

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

Институт Электронного обучения

Специальность Машины и аппараты химических производств

Кафедра Общей химии и химической технологии

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
Разработка основного оборудования установки подготовки воды НПО «Вирион»

УДК _____

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-5001	Захаров С.А.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	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 «Безопасность жизни деятельности»

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		

По разделу «Конструктивно-механический раздел»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	к.т.н. доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2016 г.

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 химической технологии

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Тихонов В.В.

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломный проект

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-5001	Захаров Сергей Андреевич

Тема работы:

Модернизация установки подготовки оборотной воды	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	25.04.2016г 3107/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <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>	Материалы преддипломной практики
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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;</i>	Введение 1. Обзор литературы 2. Аппаратно-технологическая схема 3. Расчет агитатора 4. Расчет механического фильтра 5. Расчет катионитового фильтра 6. Монтаж катионитового фильтра 7. Контрольно-измерительные приборы и средства автоматизации 8. Безопасность жизни деятельности 9. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и

заключение по работе).		ресурсосбережение	
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>		Лист 1 Технологическая схема Лист 2-3 Общий вид и выносные элементы агитатора Лист 4 Общий вид дискового фильтра Лист 5 Общий вид фильтра механического Лист 6-8 Общий вид и выносные элементы катионитового фильтра Лист 9 Монтаж катионитового фильтра Лист 10 Техничко-экономические показатели	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>			
Раздел		Консультант	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение		к.э.н. доцент Рыжакина Т.Г.	
Безопасность жизни деятельности		к.б.н. доцент Антонец О.А.	
Конструктивно-механический раздел		к.т.н. доцент Беляев В.М.	
Механо-технологический раздел		к.т.н. доцент Семакина О.К.	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:			
Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику			

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Беляев В.М.	к.т.н.,с.н.с.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5001	Захаров С.А.		

РЕФЕРАТ

Дипломный проект содержит 160 стр., 28 рис., 32 табл., библиографических источника.

Данная дипломная работа посвящена вопросам очистки воды на участке оборотного водоснабжения цеха ВиК ООО "Томскнефтехим".

Произведен аналитический обзор существующих методов очистки воды. Для получения воды необходимой степени чистоты, отвечающей заданным параметрам и пригодной для использования в качестве оборотной воды, выбрана и представлена соответствующая схема.

Сделаны расчеты УОВ узла фильтрации и дозирования реагента, включающие в себя расчеты фильтра и агитатора, также в механо-технологической части дипломного проекта были произведены расчеты для монтажа фильтра.

Рассмотрено влияние химических реагентов, применяемых на установке, на окружающую среду и человека, меры безопасности при работе с ними, пожарную и электробезопасность на УОВ.

В экономическом разделе произведен расчет технико-экономических показателей производства.

THE ABSTRAKT

Diploma project contains 160 p., 28 Fig., 32 tables, bibliographical of source.

This diploma work is dedicated to questions of the purification of water in the section of the circulating water supply of the shop of vetches OOO "Tomskneftekhim".

The instant analysis of the existing methods of the purification of water is produced. For obtaining the water of the necessary surface finish value, which corresponds to the assigned parameters and suitable for the use as the recirculating water, is selected and represented the corresponding diagram.

Are made the calculations UOV of the unit of filtration and dosings of reagent, which include the calculations of filter and agitator; in the mechano-technological aspect of the diploma project calculations for the installation of filter were also produced.

Is examined the influence of the chemical reagents, used on the installation, to the environment and the man, safeguard with the work with them, fireman and electrical safety on UOV.

In the economic division the calculation of the technical and economic indices of production is produced.

Содержание

Введение	9
1 Обзор литературы	9
1.1 Предварительная очистка воды	10
1.2 Осветление	10
1.3 Обесцвечивание воды	11
1.4 Обезжелезивание воды	11
1.5 Фторирование питьевой воды	11
1.6 Обеззараживание воды	11
1.7 Отстаивание воды	12
1.8 Коагуляция	12
1.9 Осветление воды фильтрованием	14
1.10 Обработка воды методом ионного обмена	14
1.11 Ионообменные материалы	15
1.12 Катионирование	16
1.13 Электрохимические методы очистки сточных вод	16
1.14 Обессоливание и опреснение воды	16
1.15 Обескремнивание воды	17
1.16 Радиационная обработка воды	17
2 Аппаратурно-технологическая схема	18
2.1 Аппаратурно-технологическая схема фильтрации и дозирования реагентов УОВ	18
2.1.1. Характеристика основного и вспомогательного оборудования фильтрации и дозирования реагентов УОВ	18
2.2 Схема УОВ фильтрации	19
2.3 Физико-химические основы процесса коагуляции	20
2.4 Механические (осветлительные) фильтры	21
2.5 Установка натрий-катионирования	22
3 Расчет агитатора	25
3.1 Технологический расчет	25
3.2 Конструктивный расчет	27
3.3 Прочностной расчет	29
3.3.1 Определение расчетных параметров	30
3.3.2 Расчет толщины стенки корпуса из условия действия внутреннего давления	31
3.3.3 Расчет укрепления корпуса кольцами жесткости	32
3.3.4 Определение толщины плоской крышки	32
3.3.5 Проверка на прочность при гидравлических испытаниях	33
3.3.6 Расчет сопряжения цилиндрической обечайки и	

эллиптического днища	34
3.3.7 Расчет укрепления отверстий	40
3.3.8 Расчет мешалки	43
3.3.9 Расчет вертикального вала	44
3.3.10 Расчет фланцев	49
3.3.11 Расчет опор аппарата	64
4 Расчет механического фильтра	68
4.1 Технологический расчет	68
4.2 Конструктивный расчет	72
4.3 Гидравлический расчет	75
4.4 Прочностной расчет	75
4.4.1 Расчет толщины стенки цилиндрической бечайки	75
4.4.2 Расчет толщины стенки эллиптического днища	76
4.4.3 Расчет укрепления отверстий	78
4.4.4 Подбор опор	81
5 Расчет катионитового фильтра	84
5.1 Механический раздел	84
5.1.1 Выбор конструкционных материалов элементов фильтра	85
5.1.2 Расчет прибавок к расчетным толщинам конструктивных элементов	85
5.1.3 Определение толщин стенок всех конструктивных элементов фильтра	86
5.1.4 Расчет укрепления отверстий	92
5.1.5 Подбор лап	95
5.1.6 Проверка на прочность элементов фильтра при гидравлических испытаниях	96
5.1.7 Расчет фланца	98
6 Монтаж катионитового фильтра	107
6.1 Расчет палиспаста	107
6.2 Расчет стропа	110
6.3 Расчет траверсы	112
6.4 Расчет монтажных штуцеров	113
6.5 Выбор крана	115
7 Контрольно-измерительные приборы и средства автоматизации	117
8 Безопасность жизни деятельности	119
8.1 Производственная санитария	119
8.1.1 Производственные микроклиматические условия	119
8.1.2 Производственная освещенность	121
8.1.3 Шумы и вибрация	122
8.2 Безопасность	126

8.2.1	Электробезопасность	132
8.2.2	Пожаровзрывобезопасность	136
8.3	Охрана окружающей среды	137
8.3.1	Охрана атмосферы	138
8.3.2	Охрана гидросферы	139
8.3.3	Отходы производства и потребления	139
8.4	Защита человека в чрезвычайных ситуациях	140
9	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	141
9.1	Потребители результатов исследования	141
9.2	SWOT-анализ	141
9.3	Расчет производственной мощности	144
9.4	Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству	146
9.4.1	Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала	146
9.4.2	Расчет затрат на производство продукции	149
9.4.3	Расчет годовой потребности в электроэнергии	149
9.4.4	Расчет амортизационных отчислений	149
9.5	Определение цены готовой продукции	151
9.6	Анализ безубыточности по действующему производству	152
9.7	Определение потребности в инвестициях в проектом году	152
9.8	Расчет экономической эффективности инвестиционных показателей вслучае внедрения инновационного проекта	153
9.8.1	Расчет инвестиционных коэффициентов	153
9.9	Определение технико-экономических показателей	156
Литература		
Спецификация		

Введение

Промышленность является основным потребителем воды. В наибольших объемах вода используется для охлаждения технологического оборудования.

Многие химические реакции протекают с образованием тепла, и требуется охлаждение реакционных сосудов, для того чтобы поддерживать заданную температуру и не допускать выхода реакции из под контроля.

Оборотную воду обычно охлаждают в градирнях таким образом потребность в подпиточной воде сведена к минимуму.

Участок оборотного водоснабжения производства мономеров цеха водоснабжения и канализации Энергопроизводства состоит из двух систем оборотного водоснабжения:

-система 3 оборотного водоснабжения предназначена для охлаждения и обеспечения охлажденной оборотной водой Производства мономеров и Производства полиэтилена. Мощность системы 3 оборотного водоснабжения $20990 \text{ м}^3/\text{ч}$

-система 4 оборотного водоснабжения для предназначена для охлаждения и обеспечения охлажденной оборотной водой Производства мономеров. Мощность системы 4 оборотного водоснабжения $13000 \text{ м}^3/\text{ч}$

Каждая система оборотного водоснабжения выполнена замкнутым контуром, состоящим из потоков:

- охлажденная вода, подаваемая потребителям - прямая оборотная вода (ПОВ);
- теплая вода, поступающая от потребителей - обратная оборотная вода (ООВ).

Метод производства - циркуляция воды по замкнутому контуру с отбором тепла в теплообменном оборудовании и охлаждением воды в градирнях за счет естественного частичного испарения и непосредственной отдачи тепла окружающей среде в принудительном потоке воздуха.

Узел фильтрации оборотной воды предназначен для проведения механической очистки ПОВ. Включение в работу узла фильтрации производится в случае превышения нормы содержания взвешенных веществ в ПОВ ($\text{более } 21 \text{ мг/дм}^3$).

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

деманганизация, 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 зависят 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.

Грубодисперстные 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 избежание 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.

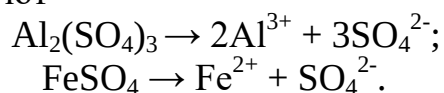
Для того чтобы произошла коагуляция, т. е. взаимное притяжение и слипание движущихся частиц, последние должны преодолеть максимальную результирующую силу отталкивания – «силовой барьер», БД. Чем выше «силовой барьер», тем труднее его преодолеть и вызвать коагуляцию. Чем выше величина электрических зарядов,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

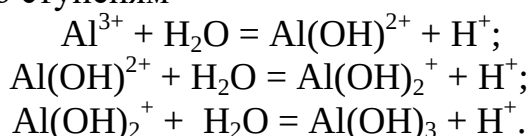
Опытным путем установлено, что когда потенциал снижается до 0,03 В, начинается процесс коагуляции, скорость которого возрастает пропорционально снижению потенциала и достигает своего максимума при значении потенциала равном нулю.

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, $\text{Al}(\text{OH})\text{SO}_4$, $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$ и т.д. Наибольшее распространение на ВПУ получили сульфаты $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ и FeSO_4 .

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



Ионы Al^{3+} и 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 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 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 $\text{pH} = 5,5 \div 7,5$ 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 очистки 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 pH. 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 OH-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 OH-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.

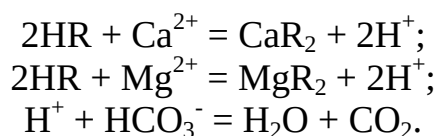
Важными технологическими показателями ионитов при их использовании в водоподготовке являются: гранулометрический состав, механическая прочность,

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

На УОВ в настоящее время катионирование воды осуществляют с применением Na, H и NH₄-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 Ca²⁺-ионов и Mg²⁺-ионов появляются HCO₃⁻ионы (в исходной воде Ca²⁺ и Mg²⁺-катионы находятся в виде Ca(HCO₃)₂ и Mg(HCO₃)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 фильтрации 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 γ -лучи, электроны, протоны, нейтроны, α -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 1 Гр (грэй).

2 Аппаратурно-технологическая схема

2.1. Аппаратурно-технологическая схема фильтрации и дозирования реагентов УОВ .

Промышленность является основным потребителем воды. В наибольших объемах вода используется для охлаждения технологического оборудования. Многие химические реакции протекают с образованием тепла, и требуется охлаждение реакционных сосудов, для того чтобы поддерживать заданную температуру и не допускать выхода реакции из под контроля.

Оборотную воду обычно охлаждают в градирнях таким образом потребность в подпиточной воде сведена к минимуму.

Узел фильтрации и дозирования реагента служат для регулирования и понижения химических компонентов содержащихся в оборотной воде

2.1.1 Характеристика основного и вспомогательного оборудования фильтрации и дозирования реагентов УОВ.

Таблица 1 – Характеристика оборудования цеха ВиК УОВ

№ п/п	Наименование оборудования	Тип оборудования	Количество установленного (ед.)	Технические данные
1.	Бак коагулированной воды		2	$\varnothing=7,8$; $H=9,8$ м; $V=400\text{м}^3$;
2.	Механический фильтр вертикальный, двухкамерный	ФОВ2К-3,4	6	$\varnothing=3,4$; $H=5,5$ м; $Q=90-130\text{м}^3/\text{час}$;
3.	Насос коагулированной воды	Д-500-65	2	$\varnothing_k=465$ мм; $H=65$ м.в.ст.; $Q=500\text{м}^3/\text{час}$; эл.двигат. 160квт. АОЗ-315-4У $n=1470$ об/мин;
4.	Насос коагулированной воды	Д630-90	2	$\varnothing_k=490$ мм; $H=73$ м.в.ст.; $Q=700\text{м}^3/\text{час}$; эл.двигатель А112-4М 200квт. $P=1485$ об/мин;
5.	Натрий-катионитовый фильтр	ФИПа-1-3,4-0,6	4	$\varnothing=3,4$ м; $H=5,5$ м;
6.	Бак сбора отработанных вод		1	$V=400\text{м}^3$
7.	Насос отработанных вод	Х45/54-Л-СД	2	$Q=45\text{м}^3/\text{час}$; $n=2900$ об/мин;
8.	Бак сбора регенеративных вод МФТ/с		1	$V=400\text{м}^3$
9.	Насос регенеративных вод МФТ/с	4К-90/55	2	$Q=108\text{м}^3/\text{час}$; $n=2900$ об/мин;
10.	Бак промывки натрий – катионитовых фильтров (новая ХВО)		1	$V=40\text{м}^3$

11.	Насос промывки натрий-катионитовых фильтров	X160/49-2а-К-СД	2	Q=150м ³ /час; п=2920об/мин;
12.	Бак промывки натрий-катионитовых фильтров (старая ХВО)		1	V=170м ³
13.	Насос промывки натрий-катионитовых фильтров	8К-12	2	Q=250м ³ /час; п=1450об/мин;
14.	Насос промывки МФТ/с	Д-320-50	2	Q=400м ³ /час; п=1450об/мин;
15.	Насос ячеек коагулянта	X45/31-К-С	2	Q=36м ³ /час; п=2900об/мин;
16.	Бак мерник раствора коагулянта		1	V=5м ³
17.	Насос-дозатор коагулянта	НД-2,5 400/16к	2	Q=400л/час; п=1500об/мин;
18.	Насос ячеек соли	X45/31-Л-С	2	Q=32-45м ³ /час; п=2900об/мин;
19.	Бак раствора соли		1	V=40м ³
20.	Насос циркуляции и подачи регенеративн. Раствора соли	X45/31-Л-С	2	Q=32-45м ³ /час; п=2900об/мин;
21.	Насос раствора соли открытого склада	СМ125-80-315/4	2	Q=80м ³ /час; п=1450об/мин;
22.	Дренажный насос открытого склада соли	АХП-50-32-200-1,3-А	1	Q=12,5м ³ /час; п=2900об/мин;
23.	Насос подачи раствора соли на КФ п/к	ХНЗ 6/30	2	Q=30-60м ³ /час; Н=26м.в.ст.;
24.	Бак раствора соли (ХВО п/к)		3	V=20м ³ ;
25.	Фильтр раствора соли	БКЗ	1	Ø=1500мм; Н=3900мм; загр.-антрацит;

2.2 Схема УОВ фильтрации.

УОВ фильтрация и дозирования реагентов выполнена по схеме:

- коагуляция;
- фильтрация на механических фильтрах;
- умягчение воды на натрий - катионитовых фильтрах;

Забор воды ведется из коллектора охлажденной воды по водоводу Ду-600 в количестве 3-5 % от всего объема оборотной воды.

В водовод сделана врезка для дозирования коагулянта., и подается на механические фильтра

На механических фильтрах коагулированная вода очищается от взвешенных веществ и, уже как осветленная вода, поступает на натрий – катионитовые фильтры.

Осветленная вода поступает на установки натрий-катионирования. Пройдя натрий-катионитовые фильтры, вода умягчается посредством катионного обмена и становится умягченной водой.

Отфильтрованная вода по водоводу Ду-600 поступает обратно в камеру охлажденной воды и насосами подается на производства.

2.3 Физико-химические основы процесса коагуляции

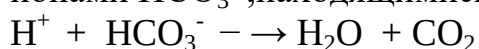
Коагуляция воды на УОВ предназначена для её очистки от грубой и тонкой взвеси, коллоидных веществ, а также для обесцвечивания воды. Она осуществляется введением в обрабатываемую воду специального реагента – коагулянта. В качестве коагулянта используется сернокислый алюминий $AL_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$.

При введении коагулянта в воду происходит гидролиз сернокислого алюминия (процесс взаимодействия соли с водой):



Гидроокись алюминия $AL(OH)_3$ выпадает в осадок в виде мелких хлопьев, которые постепенно соединяются в более крупные, образуя шлам. В процессе образования микро- и макрохлопьев происходит удаление из обрабатываемой воды коллоидных, тонкодисперсных и грубодисперсных веществ, вода осветляется.

Образующиеся при гидролизе коагулянта ионы водорода H^+ связываются ионами HCO_3^- , находящимися в обрабатываемой воде:



Процесс коагуляции определяется следующими основными факторами:

- Температура обрабатываемой воды.

Температура должна быть достаточной для быстрого и полного гидролиза сернокислого алюминия. С повышением температуры степень гидролиза сильно увеличивается вследствие степени диссоциации воды. Кроме того, с повышением температуры вследствие уменьшения вязкости воды более благоприятно происходит отделение обрабатываемой воды от слоя шлама. Оптимальная температура воды при коагуляции сернокислым алюминием равна $27 \pm 1^\circ C$.

- Доза коагулянта.

Эта величина зависит, в основном, от качества исходной воды (щелочности, содержания органических и взвешенных веществ, солевого состава) и определяется лабораторно для каждой воды, а также при сезонном изменении её качества. Обычно, доза коагулянта составляет $0,25 \div 0,5$ мг·экв/кг.

- Значение pH среды.

Этот показатель при коагуляции оказывает влияние на скорость и полноту гидролиза. Оптимальные значения pH при коагуляции находятся в интервале $5,5 \div 7,5$. Точное значение pH для конкретной воды устанавливается лабораторными опытами, а при эксплуатации корректируется вводом коагулянта.

2.4 Механические (осветлительные) фильтры

Назначение и устройство 2-х камерного механического фильтра:

Оборотная вода содержит механические примеси, находящиеся в форме взвешенных частиц различной степени дисперсности – от невидимых глазом до мелких хлопьев. 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 0,8-0,9мм с коэффициентом неоднородности 1,8-2,0. В качестве фильтрующего материала может применяться антрацит, песок, кварц. На УОВ 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 (смотри рисунок 2).

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 анжерными связями с верхним эллиптическим днищем. Через анжерные 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.

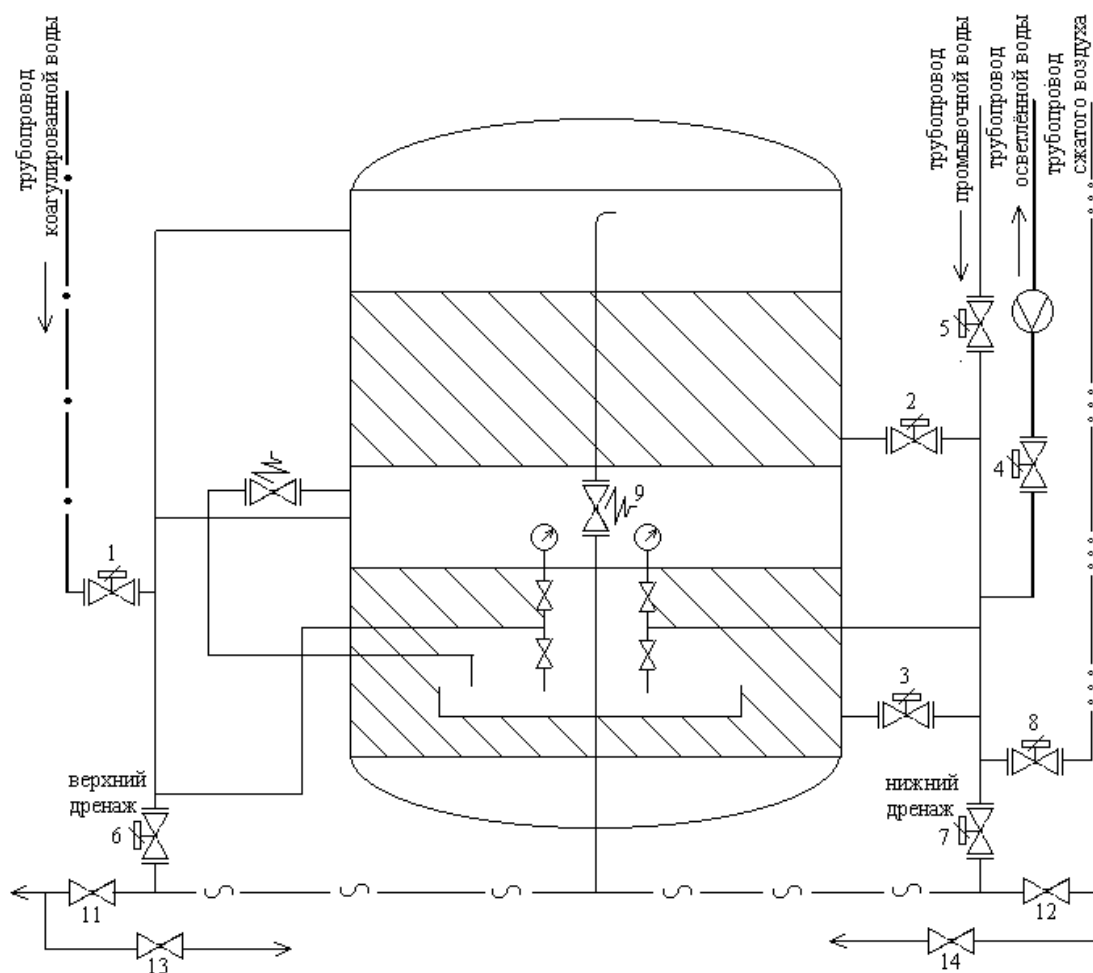


Рисунок 2.1 – Схема двухкамерного механического фильтра.

2.5 Установка натрий-катионирования

Назначение, устройство и принцип работы фильтров.

Обработка воды методом катионного обмена заключается в фильтрации воды через слой зернистого материала – сульфогля, 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.

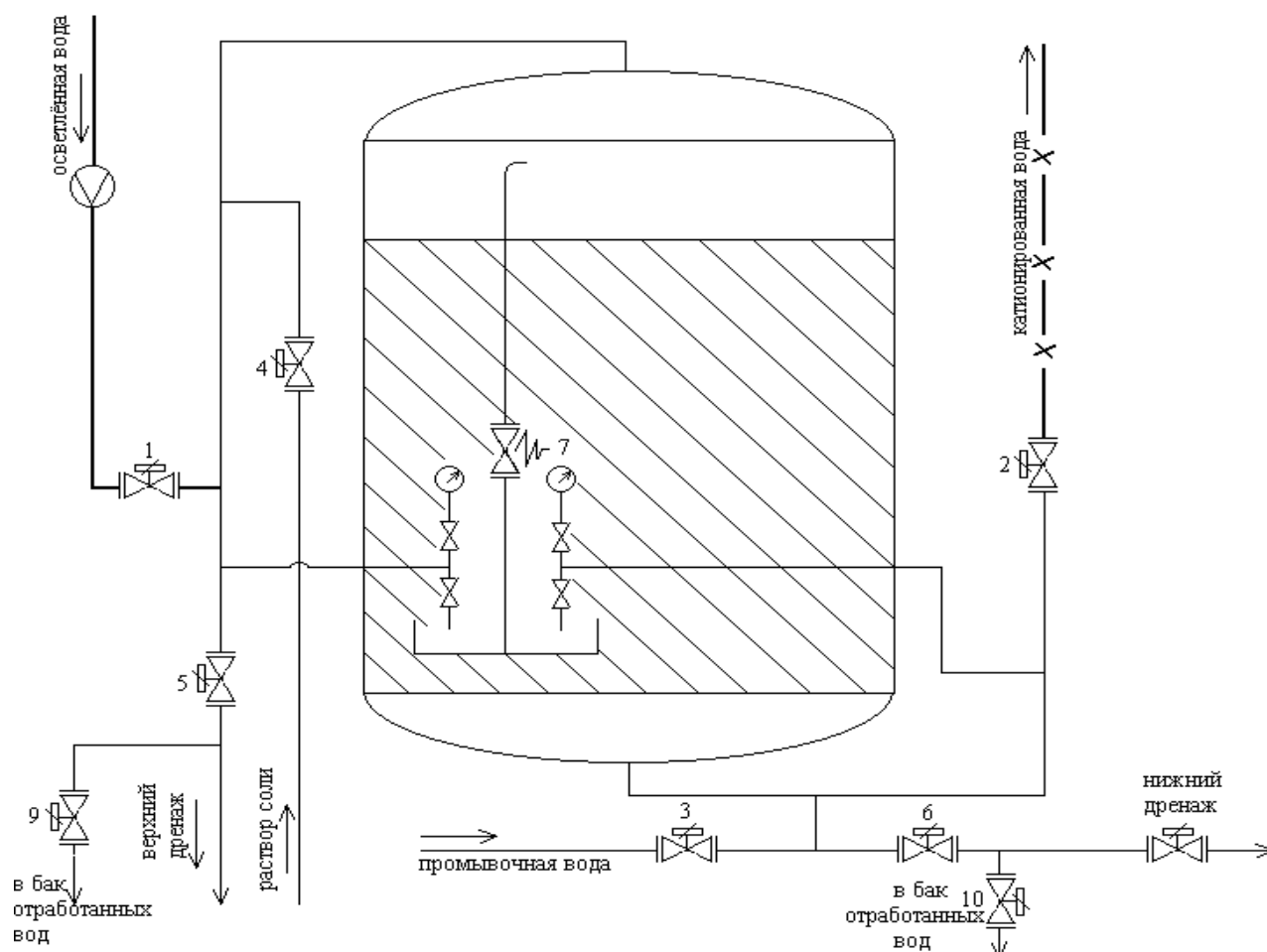


Рисунок 2.2 – Схема Na- катионитового фильтра.

