение температуры газа перед контактным аппаратом. 3.2 Повышение объемной доли SO <sub>2</sub> в газе перед контактным аппаратом 3.3 Снижение нагрузки по газу на контактный аппарат.	3.1.1 Отрегулировать температуру газа перед контактным аппаратом. 3.2.1 Отрегулировать объемную долю SO <sub>2</sub> в газе дросселированием воздуха перед отдувочной башней. 3.3.1 Проверить работу нагнетателя и отрегулировать нагрузку по газу.
4.	Понижение температуры газа на выходе из 1-го слоя контактного аппарата ниже 550°C	4.1 Понижение температуры газа перед контактным аппаратом. 4.2 Понижение объемной доли SO <sub>2</sub> в газе перед контактным аппаратом 4.3 Повышение нагрузки по газу на контактный аппарат.	4.1.1 Отрегулировать температуру газа перед контактным аппаратом. 4.1.2 При необходимости запустить в работу пусковую установку 4.2.1 Отрегулировать объемную долю SO <sub>2</sub> в газе дросселированием воздуха перед отдувочной башней. 4.3.1 Проверить работу нагнетателя и отрегулировать нагрузку по газу.
5.	Высокая температура газа на выходе из 2-го слоя контактного аппарата выше 550°C	5.1 Повышение температуры газа на входе во 2-ой слой. 5.2 Снижение степени контактирования, активно сти	5.1.1 Проверить работу теплообменника поз.305 и отрегулировать температуру. 5.2.1 Подобрать оптимальный температурный режим для данных условий.

		катализатора 1-го слоя.	5.2.2 Во время капитального ремонта контактную массу просеять, дополнить новой или заменить полностью на 1-м слое.
6.	Повышение температуры вкладышей подшипников выше 60°C	<p>6.1 Повышение температуры масла, подаваемого во вкладыши.</p> <p>6.2 Падение давления масла в системе.</p> <p>6.3 Повышение температуры воды, охлаждающей масло.</p> <p>6.4 Нарушение рабочего режима нагнетателя.</p> <p>6.5 Загрязнение смазочного масла.</p> <p>6.6 Накопление грязи в муфте и её заклинивание.</p>	<p>6.1.1 Увеличить расход воды в маслоохладитель.</p> <p>6.1.2 Проверить загрязненность пучков маслоохладителя, провести очистку.</p> <p>6.2.1 Проверить и отрегулировать работу редукционного клапана.</p> <p>6.3.1 Увеличить расход воды в маслоохладитель.</p> <p>6.3.2 Связаться с аппаратчиком водооборотного цикла.</p> <p>6.4.1 Отрегулировать рабочий режим нагнетателя в соответствии с паспортными характеристиками.</p> <p>6.5.1 Произвести анализ масла, при необходимости заменить.</p> <p>6.5.2 Произвести очистку фильтров.</p> <p>6.6.1 Остановить нагнетатель, перейти на резервный агрегат.</p> <p>6.6.2 Очистить муфту от грязи и проверить поступление масла.</p>
7.	Помпаж	7.1 Закрытие дроссельной заслонки на всасывающем газоходе или самопроизвольное закрытие задвижек на газоходе	<p>7.1.1 Открыть полностью дроссельную задвижку, при необходимости агрегат остановить.</p> <p>7.1.2 Устранить причины отказа в работе запорной арматуры.</p>

Если неполадки не приводят к расширению зоны аварийной ситуации, нарушению техники безопасности, то их необходимо устранять вахтовым персоналом. При необходимости временного изменения технологического режима решение принимает начальник смены, доложив об этом начальнику промысла.

Если возникшие неполадки вызывают повышенную опасность, то принимается решение к остановке техпроцесса до устранения неполадок.

### **Пожарная безопасность**

Пожарная безопасность объекта обеспечивается рядом противопожарных мероприятий, предусмотренных в соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" [4]

Работники, обслуживающие промысел, обязаны пройти противопожарный инструктаж и занятия по пожарно-техническому минимуму.

При работе на взрыво- пожароопасном производстве безопасность работающего персонала должна обеспечиваться:

- конструктивно-планировочным решением помещений, гарантирующим возможность осуществления быстрой эвакуации людей и ограничивающим распространение пожара;
- постоянным содержанием в надлежащем состоянии специального оборудования, способствующего успешной эвакуации людей в случае пожара (системы экстренного оповещения, аварийное освещение, знаки безопасности);
- ознакомлением всех работающих с основными требованиями пожарной безопасности и мерами личной предосторожности, которые необходимо соблюдать при возникновении пожара, а также планом эвакуации людей из помещения;
- установлением со стороны администрации систематического контроля за строжайшим соблюдением мер предосторожности при ремонтных

работах, эксплуатации электроприборов, электроустановок и отопительных систем.

Для локализации и ликвидации пожара должны использоваться стационарные средства пожаротушения.

Размещение оборудования противопожарного водоснабжения и пожаротушения на площадке цеха выполнено согласно требованиям Федерального закона № 384-ФЗ от 30.12.2009, Федерального закона № 123-ФЗ от 22.07.2008, с учетом ГОСТ 31385-2008.

Расстановка противопожарных резервуаров  $V=700 \text{ м}^3$  (2 шт.), водозаборного колодца на водопроводной сети, блок-боксапожаринвентаря и мотопомп, первичных средств пожаротушения обеспечивает пожаротушение любого обслуживаемого здания, сооружения, Энергоблока.

На объекте предусмотрено применение оборудования пенного и порошкового пожаротушения, а также первичных средств пожаротушения.