Катионитовый 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.

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

3. Расчет агитатора

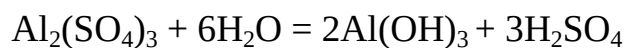
3.1 Технологический расчет.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Исходные данные

1	Производительность аппарата, кг/ч	1300
2	Концентрация полученного раствора, г/л	20
5	Время процесса растворения, ч	4
7	Давление в аппарате, МПа	0,3
8	Начальная температура соли, °С	20
9	Температура раствора в аппарате, °С	80
11	Частота вращения пропеллера, об/мин	180

Основная реакция процесса:



Примечание

- 1 Форма крышки аппарата - плоская
- 2 Форма днища аппарата – эллиптическая.

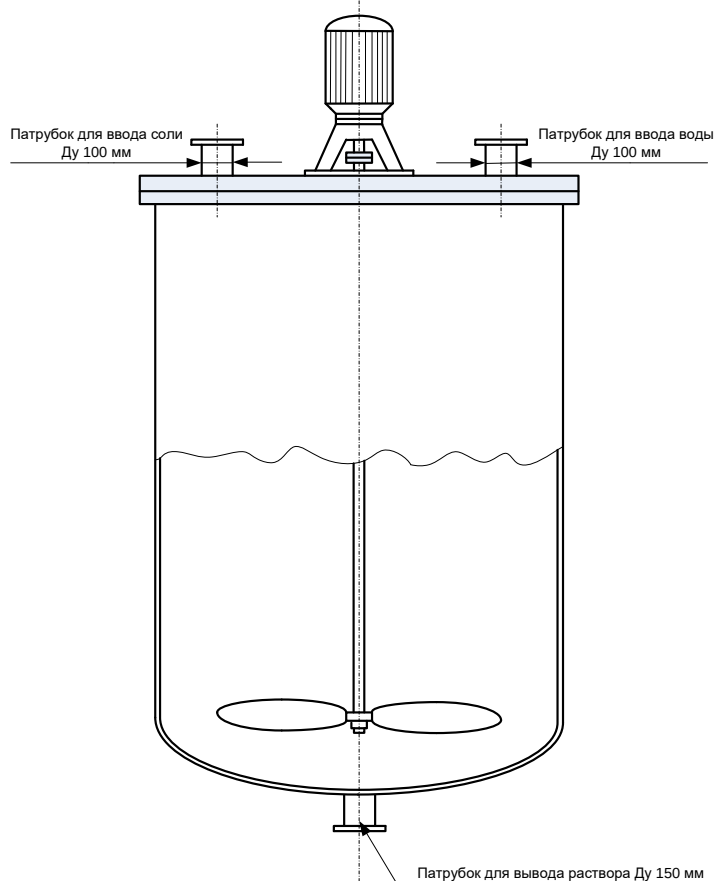


Рисунок 3.1- эскиз агитатора

Материальный расчет

Материальный расчет основывается на законе сохранения материи, в данном случае – массы веществ, с учетом условий равновесия, определяемых термодинамикой процесса.

$$\sum m_{\text{прих.}} = \sum m_{\text{расх.}},$$

где $\sum m_{\text{прих.}}$ – количество реагентов, поступающих в аппарат в единицу времени;

$\sum m_{\text{расх.}}$ – количество продуктов, удаляемых из аппарата в единицу времени.

$$\sum m_{\text{прих.}} = \sum m_{\text{расх.}} = m_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} + m_{\text{H}_2\text{O}};$$

$$\sum m_{\text{прих.}} = \sum m_{\text{расх.}} = 195 + 1105 = 1300 \text{ кг.}$$

Тепловой расчет

Тепловая нагрузка аппарата

Тепловая нагрузка аппарата определяется на основании теплового баланса. Тепловой баланс запишется уравнением

$$\sum Q_{\text{прих.}} = \sum Q_{\text{расх.}};$$

$$\sum Q_{\text{прих.}} = Q^{\text{н}}_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} + Q^{\text{н}}_{\text{H}_2\text{O}};$$

$$\sum Q_{\text{расх.}} = Q^{\text{к}}_{\text{Al}(\text{OH})_3} + Q^{\text{к}}_{\text{H}_2\text{SO}_4} + Q^{\text{к}}_{\text{потерь}},$$

где $\sum Q_{\text{прих.}}$ – количество тепла, вносимое в аппарат с исходными веществами и теплоносителем;

$\sum Q_{\text{расх.}}$ – количество тепла, уносимое из аппарата продуктами, идущее на нагрев аппарата и теряемое в окружающую среду;

$Q^{\text{н}}_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3}$ – количество тепла, поступающего в аппарат с сернокислым алюминием

$Q^{\text{н}}_{\text{H}_2\text{O}}$ – количество тепла, поступающего в аппарат с водой;

$Q^{\text{к}}_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3}$ – количество тепла, уносимое с раствором $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

$Q^{\text{к}}_{\text{H}_2\text{O}}$ – количество тепла, уносимое из аппарата с H_2O

$Q^{\text{к}}_{\text{потерь}}$ – тепло, теряемое в окружающую среду

Указанные количества теплот определяются по формулам.

Приход тепла:

$$Q^{\text{н}}_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} = m_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} \cdot C_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} \cdot t_{\text{H}},$$

где $m_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3}$ – масса сернокислого алюминия;

$C_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3}$ – теплоемкость сернокислого алюминия.

$$Q''_{Al_2(SO_4)_3} = 195 \cdot 0,26 \cdot 20 = 1014, \text{кДж}$$

$$Q''_{H_2O} = m_{H_2O} \cdot C_{H_2O} \cdot t_H,$$

где m_{H_2O} - масса воды;

C_{H_2O} - теплоемкость воды.

$$Q''_{H_2O} = 1105 \cdot 4,19 \cdot 88,5 = 409750,57 \text{кДж}$$

Следовательно

$$\sum Q_{прих.} = 410764,57 \text{кДж}$$

Расход тепла:

$$Q^k_{Al_2(SO_4)_3} = m_{Al_2(SO_4)_3} \cdot C_{Al_2(SO_4)_3} \cdot t_k;$$

$$Q^k_{Al_2(SO_4)_3} = 195 \cdot 0,26 \cdot 80 = 4056, \text{кДж}$$

$$Q^k_{H_2O} = m_{H_2O} \cdot C_{H_2O} \cdot t_k;$$

$$Q^k_{H_2O} = 1105 \cdot 4,19 \cdot 80 = 370396, \text{кДж}$$

$$Q^k_{потери} = (4056 + 370396) \cdot 0,1 = 37445 \text{кДж}$$

Следовательно

$$\sum Q_{расх.} = 4056 + 370396 + 37445 = 411897 \text{кДж};$$

$$\sum Q_{расх.} = 411897 \text{кДж}.$$

Составление теплового баланса

Результаты теплового расчета сведены в таблицу 3.2

Таблица 3.2 – Тепловой баланс

Приход		Расход	
Статьи прихода	кДж	Статьи расхода	кДж
$Q_{Al_2(SO_4)_3}$	1014	$Q_{Al_2(SO_4)_3}$	4056
Q_{H_2O}	409750,57	$Q_{потери}$	370396
		Q_{H_2O}	37445
Итого	4118.9	Итого	4118.9

3.2 Конструктивный расчет

Определение высоты и диаметра

Объем сернокислого алюминия определяется:

$$V_{Al_2(SO_4)_3} = \frac{P}{\rho},$$

где P – масса, кг;

ρ - плотность, кг/м³.

$$V_{Al_2(SO_4)_3} = \frac{195}{1620} = 0,12 \text{м}^3.$$

Объем воды определяется по формуле

$$V_{H_2O} = \frac{1105}{1000} = 1,1 \text{м}^3.$$

Суммарный объем аппарата определяется по формуле

$$V_{\Sigma} = V_{Al_2(SO_4)_3} + V_{H_2O} = 1,22 \text{ м}^3.$$

Объем аппарата $V_{\text{апп}}$ рассчитывается по формуле

$$V_{\text{апп}} = \frac{V_{\Sigma}}{\eta},$$

где η - коэффициент заполнения, $\eta=0,75$ [9],

Тогда

$$V_{\text{апп}} = \frac{1,22}{0,75} = 1,62 \text{ м}^3.$$

а также по формуле:

$$V_t = H \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4};$$

Учитывая, что для аппаратов с мешалкой применимо отношение

$$H = (1,0 \dots 1,5) \cdot D,$$

диаметр аппарата при $H = 1,5 \cdot D$ равен:

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_t}{1,5 \cdot \pi}};$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 1,62}{1,5 \cdot 3,14}} = 1,08 \text{ м};$$

Принимаем $D=1,2$ м.

Тогда

$$H = 1,5 \cdot 1,2 = 1,8 \text{ м}.$$

Согласно [15] принимаем стандартные размеры корпуса аппарата:

емкость аппарата $V_{\text{ном.}} = 1,3 \text{ м}^3$;

диаметр аппарата $D = 1200 \text{ мм}$;

высота корпуса $l = 1800 \text{ мм}$;

По ГОСТ Р 52857.2 – 2007 принимаем стандартные размеры эллиптического днища:

высота выпуклой части днища $H_{\text{д}} = 350 \text{ мм}$;

высота цилиндрической части днища $h_{\text{ц}} = 25 \text{ мм}$;

емкость днища $V_{\text{д}} = 0,396 \text{ м}^3$.

Расчет диаметров патрубков

Диаметр патрубков определяется из уравнения расхода

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot W,$$

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

W - скорость движения теплоносителя, $\text{м}^3/\text{с}$;

d - внутренний диаметр патрубка, м.

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

Диаметры патрубков (задаются заранее):

Патрубок (d_1) для ввода $Al_2(SO_4)_3$ – Ду 100 мм

Патрубок (d_2) для ввода воды – Ду 100 мм

Патрубок (d_3) для вывода раствора – Ду 150 мм

По ГОСТ Р 52857.4 – 2007 принимаем штуцера стандартные с приварными плоскими фланцами (рисунок 3.2) так как среда не агрессивная и давление в аппарате 0.3 МПа, основные размеры которых приведены в таблице 3.3

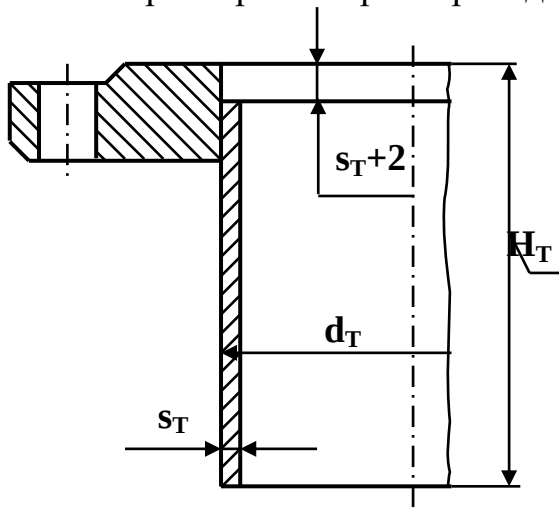


Рисунок 3.2 - Стандартный стальной фланцевый тонкостенный штуцер,

Таблица 3.3 – Основные размеры патрубков, стандартных стальных фланцевых тонкостенных штуцеров.

Наименование патрубка		D_y , мм	d_T , мм	s_T , мм	H_T , мм	Давление условное p_y , МПа
1	Патрубок d_1	100	106	3	200	0,3
2	Патрубок d_2	100	106	3		
4	Патрубок d_3	150	156	3		

3.3 Прочностной расчет

Исходные данные для проведения прочностного расчета приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Исходные данные

1	Диаметр аппарата, мм	1200
3	Давление в аппарате, МПа	0,3
5	Температура раствора в аппарате, °C	80
6	Срок службы аппарата, лет	10

3.3.1 Определение расчетных параметров.

Расчетная температура

За расчетную температуру стенки сосуда или аппарата принимают наибольшее значение температуры стенки:

$$t_p = \max \{t_{ср\text{едн}}; 20 \text{ }^{\circ}\text{C}\};$$

$$t_{\delta} = \max \{80; 20\} = 80 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Выбор конструкционных материалов

Для всех элементов аппарата принимаем конструкционный материал – сталь 12X18H10T, имеющую скорость коррозии $\Pi = 0,1 \text{ мм/год}$.

Сплав 12X18H10T применяется в сварных конструкциях работающих в контакте со средами окислительного характера, в некоторых кислотах средней концентрации, органических растворителях, атмосферных условиях и т.д. Изготавливают емкостное, теплообменное и другое оборудование.

Допускаемые напряжения

Для выбранного конструкционного материала при расчетной температуре определяем допускаемые напряжения по формуле [5]:

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma^*,$$

где η - поправочный коэффициент к допускаемым напряжениям;

σ^* - нормативное допускаемое напряжение, МПа.

Для корпуса, крышки и днища корпуса [5] при рабочей температуре определяем методом интерполяции

$$\sigma_{20} = 184 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{100} = 174 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{80} = 176.5 \text{ МПа}$$

$$[\sigma] = 0,8 \cdot 176.5 = 146 \text{ МПа};$$

Коэффициенты запаса прочности и устойчивости

Коэффициенты запаса прочности должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 3.5.

Таблица 3.5 - Коэффициенты запаса прочности

Условия нагружения		Коэффициент запаса прочности			
		n_T	n_B	n_D	n_{II}
1	Рабочие условия	1,5	2,4	1,5	1,0
2	Условия испытания				
2.1	Гидравлические	1,1	-	-	-
2.2	Пневматические	1,2	-	-	-

где n_T - коэффициент запаса прочности по пределу текучести;

n_B - коэффициент запаса прочности по временному сопротивлению;

n_d - коэффициент запаса прочности по пределу длительной прочности;

n_{II} - коэффициент запаса прочности по пределу ползучести.

Коэффициент запаса устойчивости (n_y) при расчете сосудов и аппаратов на устойчивость по нижним критическим напряжениям в пределах упругости следует принимать:

2,4 – для рабочих условий;

1,8 – для условий испытаний и монтажа.

Расчетные значения модуля продольной упругости

Для марки стали 12X18H10T при расчетной температуре модуль продольной упругости равен [5]

для корпуса, крышки и днища корпуса

$$E = 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

Коэффициенты прочности сварных швов

Выбор коэффициента прочности сварного шва производим по [9]. С учетом специфики сварного шва принимаем $\varphi = 0,9$.

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов

При расчете сосудов и аппаратов необходимо учитывать прибавку (C) к расчетным толщинам элементов сосудов и аппаратов.

Суммарная прибавка к расчетной толщине стенки элементов сосуда и аппарата определяется по формуле:

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

где C_1 - прибавка для компенсации коррозии и эрозии, мм;

C_2 - прибавка для компенсации минусового допуска, мм;

C_3 - прибавка технологическая, мм.

Так как суммарное значение ($C_2 + C_3$) не превышает 5 % номинальной толщины листа, то ими пренебрегаем.[1]

Прибавка к расчетным толщинам

$$C = C_1 = P \cdot \tau = 0,1 \cdot 10 = 1 \text{ мм}.$$

3.3.2 Расчет толщины стенки корпуса из условия действия внутреннего давления.

Расчет ведем по[5]

Толщину стенки рассчитывают по формулам:

$$s \geq s_p + C,$$

$$\text{где } s_p = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - p};$$

$$s_p = \frac{0,3 \cdot 1200}{2 \cdot 146,5 \cdot 0,9 - 0,3} = 4,4 \text{ мм.}$$

$$s \geq 4,4 + 1 = 5,4$$

Принимаем $S=6$ мм

Допускаемое внутреннее давление рассчитывают по формуле:

$$[p] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (s - C)}{D + (s - C)}.$$

$$[p] = \frac{2 \cdot 146,5 \cdot 0,9 \cdot (6 - 1)}{1200 + (6 - 1)} = 0,44 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие:

$$p \leq [p] (0,3 < 0,44).$$

$$\frac{s - C}{D} \leq 0,1;$$

$$\frac{6 - 1}{1200} = 0,0041 < 0,1.$$

3.3.3 Расчет укрепления корпуса кольцами жесткости

Для заданных расчетного давления (p) и толщины стенки (s) коэффициент (K_4) следует рассчитывать по формуле [5]:

$$K_4 = \frac{p \cdot (D + s - C)}{2 \cdot \varphi \cdot [\sigma] \cdot (s - C)} - 1.$$

Для корпуса коэффициент (K_4) равен:

$$K_4 = \frac{0,3 \cdot (1200 + 6 - 1)}{2 \cdot 0,9 \cdot 146,5 \cdot (6 - 1)} - 1 = -0,32.$$

Так как коэффициент (K_4) < 0 , то укрепления корпуса кольцами жесткости не требуется.

3.3.4 Определение толщины плоской крышки

Толщину плоских круглых днищ и крышек сосудов и аппаратов, работающих под внутренним давлением, рассчитывают по формуле [5]:

$$s_K \geq s_{K.p} + C,$$

$$\text{где } s_{K.p} = K \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{p}{\varphi \cdot [\sigma]}}.$$

Значения коэффициента (K) в зависимости от конструкции крышки определяют по [2]:

$$K = 0,41;$$

$$D_p = D.$$

Значения коэффициента ослабления (K_0) для крышки, имеющей одно отверстие, определяют по формуле:

$$K_0 = \sqrt{1 + \frac{d}{D_p} + \left(\frac{d}{D_p}\right)^2};$$

$$K_0 = \sqrt{1 + \frac{40}{1200} + \left(\frac{40}{1200}\right)^2} = 1,02;$$

$$s_{K.p} = 0,41 \cdot 1,02 \cdot 1200 \cdot \sqrt{\frac{0,3}{0,9 \cdot 146,5}} = 24,06 \text{ мм};$$

$$s_K = 24,06 + 1 = 25,06 \text{ мм}.$$

Принимаем $s_K = 25 \text{ мм}$.

Допускаемое давление на плоскую крышку определяют по формуле:

$$[p] = \left(\frac{s_K - C}{K \cdot K_0 \cdot D_p} \right)^2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi;$$

$$[p] = \left(\frac{25 - 1}{0,41 \cdot 1,02 \cdot 1200} \right)^2 \cdot 146,5 \cdot 0,9 = 0,32 \text{ МПа}.$$

Проверяем условие

$$p \leq [p] \quad (0,3 \leq 0,32).$$

Проверяем условия закрепления крышки:

$$\frac{s - C}{s_K - C} < 0,5;$$

$$\frac{6 - 1}{25 - 1} = 0,2 < 0,5.$$

Условие соблюдается.

3.3.5 Проверка на прочность при гидравлических испытаниях

Для условий испытаний сосудов и аппаратов допускаемое напряжение определяют по формуле:

$$[\sigma]_u = \eta \cdot \frac{R_{p0,2}^{20}}{n_T},$$

где η – поправочный коэффициент к допускаемым напряжениям;

$R_{p0,2}^{20}$ – минимальное значение условного предела текучести при температуре 20°C , МПа.

$$[\sigma]_u = 0,83 \cdot \frac{240}{1,1} = 181,09 \text{ МПа}.$$

Допускаемое внутреннее давление на корпус при испытаниях рассчитывается по формуле:

$$[p]_u = \frac{2 \cdot [\sigma]_u \cdot \varphi \cdot (s - C)}{D + (s - C)};$$

$$[p]_u = \frac{2 \cdot 181,09 \cdot 0,9 \cdot (6-1)}{1200 + (6-1)} = 0,6 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие:

$$p \leq [p]_k \quad (0,3 < 0,6).$$

Допускаемое внутреннее давление на днище корпуса при испытаниях рассчитывается по формуле:

$$[p]_u = \frac{2 \cdot (s_d - C) \cdot \varphi \cdot [\sigma]_u}{D + 0,5 \cdot (s_d - C)};$$

$$[p]_u = \frac{2 \cdot (6-1) \cdot 0,9 \cdot 181,09}{1200 + 0,5 \cdot (6-1)} = 0,5 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие:

$$p \leq [p]_k \quad (0,3 < 0,5). - \text{условие соблюдается.}$$

Допускаемое внутреннее давление на плоскую крышку при испытаниях рассчитывается по формуле:

$$[p]_u = \left(\frac{s_k - C}{K \cdot K_0 \cdot D_p} \right)^2 \cdot [\sigma]_u \cdot \varphi;$$

$$[p]_u = \left(\frac{25-1}{0,41 \cdot 1,01 \cdot 1200} \right)^2 \cdot 181,09 \cdot 0,9 = 0,38 \text{ МПа.}$$

Проверяем условие:

$$p \leq [p]_k \quad (0,3 < 0,38). - \text{условие соблюдается}$$

3.3.6 Расчет сопряжения цилиндрической обечайки и эллиптического днищ

Расчет производим по [1] в программе Mathcad

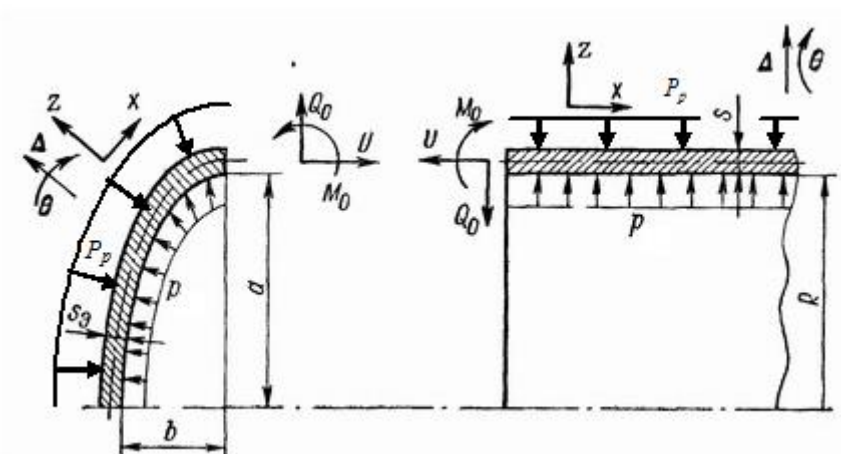


Рисунок 3.3 - Расчетная схема сопряжения эллиптической крышки и цилиндрической обечайки

Исходные данные:

Внутренний диаметр аппарата, м	$D := 1.2$
Высота обечайки аппарата, м	$H := 1.45$
Толщина стенки обечайки, м	$s := 6 \cdot 10^{-3}$
Толщина стенки днища, м	$s_d := 6 \cdot 10^{-3}$
Рабочее избыточное давление в корпусе, Па	$P := 0.3 \cdot 10^6$
Рабочее избыточное давление в рубашке, Па	$P_p := 0$
Материал аппарата: 12X18H10T	
Допускаемое напряжение при температуре 80°C, Па	$\sigma_d := 176.5 \cdot 10^6$
Рабочая температура среды, °C	$t_c := 80$
Коэффициент прочности сварных швов	$\phi := 1$
Сумма прибавок к расчетной толщине стенок, м	$c := 1 \cdot 10^{-3}$
Коэффициент запаса устойчивости для рабочих условий:	$n_p := 2.4$
Коэффициент запаса устойчивости для условий испытания:	$n_H := 1.8$
Модуль упругости материала аппарата при 80°C, Па	$E := 215 \cdot 10^8$
Коэффициент Пуассона	$\mu := 0.3$

Решение:

Решение уравнений совместности радиальных и угловых деформаций

Для определения Q_0 и M_0 составляются уравнения совместности радиальных и угловых деформаций. Сущность этих уравнений в том, что для нормальной работы аппарата в узле сопряжения не должно быть никаких относительных перемещений сопрягаемых деталей.

Уравнения совместности деформаций для места стыка обечайки с эллиптическим днищем:[1]

$$R := \frac{D}{2} \qquad a := \frac{D}{2} \qquad b := \frac{D}{4}$$

$$\beta := \sqrt[4]{\frac{[3 \cdot (1 - \mu^2)]}{[R \cdot (s - c)]^2}}$$

$$\beta = \blacksquare 23.468 \text{ 1/M}$$

$$\beta_{\mathfrak{S}} := \sqrt[4]{\frac{[3 \cdot (1 - \mu^2)]}{[a \cdot (s_{\mathfrak{S}} - c)]^2}}$$

$$\beta_{\mathfrak{S}} = \blacksquare 23.468 \text{ 1/M}$$

$$\Delta_{\mathfrak{U}Pp} := \frac{(2 - \mu) \cdot R^2}{2 \cdot E(s - c)} \cdot P_p$$

$$\Delta_{\mathfrak{U}Pp} = \blacksquare 0$$

$$\Delta_{\mathfrak{U}P} := \frac{(2 - \mu) \cdot R^2}{2 \cdot E(s - c)} \cdot P$$

$$\Delta_{\mathfrak{U}P} = \blacksquare 0.000854$$

$$\Delta_{\mathfrak{U}Q0} := 2 \cdot \beta \cdot \frac{R^2}{(s - c) \cdot E}$$

$$\Delta_{\mathfrak{U}Q0} = \blacksquare 0.0000001572$$

$$\Delta_{\mathfrak{U}M0} := 2 \cdot \beta^2 \cdot \frac{R^2}{(s - c) \cdot E}$$

$$\Delta_{\mathfrak{U}M0} = \blacksquare 0.000003689$$

$$\Delta_{\mathfrak{S}Pp} := P_p \cdot \frac{a^2}{[2 \cdot E \cdot (s_{\mathfrak{S}} - c)]} \cdot \left(2 - \mu - \frac{a^2}{b^2} \right) \quad 0_{\Delta_{\mathfrak{S}Pp}} = \blacksquare$$

$$\Delta_{\mathfrak{S}P} := P \cdot \frac{a^2}{[2 \cdot E \cdot (s_{\mathfrak{S}} - c)]} \cdot \left(2 - \mu - \frac{a^2}{b^2} \right) \quad \Delta_{\mathfrak{S}P} = \blacksquare -0.001155$$

$$\Delta_{\mathfrak{S}Q0} := 2 \cdot \beta_{\mathfrak{S}} \cdot \frac{a^2}{(s_{\mathfrak{S}} - c) \cdot E}$$

$$\Delta_{\mathfrak{S}Q0} = \blacksquare 0.000001572$$

$$\Delta_{\mathfrak{S}M0} := 2 \cdot \beta_{\mathfrak{S}}^2 \cdot \frac{a^2}{(s_{\mathfrak{S}} - c) \cdot E}$$

$$\Delta_{\mathfrak{S}M0} = \blacksquare 0.0001731$$

$$\theta_{\mathfrak{U}Pp} := 0 \quad \theta_{\mathfrak{U}P} := 0 \quad \theta_{\mathfrak{S}Pp} := 0 \quad \theta_{\mathfrak{S}P} := 0$$

$$\theta_{\mathfrak{U}Q0} := 2 \cdot \beta^2 \cdot \frac{R^2}{(s - c) \cdot E} \quad \theta_{\mathfrak{U}Q0} = \blacksquare 0.000003689$$

$$\theta_{\mathfrak{U}M0} := 4 \cdot \beta^3 \cdot \frac{R^2}{(s - c) \cdot E}$$

$$\theta_{\mathfrak{U}M0} = \blacksquare 0.0001731$$

$$\theta_{\text{э}Q0} := 2 \cdot \beta_{\text{э}}^2 \cdot \frac{a^2}{(s_{\text{э}} - c) \cdot E} \quad \theta_{\text{э}Q0} = \blacksquare 0.000003689$$

$$\theta_{\text{э}M0} := 4 \cdot \beta_{\text{э}}^3 \cdot \frac{a^2}{(s_{\text{э}} - c) \cdot E} \quad \theta_{\text{э}M0} = \blacksquare 0.0001731$$

$$Q_0 := 0 \quad M_0 := 0$$

Given

$$-\Delta_{\text{ц}Pp} + \Delta_{\text{ц}P} - \Delta_{\text{ц}Q0} \cdot Q_0 + \Delta_{\text{ц}M0} \cdot M_0 = -\Delta_{\text{э}Pp} + \Delta_{\text{э}P} + \Delta_{\text{э}Q0} \cdot Q_0 + \Delta_{\text{э}M0} \cdot M_0$$

$$-\theta_{\text{ц}Pp} + \theta_{\text{ц}P} - \theta_{\text{ц}Q0} \cdot Q_0 + \theta_{\text{ц}M0} \cdot M_0 = \theta_{\text{э}Pp} - \theta_{\text{э}P} - \theta_{\text{э}Q0} \cdot Q_0 - \theta_{\text{э}M0} \cdot M_0$$

$$V := \text{Find}(Q_0, M_0)$$

$$Q_0 := V_0 \quad \boxed{Q_0 = \blacksquare} 0.006392 \frac{H}{m}$$

$$M_0 := V_1 \quad \boxed{M_0 = \blacksquare} 0 H \cdot \frac{M}{m}$$

Вычисление напряжений на краю эллиптического днища и цилиндрической обечайки

Суммарные напряжения на краю эллиптического днища:

- меридиональное:

$$\sigma_{m\text{э}} = -\sigma_{Ppm\text{э}} + \sigma_{Pm\text{э}} + \sigma_{Q0m\text{э}} + \sigma_{M0m\text{э}}$$

$$\sigma_{m\text{э}1} := -P_p \cdot \frac{a}{[2 \cdot (s_{\text{э}} - c)]} + P \cdot \frac{a}{[2 \cdot (s_{\text{э}} - c)]} + 0 + 6 \cdot \frac{M_0}{(s_{\text{э}} - c)^2}$$

$$\sigma_{m\text{э}1} = \blacksquare 1800000 \text{ Па}$$

$$\sigma_{m\text{э}2} := -P_p \cdot \frac{a}{[2 \cdot (s_{\text{э}} - c)]} + P \cdot \frac{a}{[2 \cdot (s_{\text{э}} - c)]} + 0 - 6 \cdot \frac{M_0}{(s_{\text{э}} - c)^2}$$

$$\sigma_{m\text{э}2} = \blacksquare 18000000 \text{ Па}$$

$$\sigma_{m\text{э}} := \max(|\sigma_{m\text{э}1}|, |\sigma_{m\text{э}2}|) \quad \sigma_{m\text{э}} = \blacksquare 18000000 \text{ Па}$$

- кольцевое:

$$\sigma_{P_{pt3}} := P_p \cdot a \cdot \frac{\left(2 - \frac{a^2}{b^2}\right)}{[2 \cdot (s_3 - c)]}$$

$$\sigma_{P_{t3}} := P \cdot a \cdot \frac{\left(2 - \frac{a^2}{b^2}\right)}{[2 \cdot (s_3 - c)]}$$

$$\sigma_{Q_{0t3}} := 2 \cdot Q_0 \cdot \beta_3 \cdot \frac{a}{(s_3 - c)}$$

$$\sigma_{M_{0t3}} := 2 \cdot M_0 \cdot \beta_3^2 \cdot \frac{a}{(s_3 - c)}$$

$$\sigma_{t31} := \left[-\sigma_{P_{pt3}} + \sigma_{P_{t3}} + \sigma_{Q_{0t3}} + \sigma_{M_{0t3}} + 6 \cdot \mu \cdot \frac{M_0}{(s_3 - c)^2} \right]$$

$$\sigma_{t31} = \blacksquare -0.00002409 \text{ Па}$$

$$\sigma_{t32} := \left[-\sigma_{P_{pt3}} + \sigma_{P_{t3}} + \sigma_{Q_{0t3}} + \sigma_{M_{0t3}} - 6 \cdot \mu \cdot \frac{M_0}{(s_3 - c)^2} \right]$$

$$\sigma_{t32} = \blacksquare -0.00002409 \text{ Па}$$

$$\sigma_{t3} := \max(|\sigma_{t31}|, |\sigma_{t32}|)$$

$$\sigma_{t3} = \blacksquare 0.00002409 \text{ Па}$$

Суммарные напряжения на краю цилиндрической обечайки:

- меридиональное:

$$\sigma_{mo} = -\sigma_{P_{pmo}} + \sigma_{P_{mo}} - \sigma_{Q_{0mo}} + \sigma_{M_{0mo}}$$

$$\sigma_{mo1} := -P_p \cdot \frac{R}{[2 \cdot (s - c)]} + P \cdot \frac{R}{[2 \cdot (s - c)]} - 0 + 6 \cdot \frac{M_0}{(s - c)^2}$$

$$\sigma_{mo1} = \blacksquare 18000000 \text{ Па}$$

$$\sigma_{mo2} := -P_p \cdot \frac{R}{[2 \cdot (s - c)]} + P \cdot \frac{R}{[2 \cdot (s - c)]} - 0 - 6 \cdot \frac{M_0}{(s - c)^2}$$

$$\sigma_{mo2} = \blacksquare 18000000 \text{ Па}$$

$$\sigma_{mo} := \max(|\sigma_{mo1}|, |\sigma_{mo2}|)$$

$$\sigma_{mo} = \blacksquare 18000000 \text{ Па}$$

- кольцевое:

$$\sigma_{to} = -\sigma_{Ppto} + \sigma_{Pto} - \sigma_{Q0to} + \sigma_{M0to}$$

$$\sigma_{to1} := -P_p \cdot \frac{R}{(s - c)} + P \cdot \frac{R}{(s - c)} - 2 \cdot Q_0 \cdot \beta \cdot \frac{R}{(s - c)} + 2 \cdot M_0 \cdot \beta^2 \cdot \frac{R}{(s - c)} + 6 \cdot \mu \cdot \frac{M_0}{(s - c)^2}$$

$$\sigma_{to1} = \blacksquare 0.00002409 \text{ Па}$$

$$\sigma_{to2} := -P_p \cdot \frac{R}{(s - c)} + P \cdot \frac{R}{(s - c)} - 2 \cdot Q_0 \cdot \beta \cdot \frac{R}{(s - c)} + 2 \cdot M_0 \cdot \beta^2 \cdot \frac{R}{(s - c)} - 6 \cdot \mu \cdot \frac{M_0}{(s - c)^2}$$

$$\sigma_{to2} = \blacksquare 0.00002409 \text{ Па}$$

$$\sigma_{to} := \max(|\sigma_{to1}|, |\sigma_{to2}|) \quad \sigma_{to} = \blacksquare 0.00002409 \text{ Па}$$

Проверка условия прочности для узла сопряжения обечайки и днища

Допускаемое напряжение на краю элемента:

$$\sigma_{кр.д} := 1.3 \cdot \sigma_d \quad \sigma_{кр.д} = \blacksquare 229500000 \text{ Па}$$

Максимальное напряжение на

краю:

- эллиптического днища

$$\sigma_{maxэ} := \max(\sigma_{mэ}, \sigma_{tэ}) \quad \sigma_{maxэ} = \blacksquare 18000000 \text{ Па}$$

$$\sigma_{maxэ} < \sigma_{кр.д}$$

- цилиндрической обечайки:

$$\sigma_{maxо} := \max(\sigma_{mo}, \sigma_{to}) \quad \sigma_{maxо} = \blacksquare 18000000 \text{ Па}$$

$$\sigma_{\max} < \sigma_{\text{кр.д}}$$

т. е. условие прочности в месте сопряжения элементов выполняется

3.3.7 Расчет укрепления отверстий

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

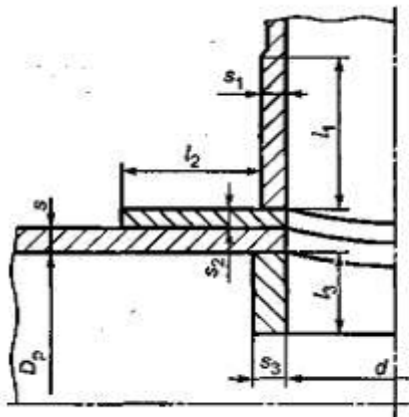


Рис 3.3-укрепление отверстий

Исходные данные:

Внутренний диаметр оболочки-

$$D := 1200 \text{ мм}$$

Марка стали

$$12X18H10T$$

Внутреннее расчетное давление

$$P_r := 0.3 \text{ МПа}$$

Расчётная температура

$$t_R := 80 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Длина неукреплённой части оболочки

$$l_1 := 1800 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки оболочки

$$s_1 := 6 \text{ мм}$$

Расстояние от центра укрепления отверстия до оси $x := 0 \text{ мм}$

Диаметр отверстия

$$d := 150 \text{ мм}$$

Толщина внутренней стенки штуцера

$$s_1 := 10 \text{ мм}$$

Толщина внешней стенки штуцера

$$s_3 := 10 \text{ мм}$$

Длина внешней части штуцера

$$l_1 := 200 \text{ мм}$$

Длина внутренней части штуцера

$$l_3 := 5 \text{ мм}$$

Ширина накладного кольца

$$l_2 := 0.5d$$

Толщина накладного кольца

$$s_2 := s$$

Прибавка расчетной толщины стенки

$$c := 1.0$$

Коэффициент прочности сварных швов

$$\phi := 0.9$$

Материал сталь

$$12X18H10T$$

Допускаемое напряжение для материала
при расчётной температуре, МПа

$$\sigma_d := 146.5$$

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

$$n := 2$$

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

Расчётный диаметр оболочки

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

$$D_p = \blacksquare 2400$$

$$\text{Tip} = \blacksquare \text{ЭЛЛИПТИЧЕСКОЕ ОБОЛОЧКА}$$

Расчётный диаметр отверстия

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

$$d_p = \blacksquare 152 \text{ мм}$$

Проверка условий применения формул для расчёта укрепления отверстий:

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

$$\text{Tip} = \blacksquare \text{ЭЛЛИПТИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА}$$

$$\text{Usl} = \blacksquare \text{УСЛОВИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ФОРМУЛЫ ВЫПОЛНЯЮТСЯ}$$

Расчётная толщина стенки оболочки:

$$s_p := \begin{cases} s_p \leftarrow \frac{P_r \cdot D_p}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P_r} & \text{if } n = 1 \\ s_p \leftarrow \frac{P_r \cdot D_p}{4 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P_r} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$s_p = \blacksquare 1,366 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s'_p := \frac{P_r \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_{d1} \cdot \phi - P_r} = \blacksquare 0,173 \text{ мм}$$

Расчётные длины штуцеров:

$$l_{1p} := \min \left[l_1, \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s - c)} \right] \quad l_{1p} = \blacksquare 27,568 \text{ мм}$$

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

Расчётная ширина накладного кольца:

$$l_{2p} := \min \left[l_2, \sqrt{D_p \cdot (s_2 + s - c)} \right] \quad l_{2p} = \blacksquare 75 \text{ мм}$$

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

$$l_p := \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = \blacksquare 109,545 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений:

для внешней части штуцера

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

для накладного кольца

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

для внутренней части штуцера

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

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления

$$d_{op} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = \blacksquare 43,818 \text{ мм}$$

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

$$d_o := 2 \cdot \left[\left(\frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = \blacksquare 626,686 \text{ мм}$$

Проверка необходимости укрепления отверстия

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

Tip = ■ ЭЛЛИПТИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА

Prov = ■ УКРЕПЛЕНИЕ НЕ ТРЕБУЕТСЯ

Проверка условия укрепления одиночного отверстия

$$A_1 := l_p \cdot (s_1 - s'_p - c) \cdot \chi_1 = \blacksquare 243,34 \text{ мм}^2$$

$$A_2 := l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 = \blacksquare 450 \text{ мм}^2$$

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

$$A_{p.c} := l_p \cdot (s - s_p - c) = \blacksquare 398,089 \text{ мм}^2$$

$$A_p := 0.5(d_p - d_{op}) \cdot s_p = \blacksquare 73,887 \text{ мм}^2$$

$$\text{Summa} := A_1 \cdot \chi_1 + A_2 \cdot \chi_2 + A_3 \cdot \chi_3 + A_{p.c} = \blacksquare 1131 \text{ мм}^2$$

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

Tip = ■ ЭЛЛИПТИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА

Prov' = ■ УСЛОВИЕ УКРЕПЛЕНИЯ ВЫПОЛНЯЮТСЯ

Укрепление производим накладным кольцом.

3.3.8 Расчет мешалки

После выбора и расчета основных размеров мешалки определяется мощность, потребляемая на перемешивание, для чего используются критериальные уравнения мощности (K_N) от модифицированного критерия Рейнольдса (Re_M) и конструктивных особенностей перемешивающего устройства[27]

$$K_N = f(Re_M),$$

$$Re_M = \frac{\rho_{ж} \cdot n \cdot d^2}{\mu_{ж}},$$

где $\rho_{ж}$ – плотность перемешиваемой жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$;

n – скорость вращения мешалки, с^{-1} ;

d – диаметр мешалки, м ;

$\mu_{ж}$ – динамический коэффициент вязкости жидкости.

$$Re = \frac{1620 \cdot 5 \cdot 0,3^2}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 1458000.$$

Согласно [4] $K_N = 0,5$.

Расчетная мощность, потребляемая на перемешивание жидкости, определяется по формуле:

$$N_M = K_N \cdot \rho_{ж} \cdot n^3 \cdot d^5;$$

$$N_M = 0,5 \cdot 1620 \cdot 5^3 \cdot 0,3^5 = 243 \text{ Вт}.$$

Мощность привода мешалки рекомендуется рассчитывать по формуле:

$$N_{np} = \frac{k_n \cdot k_y \cdot \sum k_y \cdot N_M}{\eta},$$

где k_n – коэффициент, учитывающий наличие перегородок;
 $k_n = 1,25$ – для аппаратов без перегородок;
 k_y – коэффициент, учитывающий высоту уровня жидкости в аппарате;

$$k_y = \left(\frac{H_{жс}}{D} \right)^{0,5};$$

k_i – коэффициент, учитывающий наличие в аппарате внутренних устройств;
 $k_i = 1,1 \dots 1,2$ – при наличии гильзы термопары, трубы переливания или уровнемера;
 η – к.п.д. привода мешалки, равное 0,85–0,9.

$$H_{жс} = H_{аппарата} \cdot \varphi;$$

Тогда

$$N_{np} = \frac{1,25 \cdot 1,09 \cdot 1,2 \cdot 243}{0,85} = 468 \text{ Вт}.$$

Принимаем минимальную мощность привода $N_{np} = 1,5 \text{ кВт}$.

По рекомендациям [9] выбираем мотор-редуктор МПЗ-31,5 по ГОСТ Р 21355–21.01.2009 с номинальной мощностью 2,2 кВт, частотой вращения $n_{ном} = 180 \text{ об/мин}$ (электродвигатель 4АХ90РЗ), масса мотор-редуктора 45 кг.

3.3.9 Расчет вертикального вала

Для определения диаметра консольного вала произведем его расчет на виброустойчивость, жесткость и прочность согласно [27].

Исходные данные для расчета вертикального вала сведены в таблицу 3.6.

Таблица 3.6 – Исходные данные для расчета вертикального вала

Длина вала, мм	1380
Координаты центра тяжести мешалки, мм	1080
Координаты опасных сечений, мм:	
по жесткости	160
по прочности	160
Угловая скорость вращения вала, рад/с	18,85
Материал вала	Сталь 15ХМ
Диаметр мешалки, м	0,028
Масса мешалки, кг	15
Мощность, передаваемая валом, кВт	2,2
Рабочая температура, °С	80

Определим минимальный диаметр вала мешалки из условия прочности при кручении

$$M_{кр} = \frac{N_{np}}{\omega};$$

$$M_{кр} = \frac{2200}{18,85} = 116,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Минимальный диаметр вала рассчитывается по формуле

$$d_B = 1,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{кр}}{[\tau]}},$$

где $[\tau]$ - допускаемое напряжение на кручение для материала вала, Па.

$$d_B = 1,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{116,7}{50 \cdot 10^6}} = 0,023 \text{ м}.$$

Для более точного определения диаметра вала проведем расчет на виброустойчивость, жесткость и прочность.

Расчет вала на виброустойчивость

Для виброустойчивого вала необходимо выполнение условия:

$$\omega/\omega_{кр} \leq 0,7,$$

где $\omega_{кр}$ – критическая скорость вращения вала, рад/с.

Диаметр вала в опорном сечении В с учетом его собственной массы и массы мешалки определяется по формуле:

$$d_B = \sqrt{A_5 + \sqrt{A_5^2 + A_6}};$$

$$A_5 = 0,25 \cdot \xi \cdot L_1^2;$$

$$A_6 = \frac{8 \cdot m_M \cdot \xi \cdot L_1}{\pi \cdot \rho},$$

где ξ - безразмерный коэффициент, учитывающий приведенную массу вала;

$$\xi = \frac{16 \cdot \rho \cdot \omega^2 L_1 \cdot L_2}{3 \cdot E};$$

m_M – масса мешалки, кг.

$$\xi = \frac{16 \cdot 7850 \cdot 18,85^2 \cdot 1,08 \cdot 1,38}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11}} = 1,11 \cdot 10^{-4};$$

$$A_5 = 0,25 \cdot 1,11 \cdot 10^{-4} \cdot 2,1^2 = 3,23 \cdot 10^{-5};$$

$$A_6 = \frac{8 \cdot 15 \cdot 1,11 \cdot 10^{-4} \cdot 1,08}{3,14 \cdot 7850} = 5,621 \cdot 10^{-7}.$$

Тогда

$$d_B = \sqrt{3,23 \cdot 10^{-5} + \sqrt{(3,23 \cdot 10^{-5})^2 + 5,621 \cdot 10^{-7}}} = 0,027 \text{ м}.$$

Принимаем $d = 0,028 \text{ м}$.

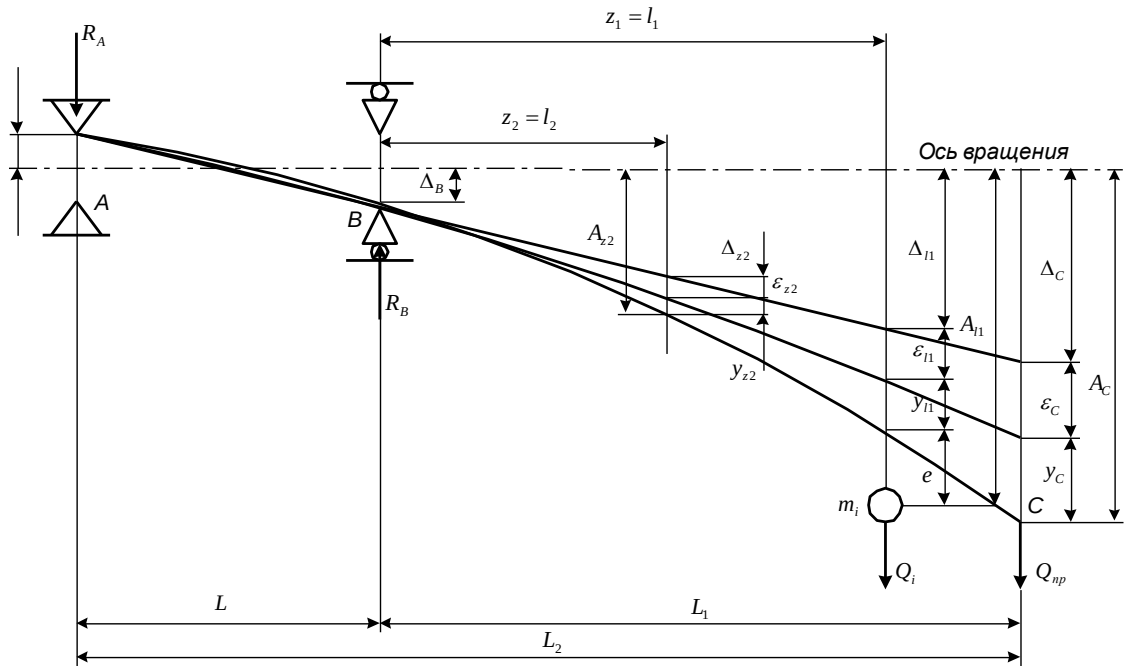


Рисунок 3.4 – Смещение оси консольного вала и центра сосредоточенной на нем массы

Критическая скорость вала с учетом собственной массы определяется по формуле:

$$\omega_{кр1} = \frac{\alpha_1^2}{L_1^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m_l}},$$

где α_1 – корень частотного уравнения;

I – момент инерции сечения вала, м^4 ;

m_l – масса единицы длины вала, кг/м .

$$m_l = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot \rho}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,028^2 \cdot 7850}{4} = 4,83 \text{ кг/м};$$

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 0,028^4}{64} = 3,02 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4.$$

Корень частотного уравнения равен [4]:

$$\alpha_1 = f(L/L_1) = f(0,277) = 1,71.$$

Тогда

$$\omega_{кр1} = \frac{1,7^2}{1,08^2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{11} \cdot 3,02 \cdot 10^{-8}}{4,83}} = 88,6 \text{ рад/с}.$$