### ***Противопожарное водоснабжение***

Противопожарное водоснабжение цеха включает в себя два РВС  $V=700 \text{ м}^3$  с тупиковым водопроводом ( $d=219 \times 6 \text{ мм}$ ,  $L=43 \text{ м}$ ) и водозаборным колодцем. Запроектированные резервуары противопожарного запаса воды  $V=700 \text{ м}^3$  удовлетворяют потребность в запасе воды. Радиус обслуживания резервуарами – 150 м. Для увеличения радиуса обслуживания резервуарами предусмотрен тупиковый трубопровод длиной 43 м и диаметром 219 мм для заполнения водозаборного колодца. Контроль не снижаемого противопожарного уровня запаса воды осуществляется датчиками уровня. При снижении уровня воды в резервуарах до нижнего на артезианских скважинах, расположенных на площадке водозабора, запускаются погружные электронасосные агрегаты ЭЦВ6-6,3-85.

### ***Пенное пожаротушение***

Для пожаротушения резервуаров РВС  $V=400 \text{ м}^3$  предусматривается установка пеногенераторов ГПСС-600, подключаемых по сухотрубной системе пожарными рукавами к передвижным средствам пожаротушения.

Пожаротушение осуществляется передвижной пожарной техникой. Для этих целей предусмотрены мотопомпы типа «Гейзер-1600» Q=20 л/сек, H=190 м. Мотопомпы укомплектованы установками комбинированного тушения пожара УКТП «Пурга-10.10.20» (производительностью 20 л/сек, дальность подачи струи – 35 м).

### ***Первичные средства пожаротушения, немеханизированный пожарный инструмент и инвентарь***

К первичным средствам пожаротушения относятся:

- огнетушители, песок (в ящике), вода (объемом 0,2 м<sup>3</sup> и/или 0,02 м<sup>3</sup>);
- асбестовое полотно, грубошерстная ткань или войлок (кошма, покрывало из негорючего материала).

К немеханизированному пожарному инструменту и инвентарю относятся:

- комплект для резки электропроводов (ножницы, диэлектрические боты);
- лом, багор, крюк с деревянной ручкой, ведро, лопаты.

Определение необходимого количества первичных средств пожаротушения для защиты зданий и сооружений выполнено по Приложению 6 Правил противопожарного режима в Российской Федерации, с учетом данных Приложений А и Б СП 9.13130.2009 «Техника пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации». [6]

## **8.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.**

### ***Правила работы с веществами, применяемыми в производстве, средства защиты работающих***

Газо-, взрыво- и пожароопасность, опасность термических и химических ожогов, отравлений в производстве серной кислоты определяется наличием горячих газов (диоксида и триоксида серы), серной кислоты, ванадиевой контактной массы, возможностью образования взрывоопасных концентраций природного газа, водорода. [13]

При работе с этими веществами необходимо соблюдать следующие меры предосторожности:

1. Постоянно иметь при себе фильтрующий противогаз марки «БКФ» или «В», которыми пользоваться во всех случаях загазованности и при работе, где возможны выделения вредных газов и жидкостей.

2. На рабочем месте находиться только в спецодежде: суконный костюм, резиновые сапоги, суконные рукавицы, резиновые перчатки, респиратор, защитные очки в соответствии с нормами.

3. Поддерживать в герметичном состоянии все фланцевые соединения на аппаратах и трубопроводах, пропуски газов и жидкостей немедленно устранять.

4. Работа над баками, резервуарами, сборниками, наполненными серной кислотой, производится только при наличии на них надежных крышек, предохраняющих от попадания каких-либо предметов в кислоту.

5. Вся тара, предназначенная для серной кислоты, должна быть чисто вымыта, пропарена, просушена.

6. При смешении серной кислоты с водой в открытых сосудах нужно кислоту лить в воду, а не наоборот, во избежание разбрызгивания кислоты.

7. Перед ремонтом аппараты и трубопроводы должны быть нейтрализованы, промыты и продуты.

8. При отборе проб необходимо надевать резиновые перчатки и защитные очки, пользоваться для отбора проб специальными пробоотборниками.

9. Осмотр кислотопроводов, а также аппаратов и ёмкостей с кислотой необходимо выполнять в защитных очках и резиновых перчатках.

**10.** Пролиты кислот должна быть немедленно нейтрализованы известью или содой, насухо подсушены опилками, после чего все нужно убрать лопатой.

**11.** При термическом ожоге пострадавший должен немедленно обратиться в медпункт, запрещается отдирать от кожи пригоревшие остатки одежды, обрезать обгоревшую кожу, прокалывать ожоговые волдыри и промывать водой пораженные участки кожи.

**12.** Во избежание несчастных случаев необходимо соблюдение требований общецеховой инструкции по технике безопасности.

## 9 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 9.1 Предпроектный анализ

#### Потенциальные потребители

Продукт: химочищенная вода

Целевой рынок: тепловые сети, население города

### 9.2 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. Более низкая 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
<b>Возможности:</b> В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт	Проектирование участка водоподготовки	1. Повышение квалификации кадров 2. Привлечение новых заказчиков

научных исследований В3. Повышение стоимости конкурентных разработок		
<b>Угрозы:</b> У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Исчерпание природных ресурсов	1. Продвижение новой технологии с целью появления спроса 2. Использование импорт-ного сырья 3. Применение технологии к альтернативным источникам	1. Повышение квалификации кадров 2. Привлечение новых заказчиков 3. Применение технологии к альтернативным источникам

### 9.3 Экономический расчет

#### 9.3.1 Расчет эффективного фонда 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:

$$T_{\text{эф}} = T_{\text{к}} - T_{\text{рем}} - T_{\text{то}} [25];$$

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

$T_{\text{к}}$  – 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.
51840	17280	720	2160	360	16	2160	700	1104

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.

$$R = \frac{51840}{720} = 72 \text{ ремонта за ремонтный цикл.}$$

Длительность ремонтного цикла:

$$\frac{R_{\text{ц}}}{T_{\text{н}}} = \frac{51840}{8760} = 6 \text{ лет}$$

Количество средних ремонтов за ремонтный цикл:

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

где  $T_c$  – пробег оборудования между средними ремонтами;

$$R_c = \frac{51840}{17280} - 1 = 2 \text{ средних ремонта за ремонтный цикл.}$$

Количество текущих ремонтов:

$$R_T = \frac{R_{ц}}{T_H} - R_C - 1 = \frac{51840}{720} - 2 - 1 = 69 \text{ текущих ремонтов.}$$

Всего ремонтов в течении расчетного времени  $72 : 6 = 12$ , т. е. 1 средний и 11 текущих ремонтов.