Проверим условие виброустойчивости:

$$\omega/\omega_{кр} = 18,85/88,6 = 0,22 \leq 0,7.$$

Расчет вала на жесткость

Относительная координата центра тяжести перемешивающего устройства составляет:

$$\bar{l}_1 = l_1/L_2 = 1,08/1,08 = 1.$$

Безразмерный динамический прогиб вала в центре тяжести перемешивающего устройства :

$$\bar{y}_{z1} = \bar{y}_{l1} = f(\bar{l}_1) = f(1) = 1.$$

Относительная координата опасного по жесткости сечения в месте установки уплотнения вала равна:

$$\bar{z}_2 = z_2/L_2 = 0,14/1,08 = 0,13.$$

Безразмерный динамический прогиб вала в опасном по жесткости сечении:

$$\bar{y}_{z2} = \bar{y}_{l2} = f(\bar{z}_2) = f(0,13) = 0,065.$$

Эксцентриситет массы мешалки составляет:

$$e = 10^{-3}/\sqrt{\omega} = 10^{-3}/\sqrt{18,85} = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Приведенная масса консольного вала равна:

$$m_{\text{в.пр}} = 0,5 \cdot m_{\text{л}} \cdot L_2 = 0,5 \cdot 4,83 \cdot 1,08 = 2,6 \text{ кг.}$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет зазоров в опорах составляет: в месте установки мешалки

$$\Delta_{l1} = \Delta_{z1} = (\Delta_A + \Delta_B) \cdot (l_1 + L)/L - \Delta_A,$$

где Δ_A – зазор в верхней опоре (подшипнике), мм; $\Delta_A = 0,03 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ [4];

Δ_B – зазор в нижней опоре (подшипнике), мм; $\Delta_B = 0,03 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ [4].

$$\Delta_{l1} = \Delta_{z1} = (0,03 \cdot 10^{-3} + 0,03 \cdot 10^{-3}) \cdot (1,08 + 0,3)/0,3 - 0,03 \cdot 10^{-3} = 2,76 \cdot 10^{-4} \text{ м;}$$

в месте установки уплотнения вала

$$\Delta_{z2} = (\Delta_A + \Delta_B) \cdot (z_2 + L)/L - \Delta_A = (0,03 \cdot 10^{-3} + 0,03 \cdot 10^{-3}) \cdot (0,14 + 0,3)/0,3 - 0,03 \cdot 10^{-3} = 8,8 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет начальной изогнутости вала (радиальное биение вала) составляет:

в месте установки мешалки

$$\varepsilon_{l1} = \varepsilon_{z1} = \varepsilon_C \cdot y_{z1},$$

где ε_C – начальная изогнутость вала в точке приведения С, принимаемая по [4]; при $L_2/d = 1,38/0,028 = 49$ $\varepsilon_C = 0,05 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$

$$\varepsilon_{l1} = \varepsilon_{z1} = 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 0,05 \cdot 10^{-3} \text{ м;}$$

в месте установки уплотнения вала

$$\varepsilon_{l2} = \varepsilon_{z2} = 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot 0,065 = 3,25 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

Смещение оси вала от оси вращения в точке приведения С за счет зазоров в опорах составляет:

$$\Delta_C = (\Delta_A + \Delta_B) \cdot L_2/L_1 - \Delta_A = (0,03 \cdot 10^{-3} + 0,03 \cdot 10^{-3}) \cdot 1,38/1,08 - 0,03 \cdot 10^{-3} = 7,67 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Приведенный эксцентриситет массы вала с мешалкой составляет:

$$e_{\text{пр}} = \frac{m_M \cdot e}{m_M + m_{\text{в.пр}}} + \Delta_C + \varepsilon_C = \frac{15 \cdot 2,3 \cdot 10^{-4}}{15 + 2,6} + 4,71 \cdot 10^{-5} + 0,05 \cdot 10^{-3} = 2,15 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Динамический прогиб оси вала в точке приведения С равен:

$$y_C = \frac{e_{np}}{(\omega_{кр}/\omega)^2 - 1} = \frac{2,15 \cdot 10^{-4}}{(88,6/18,85)^2 - 1} = 1,024 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Динамическое смещение центра тяжести мешалки составляет:

$$A_{l1} = y_C \cdot y_{l1} + \varepsilon_{l1} + \Delta_{l1} + e = 1,024 \cdot 10^{-5} \cdot 1 + 0,05 \cdot 10^{-3} + 2,76 \cdot 10^{-4} + 2,3 \cdot 10^{-4} = 5,66 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

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

$$A_{z2} = y_C \cdot y_{l2} + \varepsilon_{l2} + \Delta_{l2} = 1,024 \cdot 10^{-5} \cdot 0,065 + 3,25 \cdot 10^{-6} + 8,8 \cdot 10^{-5} = 9,2 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Динамическое смещение вала в точке приведения С равно:

$$A_C = y_C + \varepsilon_C + \Delta_C = 1,024 \cdot 10^{-5} + 5 \cdot 10^{-5} + 7,67 \cdot 10^{-5} = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Проверим условие жесткости:

$$A_{z2} \leq [A]_{z2},$$

где $[A]_{z2}$ –допускаемое смещение вала в зоне уплотнительного устройства.

Согласно [4] для сальникового уплотнения $[A]_{z2} = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$

$$9,2 \cdot 10^{-5} \text{ м} < 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Расчет на прочность

Сосредоточенная центробежная сила, действующая на мешалку, рассчитывается по формуле:

$$F = m_M \cdot \omega^2 \cdot A_{l1} = 15 \cdot 18,85^2 \cdot 5,66 \cdot 10^{-4} = 3,02 \text{ Н.}$$

Приведенная центробежная сила, действующая в точке приведения С, от собственной массы вала:

$$F_{с. np} = m_{с. np} \cdot \omega^2 \cdot A_C = 2,6 \cdot 18,85^2 \cdot 1,4 \cdot 10^{-4} = 0,13 \text{ Н.}$$

Реакции опор определяются по формуле:

$$R_A = \frac{(F + F_{с. np}) \cdot L_1}{L} = \frac{(3,02 + 0,13) \cdot 1,08}{0,3} = 11,34 \text{ Н;}$$

$$R_B = \frac{(F + F_{с. np}) \cdot L_2}{L} = \frac{(3,02 + 0,13) \cdot 1,38}{0,3} = 14,5 \text{ Н.}$$

Изгибающий момент в опасном по прочности сечении равен:

Момент сопротивления сечения в опасном по прочности сечении равен:

$$W_{\epsilon} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{3,14 \cdot 0,028^3}{32} = 7,7 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3. \quad M_{II.B} = (F + F_{с. np}) \cdot L_1 = (3,02 + 0,13) \cdot 1,08 = 3,4 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Эквивалентное напряжение в этом сечении определяется по формуле:

$$\sigma_{экв z2} = \frac{\sqrt{M_{II.B}^2 + M_{K.B}^2}}{W_{\epsilon}} = \frac{\sqrt{3,4^2 + 116,7^2}}{7,7 \cdot 10^{-5}} = 1,55 \cdot 10^6 \text{ Па.}$$

Допускаемое напряжение в опасном по прочности сечении равно:

$$[\sigma]_B = \frac{\varepsilon_M \cdot \sigma_{-1}}{K_{\sigma} \cdot n_{min}},$$

где K_{σ} –эффективный коэффициент концентрации напряжений; $K_{\sigma} = 1,3$ [4];

n_{min} –минимальный запас прочности вала; $n_{min} = 2$;

ε_M –масштабный фактор; $\varepsilon_M = 0,8$ [4];

σ_{-1} –предел выносливости материала; $\sigma_{-1} = 200 \text{ МПа}$.

$$[\sigma]_B = \frac{0,8 \cdot 2 \cdot 10^8}{1,3 \cdot 2} = 61,5 \text{ МПа}.$$

Проверим условие прочности:

$$\sigma_{\text{экв. B}} \leq [\sigma]_B \quad (1,55 \text{ МПа} < 61,5 \text{ МПа}).$$

Таким образом, консольный вал диаметром 28 мм и длиной 1380 мм при заданной нагрузке является виброустойчивым, прочным и достаточно жестким в опасных сечениях

3.3.10. Расчет фланцев

Расчет фланца для патрубка $\varnothing=150\text{мм}$.

Для корпуса аппарата принимаем стандартный плоский приварной фланец по ОСТ 26-426 – 09 с гладкой уплотнительной поверхностью.

Конструкция фланца приведена на рисунке 3.5.

Расчет ведем в программе Mathcad по [7]

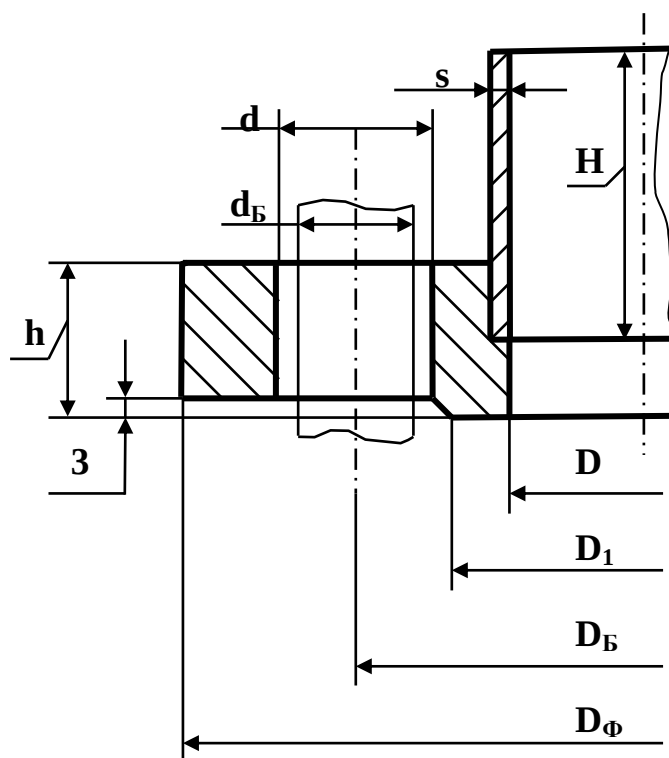


Рисунок 3.5 – Фланец корпуса и рубашки аппарата
Конструктивные размеры фланца [27]

$D := 150 \text{ мм}$

$h := 30 \text{ мм}$

$P := 0,3 \text{ МПа}$

$D_1 := 260 \text{ мм}$

$h_f := 2 \text{ мм}$

$M := 0 \text{ Н*мм}$

$$D_a := 225 \text{ мм}$$

$$S_0 := 7 \text{ мм}$$

$$F := 0 \text{ Н}$$

$$D_{\text{нн}} := 180 \text{ мм}$$

$$d := 16 \text{ мм}$$

$$c_0 := 1 \text{ мм}$$

$$b_i := 15 \text{ мм}$$

$$n := 8$$

$$t := 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Материал обечаек и фланцев - сталь 12X18H10T

Материал болтов - сталь 35X

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

расчетная температура неизолированных плоских фланцев $t_f = 0,96 t$ [1]

$$t_{\text{ф}} := 0.96 \cdot t \quad t_{\text{ф}} = 76.8$$

расчетная температура болтов

$$t_a := 0.85 \cdot t \quad t_a = 68$$

Допускаемые напряжения для болтов из стали 35X [1]

В рабочем состоянии

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 230 \\ 230 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{\text{ä.ä}} := \text{Floor}(\text{interp}(t, \sigma, t_a), 0.5)$$

$$\sigma_{\text{ä.ä}} = \blacksquare 230 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при рабочей температуре[1]

$$E_a := 2.16 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

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

$$\sigma_{20\text{ä}} := 230 \text{ МПа}$$

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

$$E_{20\text{ä}} := 2.18 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

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

$$\alpha_a := 13.4 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$$

Допускаемые напряжения для фланцев и обечаек стали 12X18H10T [1]

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 184 \\ 174 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_0), 0.5)$$

$$\sigma = \blacksquare 172 \text{ МПа}$$

МПа

Так как фланцы изготавливается из листового проката

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{\hat{\alpha}, \hat{\sigma}} := \eta \cdot \sigma \quad \sigma_{\hat{\alpha}, \hat{\sigma}} = \blacksquare 176,5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 12Х18Н10Т при рабочей температуре

$$E := 2.03 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

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

$$\sigma_{20} := 184 \text{ МПа} \quad \sigma_{\hat{\alpha}, 20} := \eta \cdot \sigma_{20} \quad \sigma_{\hat{\alpha}, 20} = \blacksquare 184 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 12Х18Н10Т при температуре испытания $20 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$E_{20} := 2.05 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 12Х18Н10Т при $t = 20 - 100 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$\alpha_{\hat{\sigma}} := 16.6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$$

Эффективная ширина плоской прокладки

$$b_i := 15 \text{ мм}$$

$$b_0 := \begin{cases} b_0 \leftarrow b_i & \text{if } b_i \leq 15 \\ b_0 \leftarrow \text{Ceil}(3.8 \sqrt{b_i}, 1) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$b_0 = \blacksquare 15 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки [7]

$$m := 2.5$$

$$q_{\hat{\alpha}, \hat{\sigma}} := 20 \text{ МПа}$$

$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

$$K_{\hat{\alpha}, \hat{\sigma}} := 0.9$$

$$E_i := 2000 \text{ МПа}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке,

$$P_{\hat{\alpha}, \hat{\sigma}} := 0.5\pi \cdot D_{\hat{\pi}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P| \quad P_{\hat{\alpha}, \hat{\sigma}} = \blacksquare 3181 \text{ Н}$$

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

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

$$R_i = \blacksquare 6362 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечений болтов (шпилек)

$$f_{\hat{\alpha}} := 144 \text{ мм}^2$$

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

$$A_{\dot{a}} := n \cdot f_{\dot{a}} \quad A_{\dot{a}} = \blacksquare 1152 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления

$$Q_{\ddot{a}} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\ddot{m}})^2 \cdot P \quad Q_{\ddot{a}} = \blacksquare 7634 \text{ Н}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента,

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

Податливость прокладки

$$y_{\dot{i}} := \frac{h_{\dot{i}} \cdot K_{\ddot{a}ae}}{E_{\dot{i}} \cdot \pi \cdot D_{\ddot{m}} \cdot b_{\dot{i}}} \quad y_{\dot{i}} = \blacksquare 0,0000001061 \text{ мм/Н}$$

Расстояние между опорными поверхностями гайки и головки болта или опорными поверхностями гаек $L_{\dot{a}0} := 30 \text{ мм}$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости

$$L_{\dot{a}} := L_{\dot{a}0} + 0.28 \cdot d \quad L_{\dot{a}} = \blacksquare 34,48 \text{ мм}$$

Расчетные параметры фланцев

Податливость болтов

$$y_{\dot{a}} := \frac{L_{\dot{a}}}{E_{20\dot{a}} \cdot A_{\dot{a}}} \quad y_{\dot{a}} = \blacksquare 0,000001373 \text{ мм/Н}$$

Расчетные параметры фланцев:

- параметр длины обечайки

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} \quad l_0 = \blacksquare 32,404 \text{ мм}$$

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру

$$K := \frac{D_1}{D} \quad K = \blacksquare 1,733$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца,

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} \quad \beta_T = \blacksquare 1,61$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} \quad \beta_U = \blacksquare 4,072$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] \quad \beta_Y = \blacksquare 3,734$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \quad \beta_Z = \blacksquare 1,998$$

- 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

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad \lambda = \blacksquare 3,441$$

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке

$$y_{\hat{0}} := \frac{0,91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad y_{\hat{0}} = \blacksquare 0,0000000004469$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом,

$$y_{\hat{0}i} := \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_{\hat{a}}}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_i} \quad y_{\hat{0}i} = \blacksquare 0,00000000007575$$

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

$$C_F := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_{\hat{a}}}{n \cdot \left(2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0,5} \right)}} \right] \quad C_F = \blacksquare 1$$

Приведенный диаметр плоского фланца

$$D_{\hat{0}} := D$$

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

$$b := 0,5 \cdot (D_{\hat{a}} - D_{\hat{m}}) \quad b = \blacksquare 22,5$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев

$$e := 0,5 \cdot (D_{\hat{m}} - D - S_0) \quad e = \blacksquare 11,5$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев

$$S_{\hat{y}} := S_0$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев

$$\gamma := \frac{1}{y_i + y_{\hat{a}} \cdot \frac{E_{20\hat{a}}}{E_{\hat{a}}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\hat{0}} \cdot \frac{E_{20}}{E}} \quad \gamma = \blacksquare 1425000$$

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

$$\alpha := 1 - \frac{y_i - 2 \cdot e \cdot y_{\hat{0}} \cdot b}{y_i + y_{\hat{a}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\hat{0}}} \quad \alpha = \blacksquare 1,18$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом

$$\alpha_M := \frac{y_{\acute{a}} + 2 \cdot y_{\acute{o}i} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\ddot{m}}} \right)}{y_{\acute{a}} + y_i \cdot \left(\frac{D_{\acute{a}}}{D_{\ddot{m}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\acute{o}i} \cdot b^2} \quad \alpha_M = \blacksquare 0,66$$

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

$$Q_t := \gamma \cdot \left[2\alpha_{\acute{o}} \cdot h \cdot (t_{\acute{o}} - 20) - 2\alpha_{\acute{a}} \cdot h \cdot (t_{\acute{a}} - 20) \right] \quad Q_t = \blacksquare 25630 \text{ Н}$$

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

$$P_{\acute{a}1} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_{\acute{a}} + F) + R_i + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\ddot{m}}} \\ \alpha \cdot (Q_{\acute{a}} + F) + R_i + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\ddot{m}}} - Q_t \end{array} \right]$$

$$P_{\acute{a}1} = \blacksquare 15370 \text{ Н}$$

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

$$P_{\acute{a}2} := \max(P_{\acute{a}\acute{a}e}, 0.4 \cdot A_{\acute{a}} \cdot \sigma_{20\acute{a}})$$

$$P_{\acute{a}\acute{a}e} = \blacksquare 3181 \text{ Н} \quad P_{\acute{a}2} = \blacksquare 106000 \text{ Н}$$

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

$$P_{\acute{a}i} := \max(P_{\acute{a}1}, P_{\acute{a}2})$$

$$P_{\acute{a}i} = \blacksquare 106000 \text{ Н}$$

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

$$P_{\acute{a}\ddot{o}} := P_{\acute{a}i} + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\acute{a}} + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{\ddot{m}}} \quad P_{\acute{a}\ddot{o}} = \blacksquare 106000 \text{ Н}$$

Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки

Расчетные напряжения в болтах (шпильках)

- при затяжке

$$\sigma_{\acute{a}1} := \frac{P_{\acute{a}i}}{A_{\acute{a}}} \quad \sigma_{\acute{a}1} = \blacksquare 92 \text{ МПа}$$

- в рабочих условиях

$$\sigma_{\acute{a}2} := \frac{P_{\acute{a}\ddot{o}}}{A_{\acute{a}}} \quad \sigma_{\acute{a}2} = \blacksquare 113,055 \text{ МПа}$$

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

Usl_1 := $\begin{cases} \text{"Условия прочности в при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\acute{a}1} > \sigma_{20\acute{a}} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\acute{a}2} > \sigma_{\grave{a}.\acute{a}} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Usl_1 = ■

$$\sigma_{\acute{a}1} = \blacksquare 92 \text{ МПа} \quad \sigma_{20\acute{a}} = \blacksquare 230 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\acute{a}2} = \blacksquare 113,055 \text{ МПа} \quad \sigma_{\grave{a}.\acute{a}} = \blacksquare 230 \text{ МПа}$$

Удельное давление на прокладку

$$q := \frac{\max(P_{\acute{a}i}, P_{\acute{a}\delta})}{\pi \cdot D_{\text{fl}} \cdot b_i} \quad q = \blacksquare 185,354 \text{ МПа}$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок)

Usl_2 := $\begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Usl_2 = ■

$$q = \blacksquare 15,354 \text{ МПа} \quad q_d = \blacksquare 130 \text{ МПа}$$

Расчет фланцев на статическую прочность

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

$$M_i := C_F \cdot P_{\acute{a}i} \cdot b \quad M_i = \blacksquare 2385000 \text{ Н*мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях

$$M_{\delta} := C_F \cdot \max[P_{\acute{a}\delta} \cdot b + (Q_{\grave{a}} + Q_{FM}) \cdot e, |Q_{\grave{a}} + Q_{FM}| \cdot e] \quad M_{\delta} = \blacksquare 3018000 \text{ Н*мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

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

$$\sigma_{0i} := \frac{M_i}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{\text{fl}}} \quad \sigma_{0i} = \blacksquare 128,341 \text{ МПа}$$

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

- радиальное напряжение

$$\sigma_{Ri} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_i \quad \sigma_{Ri} = \blacksquare 10,886 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{Ti} := \frac{\beta_Y \cdot M_i}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Ri} \quad \sigma_{Ti} = \blacksquare 44,205 \text{ МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

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

$$\sigma_{0\delta} := \frac{M_{\delta}}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{\delta}}$$

$$\sigma_{0\delta} = \blacksquare 162,437 \text{ МПа}$$

- максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца

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

$$\sigma_{0\delta} = \blacksquare 2,58 \text{ МПа}$$

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

- радиальное напряжение

$$\sigma_{R\delta} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_{\delta} \quad \sigma_{R\delta} = \blacksquare 13,778 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{T\delta} := \frac{\beta_Y \cdot M_{\delta}}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{R\delta} \quad \sigma_{T\delta} = \blacksquare 55,95 \text{ МПа}$$

Проверка условий статической прочности фланцев

$$\sigma_{\Sigma\max} := \max \left(\left(\left| \sigma_{0\delta} - \sigma_{0\delta} + \sigma_{T\delta} \right| \right), \left(\left| \sigma_{0\delta} - \sigma_{0\delta} + \sigma_{R\delta} \right| \right), \left(\left| \sigma_{0\delta} + \sigma_{0\delta} \right| \right) \right)$$

$$\sigma_{\zeta\max} := \max \left(\left| \sigma_{0i} + \sigma_{Ri} \right|, \left| \sigma_{0i} + \sigma_{Ti} \right| \right)$$

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.

$$K_T := 1.3$$

$$Usl_3 := \begin{cases} PR_1 & \text{if } \sigma_{\zeta\max} < K_T \cdot \sigma_{20} \wedge \sigma_{\Sigma\max} < K_T \cdot \sigma_{\delta} \\ PR_3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_3 = \blacksquare$$

$$\sigma_{\zeta\max} = \blacksquare 172,546 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot \sigma_{20} = \blacksquare 239,2 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\Sigma\max} = \blacksquare 215,807 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot \sigma_{\delta} = \blacksquare 229,45 \text{ МПа}$$

Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца

$$\Theta := M_{\delta} \cdot y_{\delta} \cdot \frac{E_{20}}{E} \quad \Theta = \blacksquare 0,001362$$

Допустимый угол поворота плоского фланца

$$\Theta_{\ddot{a}} := 0.013$$

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

Usl_P = ■ УСЛОВИЕ ПОВОРОТА ПЛОСКОГО ФЛАНЦА ВЫПОЛНЯЕТСЯ

Расчет фланца

Конструктивные размеры фланца [27]

$$D := 1200 \text{ мм}$$

$$h := 25 \text{ мм}$$

$$P := 0.3 \text{ МПа}$$

$$D_f := 1335 \text{ мм}$$

$$h_f := 2 \text{ мм}$$

$$M := 0 \text{ Н*мм}$$

$$D_{\dot{a}} := 1295 \text{ мм}$$

$$S_0 := 15 \text{ мм}$$

$$F := 0 \text{ Н}$$

$$D_{\ddot{m}} := 1250 \text{ мм}$$

$$d := 23 \text{ мм}$$

$$c_0 := 1 \text{ мм}$$

$$b_f := 16 \text{ мм}$$

$$n := 44$$

$$t := 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Материал обечаек и фланцев - сталь 12X18H10T

Материал болтов - сталь 35X

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

расчетная температура неизолированных плоских фланцев $t_{\phi} = 0,96 t$ [1]

$$t_{\dot{b}} := 0.96 \cdot t \quad t_{\dot{b}} = 76.8$$

расчетная температура болтов

$$t_{\dot{a}} := 0.85 \cdot t \quad t_{\dot{a}} = 68$$

Допускаемые напряжения для болтов из стали 35X [1]

В рабочем состоянии

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 230 \\ 230 \end{pmatrix}$$

$$\sigma_{\ddot{a},\dot{a}} := \text{Floor}\left(\text{linterp}\left(t, \sigma, t_{\dot{a}}\right), 0.5\right)$$

$$\sigma_{\text{ä.ä}} = \blacksquare 230 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при рабочей температуре [1]

$$E_{\text{ä}} := 2.16 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

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

$$\sigma_{20\text{ä}} := 230 \text{ МПа}$$

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

$$E_{20\text{ä}} := 2.18 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

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

$$\alpha_{\text{ä}} := 13.4 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$$

Допускаемые напряжения для фланцев и обечаек стали 12Х18Н10Т [1]

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 184 \\ 174 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\text{ö}}), 0.5)$$

$$\sigma = \blacksquare 230 \text{ МПа}$$

Так как фланцы изготавливается из листового проката

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{\text{ä.ö}} := \eta \cdot \sigma$$

$$\sigma_{\text{ä.ö}} = \blacksquare 230 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 12Х18Н10Т при рабочей температуре

$$E := 2.03 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

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

$$\sigma_{20} := 184 \text{ МПа} \quad \sigma_{\text{ä}20} := \eta \cdot \sigma_{20} \quad \sigma_{\text{ä}20} = \blacksquare 184 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 12Х18Н10Т при температуре испытания $20 \text{ }^\circ\text{C}$

$$E_{20} := 2.05 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 12Х18Н10Т при $t = 20\text{-}100 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\alpha_{\text{ö}} := 16.6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$$

Эффективная ширина плоской прокладки

$$b_{\text{I}} := 16 \text{ мм}$$

$$b_0 := \begin{cases} b_0 \leftarrow b_{\text{I}} & \text{if } b_{\text{I}} \leq 15 \\ b_0 \leftarrow \text{Ceil}(3.8 \sqrt{b_{\text{I}}}, 1) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$b_0 = \blacksquare 16 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки [7]

$$m := 2.5$$

$$q_{\text{äæ}} := 20 \text{ МПа}$$

$$q_{\text{d}} := 130 \text{ МПа}$$

$$K_{\tilde{a}ae} := 0.9$$

$$E_i := 2000 \text{ МПа}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке,

$$P_{\tilde{a}ae} := 0.5\pi \cdot D_{\tilde{m}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P| \quad P_{\tilde{a}ae} = \blacksquare 23560 \text{ Н}$$

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

$$R_i := \begin{cases} \pi \cdot D_{\tilde{m}} \cdot b_0 \cdot m \cdot P & \text{if } P \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad R_i = \blacksquare 47120 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечений болтов (шпилек)

$$f_{\acute{a}} := 235 \text{ мм}^2$$

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

$$A_{\acute{a}} := n \cdot f_{\acute{a}} \quad A_{\acute{a}} = \blacksquare 10340 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления

$$Q_{\ddot{a}} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\tilde{m}})^2 \cdot P \quad Q_{\ddot{a}} = \blacksquare 368200 \text{ Н}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента,

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

Податливость прокладки

$$y_i := \frac{h_i \cdot K_{\tilde{a}ae}}{E_i \cdot \pi \cdot D_{\tilde{m}} \cdot b_i} \quad y_i = \blacksquare 0,00000001432 \text{ мм/Н}$$

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

$$L_{\acute{a}0} := 40 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости

$$L_{\acute{a}} := L_{\acute{a}0} + 0.28 \cdot d \quad L_{\acute{a}} = \blacksquare 46,44 \text{ мм}$$

Податливость болтов

$$y_{\acute{a}} := \frac{L_{\acute{a}}}{E_{20\acute{a}} \cdot A_{\acute{a}}} \quad y_{\acute{a}} = \blacksquare 0,0000000206 \text{ мм/Н}$$

Расчетные параметры фланцев:

- параметр длины обечайки

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} \quad l_0 = \blacksquare 134,164 \text{ мм}$$

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру

$$K := \frac{D_1}{D} \quad K = \blacksquare 1,113$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца,

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} \quad \beta_T = \blacksquare 1,871$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} \quad \beta_U = \blacksquare 20,01$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] \quad \beta_Y = \blacksquare 18,393$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \quad \beta_Z = \blacksquare 9,416$$

- 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

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad \lambda = \blacksquare 0,639$$

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке

$$y_{\delta} := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad y_{\delta} = \blacksquare 0,0000000001265$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом,

$$y_{\delta i} := \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_{\acute{a}}}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_i} \quad y_{\delta i} = \blacksquare 0,0000000001467$$

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

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

Приведенный диаметр плоского фланца

$$D_{\ddot{o}} := D$$

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

$$b := 0.5(D_{\acute{a}} - D_{\ddot{m}}) \quad b = \blacksquare 22,5$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев

$$e := 0.5(D_{\ddot{m}} - D - S_0) \quad e = \blacksquare 17,5$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев

$$S_{\acute{y}} := S_0$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев

$$\gamma := \frac{1}{y_{\dot{1}} + y_{\dot{a}} \cdot \frac{E_{20\dot{a}}}{E_{\dot{a}}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\dot{o}} \cdot \frac{E_{20}}{E}} \quad \gamma = \blacksquare 6081000$$

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

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\dot{1}} - 2 \cdot e \cdot y_{\dot{o}} \cdot b}{y_{\dot{1}} + y_{\dot{a}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\dot{o}}} \quad \alpha = \blacksquare 1,523$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом

$$\alpha_M := \frac{y_{\dot{a}} + 2 \cdot y_{\dot{o}\dot{1}} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\ddot{m}}} \right)}{y_{\dot{a}} + y_{\dot{1}} \cdot \left(\frac{D_{\dot{a}}}{D_{\ddot{m}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\dot{o}\dot{1}} \cdot b^2} \quad \alpha_M = \blacksquare 1,534$$

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

$$Q_t := \gamma \cdot \left[2\alpha_{\dot{o}} \cdot h \cdot (t_{\dot{o}} - 20) - 2\alpha_{\dot{a}} \cdot h \cdot (t_{\dot{a}} - 20) \right] \quad Q_t = \blacksquare 91120 \text{ Н}$$

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

$$P_{\dot{a}1} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_{\ddot{a}} + F) + R_{\dot{1}} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\ddot{m}}} \\ \alpha \cdot (Q_{\ddot{a}} + F) + R_{\dot{1}} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\ddot{m}}} - Q_t \end{array} \right]$$

$$P_{\dot{a}1} = \blacksquare 607900 \text{ Н}$$

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

$$P_{\dot{a}2} := \max(P_{\ddot{a}a}, 0.4 \cdot A_{\dot{a}} \cdot \sigma_{20\dot{a}})$$

$$P_{\ddot{a}a} = \blacksquare 23560 \text{ Н} \quad P_{\dot{a}2} = \blacksquare 951300 \text{ Н}$$

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

$$P_{\hat{a}1} := \max(P_{\dot{a}1}, P_{\dot{a}2}) \quad P_{\hat{a}1} = \blacksquare 951300 \text{ Н}$$

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

$$P_{\hat{a}\delta} := P_{\hat{a}i} + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\hat{a}} + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{\tilde{m}}} \quad P_{\hat{a}\delta} = \blacksquare 849800 \text{ Н}$$

Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки

Расчетные напряжения в болтах (шпильках)

- при затяжке

$$\sigma_{\hat{a}1} := \frac{P_{\hat{a}i}}{A_{\hat{a}}} \quad \sigma_{\hat{a}1} = \blacksquare 92 \text{ МПа}$$

- в рабочих условиях

$$\sigma_{\hat{a}2} := \frac{P_{\hat{a}\delta}}{A_{\hat{a}}}$$

$$\sigma_{\hat{a}2} = \blacksquare 82,182 \text{ МПа}$$

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

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности в при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\hat{a}1} > \sigma_{20\hat{a}} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\hat{a}2} > \sigma_{\hat{a}.a} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = ■ Условие прочности выполняется

$$\sigma_{\hat{a}1} = \blacksquare 92 \text{ МПа} \quad \sigma_{20\hat{a}} = \blacksquare 230 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\hat{a}2} = \blacksquare 82,182 \text{ МПа} \quad \sigma_{\hat{a}.a} = \blacksquare 230 \text{ МПа}$$

Удельное давление на прокладку

$$q := \frac{\max(P_{\hat{a}i}, P_{\hat{a}\delta})}{\pi \cdot D_{\tilde{m}} \cdot b_i} \quad q = \blacksquare 15,14 \text{ МПа}$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок)

$$Usl_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_2 = ■ Условие прочности выполняется

$$q = \blacksquare 15,14 \text{ МПа} \quad q_d = \blacksquare 130 \text{ МПа}$$

Расчет фланцев на статическую прочность

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

$$M_i := C_F \cdot P_{\hat{a}i} \cdot b \quad M_i = \blacksquare 21400000 \text{ Н*мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях

$$M_{\delta} := C_F \cdot \max[P_{\hat{a}\delta} \cdot b + (Q_{\hat{a}} + Q_{FM}) \cdot e, |Q_{\hat{a}} + Q_{FM}| \cdot e] \quad M_{\delta} = \blacksquare 25560000 \text{ Н*мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

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

$$\sigma_{0i} := \frac{M_i}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{i\delta}}$$

$$\sigma_{0i} = \blacksquare 142,32 \text{ МПа}$$

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

- радиальное напряжение

$$\sigma_{Ri} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_i \quad \sigma_{Ri} = \blacksquare 54,697 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{Ti} := \frac{\beta_Y \cdot M_i}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Ri} \quad \sigma_{Ti} = \blacksquare 9,901 \text{ МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

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

$$\sigma_{0\delta} := \frac{M_\delta}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{\delta\delta}} \quad \sigma_{0\delta} = \blacksquare 169,972 \text{ МПа}$$

- максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца

$$\sigma_{0\delta} := \max \left[\frac{Q_{\delta\delta} + F + \frac{4|M|}{D_{\delta\delta}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)}, \frac{Q_{\delta\delta} + F - \frac{4|M|}{D_{\delta\delta}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)} \right] \quad \sigma_{0\delta} = \blacksquare 6,889 \text{ МПа}$$

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

- радиальное напряжение

$$\sigma_{R\delta} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_\delta \quad \sigma_{R\delta} = \blacksquare 63,325 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{T\delta} := \frac{\beta_Y \cdot M_\delta}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{R\delta} \quad \sigma_{T\delta} = \blacksquare 11,825 \text{ МПа}$$

Проверка условий статической прочности фланцев

$$\sigma_{Dmax} := \max \left(\left(\left(|\sigma_{0\delta} - \sigma_{0i\delta} + \sigma_{T\delta}| \right), \left(|\sigma_{0\delta} - \sigma_{0i\delta} + \sigma_{R\delta}| \right), \left(|\sigma_{0\delta} + \sigma_{0i\delta}| \right) \right) \right)$$

$$\sigma_{Cmax} := \max \left(\left(|\sigma_{0i} + \sigma_{Ri}|, |\sigma_{0i} + \sigma_{Ti}| \right) \right)$$

PR_1 := "Условия статической прочности при затяжке и в рабочих условиях выполняются"

PR_3 := "Условия статической прочности НЕ выполняются"

$K_T = 1.3$ при расчете с учетом стесненности температурных деформаций.
 При расчете без учета стесненности температурных деформаций $K_T = 1$.
 $K_T := 1.3$

$$Usl_3 := \begin{cases} PR_1 & \text{if } \sigma_{Cmax} < K_T \cdot \sigma_{20} \wedge \sigma_{Dmax} < K_T \cdot \sigma_{\ddot{a},\hat{\theta}} \\ PR_3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_3 = ■ Условие статистической прочности в рабочих условиях выполняется

$$\sigma_{Cmax} = \blacksquare 197,018 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot \sigma_{20} = \blacksquare 239,2 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{Dmax} = \blacksquare 228,408 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot \sigma_{\ddot{a},\hat{\theta}} = \blacksquare 229,45 \text{ МПа}$$

Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца

$$\Theta := M_{\hat{\theta}} \cdot y_{\hat{\theta}} \cdot \frac{E_{20}}{E} \quad \Theta = \blacksquare 0,003265$$

Допустимый угол поворота плоского фланца

$$\Theta_{\ddot{a}} := 0.013$$

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

Usl_P = ■ Условие поворота плоского фланца выполняется

3.3.11 Расчет опор аппарата

Определяем основные размеры опоры (лапы) тип II для вертикального цилиндрического аппарата, подвешенного на 4 лапах.

Вес аппарата при гидроиспытаниях 5 т.

$$G := 0.1 \text{ МН}$$

Материал корпуса аппарата - сталь 12X18H10T

Материал лап - ВСт3

$$\sigma := 154 \text{ МПа}$$

Число ребер в лапе.

$$z := 2$$

Вылет опоры

$$L := 0.195 \text{ м}$$

Опорная поверхность бетон марки 100

$$q := 8 \text{ МПа}$$

Толщина стенки цилиндрического корпуса аппарата $s=6 \text{ мм}$ ($C=1 \text{ мм}$)

Диаметр корпуса

$$s := 0.006 \text{ м}$$

$$C := 0.001 \text{ м}$$

$$D := 1.2 \text{ м}$$

Принимаем отношение вылета лапы к высоте ребра

$$h := \frac{L}{0.5} \quad h = \blacksquare 0,39 \text{ м}$$

Расчетную толщину ребра лапы при

$$k := 0.6$$

определяем по [27]

$$s1 := \frac{2.24 \cdot G}{k \cdot z \cdot \sigma \cdot L} \quad s1 = \blacksquare 0,006 \text{ м}$$

$$k := 0.275$$

при котором по графику [27] $L/s1=22$

Пересчитываем $s1$

$$s1 := 0.005 \cdot \frac{0.6}{0.275} \quad s1 = \blacksquare 0,011 \text{ м}$$

$$\frac{0.195}{22} = \blacksquare 0,009$$

Принимаем с учетом прибавки на коррозию толщину ребра и толщину опорной плиты

$$s2 := 0.012 \text{ м}$$

Выбираем длину опорной плиты лапы

$$l := 0.15 \text{ м}$$

Расчетная ширина опорной плиты лапы

$$b1 := \frac{G}{l \cdot q} \quad b1 = \blacksquare 0,083 \text{ м}$$

принимаем

$$b1 := 0.09 \text{ м}$$

Ребро приваривается к корпусу сплошным круговым швом с катетом

$$n\emptyset := 0.008 \text{ м}$$

Общая длина сварного шва

$$L\emptyset := 4 \cdot (h + s2) \quad L\emptyset = \blacksquare 1,608 \text{ м}$$

Прочность сварного шва при $\tau := 80$ проверяем по формуле [27]

$$0.7 \cdot L\emptyset \cdot n\emptyset \cdot \tau = \blacksquare 0,72 \text{ МН}$$

$$0.1 < 0.72$$

Прочность обеспечена.

Полагая что $b1=B$ а $h=H$ определяем максимальные напряжения сжатия в корпусе аппарата в месте присоединения к нему лап. Предварительно находим значения.

$$H := 0.39 \text{ м}$$

$$B := 0.09 \text{ м}$$

$$\beta1 := \frac{B}{D} \quad \beta1 = \blacksquare 0,075$$

$$\beta_2 := \frac{H}{D} \quad \beta_2 = 0,325$$

$$\frac{D}{2 \cdot (s - C)} = 120$$

$$\frac{B}{H} = 0,231$$

Момент от реакции опоры, действующий на лапу при расчетном плече

$$L1 := 0.100 \text{ м}$$

$$M_e := G \cdot L1$$

$$M_e = 0,01 \text{ МН м}$$

По графику [27] определяем значение коэффициентов K

$$K_m := 1.1$$

$$K_k := 1.56$$

Параметр β для нахождения момантов, действующих на корпус, определяем по формуле [27]

Для определения меридиальных моментов

$$\beta_m := K_m \cdot \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad \beta_m = 0,219$$

Для определения кольцевых моментов

$$\beta_k := K_k \cdot \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad \beta_k = 0,311$$

$$M_m := \frac{0.01 \cdot M_e}{0.5 \cdot \beta_m \cdot D} \quad M_m = 0,001 \text{ МН}$$

$$M_k := \frac{0.01 \cdot M_e}{0.5 \cdot \beta_k \cdot D} \quad M_k = 0,001 \text{ МН}$$

Параметр β для нахождения сил, действующих на корпус, определяем по формуле [27]

$$\beta := \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad \beta = 0,199$$

По графику [27] определяем значения коэффициентов K

$$\hat{E}_i := 0.08$$

$$\hat{E}_e := 0.9$$

$$P_m := \hat{E}_i \cdot \frac{7 \cdot M_e}{0.25 \cdot \beta \cdot D^2} \quad P_m = 0,078$$

$$P_k := \hat{E}_e \cdot \frac{9 \cdot M_e}{0.25 \cdot \beta \cdot D^2} \quad P_k = 1,129$$

Суммарные напряжения сжатия в корпусе аппарата при толщине стенки принимаем суммарной толщине стенки и подкладки.

В меридиальном направлении

$$\sigma_l := \frac{P_m}{(s - C) + s^2} + \frac{6 \cdot M_m}{[(s - C) + s^2]^2} \quad \sigma_l = \blacksquare 20,37 \text{ МПа}$$

В кольцевом направлении

$$\sigma_e := \frac{P_k}{(s - C) + s^2} + \frac{6 \cdot M_k}{[(s - C) + s^2]^2} \quad \sigma_e = \blacksquare 77,52 \text{ МПа}$$

Меридиальные и кольцевые напряжения меньше чем допускаемое напряжение, лапы и подкладки подобраны верно.

4. РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКОГО ФИЛЬТРА

4.1 Технологический расчет

В дипломном проекте проводим расчет механического фильтра. Схема этого фильтра показана на рисунке 4.1.

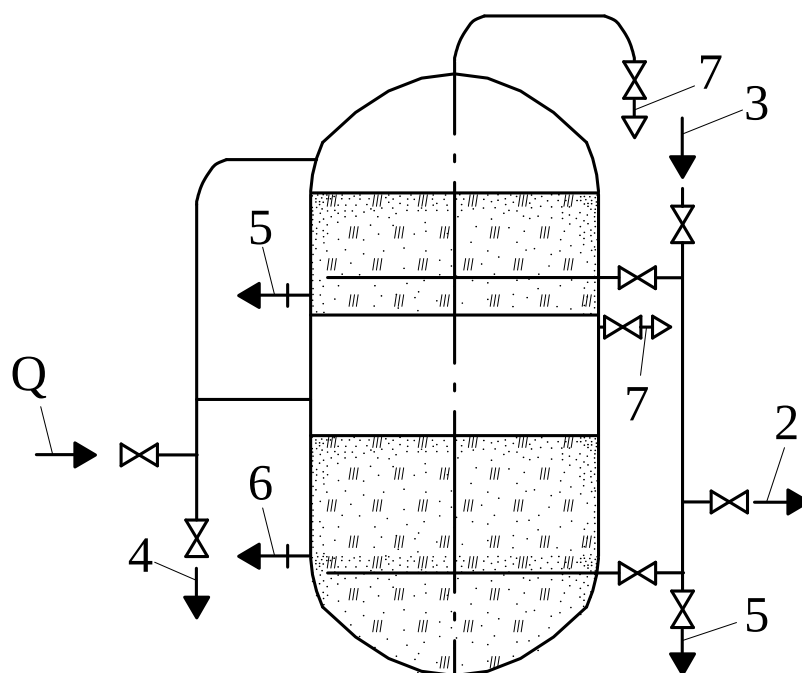


Рисунок 4.1 – Схема механического вертикального двухкамерного фильтра

- 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, $Q = 790 \text{ м}^3/\text{ч}$;

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

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

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, м^2 ;

n – количество фильтров, возьмем $n = 6$.

По таблице 3 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, 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:

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

где f – площадь фильтрования каждого фильтра, м²;

i – интенсивность взрыхления фильтра, которая принимается для фильтров, загруженных антрацитом, в пределах 10–12 л/(с·м²), а для двухслойных фильтров, загруженных кварцевым песком и антрацитом, – в пределах 13–15 л/(с·м²), $i = 11$ л/(с·м²);

$t_{взр}$ – продолжительность взрыхляющей промывки фильтра, которая принимается для фильтров, загруженных антрацитом, в пределах 5–6 мин, а для двухслойных фильтров, загруженных кварцевым песком и антрацитом, – в пределах 6–7 мин, $t_{взр} = 6$ мин.

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

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:

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

где w – скорость фильтрования, м/ч;

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

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

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

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

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

$$q_u = \frac{(56,232 + 23,667) \cdot 2 \cdot 6}{24} = 39,949, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

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

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

$$Q_{\text{бп}} = 790 + 39,949 = 829,949 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Действительная скорость фильтрования при работе всех фильтров равна:

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

$$w_n = \frac{829,949}{6 \cdot 14,2} = 9,741 \text{ м}/\text{ч},$$

а во время выключения одного из фильтров на промывку

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

$$w_{n-1} = \frac{829,949}{(6-1) \cdot 14,2} = 11,689 \text{ м}/\text{ч}.$$

Если скорость w_{n-1} больше максимально допустимой для рассчитываемой группы фильтров, то необходимо уменьшить принятое расчетное значение скорости фильтрования при нормальном режиме и уточнить расчет.

Кроме одновременно работающих механических фильтров, на каждую их группу, равную или менее 12 фильтров, 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 4.3 для стандартных механических фильтров.

Продолжительность полезной работы фильтра T между промывками определяется из уравнения:

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

где Γ – удельная грязеемкость фильтрующего материала, $\Gamma = 1,5 \text{ кг/м}^3$ (см. таблицу 4);

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

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

t – продолжительность операций, связанных с промывкой фильтра, $t = 0,5 \text{ ч}$.

$$T = \left(\frac{\Gamma \cdot f \cdot h \cdot 1000 \cdot n}{G_{\text{с}} \cdot Q_{\text{оп}}} \right) - t = \left(\frac{1,5 \cdot 14,2 \cdot 9,4 \cdot 1000 \cdot 6}{10 \cdot 829,949} \right) - 0,5 = 144,246 \text{ ч}.$$

Таблица 4.3 – Удельная грязеемкость фильтрующих материалов, кг/м^3

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

Суточное количество циклов каждого фильтра определяется по формуле:

$$m = \frac{24}{T + t} = \frac{24}{144,246 + 0,5} = 0,166,$$

Если полученное по этой формуле значение m отличается от принятого в начале расчета, следует перезадаваться им и откорректировать расчет.

4.2 Конструктивный расчет

Диаметр патрубков определяется по следующей формуле:

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

где V – объемный расход жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$;
 W – скорость потока при движении жидкости в трубопроводах,
 $W = 0,5\text{--}5 \text{ м/с}$;

Объемный расход жидкости, приходящейся на один фильтр V , $\text{м}^3/\text{ч}$, определяем по формуле:

$$V = \frac{Q}{n} = \frac{790}{6} = 0.037 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где n – общее количество фильтров.

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

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,037}{3,14 \cdot 1,2}} = 0,197 \text{ м}.$$

Подбираем стандартный патрубок $d=200\text{мм}$

Диаметр патрубков для подвода и отвода промывочной воды рассчитываем как:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,037}{3,14 \cdot 1,2}} = 0,197 \text{ м}.$$

Подбираем стандартный патрубок $d=200\text{мм}$ по [7]

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.

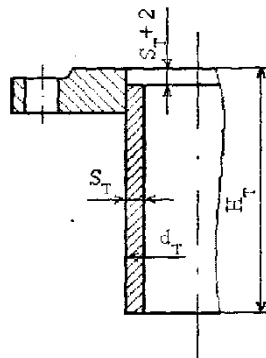


Рисунок 4.2 – Конструкция стандартного фланцевого штуцера

В таблице 4.4 представлены размеры стандартных фланцевых штуцеров.

Таблица 4.4- Размеры стандартных фланцевых штуцеров [7]

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.

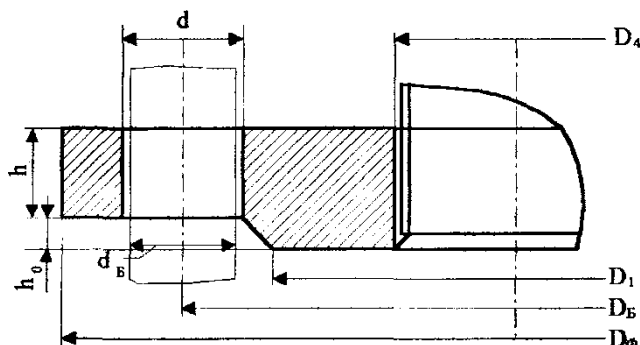


Рисунок 4.3 - Конструкция стандартного приварного фланца

Таблица 4.5- Размеры стандартных приварных фланцев [7]

D_y , мм	D_Φ , 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 ²	V_d , м ³
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 25 °С, $\rho_{\text{воды}} = 997$ кг/м³;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,8$ м/с²;

$$P_1 = P_3 = 997 \cdot 9,8 \cdot 1 = 9771 \text{ Па}.$$

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/м³;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,8$ м/с²;

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

Гидравлическое сопротивление фильтра равно:

$$\Delta P = 9771 + 5733 + 9771 + 5733 = 31010 \text{ Па}.$$

Рассчитаем полезную мощность:

$$N_n = \Delta P \cdot Q = 31010 \cdot 790 / 3600 = 6804 \text{ Вт}.$$

4.4 Прочностной расче

4.4.1 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки

Определяем толщину стенки сварной цилиндрической обечайки корпуса фильтра, работающего под избыточным внутренним давлением, по следующим данным [1]:

- 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, $\rho_{\text{ж}} = 997$ кг/м³;
- температура $t = 25$ °С;
- внутренний диаметр $D = 3$ м;
- высота слоя антрацита $H_1 = 0,9$ м;

- шов продольный сварной стыковой двухсторонний ($\varphi_{ш} = 1$);
- рабочее давление $P_{раб} = 0,6$ МПа ;
- коэффициент прочности $\varphi_p = 0,9$;
- поправочный коэффициент $\eta = 1$;
- высота пространства занятого водой $H_2 = 1,0$ м .

Расчётное давление в нижней части обечайки P , Н/м² 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 ρ_a - плотность катионита, $\rho_a = 650$ кг/м³.

$$P_R = 0,6 \cdot 10^6 + 9,8 \cdot 997 \cdot 2 \cdot 0,9 + 9,8 \cdot 650 \cdot 2 \cdot 1 = 0,631 \text{ МПа} .$$

Номинальное напряжение стали $\sigma^* = 140$ МПа.

Допускаемое напряжение определяем по формуле [4]:

$$[\sigma] = \eta \sigma^* = 1 \cdot 140 = 140 \text{ МПа}.$$

Номинальную расчётную толщину стенки обечайки S_R , м, для данного отношения определяем по формуле [4]:

$$S_R = \frac{P_R D}{2[\sigma(\varphi_p - P_R)]} = \frac{0,6155 \cdot 3}{2 \cdot 140 \cdot 0,9 - 0,6155} = 11,9 \text{ мм}.$$

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:

$$S = S_R + C,$$

$$S = 11,9 + 1,5 \approx 13,5 \text{ мм} .$$

Округляем до 14 мм.