Время на ремонт оборудования в расчетный период:

$$T_{\text{рем}} = 11 \cdot T_T' + T'_{\text{ср}} = 11 \cdot 16 + 360 = 536 \text{ часов.}$$

Время технологически неизбежных остановок:  $T_{\text{то}} = T_n + T_{\text{по}}$ ,

где  $T_{\text{по}}$  – время остановки, 48 ч;

$T_n$  – время пуска, 3 ч;

$$T_{\text{то}} = 48 + 3 = 51 \text{ час.}$$

Эффективный фонд работы оборудования:  $T_{\text{эф}} = T_H - T_{\text{рем}} - T_{\text{то}}$

$$T_{\text{эф}} = 8760 - 536 - 51 = 8173 \text{ ч (341 дней).}$$

Часовая производительность оборудования:

$$P_{\text{час}} = \frac{Q_2}{T_{\text{эфф}}} = \frac{7500000}{8173} = 918 \text{ м}^3/\text{час}$$

## 9.3.2 Организация труда и заработной платы

### 9.3.2.1 Определение баланса времени одного рабочего

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. График сменности рабочих бригад приведен в таблице 11 [25].

Таблица 9.2 - График сменности 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 20	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 20 до 8	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	Г	Г	А	А	Б
Выходные	Б, Г	Б, В	А, В	Б, В	А, В	А, В	А, В	Б, В	Б, В	А, В	А, В	Б, В	Б, В	А, В	А, В	Б, В	Б, В	А, В	А, В	Б, В	Б, В	А, В	А, В	Б, В	Б, В	А, В	А, В	Б, В	Б, В	

где А,Б,В,Г – вахты.

Длительность сменоборота:  $T_{см.об.} = n_{\sigma} \cdot T_{\sigma}$ ,

где  $n_{\sigma}$  – число вахт;

$T_{\sigma}$  – число дней, в которые бригада ходит в смену.

$T_{см.об.} = 4 \cdot 2 = 8$  дней.

За длительность сменоборота бригада отдыхает 4 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 [25].

Таблица 9.3 - Баланс рабочего времени среднесуточного рабочего

Элементы времени	Количество дней	Часы
Календарное число дней	365	4380
Нерабочие дни, выходные	180	2160
Номинальный фонд рабочего времени	185	2220
Планируемые невыходы:		
а) очередные отпуска	33	396
б) по болезни	12	144
в) выполнение общественных обязанностей	1	12
г) отпуск, в связи с учебой	3	36
<b>ИТОГО:</b>	<b>49</b>	<b>588</b>

Эффективный фонд рабочего времени	136	1632
-----------------------------------	-----	------

Эффективный фонд рабочего времени составит:

$$T_{эф} = 185 - 49 = 2136 \text{ дней} = 136 \cdot 12 = 1632 \text{ часов.}$$

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 [25].

1) Определим явочное число основных рабочих в сутки:

$$R_{яв} = \frac{F \cdot C}{H_{обс}}$$

где  $H_{обс}$  – норма обслуживания;

$F$  – количество установок;

$C$  – 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.

$$R_C = 12 \cdot \frac{341}{225} = 19(\text{чел})$$

Приведем состав рабочего персонала ниже в таблицу 13 [25].

Таблица 9.4 - Численность основных рабочих

Профессия	Тариф разряд	Число рабочих в смену	R <sub>яв</sub> в сутки	R <sub>с</sub> в сутки	Число рабочих дней в году	Число рабочих дней оборуд.	Число смен в сутки
Аппаратчик	7	1	2	5	136	341	2
Аппаратчик	5	2	4	9			
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 14).

Таблица 9.5 - Численность вспомогательного персонала

№ п/п	Профессия	Тариф разряд	Оклад, руб	Количество человек
1	Аппаратчик по приготовлению химреагентов	4	12062	1
2	Контролер качества продукции и техпроцесса	7	17500	1
3	Слесарь-ремонтник	6	15240	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		39095	1
2	Инженер-технолог		22350	1
3	Инженер по ремонту		20140	1
Итого				3

### 9.3.2.2 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):

$$Z_{\text{осн.}} = Z_{\text{тар}} + D_{\text{пр}} + D_{\text{н.вр.}} + D_{\text{праз.}} + \Phi_{\text{м}}[25],$$

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.

$$Z_{\text{тар}}^7 = 5 \cdot 1632 \cdot 118 = 962\,880 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{тар}}^5 = 9 \cdot 1632 \cdot 89 = 1\,307\,232 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{тар}}^{\text{сл}} = 5 \cdot 1632 \cdot 81 = 660\,960 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{тар}} = 962\,880 + 1\,307\,232 + 660\,960 = 2\,931\,072 \text{ руб.}$$

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.

$$D_{н.вр.} = 2931072 \cdot \frac{40}{100} = 1172428.8 \text{ руб.}$$

в) Доплата премий – 80% от тарифной ЗП:

$$D_{пр} = Z_{тар.} \cdot \frac{П}{100} = 2\,931\,072 \cdot \frac{80}{100} = 2\,344\,857,6 \text{ руб.}$$

г) Доплата за работу в праздничные дни.

Принято 11 праздничных дней в году. Доплата в праздничные дни осуществляется по двойным тарифным ставкам:

$$D_{пр} = D_{пр}^5 + D_{пр}^7 + D_{пр}^{сл}$$

$$D_{пр}^i = R_{яв} * N * T_{ст}^i,$$

где N – число праздничных дней в году.

$$D_{пр}^5 = 4 \cdot 178 \cdot 11 \cdot 12 = 93\,984 \text{ руб.}$$

$$D_{пр}^7 = 2 \cdot 236 \cdot 11 \cdot 12 = 62\,304 \text{ руб.}$$

$$D_{пр}^{сл} = 2 \cdot 162 \cdot 11 \cdot 12 = 42\,768 \text{ руб.}$$

$$D_{пр} = 93\,984 + 62\,304 + 42\,768 = 199\,056 \text{ руб.}$$

д) Премия из фонда мастера – 3% от  $Z_{тар.}$ :

$$Ф_{м} = Z_{тар.} * \frac{П}{100} = 2\,931\,072 \cdot \frac{3}{100} = 87\,932,16 \text{ руб.}$$

$Z_{осн} = 2\,931\,072 + 2\,344\,857,6 + 1\,172\,428,8 + 199\,056 + 87\,932,16 = 6\,555\,346,56 \text{ руб [25].}$

### **Расчет фонда дополнительной заработной платы.**

Определим процент дополнительной заработной платы:

$$П_{д.з.} = \frac{T_{ом}}{T_{эф}} \cdot 100\% [25].,$$

где  $T_{эф}$  – эффективное количество рабочих дней в год;

$T_{от}$  – планируемое количество дней отгулов среднесуточного рабочего.

$$П_{д.з.} \cdot \frac{40}{225} \cdot 100\% = 18\%$$

$$З_{доп} = З_{осн} \cdot \frac{П_{д.з.}}{100} = 6\,555\,346,56 \cdot \frac{18}{100} = 1\,179\,962,38 \text{ руб.}$$

Годовой фонд заработной платы основных рабочих:

$$З = З_{осн} + З_{доп} = 6\,555\,346,56 + 1\,179\,962,38 = 7\,735\,308,94 \text{ руб.}$$

С учетом районного коэффициента:

$$З_{осн. раб} = 7\,735\,308,94 \cdot 1,5 = 11\,602\,963,41 \text{ руб.}$$

### **Расчет фонда заработной платы вспомогательных рабочих.**

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.

$$\Phi_{осн}^{всп.} = 1 \cdot 11 \cdot 12\,062 + 1 \cdot 11 \cdot 17\,500 + 3 \cdot 11 \cdot 15\,240 = 828\,102 \text{ руб.}$$

б) Дополнительная ЗП вспомогательного персонала находится по формуле:

$$З_{доп}^{всп.} = \frac{\Phi_{осн.}^{всп.} \cdot Д_{отп.}}{В_k}$$

где  $\Phi_{осн}^{всп.}$  – основной фонд заработной платы;

$Д_{отп.}$  – календарное количество дней отпуска: для вспомогательного персонала – 28 дней;

$В_k$  – календарный год – 365 дней.

$$З_{доп}^{всп.} = \frac{828\,102 \cdot 28}{365} = 63\,525,63 \text{ руб.}$$

в) Доплата премий – 80% от тарифной ЗП:

$$Д_{пр}^{всп.} = \Phi_{осн}^{всп.} \cdot \frac{П}{100} = 828\,102 \cdot \frac{80}{100} = 662\,481,6 \text{ руб}$$

г) Годовой фонд заработной платы вспомогательных рабочих:

$$\Phi_{зп}^{всп.} = \Phi_{осн}^{всп.} + З_{доп}^{всп.} + Д_{пр}^{всп.} = 828\,102 + 63\,525,63 + 662\,481,6 = 1\,554\,109,23 \text{ руб.}$$

С учетом районного коэффициента:

$$\Phi_{зп} = 1\,554\,109,23 \cdot 1,5 = 2\,331\,163,85 \text{ руб.}$$

### **Расчет годового фонда заработной платы ИТР.**

Оклады должностных лиц ИТР устанавливаются в зависимости от категории цеха.

Начальник цеха – 39 095 руб.

Инженер-технолог – 22 350 руб.

Инженер по ремонту – 20 140 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.

$$\Phi_{осн} = 1 \cdot 11 \cdot 39\,095 + 1 \cdot 11 \cdot 22\,350 + 1 \cdot 11 \cdot 20\,140 = 897\,435 \text{ руб.}$$

б) Дополнительная ЗП ИТР находится по формуле:

$$З_{доп.} = \frac{\Phi_{осн} \cdot Д_{отп}}{В_{к}}$$

где  $\Phi_{осн}$  – основной фонд заработной платы;

$Д_{отп}$  – календарное количество дней отпуска: для ИТР – 30 дней;

$В_{к}$  – календарный год – 365 дней.

$$З_{доп.} = \frac{897\,435 \cdot 30}{365} = 73\,761,78 \text{ руб.}$$

в) Доплата премий – 80% от тарифной ЗП:

$$Д_{пр} = \Phi_{осн.} \cdot \frac{П}{100} = 897\,435 \cdot \frac{80}{100} = 717\,948 \text{ руб}$$

г) Годовой фонд заработной платы ИТР:

$$\Phi_{зп} = \Phi_{осн} + З_{доп} + Д_{пр} = 897\,435 + 73\,761,78 + 717\,948 = 1\,689\,144,78 \text{ руб.}$$

С учетом районного коэффициента:

$$\Phi_{зп} = 1\,689\,144,78 \cdot 1,5 = 2\,533\,717,17 \text{ руб.}$$

Общий фонд заработной платы:

$$\Phi_{общ} = З_{осн. раб} + З_{всп. раб} + З_{ИТР} :$$

$$5\,555\,346,56 + 2\,331\,163,85 + 2\,533\,717,17 = 11\,420\,227,58 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды:

Отчисления от заработной платы составляют 30% от  $Z_{\text{общ.}}$ :

$$\Phi_{\text{страх.}} = 11\,420\,227,58 \cdot 0,3 = 3\,426\,068,27 \text{ руб [25]}$$

### 9.3.3 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  $1 \text{ м}^3$  – 6000 руб;

Стоимость санитарно-технических работ составляет 500 руб./ $\text{м}^2$ ;