Проверим уравнение:

$$\frac{S - C_k}{D} = \frac{14 - 1,5}{3000} = 0,004 < 0,1,$$

т.е. условие выполнено.

Допускаемое давление в обечайке определяем по формуле:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p (S - C)}{D + (S - C)} = \frac{2 \cdot 140 \cdot 0,9 \cdot (14 - 1,5) \cdot 10^{-3}}{3 + (14 - 1,5) \cdot 10^{-3}} = 1,046 \text{ МПа} .$$

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 [1]:

- материал обечайки – сталь марки Ст 3;
- диаметр днища $D = 3$ м ;
- высота днища $H = 0,75$ м

– днище сварное из двух частей, сварной шов ручной электродуговой ($\varphi_{\text{ш}}=1,0$);

– давление среды $P_c = 0,6$ МПа ;

– допускаемое напряжение $\sigma_d = 140$ МПа ;

– прибавка на коррозию и эрозию $C_1 = 1$ мм ;

– плотность бетона $\rho_b = 2000$ кг/м³ ;

Расчётное давление в нижней части обечайки рассчитываем по формуле:

$$P_R = P_c + g\rho_b H = 0,6 + 9,8 \cdot 2000 \cdot 0,65 \cdot 10^{-6} = 0,612 \text{ МПа} ;$$

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

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

где R – радиус кривизны в вершине днища, $R = D^2/(4H)$; $R = D$ – для эллиптических днищ с $H = 0,25D$; $H = 0,25 \cdot 2,6 = 0,65$ м ;

Тогда

$$S_R = \frac{0,615 \cdot 3}{2 \cdot 140 \cdot 1 - 0,615 \cdot 0,5} = 6,59 \text{ мм} .$$

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:

$$S = S_R + C ,$$

$$S = 6,59 + 1,7 = 8,3 \text{ мм} .$$

Округляем до 14 мм, как и у обечайки.

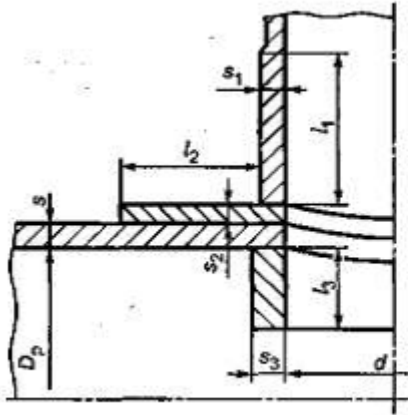
Допускаемое давление в днище определяем по формуле:

$$P_d = \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot \varphi_{\text{ш}} (S - C)}{R + (S - C) \cdot 0,5} = \frac{2 \cdot 140 \cdot 1 (14 - 1,7) \cdot 10^{-3}}{3 + (14 - 1,7) \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}} = 1,143 \text{ МПа} .$$

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

4.4.3 Расчет укрепления отверстий

Проводим по [1], ГОСТ Р 52857.3-2007 расчет производим в программе Mathcad



Исходные данные:

Внутренний диаметр оболочки

$$D := 3000 \text{ мм}$$

Марка стали

Ст 3

Внутреннее расчетное давление

$$P_r := 0.6 \text{ МПа}$$

Расчётная температура

$$t_R := 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Длина неукреплённой части оболочки

$$l := 650 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки оболочки

$$s := 14 \text{ мм}$$

Расстояние от центра укрепления отверстия до оси

$$x := 750 \text{ мм}$$

Диаметр отверстия

$$d := 650 \text{ мм}$$

Толщина стенки (внутренней) штуцера

$$s_1 := s$$

Толщина стенки (внешней) штуцера

$$s_3 := s$$

Длина внешней части штуцера

$$l_1 := 200 \text{ мм}$$

Длина внутренней части штуцера

$$l_3 := 5 \text{ мм}$$

Ширина накладного кольца

$$l_2 := 0.5d$$

Толщина накладного кольца

$$s_2 := s$$

Прибавка расчетной толщины стенки

$$c := 1.7 \text{ мм}$$

Коэффициент прочности сварных швов

$$\phi := 0.9$$

Материал Ст3

Допускаемое напряжение для материала при расчётной температуре, МПа

$$\sigma_d := 140$$

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

$$n := 1$$

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

Расчётный диаметр оболочки

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

$$D_p = \blacksquare 3000$$

$$\text{Тип} = \blacksquare \text{ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА}$$

Расчётный диаметр отверстия

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

$$d_p = \blacksquare 653,4 \text{ мм}$$

Проверка условий применения формул для расчёта укрепления отверстий:

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

Tip = ■ ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА

Usl = ■ УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ФОРМУЛ ВЫПОЛНЯЮТСЯ

Расчётная толщина стенки оболочки:

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

$s_p = \blacksquare 7,16 \text{ мм}$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s'_p := \frac{P_r \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_{d1} \cdot \phi - P_r} = \blacksquare 1,559 \text{ мм}$$

Расчётные длины штуцеров:

$$l_{1p} := \min \left[l_1, \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s - c)} \right] \quad l_{1p} = \blacksquare 89,648 \text{ мм}$$

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

Расчётная ширина накладного кольца:

$$l_{2p} := \min \left[l_2, \sqrt{D_p \cdot (s_2 + s - c)} \right] \quad l_{2p} = \blacksquare 280,891 \text{ мм}$$

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

$$l_p := \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = \blacksquare 192,094 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений:

для внешней части штуцера

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

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

$$d_{op} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 76,837 \text{ мм}$$

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

$$d_o := 2 \cdot \left[\left(\frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 352,646 \text{ мм}$$

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 = ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА

Prov = НЕОБХОДИМО УКРЕПЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЯ

Проверка условия укрепления одиночного отверстия

$$A_1 := l_p \cdot (s_1 - s'_p - c) \cdot \chi_1 = 962,874 \text{ мм}^2$$

$$A_2 := l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 = 3932 \text{ мм}^2$$

$$A_3 := l_{3p} \cdot (s_3 - c - c) \cdot \chi_3 = 53 \text{ мм}^2$$

$$A_{p.c} := l_p \cdot (s - s_p - c) = 987,38 \text{ мм}^2$$

$$A_p := 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 2064 \text{ мм}^2$$

$$\text{Summa} := A_1 \cdot \chi_1 + A_2 \cdot \chi_2 + A_3 \cdot \chi_3 + A_{p.c} = 5936 \text{ мм}^2$$

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

Тип = ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА

Prov' = УСЛОВИЕ УКРЕПЛЕНИЯ ВЫПОЛНЯЕТСЯ

Укрепление производим накладным кольцом

4.4.4 Подбор опор

Подбор опор производим по [7].

Определение массы пустого аппарата:

$$m_{АП} = V_{АП} \cdot \rho_{Fe}$$

где ρ_{Fe} – плотность стали, равная 7800 кг/м³;

$V_{\text{АП}}$ – объем аппарата, м^3 .

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

Найдём объём цилиндрической обечайки:

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

где H_1 – высота слоя воды, $H_1 = 1$ м;
 H_2 – высота слоя антрацита, $H_2 = 0,9$ м;
 $\delta_{\text{ст}}$ – толщина стенки обечайки, $\delta_{\text{ст}} = 14 \cdot 10^{-3}$ м;
 D – диаметр обечайки, $D = 3$ м,

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

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:

$$V_{\text{ДН}} = 3,14 \cdot 3 \cdot 0,75 \cdot 14 \cdot 10^{-3} = 0,099 \text{ м}^3,$$

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 ρ_a – плотность антрацита, $\rho_a = 550 \text{ кг/м}^3$;
 V_a – объём антрацита, $V_a = f \cdot h_a$;
 h_a – высота слоя антрацита, $h_a = 0,9$ м.

Тогда

$$V_a = 14,2 \cdot 0,9 = 12,78 \text{ м}^3;$$

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

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 3 шт.

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

Поскольку масса фильтра составляет 25,85 т, то стандартные опоры для фильтра не годятся. Поэтому подбираем в качестве опоры трубу с накладкой. Ее толщину и диаметр подбираем из [1], выбираем трубу со следующими параметрами: $D_{\text{тр}} = 306 \text{ мм}$ и $s_{\text{ст}} = 20 \text{ мм}$.

5. Расчет катионитового фильтра.

По заданной производительности 220 м³/ч выбираем стандартный фильтр:

Производительность 220 м³/ч, рабочее давление 0.6МПа.

5.1Механический раздел

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 ₂ O
D ₁ , мм	3400
d ₁ = d ₂ , мм	200
d ₃ , мм	100
d ₄ , мм	100
d ₅ = d ₆ , мм	800
L, мм	4600

P, МПа	0,6
t, °C	25

Срок службы аппарата – 10 лет.

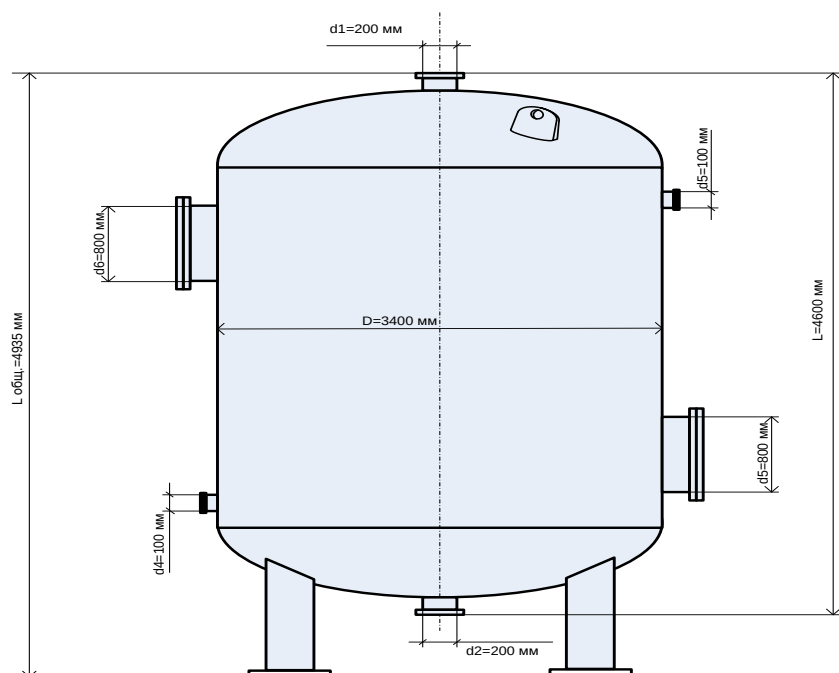


Рисунок 5.1 – Эскиз катионитового фильтра.

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 $t = 25^\circ\text{C}$ принимаем $[\sigma_1] = 134 \text{ МПа}$;

Выбор расчетного значения модуля упругости

Выбор расчетного значения модуля продольной упругости проводим по рекомендациям [21]:

– для аппарата, изготовленного из стали ВСт3, при температуре $t = 25^\circ\text{C}$ модуль продольной упругости принимаем $E = 1,91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$;

5.1.2 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:

$$C_1 = P \cdot \tau,$$

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

τ – срок службы аппарата, год.

Так как скорость коррозии не превышает 0,05 мм/год, т. е. $P \leq 0,05$ 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 $\varphi = 1$.

5.1.3 Определение толщин стенок всех конструктивных элементов фильтра

Расчет толщины стенки S из условия действия внутреннего избыточного давления $P_{\text{По}}$ [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 $S_1 = 9 \text{ мм}$.

Допускаемое внутреннее избыточное давление рассчитываем по формуле [1]:

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

или, подставив численные данные, получим, что

$$[P] = \frac{2 \cdot 134 \cdot 1 \cdot (9 - 1)}{3400 + (9 - 1)} = 0,63 \text{ МПа}$$

Так как $P < [P]$, т. е. $0,6 \text{ МПа} < 0,63 \text{ МПа}$, 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 $d_2 = 200$ мм толщина стенки S_3 равна:

$$S_3 = \frac{P(d_2 + 2 \cdot C)}{2\varphi[\sigma] - P} = \frac{0,6 \cdot (200 + 21)}{21134 - 0,6} = 0,5 \text{ мм};$$

– для патрубка с диаметром $d_3 = 100$ мм толщина стенки S_4 равна:

$$S_4 = \frac{P(d_3 + 2 \cdot C)}{2\varphi[\sigma] - P} = \frac{0,6 \cdot (100 + 21)}{21134 - 0,6} = 0,3 \text{ мм};$$

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

$$S_5 = \frac{P(d_4 + 2 \cdot C)}{2\varphi[\sigma] - P} = \frac{0,6 \cdot (100 + 21)}{21134 - 0,6} = 0,3 \text{ мм};$$

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

$$S_6 = \frac{P(d_5 + 2 \cdot C)}{2\varphi[\sigma] - P} = \frac{0,6 \cdot (800 + 21)}{21134 - 0,6} = 1,8 \text{ мм};$$

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

$$S_7 = \frac{P(d_6 + 2 \cdot C)}{2\varphi[\sigma] - P} = \frac{0,6 \cdot (800 + 21)}{21134 - 0,6} = 1,8 \text{ мм};$$

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.

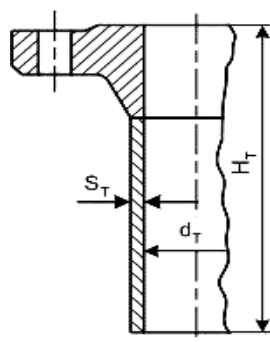


Рисунок 5.2 – Эскиз патрубка

По ОСТ 26–1404–76 принимаем:

$$S_2 = 6 \text{ мм}; \quad S_5 = 5 \text{ мм.}$$

$$S_3 = 6 \text{ мм}; \quad S_6 = 10 \text{ мм.}$$

$$S_4 = 5 \text{ мм}; \quad S_7 = 10 \text{ мм.}$$

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

Толщину стенки эллиптического днища рассчитываем по формулам [1]:

$$S_{8R} = \frac{PR}{2\varphi[\sigma] - 0,5P}; \quad S_8 \geq S_{8R} + C,$$

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:

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

$$S_8 \geq 7,6 + 1 = 8,6 \text{ мм.}$$

Принимаем $S_8 = 9 \text{ мм}$.

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:

$$[P] = \frac{2 \cdot (9 - 1) \cdot 1,134}{3400 + 0,5 \cdot (9 - 1)} = 0,64 \text{ МПа.}$$

Так как $P_1 < [P]$, т. е. $0,6 \text{ МПа} < 0,64 \text{ МПа}$, 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]:

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

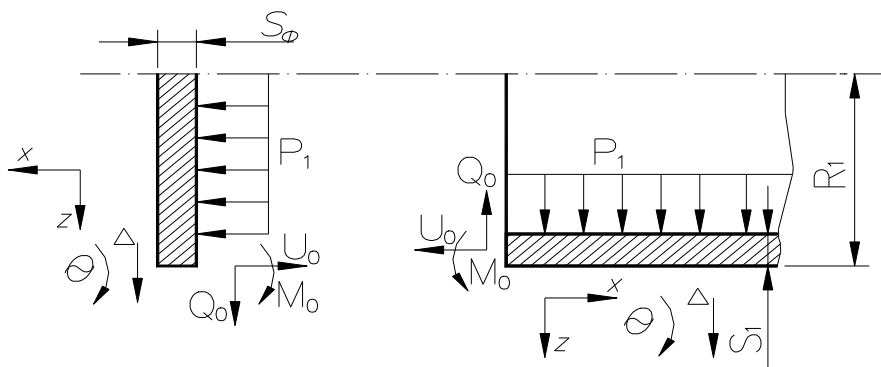
$$\sigma_t = \frac{P R}{2S_1'} + \frac{(2 - \mu)PR}{2S_1'} \pm \frac{6(2 - \mu)P \mu}{4K^2(S_1')^2},$$

где $S_1' = S_1 - C = 9 - 1 = 8 \text{ мм} = 0,008 \text{ м}$;

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

$K = 1,285 / \sqrt{RS_1'} = 1,285 / \sqrt{1,7 \cdot 0,008} = 11,07$ – коэффициент затухания;

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



Рису

й

обечайки с фланцем

Подставив численные значения в формулы для σ_u и σ_t , получим:

$$\sigma_u = \frac{0,6 \cdot 1,7}{2 \cdot 0,008} + \frac{6 \cdot (2 - 0,3) \cdot 0,6}{4 \cdot 11,07^2 \cdot 0,008^2} = 261,17 \text{ МПа};$$

$$\sigma_t = \frac{0,6 \cdot 1,7}{2 \cdot 0,008} + \frac{(2 - 0,3) \cdot 0,6 \cdot 1,7}{2 \cdot 0,008} + \frac{6 \cdot (2 - 0,3) \cdot 0,6 \cdot 0,3}{4 \cdot 11,07^2 \cdot 0,008^2} = 229,91 \text{ МПа}.$$

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 σ_u и σ_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:

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

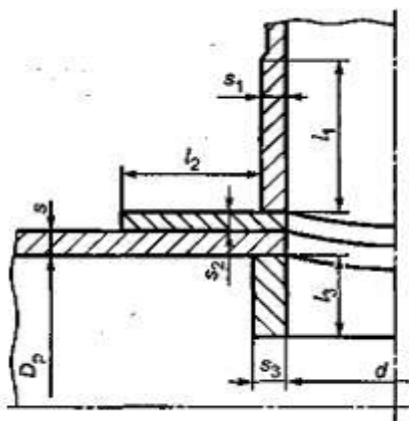
или, подставив численные значения, получим:

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

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.

5.1.4 Расчет укрепления отверстий

Проводим по [1], ГОСТ Р 52857.3-2007 расчет производим в программе Mathcad



Исходные данные:

Внутренний диаметр оболочки

$$D := 3400 \text{ мм}$$

Марка стали

Ст3

Внутреннее расчетное давление

$$P_r := 0.6 \text{ МПа}$$

Расчётная температура

$$t_R := 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Длина неукреплённой части оболочки

$$l := 4600 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки оболочки

$$s := 9 \text{ мм}$$

Расстояние от центра укрепления отверстия до оси

$$x := 1700 \text{ мм}$$

Диаметр отверстия

$$d := 800 \text{ мм}$$

Толщина стенки (внутренней) штуцера

$$s_1 := 10$$

Толщина стенки (внешней) штуцера

$$s_3 := 10$$

Длина внешней части штуцера

$$l_1 := 200 \text{ мм}$$

Длина внутренней части штуцера

$$l_3 := 5 \text{ мм}$$

Ширина накладного кольца

$$l_2 := 0.5d$$

Толщина накладного кольца

$$s_2 := s$$

Прибавка расчетной толщины стенки

$$c := 1.0 \text{ мм}$$

Коэффициент прочности сварных швов

$$\phi := 1$$

Материал сталь

Ст3

Допускаемое напряжение для материала при расчётной температуре, МПа

$$\sigma_d := 134$$

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

$$n := 1$$

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

Расчётный диаметр оболочки

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

$$D_p = \blacksquare 3400$$

$$\text{Тип} = \blacksquare \text{ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА}$$

Расчётный диаметр отверстия

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

$$d_p = \blacksquare 802 \text{ мм}$$

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 = ■ ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА

Usl = ■ УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ФОРМУЛЫ ВЫПОЛНЯЕТСЯ

Расчётная толщина стенки оболочки:

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

$$s_p = \blacksquare 7,629 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s'_p := \frac{P_r \cdot (d + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_{d1} \cdot \phi - P_r} = \blacksquare 1,8 \text{ мм}$$

Расчётные длины штуцеров:

$$l_p := \min \left[l_1, \sqrt{(d + 2 \cdot c) \cdot (s - c)} \right] \quad l_p = \blacksquare 80,1 \text{ мм}$$

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

Расчётная ширина накладного кольца:

$$l_{2p} := \min \left[l_2, \sqrt{D_p \cdot (s_2 + s - c)} \right] \quad l_{2p} = \blacksquare 240,416 \text{ мм}$$

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

$$l_p := \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = \blacksquare 164,924 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений:

для внешней части штуцера

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

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

$$d_{op} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 65,97 \text{ мм}$$

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

$$d_o := 2 \cdot \left[\left(\frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 82,009 \text{ мм}$$

Проверка необходимости укрепления отверстия

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

Tip = ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА

Prov = НЕОБХОДИМО УКРЕПЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЯ

Проверка условия укрепления одиночного отверстия

$$A_1 := l_p \cdot (s_1 - s'_p - c) \cdot \chi_1 = 576,755 \text{ мм}^2$$

$$A_2 := l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 = 2164 \text{ мм}^2$$

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

$$A_{p.c} := l_p \cdot (s - s_p - c) = 61,184 \text{ мм}^2$$

$$A_p := 0.5 \cdot (d_p - d_{op}) \cdot s_p = 2808 \text{ мм}^2$$

$$\text{Summa} := A_1 \cdot \chi_1 + A_2 \cdot \chi_2 + A_3 \cdot \chi_3 + A_{p.c} = 2842 \text{ мм}^2$$

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

Tip = ЦИЛИНДРИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА

Prov' = УСЛОВИЕ УКРЕПЛЕНИЯ ВЫПОЛНЯЕТСЯ

Укрепление производим накладным кольцом

5.1.5 Подбор лап.

Подбор лап производим по [27]

Для того чтобы рассчитать лапы, определяем:

а) вес содержимого в аппарате:

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

б) вес аппарата:

$$G_{ap-ta} = 2G_{ц.обечаск} + 4G_{фл} = G_{корп} + G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6,$$

где $G_{корп}$ – 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 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:

$$G_{\text{ап-та}} = 36926.4 + 61.152 + 26.754 + 420.42 = 37434.726 \text{ Н}.$$

в) суммарную нагрузку:

$$G_{\text{max}} = (G_{\text{ср}} + G_{\text{ап-та}}) \cdot 1.4 = (672318.9 + 37434.726) \cdot 1.4 = 993655.076 \text{ Н} = 993.655 \text{ кН}.$$

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:

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

где $[\sigma]_{\text{ф}}$ – допускаемое напряжение фундамента. В качестве фундамента выбираем кирпичную кладку, для которого $[\sigma]_{\text{ф}} = [\sigma]_{\text{сж}} = 0.6 \text{ МПа}$. 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:

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

$$F_{\text{площадь фундамента}} = 3.7 \text{ м}^2$$

$$[\sigma] = \frac{993.6 \cdot 10^3}{3.7} = 268 \cdot 10^3 = 0.268 \text{ МПа} \leq 0.6 \text{ МПа}$$

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

5.1.6 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 σ_m^{20} – минимальное значение предела текучести при температуре $+20^\circ\text{C}$;

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

Тогда

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

Определяем пробное давление по формулам [1]:

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

Проверка на прочность корпуса фильтра при гидравлических испытаниях. Производим проверку толщины стенки корпуса S_1 при действии внутреннего давления P_1 :

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

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

Так как $(P_{пр})_1 < [P_1]$, т. е. $(0,9 \text{ МПа} < 0,92 \text{ МПа})$, 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 :

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

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

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

5.1.7 Расчет фланца

Расчет ведем в программе Mathcad по [7]

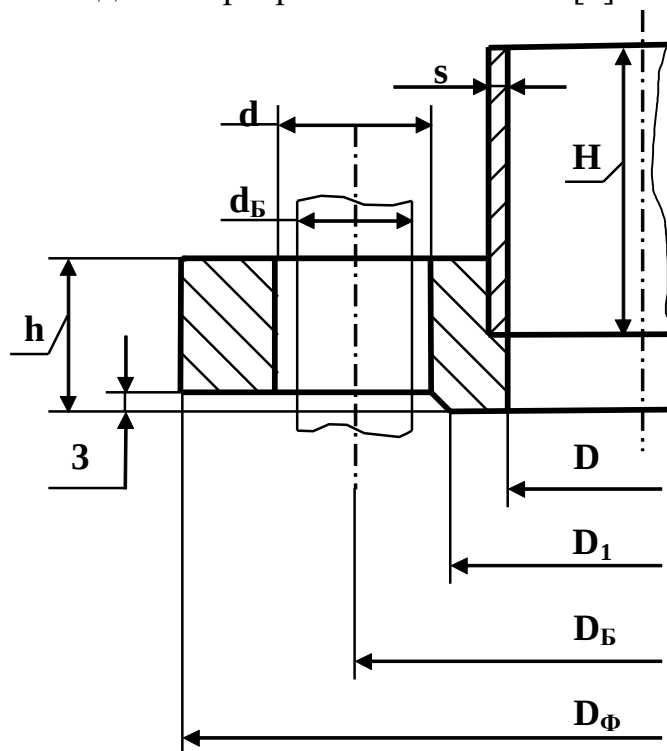


Рисунок 5.5 – Фланец корпуса и рубашки аппарата
Конструктивные размеры фланца [27]

$D := 200 \text{ мм}$

$h := 30 \text{ мм}$

$P := 0.3 \text{ МПа}$

$D_1 := 315 \text{ мм}$

$h_f := 2 \text{ мм}$

$M := 0 \text{ Н*мм}$

$D_a := 280 \text{ мм}$

$$S_0 := 10 \text{ мм}$$

$$F := 0 \text{ Н}$$

$$D_{\text{нн}} := 215 \text{ мм}$$

$$d := 16 \text{ мм}$$

$$c_o := 1 \text{ мм}$$

$$b_i := 25 \text{ мм}$$

$$n := 8$$

$$t := 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

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 $t_f = 0,96 t$ [1]

$$t_o := 0,96 \cdot t \quad t_o = \blacksquare 24$$

расчетная температура болтов

$$t_a := 0,85 \cdot t \quad t_a = \blacksquare 21,25$$

Допускаемые напряжения для болтов из стали 35 [1]