Полная стоимость здания составит:

$$C_{\text{зд}} = 77000 \cdot (6000 + 500) = 500000000 \text{ руб [18,25]}.$$

#### Расчет стоимости основного оборудования

Наименование основных средств	Цена, руб	Количество, шт	Стоимость, руб.
1.Оборудование			
1.1. Осветитель	6800000	5	34 000 000
1.2. Механический фильтр	778000	10	7 780 000
1.3. Катионитовый фильтр	700000	10	7 000 000
1.4. Насос	60000	38	2280000
<b>Итого</b>			<b>51 060 000</b>

### Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования

• транспортные расходы на перевозку оборудования, заготовительно-складские работы составляют 8% от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{тр}} = 51\,060\,000 \cdot 0,08 = 4\,084\,800 \text{ руб.}$$

• стоимость монтажных работ составляет 20% от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{монт.}} = 51\,060\,000 \cdot 0,2 = 10\,212\,000 \text{ руб.}$$

• стоимость специальных работ принимаем 10% от стоимости оборудования (строительство фундаментов, трубопроводов, пусконаладочных работ):

$$Z_{\text{сп. р.}} = 51\,060\,000 \cdot 0,1 = 5\,106\,000 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты на оборудование составят:

$$Z_{\text{к. об.}} = C_{\text{об}} + Z_{\text{тран.}} + Z_{\text{монт.}} + Z_{\text{сп. р.}} = 51\,060\,000 + 4\,084\,800 + 10\,212\,000 + 5\,106\,000 = 70\,462\,800 \text{ руб.}$$

Сумма капитальных затрат:

$$\sum Z_{\text{кап}} = C_{\text{зд}} + Z_{\text{к. об.}} = 500\,000\,000 + 70\,462\,800 = 570\,462\,800 \text{ руб [25].}$$

### Расчет затрат на производство

Расходы на охрану труда и технику безопасности составляют 12% от  $\Phi_{\text{общ.}}$ :

$$Z_{\text{о.т.}} = 11\,420\,227,58 \cdot 0,12 = 1\,370\,427,31 \text{ руб.}$$

Затраты на текущий ремонт здания составляют 2% от стоимости здания:

$$Z_{\text{т.р.}} = 500\,000\,000 \cdot 0,02 = 10\,000\,000 \text{ руб.}$$

Содержание здания (включает в себя затраты на освещение, отопление, вентиляцию) – 2% от стоимости здания:

$$Z_{\text{сод.}} = 500\,000\,000 \cdot 0,02 = 10\,000\,000 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления – 3,7% от стоимости здания:

$$Z_{\text{ам.}} = 500\,000\,000 \cdot 0,037 = 18\,500\,000 \text{ руб.}$$

Сумма затрат на содержание и эксплуатацию здания составляет:

$$\Sigma Z = 10\,000\,000 + 10\,000\,000 + 18\,500\,000 = 38\,500\,000 \text{ руб.}$$

Текущий ремонт производственного оборудования обходится в 7% от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{т.р.}} = 51\,060\,000 \cdot 0,07 = 3\,574\,200 \text{ руб.}$$

Отчисления на амортизацию оборудования – 10% от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{ам}} = 51\,060\,000 \cdot 0,1 = 5\,106\,000 \text{ руб.}$$

Расходы на содержание оборудования составляют 3% от стоимости оборудования:

$$Z_{\text{сод.}} = 51\,060\,000 \cdot 0,03 = 1\,531\,800 \text{ руб.}$$

Сумма расходов на содержание и эксплуатацию оборудования составляет:

$$\Sigma Z = 3\,574\,200 + 5\,106\,000 + 1\,531\,800 = 10\,212\,000 \text{ руб.}$$

Таким образом, общепроизводственные расходы составят:

$$Z_{\text{общ.}} = 38\,500\,000 + 10\,212\,000 = 48\,712\,000 \text{ руб [25].}$$

### ***9.3.4 Расчет технологических затрат***

#### **Расчет затрат на электроэнергию**

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

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

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

$T_{\text{р. об.}}$  – время работы оборудования в год, час (8173 час.).

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

#### **Расчет затрат на воду**

$$Z_{\text{вод.}} = T_{\text{в}} \cdot T_{\text{р. об.}} \cdot B, \text{ где}$$

$T_{\text{в.}}$  – стоимость 1 м<sup>3</sup> воды, руб. (4 руб/м<sup>3</sup>);

$B$  – часовой расход воды, м<sup>3</sup> (1084 м<sup>3</sup>).

$$Z_{\text{вод.}} = 4 \cdot 8173 \cdot 1084 = 35\,438\,128 \text{ руб.}$$

#### **Расчет затрат на натрий хлористый**

$$Z_{\text{ц. н.}} = T_{\text{к}} \cdot K, \text{ где}$$

$T_{\text{к}}$  – стоимость 1т натрия хлористого, руб. (3073,33 руб.);

$K$  – годовой расход натрия хлористого, тонны (2000 т).

$$Z_{\text{ц. н.}} = 3073,33 \cdot 2000 = 6\,146\,660 \text{ руб.}$$

#### **Расчет затрат на оксихлорид алюминия (ОХА)**

$$Z_{\text{ц. н.}} = T_{\text{к}} \cdot K, \text{ где}$$

$T_{\text{к}}$  – стоимость 1т ОХА, руб. (14983,9 руб.);

$K$  – годовой расход ОХА, тонны (120 т).

$$Z_{\text{ц. н.}} = 14983,9 \cdot 120 = 1\,798\,068 \text{ руб.}$$

#### **Расчет затрат на катионит сульфуголь**

$$Z_{\text{AM-2Б}} = T_{\text{к}} \cdot K, \text{ где}$$

$T_{\text{к}}$  – стоимость 1т сульфуголя, руб. (42974,74 руб.);

$K$  – годовой расход сульфуголя 195 т.

$$Z_{\text{PuroGold}} = 42974,74 \cdot 195 = 8\,380\,074,3 \text{ руб.}$$

#### **Расчет затрат на антрацит**

$$Z_{\text{AM-2Б}} = T_{\text{к}} \cdot K, \text{ где}$$

$T_{\text{к}}$  – стоимость 1т антрацита, руб. (22195 руб.);

$K$  – годовой расход 240 т.

$$Z_{\text{PuroGold}} = 22195 \cdot 240 = 5\,548\,750 \text{ руб.}$$

#### **Расчет затрат на освещение**

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

$N_{\text{т}} = 115 \text{ кВт}$  – суммарная мощность всего электрооборудования,

$$Z_{\text{осв.}} = 0,974 \cdot 115 \cdot 8173 = 915\,458 \text{ руб}$$

## Калькуляция себестоимости получения 1 т химочищенной воды

Сумма цеховой себестоимости и общезаводских расходов составляет общезаводскую себестоимость:

$$C_{\text{об. зав.}} = C_{\text{цех.}} + Z_{\text{об. зав.}}$$

где  $C_{\text{цех.}}$  – цеховая себестоимость (складывается из суммы условно-переменных и условно-постоянных затрат);

$Z_{\text{об.зав.}}$  – общезаводские расходы (составляют 10 % от цеховой себестоимости).

Калькуляция себестоимости приведена в таблице 18 [25,26].

Таблица 9.7 - Проектная калькуляция себестоимости получения 1 тонны химочищенной воды

Статьи расходов	Ед. измер	Цена ед. прод., руб.	Расход на 1 т воды		Расход в год	
			В нат. ед.	В руб./т	Кол-во, т	руб.
Затраты на сырье:						
Натрий хлористый	т	3073,3		0,878	2000	6 146 660
ОХА	т	3		0,257	120	1 798 068
Сульфоуголь	т	14983,		1,197	195	8 380 074,3
Антрацит	т	9		0,793	250	5 548 750
		42974,7				
		4				
		22 195				
Технологические затраты:						
Электроэнергия	кВт·ч	0,974		0,142	1021625	995 063
Н <sub>2</sub> О	м <sup>3</sup>	4,0		5,063	8859532	35 438 128
<b>Итого условно-переменные затраты</b>	руб.			8,330		58 306 743,3
Фонд ЗП рабочих (осн. и всп.)	руб.			1,991		13 934 127,3
Отчисления на соц. нужды (общ)	руб.			0,489		3 426 068,3

Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования: —амортизация оборудования; —тек. и кап. ремонт; —содержание оборудования;	руб. руб. руб.			0,73 0,511 0,219		10 212 000 5 106 000 3 574 200 1 531 800
Цеховые расходы: — на освещение; —амортизация здания; —тек. и кап. ремонт; —ЗП ИТР, служ. и МОП; —расходы на ОТ и ТБ	кВт·ч руб. руб. руб. руб.	0,974		0,131 2,643 1,429 0,241 0,196		32 475 030,1 915 458 18 500 000 10 000 000 1 689 144,8 1 370 427,3
<b>Итого условно-постоянные затраты</b>	руб.			8,580		60 047 225,6
Цеховая себестоимость	руб.			16,910		118 353 968,6
Общезаводские расходы, 10% от цеховой себестоимости	руб.			1,691		11 835 396,9
Коммерческие расходы	руб.			0,169		1 183 539,7
<b>Полная себестоимость</b>	руб.			18,770		131 372 905,2
<b>Условно переменные затраты</b>	руб.			8,330		58 306 743,3
<b>Условно постоянные затраты</b>	руб.			10,440		73 066 162,2

### Определение цены 1 т готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = C * (1 + P/100),$$

где С – полная себестоимость единицы готовой продукции;

$P$  – рентабельность продукции (%).

Рентабельность продукции можно принять от 10% до 25%.

$$C = 18,770 \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) = 20,65 \text{ руб.}$$

### 9.3.5 Экономическая оценка эффективности проекта

Выручка составит [26]:

$$Pr_{об} = C \cdot V_{пр} = 20,65 \cdot 7\,000\,000 = 144\,550\,000 \text{ руб.}$$

Следовательно, балансовая прибыль составит [26]:

$$Pr_{бал} = Pr_{об} - C = 144\,550\,000 - 131\,372\,905,2 = 13\,177\,094,8 \text{ руб.}$$

Определим чистую прибыль производства:

$$Pr_{чист} = Pr_{бал} - 0,20 \times Pr_{бал} [26]$$

$$Pr_{чист} = 13\,177\,094,8 - 0,20 \times 13\,177\,094,8 = 10\,541\,675,9 \text{ руб.}$$

По формуле находим точку безубыточности и сравниваем с графиком.

$$Q = Z_{пост} / (C - Z_{пер}) = 73\,066\,162,2 / (20,65 - 8,33) = 5\,930\,695 \text{ тонн.}$$

Из графика (рис. 9.1) видно, что безубыточность данного производства составляет 5 930 695 т/год.