В рабочем состоянии

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

$$\sigma_{\text{ä.ä}} := \text{Floor}\left(\text{linterp}(t, \sigma, t_a), 0,5\right) \quad \sigma_{\text{ä.ä}} = \blacksquare 153,5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при рабочей температуре[1]

$$E_a := 1,9 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

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

$$\sigma_{20\text{ä}} := 130 \text{ МПа}$$

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

$$E_{20\text{ä}} := 1,9 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

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

$$\alpha_a := 11,2 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$$

Допускаемые напряжения для фланцев и обечаек стали ВСт3 [1]

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

$$\sigma := \text{Floor}\left(\text{linterp}(t, \sigma, t_o), 0,5\right) \quad \sigma = \blacksquare 153,5 \text{ МПа}$$

Так как фланцы изготавливается из листового проката

$$\eta := 1 \quad \sigma_{\hat{a},\hat{\sigma}} := \eta \cdot \sigma \quad \sigma_{\hat{a},\hat{\sigma}} = \blacksquare 153,5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали ВСт3 при рабочей температуре

$$E := 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

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

$$\sigma_{20} := 154 \text{ МПа} \quad \sigma_{\hat{a}20} := \eta \cdot \sigma_{20} \quad \sigma_{\hat{a}20} = \blacksquare 154 \text{ МПа}$$

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

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

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

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

Эффективная ширина плоской прокладки

$$b_{\hat{i}} := 25 \text{ мм}$$

$$b_0 := \begin{cases} b_0 \leftarrow b_{\hat{i}} & \text{if } b_{\hat{i}} \leq 15 \\ b_0 \leftarrow \text{Ceil}(3.8 \sqrt{b_{\hat{i}}}, 1) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$b_0 = \blacksquare 19 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки [7]

$$m := 2.5$$

$$q_{\hat{a}\hat{a}\hat{e}} := 20 \text{ МПа}$$

$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

$$K_{\hat{a}\hat{a}\hat{e}} := 1$$

$$E_{\hat{i}} := 2000 \text{ МПа}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке,

$$P_{\hat{a}\hat{a}\hat{e}} := 0.5\pi \cdot D_{\hat{m}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P| \quad P_{\hat{a}\hat{a}\hat{e}} = \blacksquare 4813 \text{ Н}$$

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

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

$$R_{\hat{i}} = \blacksquare 9625 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечений болтов (шпилек)

$$f_{\hat{a}} := 180 \text{ мм}^2$$

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

$$A_{\hat{a}} := n \cdot f_{\hat{a}} \quad A_{\hat{a}} = \blacksquare 1440 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления

$$Q_{\hat{a}} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\hat{m}})^2 \cdot P$$

$$Q_{\ddot{a}} = \blacksquare 10890 \text{ Н}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента,

$$Q_{FM} := \max \left(\left| F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\ddot{m}}} \right|, \left| F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\ddot{m}}} \right| \right)$$

$$Q_{FM} = \blacksquare 10890 \text{ Н}$$

Податливость прокладки

$$y_{\ddot{i}} := \frac{h_{\ddot{i}} \cdot K_{\ddot{a}\ddot{a}\ddot{e}}}{E_{\ddot{i}} \cdot \pi \cdot D_{\ddot{m}} \cdot b_{\ddot{i}}}$$

$$y_{\ddot{i}} = \blacksquare 0,00000005922 \text{ мм/Н}$$

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

$$L_{\acute{a}0} := 34 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости

$$L_{\acute{a}} := L_{\acute{a}0} + 0.28 \cdot d$$

$$L_{\acute{a}} = \blacksquare 38,48 \text{ мм}$$

Податливость болтов

$$y_{\acute{a}} := \frac{L_{\acute{a}}}{E_{20\acute{a}} \cdot A_{\acute{a}}}$$

$$y_{\acute{a}} = \blacksquare 0,00000001406 \text{ мм/Н}$$

Расчетные параметры фланцев:

- параметр длины обечайки

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0}$$

$$l_0 = \blacksquare 44,721 \text{ мм}$$

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру

$$K := \frac{D_1}{D} \quad K = \blacksquare 1,575$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца,

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} \quad \beta_T = \blacksquare 1,677$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36 \cdot (K^2 - 1) \cdot (K - 1)} \quad \beta_U = \blacksquare 4,893$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] \quad \beta_Y = \blacksquare 4,488$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \quad \beta_Z = \blacksquare 2,351$$

- 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

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad \lambda = \blacksquare 1,639$$

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке

$$y_{\delta} := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad y_{\delta} = \blacksquare 0,0000000008015$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом,

$$y_{\delta i} := \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_{\dot{a}}}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_i} \quad y_{\delta i} = \blacksquare 0,0000000008015$$

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

$$C_F := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_{\dot{a}}}{n \cdot \left(2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5} \right)}} \right] \quad C_F = \blacksquare 1,093$$

Приведенный диаметр плоского фланца

$$D_{\ddot{o}} := D$$

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

$$b := 0.5 \cdot (D_{\dot{a}} - D_{\ddot{m}}) \quad b = \blacksquare 32,5$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев

$$e := 0.5 \cdot (D_{\ddot{m}} - D - S_0) \quad e = \blacksquare 2,5$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев

$$S_{\dot{y}} := S_0$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев

$$\gamma := \frac{1}{y_i + y_{\dot{a}} \cdot \frac{E_{20\dot{a}}}{E_{\dot{a}}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\delta} \cdot \frac{E_{20}}{E}}$$

$$\gamma = \blacksquare 1081000$$

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

$$\alpha := 1 - \frac{y_i - 2 \cdot e \cdot y_o \cdot b}{y_i + y_a + 2 \cdot b^2 \cdot y_o} \quad \alpha = \blacksquare 0,966$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом

$$\alpha_M := \frac{y_a + 2 \cdot y_{oi} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{fii}}} \right)}{y_a + y_i \cdot \left(\frac{D_a}{D_{\text{fii}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{oi} \cdot b^2} \quad \alpha_M = \blacksquare 0,787$$

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

$$Q_t := \gamma \cdot \left[2\alpha_o \cdot h \cdot (t_o - 20) - 2\alpha_a \cdot h \cdot (t_a - 20) \right]$$

$$Q_t = \blacksquare 2102 \text{ Н}$$

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

$$P_{a1} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_a + F) + R_i + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{fii}}} \\ \alpha \cdot (Q_a + F) + R_i + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{fii}}} - Q_t \end{array} \right]$$

$$P_{a1} = \blacksquare 20480 \text{ Н}$$

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

$$P_{a2} := \max(P_{\text{iaa}}, 0.4 \cdot A_a \cdot \sigma_{20a})$$

$$P_{\text{iaa}} = \blacksquare 4813 \text{ Н}$$

$$P_{a2} = \blacksquare 74880 \text{ Н}$$

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

$$P_{a1} := \max(P_{a1}, P_{a2}) \quad P_{a1} = \blacksquare 74880 \text{ Н}$$

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

$$P_{a\delta} := P_{a1} + (1 - \alpha) \cdot (Q_a + F) + Q_t + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_M) \cdot |M|}{D_{\text{fii}}}$$

$$P_{a\delta} = \blacksquare 77020 \text{ Н}$$

Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки

Расчетные напряжения в болтах (шпильках)

- при затяжке

$$\sigma_{\acute{a}1} := \frac{P_{\acute{a}i}}{A_{\acute{a}}} \quad \sigma_{\acute{a}1} = \blacksquare 52 \text{ МПа}$$

- в рабочих условиях

$$\sigma_{\acute{a}2} := \frac{P_{\acute{a}\delta}}{A_{\acute{a}}} \quad \sigma_{\acute{a}2} = \blacksquare 53,488 \text{ МПа}$$

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

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности в при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\acute{a}1} > \sigma_{20\acute{a}} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\acute{a}2} > \sigma_{\grave{a}.\acute{a}} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_1 = \blacksquare \text{ Условия прочности выполняются}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\acute{a}1} &= \blacksquare 52 \text{ МПа} & \sigma_{20\acute{a}} &= \blacksquare 130 \text{ МПа} \\ \sigma_{\acute{a}2} &= \blacksquare 53,488 \text{ МПа} & \sigma_{\grave{a}.\acute{a}} &= \blacksquare 129,5 \text{ МПа} \end{aligned}$$

Удельное давление на прокладку

$$q := \frac{\max(P_{\acute{a}i}, P_{\acute{a}\delta})}{\pi \cdot D_{\grave{m}} \cdot b_i}$$

$$q = \blacksquare 4,561 \text{ МПа}$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок)

$$Usl_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl_2 = \blacksquare \text{ Условия прочности прокладки выполняется}$$

$$q = \blacksquare 4,561 \text{ МПа} \quad q_d = \blacksquare 130 \text{ МПа}$$

Расчет фланцев на статическую прочность

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

$$M_i := C_F \cdot P_{\acute{a}i} \cdot b \quad M_i = \blacksquare 2661000 \text{ Н*мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях

$$M_{\delta} := C_F \cdot \max[P_{\acute{a}\delta} \cdot b + (Q_{\grave{a}} + Q_{FM}) \cdot e, |Q_{\grave{a}} + Q_{FM}| \cdot e] \quad M_{\delta} = \blacksquare 2,766000 \text{ Н*мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

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

$$\sigma_{0i} := \frac{M_i}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{i\delta}} \quad \sigma_{0i} = \blacksquare 100,199 \text{ МПа}$$

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

- радиальное напряжение

$$\sigma_{Ri} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_i \quad \sigma_{Ri} = \blacksquare 16,339 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{Ti} := \frac{\beta_Y \cdot M_i}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Ri} \quad \sigma_{Ti} = \blacksquare 27,925 \text{ МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

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

$$\sigma_{0\delta} := \frac{M_\delta}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{\delta}} \quad \sigma_{0\delta} = \blacksquare 104,187 \text{ МПа}$$

- максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца

$$\sigma_{0\delta} := \max \left[\frac{Q_{\delta} + F + \frac{4|M|}{D_{\delta}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)}, \frac{Q_{\delta} + F - \frac{4|M|}{D_{\delta}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)} \right] \quad \sigma_{0\delta} = \blacksquare 1,834 \text{ МПа}$$

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

- радиальное напряжение

$$\sigma_{R\delta} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_\delta \quad \sigma_{R\delta} = \blacksquare 16,99 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{T\delta} := \frac{\beta_Y \cdot M_\delta}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{R\delta} \quad \sigma_{T\delta} = \blacksquare 29,036 \text{ МПа}$$

Проверка условий статической прочности фланцев

$$\sigma_{\Sigma\max} := \max \left(\left(\left(\left| \sigma_{0\delta} - \sigma_{0\delta} + \sigma_{T\delta} \right| \right), \left(\left| \sigma_{0\delta} - \sigma_{0\delta} + \sigma_{R\delta} \right| \right), \left(\left| \sigma_{0\delta} + \sigma_{0\delta} \right| \right) \right), \left(\left| \sigma_{0i} + \sigma_{Ri} \right|, \left| \sigma_{0i} + \sigma_{Ti} \right| \right) \right)$$

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.

KT := 1.3

$$Usl_3 := \begin{cases} PR_1 & \text{if } \sigma_{\Sigma\max} < K_T \cdot \sigma_{20} \wedge \sigma_{\Sigma\max} < K_T \cdot \sigma_{\delta} \\ PR_3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_3 = ■ Условие прочности выполняется

$$\sigma_{\zeta_{\max}} = \blacksquare 128,123 \text{ МПа}$$

$$K_{T^{\sigma_{20}}} = \blacksquare 200,2 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{Dmax}} = \blacksquare 131,389 \text{ МПа}$$

$$K_{T^{\sigma_{\ddot{a},\hat{\sigma}}}} = \blacksquare 199,55 \text{ МПа}$$

Проверка углов поворота фланцев[7]

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца

$$\Theta := M_{\hat{\sigma}} \cdot y_{\hat{\sigma}} \cdot \frac{E_{20}}{E} \quad \Theta = \blacksquare 0,0009492$$

Допустимый угол поворота плоского фланца

$$\Theta_{\ddot{a}} := 0.013$$

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

$$\text{Usl_P} = \blacksquare \text{Условие поворота плоского фланца выполняется}$$

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 300мм, массой 7.2 т, высота 4.6 м, диаметром 3,4м. Монтаж осуществляется с помощью автокрана, используя траверсу, на первом этаже.

6.1 Расчет полиспаста.

Исходные данные:

$G_0 := 7.2$ масса аппарата, т

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

$G_3 := 0.25$ ориентировочный вес грузозахватных устройств, т

Расчет :

Усилие на подвижный блок

$$P_n := 10 \cdot (G_0 + G_3)$$

$$P_n = \blacksquare 74,5 \text{ кН}$$

Усилие на неподвижный блок

$$P_H := 1.07 \cdot P_n$$

$$P_H = \blacksquare 79,715 \text{ кН}$$

По приложению I [28] по максимальному усилию подбираем два одинаковых блока БМ-15 с характеристиками:

$$G_6 := 15$$

грузоподъемность блока, т

$$m := 2$$

количество роликов в блоке;

$$d_r := 0.4$$

диаметр роликов, м

$$m_6 := 0.206$$

масса блока, т

$$l_n := 2.7$$

длина полиспаста в стянутом виде, м

Общее количество роликов полиспасте :

$$m_0 := 2 \cdot m$$

$$m_0 = \blacksquare 4$$

Коэффициент полезного действия полиспаста определяется по приложению II [28] выбирая блоки с роликами на подшипниках качения и принимая один отводной блок, установленный на сбегающей ветви полиспаста.

$$\eta := 0.903$$

Усилие в сбегающей ветви полиспаста

$$S_n := \frac{P_n}{m_o \cdot \eta}$$

$$S_n = \blacksquare 20,626 \text{ кН}$$

Коэффициент запаса по приложению III [28] 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 сбегающей ветви полиспаста:

$$R_k := S_n \cdot k_3$$

$$R_k = \blacksquare 82,504 \text{ кН}$$

По приложению IV [28] подбираем канат для оснастки полиспаста ЛК-РО конструкции 6х36(1+7+7/7+14)+1 о.с. (ГОСТ 7668-80) с характеристиками.

Маркировочная группа - 1764

$$R := 116.5$$

разрывное усилие, кН

$$d_k := 15$$

диаметр каната, мм

$$m_k := 0.812$$

масса 1000 м каната, т

Принимаем длину сбегающей 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:

$$L := m_o \cdot (h + 3.14 \cdot d_r) + l_1 + l_2$$

$$L = \blacksquare 72,024 \text{ м}$$

Суммарная масса полиспаста:

$$G_n := 2 \cdot m_o + L \cdot \frac{m_k}{1000}$$

$$G_n = \blacksquare 0,47 \text{ т}$$

Усилие на канат, закрепляющий неподвижный блок:

$$P_o := 10 \cdot G_o + 10 \cdot G_n + S_n$$

$$P_o = \blacksquare 97,331 \text{ кН}$$

Принимаем канат для крепления верхнего блока полиспаста из 4 ветвей.

По приложению III [28] определяем коэффициент запаса прочности для каната, как для стропа:

$$k_3 := 6$$

Разрывное усилие в каждой ветви крепящего каната:

$$R_{kv} := \frac{P_o \cdot k_3}{4}$$

$$R_{kv} = \blacksquare 145,996 \text{ кН}$$

По приложению IV [28] подбираем канат для оснастки полиспаста ЛК-РО 6х36 (1+7+7/7+14)+1 о.с. (ГОСТ 7668-80) с характеристиками:

Маркировочная группа - 1568

$$R := 197.5$$

разрывное усилие, кН

$$d_k := 20$$

диаметр каната, мм

$$m_k := 1.520$$

масса 1000 метров каната, т

По усилию в сбегавшей ветви полиспаста принимаем по приложению V [28] электролебедку типа Л-3-50 с тяговым усилием 30 кН и канатоемкостью 260 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 ветвей стропа

$\alpha := 0$ угол между ветвями стропа

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

Натяжение в одном канатном витке стропа:

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

$$S = \blacksquare 2,517 \text{ кН}$$

Коэффициент запаса для витых строп:

$$k_3 := 5$$

Разрывное усилие в одном канатном витке стропа:

$$R_s := S \cdot k_3$$

$$R_s = \blacksquare 12,857 \text{ кН}$$

По разрывному усилию в одном канатном витке стропа по приложению

IV [28] подбираем канат ЛК-РО конструкции 6х36 (1+7+7/7+14)+1 о.с. (ГОСТ7668-80) с характеристиками:

Маркировочная группа - 1568

$$R := 90.6$$

разрывное усилие, кН

$$d_k := 0.0135$$

диаметр каната, м

$$m_k := 0.697$$

масса 1000 метров каната, т

Расчетный диаметр поперечного сечения стропа:

$$d_s := 3 \cdot d_k$$

$$d_s = \blacksquare 0,041 \text{ м}$$

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

$$K_c := 4$$

Минимальный диаметр захватного устройства:

$$D_3 := K_c \cdot d_s$$

$$D_3 = \blacksquare 0,162 \text{ м}$$

Шаг свивки стропа:

$$t := 30 \cdot d_k$$

$$t = \blacksquare 0,405 \text{ м}$$

Требуемая длина стропа по центральному витку:

$$l := 5$$

Требуемая длина каната для изготовления витого стропа:

$$L_k := 2.2 \cdot n \cdot l + 2 \cdot t$$

$$L_k = \blacksquare 77,81 \text{ м}$$

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

$G_0 = \blacksquare 7,2$ вес аппарата, т.

Расчет:

Коэффициент перегрузки:

$$k_n := 1.1$$

Коэффициент динамичности:

$$k_d := 1.1$$

Нагрузка, действующая на траверсу:

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

$$P = \blacksquare 87,12 \text{ кН}$$

Изгибающий момент:

$$M := P \cdot \frac{B}{4}$$

$$M = \blacksquare 78410 \text{ кН} \cdot \text{см}$$

Коэффициент условия работы:

$$m := 0.85$$

Расчетное сопротивление прокатной стали класса С38/23 по приложению VI [28] при работе на изгиб.

$$R := 210 \text{ МПа}$$

Требуемый момент сопротивления:

$$W_{\text{тр}} := \frac{M}{0.1m \cdot R}$$

$$W_{\text{тр}} := 439.3 \text{ см}^3$$

Подбираем для траверсы по приложению VII [28] стальную бесшовную горячедеформированную трубу со следующими параметрами:

Наружный диаметр трубы - 203 мм;

Внутренний диаметр трубы - 167 мм;

Момент сопротивления - 453 см³

$$W^T > W_{\text{тр}} \quad 453 > 439,3 \quad \text{условие выполняется}$$

Масса 1 м трубы -

$$g_T := 82.12 \text{ кг}$$

Полная масса траверсы составит:

$$G_T := g_T \cdot \frac{B}{1000}$$

$$G_T = \blacksquare 295,632 \text{ кг}$$

6.4 Расчет монтажных штуцеров.

Исходные данные:

$$l_{\text{ш}} := 10 \text{ вылет штуцера, см;}$$

$$d_H := 10.2 \text{ наружный диаметр штуцера, см;}$$

$$d_B := 7 \text{ внутренний диаметр штуцера, см;}$$

$$G_0 = \blacksquare 7,2 \text{ масса аппарата, т;}$$

Расчет:

Коэффициент перегрузки:

$$k_n := 1.1$$

Коэффициент динамичности:

$$k_d := 1.1$$

Коэффициент неравномерности нагрузки:

$$k_H := 1.2$$

Усилие от стропы, действующее на каждый монтажный штуцер:

$$N := \frac{10 \cdot G_0 \cdot k_n \cdot k_H \cdot k_d}{2}$$

$$N = \blacksquare 52,272 \text{ кН}$$

Момент от усилия в стропе, действующего на штуцер:

$$M := N \cdot \frac{l_{\text{ш}}}{2}$$

$$M = \blacksquare 261,36 \text{ кН} \cdot \text{см}$$

По приложению VII [28] момент сопротивления сечения данного штуцера:

$$W := 81 \text{ см}^3$$

Коэффициент условия работы:

$$m := 0.85$$

Расчетное сопротивление прокатной стали класса С38/23 по приложению VI при работе на изгиб:

$$R := 210 \text{ МПа}$$

Условие проверки прочности на изгиб:

$$\frac{M}{W} \leq 0.1m \cdot R$$

$$\frac{M}{W} = 3.227 < 0.1m \cdot R = 17.85$$

условие прочности выполняется.

Коэффициент, учитывающий глубину провара для ручной сварки:

$$\beta := 0.7$$

Толщина шва:

$$h_{\text{ш}} := 1.2 \text{ см}$$

Радиус штуцера:

$$r := \frac{d_{\text{н}}}{2}$$

$$r = 5,1 \text{ см}$$

Условие проверки прочности сварного кольцевого шва:

$$\frac{M}{\beta \cdot h_{\text{ш}} \cdot \pi \cdot r^2} \leq 0.1m \cdot R$$

$$\frac{M}{\beta \cdot h_{\text{ш}} \cdot \pi \cdot r^2} = 3.808 < 0.1 \cdot m \cdot R = 17.85$$

условие прочности сварного

кольцевого шва выполняется.

6.5 Выбор крана.

Для установки катионитного фильтра на площадку подбираем кран КС-16М.

Технические характеристики крана:

Грузоподъемность. т

при наименьшем вылете крюка - 16

при наибольшем вылете крюка - 3.7

Вылет крюка. м

наименьший - 3.85

наибольший - 10

Высота подъема крюка. м

при наименьшем вылете крюка - 10

при наибольшем вылете крюка - 6.5

Скорости

подъема крюка. м/мин - 3.21-6.85

спуска крюка. м/мин - 4.8-8.8

частота вращения. об/мин - 0.66

передвижение крана. км/ч - 0.67

Двигатель

Марка - АСМД-7Е

Мощность. л.с. - 60

7. Контрольно-измерительные приборы и средства автоматизации

Для осуществления контроля за работой фильтрации и дозирования реагента, на щите управления установлены следующие приборы контроля:

- показывающие приборы уровня в баках коагулированной воды;
- показывающий самопишущий прибор температуры исходной воды;
- показывающий прибор давления оборотной воды;
- показывающий самопишущий прибор расхода оборотной воды;
- показывающий прибор расхода исходной воды на фильтра;
- регулятор постоянной нагрузки на фильтра;

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.

Таблица 2 – Наименование контрольно-измерительных приборов

№ п/п	Название прибора	Тип прибора	Предел измерений	Что измеряет	Место установки на УОВ ВиК
1	2	3	4	5	6
1.	Автоматический Самопишущий прибор FR-6-2	КСД-1	0-2000т/ч	Расход оборотной воды т/с1-6	Щит управления
2.	Сигнализатор уровня LSA-1	КПД-1	0-10м	Уровень в баках	Щит управления
3.	Прибор регулирующий FRC-1	P.25.1.2.	-	Расход воды на промывку МФ и КФ	Щит управления
4.	Электронный показывающий прибор FI-6	Элемер ТМ 5103	0-1000т/ч	Расход оборотной воды с №1-№6	Щит управления
5.	Преобразователь измерительный FI- 6-1	Сапфир-22	0-63 КПА	Расход оборотной воды с №1-№6	Маш. Зал.
6.	Расходомер FI-25	ДСП-71Им	0-250 т/ч 0-160 т/ч	Расход воды на фильтры	Фильтровый зал
7.	Дифманометр PDI-6	ДМ 23573	0-63 КПА	Расход воды на фильтры	Фильтровый зал.
8.	Манометр PI-1 LI-1	МТП-160 МПЧ МТП-100 МЭД 223	0-6 0-6 0-10 0-10	Давление в трубопроводах; Уровень в баках	Фильтровый зал.
9.	Автоматический самопишущий прибор TR-1	КСМ-2-004	0-60,4° С	Температура оборотной воды	Щит управления

8. Безопасность жизни деятельности.

8.1 Производственная санитария

8.1.1 Производственные микроклиматические условия

Рассматриваемое производство с выделением тепла и образованием пыли должно располагаться в одноэтажном здании. Профиль кровли и ширину этого здания следует выбирать таким образом, чтобы обеспечить наиболее эффективное и экономичное удаление вредных выделений тепла и пыли естественным путем (аэрацией). В данном помещении располагается приточно-вытяжная вентиляция для обеспечения микроклимата в рабочей зоне. В зимнее время года воздух проходит через калориферы нагревается до рабочей температуры и подается в помещение фильтровального зала и дозаторной. В летнее время калориферы перекрывают, и забор воздуха происходит с улицы.

Допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений

Сезон года	Категория тяжести выполняемых работ	Температура, С°		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/сек	
		Фактич. значение	Допустим. значение	Фактич. значение	Допустим. значение	Фактич. значение	Допустимое значение
1	2	3	4	5	6	7	8
Холодный	Iб (140-174)	21-23	19-24	60-40	15-75	0,1	0,1-0,2
Теплый	Iб (140-174)	22-24	20-28	60-40	15-75	0,1	0,1-0,3

В помещении находятся вредные вещества.