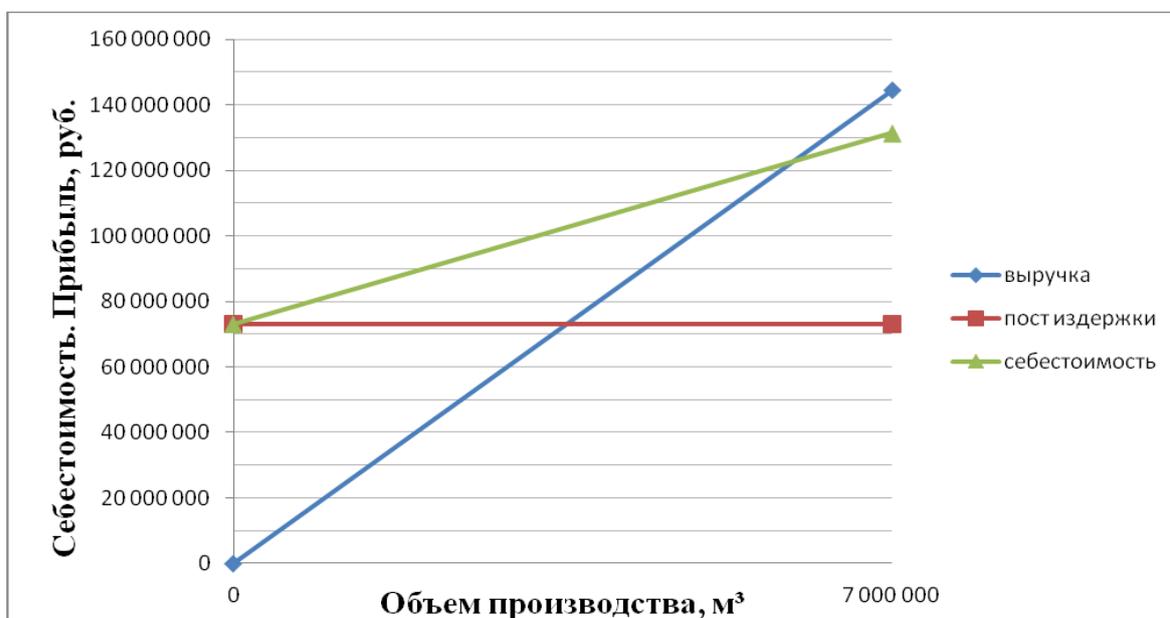


Рис. 9.1 График безубыточности

### Расчет инвестиционных коэффициентов

Рассчитываем следующие инвестиционные коэффициенты:

- 1) Чистая текущая стоимость ( **NPV** );
- 2) Индекс доходности ( **PI** );
- 3) Внутренняя ставка доходности (ВНД, **IRR** );
- 4) Срок окупаемости (Т окуп., **PP** ).

Таблица 19 - Расчет чистого денежного потока (ЧДП)

Наименование статей	Годы:		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
1.Объем продаж тонн	7 000 000	7 000 000	7 000 000
2.Цена 1 тонну	20,65	20,65	20,65
3.Выручка от реализации руб.	144 550 000	144 550 000	144 550 000
4.Суммарные издержки руб.	131 372 905,2	131 372 905,2	131 372 905,2
4.1. Переменные издержки руб.	58 306 743,3	58 306 743,3	58 306 743,3
4.2. Постоянные издержки руб.	73 066 162,2	73 066 162,2	73 066 162,2
5. Амортизация оборудования руб.	5 106 000	5 106 000	5 106 000
6. Амортизация здания руб.	18 500 000	185 000 000	185 000 000
7. Прибыль до вычета налога руб. (3-4)	13 177 094,8	13 177 094,8	13 177 094,8
8. Налог на прибыль, (20 % от 7)	2 635 419	2 635 419	2 635 419
9. Чистая прибыль (7-8)	10 541 675,8	10 541 675,8	10 541 675,8
10. Чистая прибыль без кредитов	3 931 620	3 931 620	3 931 620
11.Амортизация тыс. руб. (5+6)	23 606 000	190 106 000	190 106 000
<b>12.Чистый денежный поток от операционной деятельности тыс. руб. (10+11)</b>	<b>27 537 620</b>	<b>27 537 620</b>	<b>27 537 620</b>

Чистая текущая стоимость [27]: (инвестиции носят разовый характер)

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

где ЧДП<sub>опт</sub> – чистые денежные поступления от операционной деятельности, равны 27 537 620 руб.;

A<sub>t</sub> – амортизационные отчисления, равные 23 606 000 руб.;

I<sub>0</sub> – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году, равные 60250000 руб.;

n – ставка дисконта, равная 0,2;

t – время существования проекта (в нашем случае расчет ведем на 5 лет), т.е. расчет ведется на пять лет.

$$NPV = \frac{27537620}{1+0,2} + \frac{27537620}{(1+0,2)^2} + \frac{27537620}{(1+0,2)^3} + \frac{27537620}{(1+0,2)^4} + \frac{27537620}{(1+0,2)^5} - 60250000 = 22\,104\,341$$

руб.

NPV > 0. Инвестиционный проект эффективен.

Срок окупаемости [26]:

Срок окупаемости устанавливается путем определения кумулятивного (накопленного) денежного потока.

Срок окупаемости определяется по следующей формуле:

$$PP = \frac{I_0}{ЧДП}$$

$$PP = \frac{60250000}{27537620} = 2,19 \text{ года}$$

**Индекс доходности (рентабельности) инвестиций (PI)**

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

Расчет этого показателя осуществляется по формуле:

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

где  $I_0$  – первоначальные инвестиции.

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

*Расчет доходности (рентабельности) инвестиций (PI)*

$$PI = \left( \frac{27537620}{1+0,2} + \frac{27537620}{(1+0,2)^2} + \frac{27537620}{(1+0,2)^3} + \frac{27537620}{(1+0,2)^4} + \frac{27537620}{(1+0,2)^5} \right) / 60250000 = 1,37 > 1$$

Инвестиционный проект эффективен.

Внутренняя ставка доходности (**IRR**)

Таблица 20 - Расчет внутренней ставки доходности

<b>i</b>	<b>NPV, рублей</b>
0,1	44 139 246
0,2	22 104 341
0,3	6 819 794
0,4	-4 206 429

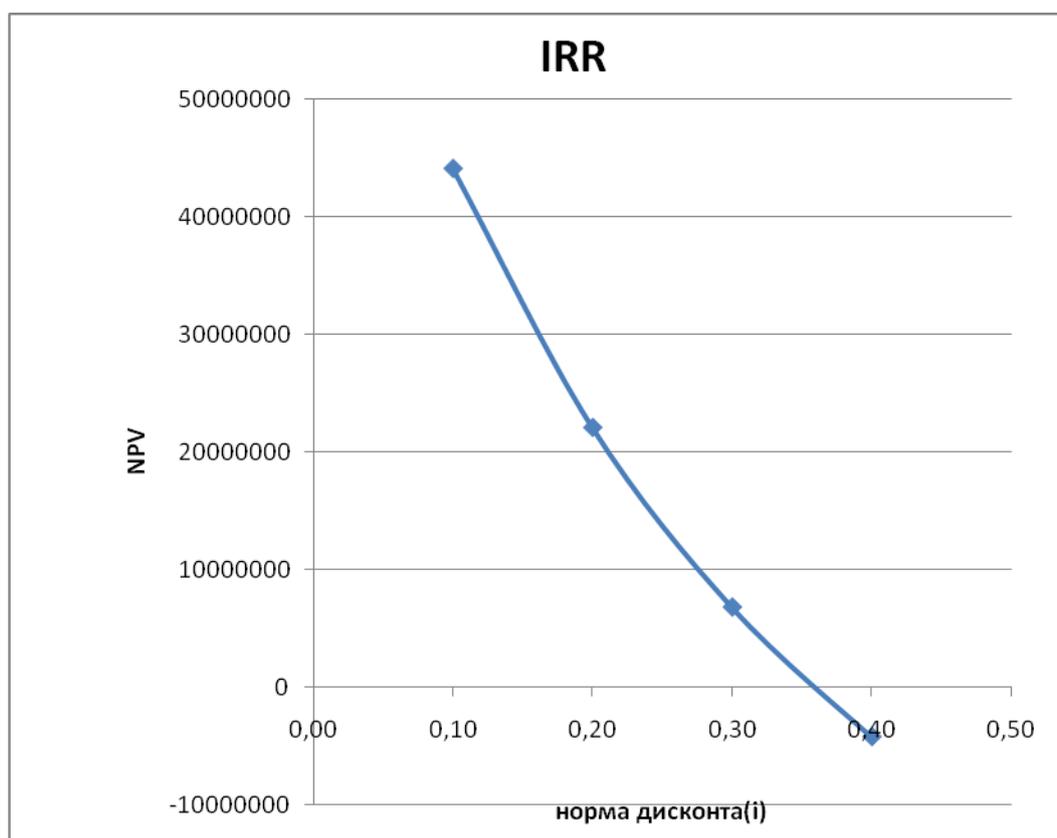


Рис. 9.2 График зависимости NPV от ставки дисконтирования

### 9.3.6 Определение технико-экономических показателей

Таблица 21 - Техничко - экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Отчетный год
1. Объем производства	тыс. т	7 000
2. Объем продаж	тыс. т	7 000
3. Цена 1 тонны	руб.	20,65
4. Выручка от продажи (2*3)	тыс. руб.	144 550
5. Суммарные издержки	тыс. руб.	131 372,9
5.1.Издержки переменные	тыс. руб.	58 306,7
5.2.Издержки постоянные	тыс. руб.	73066,28
6. Операционная прибыль (4–5)	тыс. руб.	13 177,1
7. Налог на прибыль (6*20%)	тыс. руб.	2 635,4
8. Чистая прибыль (6–7)	тыс. руб.	10 541,7

9. Себестоимость 1 тонны	руб.	18,77
10. Стоимость основных средств	тыс. руб.	51 060
11. Численность основных рабочих	чел.	19
12. Фондовооруженность (10/11)	тыс. руб./чел.	2 687,4
13. Фондоотдача (4/10)	руб./руб.	2,83
14. Фондоемкость (10/4)	руб./руб.	0,35
15. Производительность труда (4/11)	тыс. руб./чел.	7 607,9
16. Рентабельность производства ( $8 \cdot 100\% / 5$ )	%	8,02
17. Рентабельность продаж ( $8 \cdot 100\% / 4$ )	%	7,29
18. Критический объем продаж ( $Q_{кр.}$ )	тыс. т	5 930,57
19. Критический объем продаж ( $Q_{кр.}$ )	тыс. руб.	122 469
20. Чистая текущая стоимость (NPV)	тыс. руб.	22 104,3
21. Индекс доходности (PI)	-	1,37
22. Внутренняя норма доходности (IRR)	%	36
23. Срок окупаемости	годы	2,19

## Список литературы

1. Вихрев В.Ф., Шкроб М.С. Водоподготовка. Учебник для вузов. Под ред. М.С. Шкроба. Изд. М., «Энергия», 1973.
2. Карелин В.А. Водоподготовка для АЭС. Проектирование и расчет водоподготовительной установки: учебное пособие; ТПУ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012г, 89с.
3. ГОСТ Р 52857.4-2007 «Сосуды и аппараты . Нормы и методы расчета на прочность и герметичность фланцевых соединений».
4. Михалев М.Ф., Третьяков Н.П., Мильченко А.И., Зобин В.В. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Учебное пособие. Изд. М., 1984, 302с.
5. Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли. ТПУ. Под ред. В.М. Миронова, В.М. Беляева. Учебное пособие, часть I, 2003.
6. ГОСТ Р 52857.3-2007 «Сосуды и аппараты . Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлении. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер».
7. Социальная ответственность организации. Требования: Международный стандарт IC CSR 26000 : 2011
8. Кукин П.П., Лапин В.Л. и др. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств: учеб. пособие.- М.: Высшая школа, 1999. – 318с.
9. Технологический регламент «Производство серной кислоты СК-3»
10. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"
- 11.ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация».
- 12.ВНТП 3-85, ПБ 08-624-03 «Общие Правила противопожарного режима в Российской Федерации».

13. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация».
14. № 384-ФЗ от 30.12.2009 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
15. ГОСТ 12.4.220-2002 «Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты».
16. ГОСТ Р 12.4.218-99 «Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная. Общие технические требования».
17. ГОСТ 12.4.183-91 «Перчатки резиновые диэлектрические бесшовные».
18. ГОСТ 12.1.007-76 «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».
19. ГОСТ 4204-77 «Реактивы. Кислота серная. Технические условия»
20. ГОСТ Р 22.0.01-94. Безопасность в ЧС. Основные положения.
21. Бизнес-план. Методические материалы. Изд.-3 – М.: Финансы и статистика, 2001.– 208 с.
22. Станиславчик Е.Н. Финансовый анализ инвестиционного
23. проекта– М.: Ось-98, 2000.– 96 с.
24. 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.