Таблица 1 – класс опасности и ПДК реагентов, применяемые в работе УОВ

Наименование реагентов	ПДК, мг/м ³	Класс опасности
H ₂ SO ₄	1,0	2

NaOH	0,5	2
Na ₂ CO ₃	2,0	3
Al ₂ (SO ₄) ₃	2,0	3
тринатрий фосфат	5,0	3

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (ГОСТ 12.1.005–88)

Предельно допустимое содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК), используемых при проектировании производственных зданий, технологических процессов, оборудования, вентиляции и, для контроля за качеством производственной среды и профилактики неблагоприятного воздействия на здоровье работающих.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны подлежит систематическому контролю для предупреждения возможности превышения предельно допустимых концентраций - максимально разовых рабочей зоны (ПДК_{мр.рз}) и среднесменных рабочей зоны (ПДК_{сс.рз}).

Величины ПДК_{мр.рз} и ПДК_{сс.рз} приведены в приложен

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ разнонаправленного действия остаются такими же, как и при изолированном воздействии.

При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ однонаправленного действия (по заключению органов государственного санитарного надзора) отношений фактических концентраций каждого из них $\{K_1, K_2, \dots, K_n\}$ в воздухе к их ПДК (ПДК₁, ПДК₂ . . . ПДК_n) не должна превышать единицы

$$\frac{K_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{K_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{K_n}{\text{ПДК}_n} \leq 1$$

Контроль за содержанием вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Отбор проб должен проводиться в зоне дыхания при характерных производственных условиях.

Для каждого производственного участка должны быть определены вещества, которые могут выделяться в воздух рабочей зоны. При наличии в воздухе нескольких вредных веществ контроль воздушной среды допускается проводить по наиболее опасным и характерным веществам, устанавливаемым органами государственного санитарного надзора.

Требования к контролю за соблюдением максимально разовой ПДК

Контроль содержания вредных веществ в воздухе проводится на наиболее характерных рабочих местах. При наличии идентичного оборудования или выполнении одинаковых операций контроль проводится выборочно на отдельных рабочих расположенных в центре и по периферии помещения.

Содержание вредного вещества в данной конкретной точке характеризуется следующим суммарным временем отбора: для токсических веществ - 15 мин, для веществ преимущественно фиброгенного действия - 30 мин. За указанный период времени может быть отобрана одна или несколько последовательных проб через равные промежутки времени. Результаты, полученные при однократном отборе или при усреднении последовательно отобранных проб, сравнивают с величинами ПДК_{мр.рз.}

В течение смены и на отдельных этапах технологического процесса в одной точке должно быть последовательно отобрано не менее трех проб. Для аэрозолей преимущественно фиброгенного действия допускается отбор одной пробы.

При возможном поступлении в воздух рабочей зоны вредных веществ с остронаправленным механизмом действия должен быть обеспечен непрерывный контроль с сигнализацией о превышении ПДК.

Периодичность контроля устанавливается в зависимости от класса опасности вредного вещества: для I класса - не реже 1 раза в 10 дней, II класса - не реже I раза в месяц, III и IV классов - не реже 1 раза в квартал.

В зависимости от конкретных условий производства периодичность контроля может быть изменена по согласованию с органами государственного санитарного надзора. При установленном соответствии содержания вредных веществ III, IV классов опасности уровню ПДК допускается проводить контроль не реже 1 раза в год,

Требования к контролю за соблюдением среднесменных ПДК Среднесменные концентрации определяют для веществ, для которых установлен норматив - ПДК_{сс.рз.} Измерение проводят приборами - индивидуального контроля либо по результатам отдельных измерений. В последнем случае ее рассчитывают как величину, средневзвешенную во времени, с учетом пребывания работающего на всех (в том числе и вне контакта с контролируемым веществом) стадиях и операциях технологического процесса. Обследование осуществляется на протяжении не менее чем 75 % продолжительности смены в течение не менее 3 смен.

8.1.2 Производственная освещенность

В водоподготовительном помещении используется общее искусственное люминесцентное освещение. Световой поток распределяется равномерно по всей площади без учета расположения рабочих мест.

Искусственное освещение регламентируется нормами СНиП 23-05-95, где минимальная освещенность для работ средней точности равна 200 люкс, что позволяет производить работы средней точности.

При остеклении световых проемов учитывать соблюдение норм естественного освещения и метеорологических условий. Независимо от степени выделения вредных веществ и наличия вентиляционных устройств в каждом производственном помещении для проветривания предусматривают открывающиеся створки переплетов и другие открывающиеся устройства в окнах площадью не менее 20 процентов общей площади световых проемов.

Стены и потолки помещений, в которых размещено производство, должны иметь покрытие, легко поддающееся мойке и чистке. Для полов используются материалы, удовлетворяющие гигиеническим и эксплуатационным нормам данного производства.

8.1.3 Шумы и вибрация

Шум как гигиенический фактор представляет собой совокупность звуков, неблагоприятно воздействующих на организм человека, мешающих его работе и отдыху. Для снижения шума в производственных помещениях применяют различные методы (уменьшение уровня шума в источнике его возникновения, звукопоглощение и звукоизоляция, установка глушителей шума, применение СИЗ (наушники, беруши)). В нашем случае интенсивным источником шума является электродвигатели и насосы. Чтобы уменьшить шум, электродвигатели и насосы устанавливаются на специальном фундаменте большой массы.

При разработке технологических процессов, проектировании, изготовлении и эксплуатации машин, производственных зданий и сооружений, а также при организации рабочего места следует принимать все необходимые меры по снижению шума, воздействующего на человека на рабочих местах, до значений, не превышающих допустимые по ГОСТ 12.1.003-83 (см. табл. 8).

Допустимые уровни звукового давления и эквивалентного уровня звука [8]

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц	Уровни звука и эквивалентные уровни звука дБА
---------------	--	---

	31,5	63	125	250	500	100	200	400	800	
Постоянные рабочие места и рабочие зоны производственных помещениях и на территории предприятий	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Так же следует принимать все необходимые меры по:

- разработке шумобезопасной техники;
- применению средств и методов коллективной защиты (ГОСТ 12.1.029);
- применению средств индивидуальной защиты (ГОСТ 12.4.051).

Зоны с уровнем звука или эквивалентным уровнем звука выше 80 дБ А должны быть обозначены знаками безопасности по ГОСТ 12.4.026. Работаящих в этих зонах администрация обязана снабжать средствами индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.051.

На предприятиях, в организациях и учреждениях должен быть обеспечен контроль уровней шума на рабочих местах не реже одного раза в год.

Классификация вибраций, воздействующих на человека

I. По способу передачи на человека различают:

- общую вибрацию, передающуюся через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека;
- локальную вибрацию, передающуюся через руки человека.

Примечание. Вибрация, передающаяся на ноги сидящего человека и на предплечья, контактирующие с вибрирующими поверхностями рабочих столов, относится к локальной вибрации.

II. По источнику возникновения вибраций различают:

- локальную вибрацию, передающуюся человеку от ручного механизированного инструмента (с двигателями), органов ручного управления машинами и оборудованием;
- локальную вибрацию, передающуюся человеку от ручного немеханизированного инструмента (без двигателей), например, рихтовочных молотков разных моделей и обрабатываемых деталей;
- общую вибрацию 1 категории - транспортную вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах самоходных и прицепных машин, транспортных средств при движении по местности, агрофонам и дорогам (в том числе при их строительстве). К источникам транспортной вибрации относят: тракторы сельскохозяйственные и промышленные, самоходные сельскохозяйственные машины (в том числе комбайны);

автомобили грузовые (в том числе тягачи, скреперы, грейдеры, катки и т.д.); снегоочистители, самоходный горно-шахтный рельсовый транспорт;

- общую вибрацию 2 категории - транспортно-технологическую вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах машин, перемещающихся по специально подготовленным поверхностям производственных помещений, промышленных площадок, горных выработок. К источникам транспортно-технологической вибрации относят: экскаваторы (в том числе роторные), краны промышленные и строительные, машины для загрузки (завалочные) мартеновских печей в металлургическом производстве; горные комбайны, шахтные погрузочные машины, самоходные бурильные каретки; путевые машины, бетоноукладчики, напольный производственный транспорт;

- общую вибрацию 3 категории - технологическую вибрацию, воздействующую на человека на рабочих местах стационарных машин или передающуюся на рабочие места, не имеющие источников вибрации. К источникам технологической вибрации относят: станки металло- и деревообрабатывающие, кузнечно-прессовое оборудование, литейные машины, электрические машины, стационарные электрические установки, насосные агрегаты и вентиляторы, оборудование для бурения скважин, буровые станки, машины для животноводства, очистки и сортировки зерна (в том числе сушилки), оборудование промышленности стройматериалов (кроме бетоноукладчиков), установки химической и нефтехимической промышленности и др.

Общую вибрацию категории 3 по месту действия подразделяют на следующие типы:

а) на постоянных рабочих местах производственных помещений предприятий;

б) на рабочих местах на складах, в столовых, бытовых, дежурных и других производственных помещений, где нет машин, генерирующих вибрацию;

в) на рабочих местах в помещениях заводууправления, конструкторских бюро, лабораторий, учебных пунктов, вычислительных центров, здравпунктов, конторских помещениях, рабочих комнатах и других помещениях для работников умственного труда;

- общую вибрацию в жилых помещениях и общественных зданиях от внешних источников: городского рельсового транспорта (мелкого залегания и открытые линии метрополитена, трамвай, железнодорожный транспорт) и автотранспорта; промышленных предприятий и передвижных промышленных установок (при эксплуатации гидравлических и механических прессов, строгальных, вырубных и других металлообрабатывающих механизмов, поршневых компрессоров, бетономешалок, дробилок, строительных машин и др.);

- общую вибрацию в жилых помещениях и общественных зданиях от внутренних источников: инженерно-технического оборудования зданий и бытовых приборов (лифты, вентиляционные системы, насосные, пылесосы, холодильники, стиральные машины и т.п.), а также встроенных предприятий

торговли (холодильное оборудование), предприятий коммунально-бытового обслуживания, котельных и т.д.

III. По направлению действия вибрацию подразделяют в соответствии с направлением осей ортогональной системы координат:

- локальную вибрацию подразделяют на действующую вдоль осей ортогональной системы координат $X_{\text{л}}, Y_{\text{л}}, Z_{\text{л}}$, где ось $X_{\text{л}}$ параллельна оси места охвата источника вибрации (рукоятки, ложемента, рулевого колеса, рычага управления, удерживаемого в руках обрабатываемого изделия и т.п.), ось $Y_{\text{л}}$ перпендикулярна ладони, а ось $Z_{\text{л}}$ лежит в плоскости, образованной осью $X_{\text{л}}$ и направлением подачи или приложения силы (или осью предплечья, когда сила не прикладывается);

- общую вибрацию подразделяют на действующую вдоль осей ортогональной системы координат  где  (от спины к груди) и  (от правого плеча к левому) - горизонтальные оси, направленные параллельно опорным поверхностям;  - вертикальная ось, перпендикулярная опорным поверхностям тела в местах его контакта с сиденьем, полом и т.п.

IV. По характеру спектра вибрации выделяют:

- узкополосные вибрации, у которых контролируемые параметры в одной 1/3 октавной полосе частот более чем на 15 дБ превышают значения в соседних 1/3 октавных полосах;

- широкополосные вибрации - с непрерывным спектром шириной более одной октавы.

V. По частотному составу вибрации выделяют:

- низкочастотные вибрации (с преобладанием максимальных уровней в октавных полосах частот 1-4 Гц для общих вибраций, 8-16 Гц - для локальных вибраций);

- среднечастотные вибрации (8-16 Гц - для общих вибраций, 31,5-63 Гц - для локальных вибраций);

- высокочастотные вибрации (31,5-63 Гц - для общих вибраций, 125-1000 Гц - для локальных вибраций).

VI. По временным характеристикам вибрации выделяют:

- постоянные вибрации, для которых величина нормируемых параметров изменяется не более чем в 2 раза (на 6 дБ) за время наблюдения;

- непостоянные вибрации, для которых величина нормируемых параметров изменяется не менее чем в 2 раза (на 6 дБ) за время наблюдения не менее 10 мин при измерении с постоянной времени 1 с, в том числе:

а) колеблющиеся во времени вибрации, для которых величина нормируемых параметров непрерывно изменяется во времени;

б) прерывистые вибрации, когда контакт человека с вибрацией прерывается, причем длительность интервалов, в течение которых имеет место контакт, составляет более 1 с

в) импульсные вибрации, состоящие из одного или нескольких вибрационных воздействий (например, ударов), каждый длительностью менее 1 с.

Мероприятия по борьбе с вибрацией должны разрабатываться в процессе проектирования предприятия с учетом амплитудно-частотных характеристик оборудования, предусмотренного для производства.

Наиболее распространенными и эффективными методами снижения вибрации являются виброизоляция и вибропоглощение.

Виброизолирующие конструкции предотвращают распространение вибрации от источника ее образования на человека и строительные конструкции здания.

Используют два типа виброизолирующих устройств - фундаменты и виброизоляторы. Фундаменты снижают вибрацию за счет своей массы, виброизоляторы - за счет деформации упругих элементов -амортизаторов.

Основная цель виброизоляции сводится к уменьшению амплитуды колебаний.

8.2. Безопасность

Реагентная H_2SO_4 – это маслянистая бесцветная жидкость (техническая – темного цвета). Она имеет плотность $1,84 \text{ г/см}^3$ и содержит около 93% H_2SO_4 . С водой смешивается в любых пропорциях с выделением большого количества тепла, поэтому во избежание разбрызгивания следует кислоту лить в воду, а не наоборот. При нагревании образуются пары серного ангидрида SO_3 , которые, соединяясь с водой (водным паром воздуха), образуют кислотный туман. H_2SO_4 с концентрацией 70% и выше на черный металл не действует, т.к. образуется плотная защитная пленка оксидов. В меньшей концентрации H_2SO_4 действует на чугун и сталь разрушающе, при этом выделяется водород. Такое явление имеет место при промывке водой кислотного оборудования перед ремонтом. Так как водород в смеси с воздухом образует взрывоопасную смесь, кислотное оборудование и трубопроводы после промывки следует заполнить чистым воздухом с помощью вакуумного насоса. H_2SO_4 очень опасна в обращении. При попадании на кожу вызывает тяжелые ожоги, трудно поддающиеся лечению. При вдыхании паров серной кислоты раздражаются и прижигаются слизистые оболочки верхних дыхательных путей и легкие. Попадание серной кислоты в глаза грозит потерей зрения. Защитная одежда при работе с серной кислотой:

1. грубошерстный костюм (куртка с напуском на брюки, брюки поверх сапог);
2. резиновые сапоги;
3. резиновые перчатки;
4. защитные очки закрытого типа ПО-3.

5. каска

6. ПДУ-самоспасатель

При попадании большого количества кислоты на тело необходимо быстро снять одежду, пораженный участок тела промыть большим количеством воды, используя установленный в помещении шланг. На обожженное место следует наложить повязку, смоченную 3-процентным раствором пищевой соды. При попадании кислоты в глаза их необходимо промыть водой в течение 10 – 15 минут, а затем нейтрализовать остаточную кислоту 0,5-процентным раствором пищевой соды и немедленно обратиться к врачу.

NaOH поступает в цех в виде 46-процентного раствора. При температуре 15 градусов растворимость NaOH 35 процентов, остальная щелочь выпадает в виде кристаллов. При попадании на кожу щелочь вызывает ожоги. Особенно опасно попадание даже мельчайших капелек щелочи в глаза. Это может вызвать тяжелое поражение глаз или потерю зрения. При работе со щелочью персонал должен быть снабжен:

- 1) резиновыми перчатками;
- 2) защитными очками закрытого типа ПО-3;
- 3) хлопчатобумажной спецодеждой;
- 4) пластиковым фартуком;
- 5) резиновыми сапогами.
- 6) каска
- 7) ПДУ самоспасатель

При попадании щелочи на тело ее необходимо смыть обильной струей воды, а затем пораженный участок тела промыть 1-процентным раствором уксусной кислоты. При попадании щелочи в глаза их необходимо промыть большим количеством воды и нейтрализовать 2-процентным раствором борной кислоты, после чего немедленно обратиться к врачу.

В качестве коагулянта применяется глинозем, содержащий $Al_2(SO_4)_3$. Он поступает в виде плотных кусков металлокристаллического строения белосерого цвета. Раствор $Al_2(SO_4)_3$ имеет кислую реакцию. Так как растворение $Al_2(SO_4)_3$ сопровождается образованием серной кислоты, попадание крупинки или пыли реагента вызывает ожег глаз. При работе с глиноземом персонал должен иметь:

- 1) прорезиненный или пластиковый фартук;
- 2) защитные очки закрытого типа ПО-3;
- 3) резиновую обувь;
- 4) резиновые перчатки;
- 5) при пылении - респиратор «Лепесток».
- 6) каска
- 7) самоспасатель ПДУ

При попадании раствора на тело, в глаза действовать так же, как и при попадании серной кислоты.

Фосфат и карбонат натрия – это белые кристаллические вещества, хорошо растворимые в воде. Растворение их сопровождается реакцией гидролиза с образованием щелочи, поэтому растворы фосфата и карбоната натрия опасны, особенно при попадании в глаза. В пылевидном состоянии они разрушают слизистые оболочки, поэтому при проведении работ необходимо применять респиратор и защитные очки закрытого типа.

Меры первой помощи при попадании на кожу и в глаза те же, что и при попадании щелочи. Все работы по перекачиванию и разгрузке реагентов производить в строгом соответствии с должностными инструкциями и инструкциями по технике безопасности.

Обслуживание реагентного хозяйства и установки по гидразинной обработке воды. Склады реагентов должны быть изолированы от помещений ионитовых установок и мест хранения сыпучих материалов.

Помещения для хранения сыпучих реагентов (извести, магнезита, фосфатов, коагулянта, соды) должны быть закрытого типа, сухие, оснащенные системой вентиляции и устройствами механизированной выгрузки и загрузки реагентов. Полы складов должны быть асфальтированы. Для каждого реагента должен быть предусмотрен отдельный склад или отсек.

В помещениях, где проводятся операции с реагентами, должны иметься водопроводная вода и аптечки для оказания доврачебной помощи.

Помещения для хранения фильтрующих и ионообменных материалов должны быть сухие, отапливаемые и хорошо вентилируемые.

Запрещается хранить в одном помещении с ионитами летучие органические соединения (бензин, бензол, толуол и др.), пары которых адсорбируются ионитами.

Иониты должны складироваться в заводской упаковке на деревянных настилах штабелями по типам и маркам. Расстояние от штабелей до отопительных приборов (радиаторов) должно быть не менее 1 м.

Сульфоуголь должен храниться в упаковке изготовителя в закрытом складском помещении в штабелях. Размеры штабеля должны быть не более 2х2х2 м, проход между штабелями - 1 м. Хранение сульфоугля в открытом виде (без упаковки) запрещается, так как при контакте с воздухом он способен к возгоранию.

Персонал, занятый на выгрузке пылящих сухих реагентов (извести, магнезита, соды, фосфатов и др.), а также гашении извести и растворении этих реагентов, должен работать в хлопчатобумажном костюме, прорезиненном фартуке с нагрудником, защитных очках, брезентовых

рукавицах, резиновых перчатках, резиновой обуви и противопылевом респираторе.

Концентрированные растворы кислот, щелочей, аммиака, гидразина относятся к вредным веществам.

Содержание складов для хранения вредных веществ должно соответствовать санитарным правилам проектирования, оборудования и содержания складов для хранения сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ).

Кислоты, щелочи, растворы аммиака, гидразина и других вредных веществ должны храниться в изолированных от рабочих помещений складах - цистернах или в баках, на которых должны быть четкие надписи с наименованием реагента.

Концентрированная серная кислота, "черная кислота" (раствор низкомолекулярных органических кислот), растворы щелочи и аммиака должны храниться в стальных емкостях; соляная кислота - в герметичных стальных гуммированных резервуарах.

Товарный гидразингидрат, содержащий 64% гидразина, должен транспортироваться и храниться в таре из нержавеющей стали или алюминия. Разбавленные растворы гидразингидрата (30%-ый и менее) могут храниться в емкостях из углеродистой стали или в полиэтиленовых банках.

Емкости для хранения кислот и щелочей должны сообщаться с атмосферой посредством воздушников и иметь указатели уровня и переливные трубы.

Цистерны для хранения жидких реагентов, периодически оказывающиеся под давлением, должны быть зарегистрированы в книге учета и освидетельствования сосудов, находящейся у начальника цеха. Ежемесячно должен производиться внешний осмотр цистерн и арматуры.

В химическом цехе должна быть выполнена стационарная схема слива каждого реагента с четкой нумерацией арматуры. Трубопроводы концентрированных растворов реагентов должны быть окрашены в отличительные цвета. На рабочем месте должны находиться схема и инструкция по сливу и хранению каждого реагента.

Сливать кислоты и щелочи из железнодорожных цистерн следует через верхнее разгрузочное устройство с помощью сифона или путем вытеснения сжатым воздухом давлением не выше 0,068 МПа (0,7 кгс/см²). Разрежение для заполнения сифона должно создаваться вакуум - насосом или эжектором. Сливать кислоту и щелочь из железнодорожной цистерны через нижний кран запрещается.

Слив кислот и щелочей из емкостей хранения разрешается производить следующими способами:

- из напорных - через верхнее разгрузочное устройство с помощью сифона или путем вытеснения сжатым воздухом. Максимальное значение давления воздуха в емкости устанавливается местной инструкцией, утвержденной главным инженером предприятия, с учетом технического состояния емкости, местных условий и требований завода - изготовителя, указанных в соответствующей документации;

- из безнапорных - через верхнее разгрузочное устройство с помощью сифона или по специальной схеме через нижний штуцер на всос перекачивающих насосов.

Использование для слива шлангов из материалов, не стойких к воздействию кислот и щелочей, запрещается.

Сливать гидразингидрат из бочек следует с помощью сифона или эжектора из нержавеющей стали в приемный бак, наполовину заполненный водой. Освобожденные от гидразингидрата бочки необходимо промывать несколько раз водой (до нейтральной реакции промывочных вод по индикатору метиленовому красному), откачивая ее в приемный бак гидразина.

Установка для приготовления растворов гидразингидрата должна располагаться в изолированном помещении, оборудованном приточно-вытяжной вентиляцией, имеющем подвод технической воды и приемок для сбора и нейтрализации дренажных вод.

В помещении должен быть запас хлорной извести для нейтрализации пролитого раствора гидразингидрата. Запрещается хранить в помещении гидразинной установки какие-либо другие реагенты и материалы.

Снаружи помещения гидразинной установки должна быть сделана надпись "Гидразингидрат" и должен висеть предупреждающий знак безопасности "Осторожно! Ядовитые вещества".

Помещение гидразинной установки должно быть закрыто на замок. Ключи должны храниться у старшего дежурного по смене химического цеха.

При работе с гидразингидратом необходимо пользоваться прорезиненным фартуком, резиновыми перчатками, защитными очками и фильтрующим противогазом марки КД или А.

Переливать гидразингидрат необходимо при включенной вентиляции.

Вблизи места работы не должны находиться окислители, горючие вещества и пористые материалы (асбест, активированный уголь, песок и т.п.).

До начала ремонтных работ на оборудовании гидразинной установки оно должно быть промыто водой.

Установка для дозирования рабочего раствора гидразингидрата должна иметь ограждение с цементной отбортовкой и приямок для сбора и нейтрализации пролитого раствора. На ограждении установки должны быть вывешены плакаты с надписью "Гидразингидрат" и знаки безопасности "Осторожно! Ядовитые вещества".

Необходимо предотвратить случайное открывание арматуры на трубопроводах и баках раствора гидразингидрата, для чего следует запереть ее на замок или снять с нее маховики.

Случайно пролитый гидразингидрат (концентрированный или разбавленный) должен быть смыт водой в дренажный приямок и нейтрализован хлорной известью или гипохлоритом натрия.

На баках - мерниках и трубопроводах концентрированных растворов кислот, щелочей, аммиака, гидразина должны быть четкие надписи и окраска, соответствующие требованиям ГОСТ 14202.

До ремонта арматуры, трубопроводов и насосов, транспортирующих агрессивные или ядовитые вещества, трубопроводы и насосы должны быть опорожнены и промыты (продукты); продукты промывки должны быть сдrenированы в специально предназначенное для этого место.

При вскрытии фланцевых соединений следует находиться по возможности в стороне от разбираемого соединения. Ослаблять затяжку болтов фланцевых соединений следует поворотом гаек на два - три оборота. Ослаблять и демонтировать все болты допускается только после полного истечения жидкости. Прежде чем приступить к транспортировке демонтированной арматуры, ее следует осторожно приоткрыть и повернуть фланцем вниз сначала одной, затем другой стороной, чтобы вытекла жидкость, оставшаяся во внутренних полостях.

Насосы - дозаторы для перекачки ядовитых и агрессивных жидкостей должен ремонтировать постоянный специально обученный персонал, за которым закреплено выполнение этой работы.

Баки гидроперегрузки, механические и ионитовые фильтры не более чем за 3 ч до вскрытия для осмотра или ремонта должны быть заполнены водой с последующими дренированием при открытых воздушниках и вентилиацией.

При вскрытии люков следует находиться по возможности в стороне от них, ослабляя затяжку болтов постепенно сначала в нижней части люка. Снимать крышку люка следует только в том случае, если есть уверенность в отсутствии воды в баке или фильтре.

До работы в фильтре должна быть произведена вентиляция, проверка воздуха в нем на отсутствие вредных веществ и достаточность кислорода в фильтре (20% по объему).

Вскрывать люки и работать в резервуарах следует под непосредственным контролем руководителя работ.

Ревизия и ремонт баков хранения вредных веществ должны выполняться только после отмывки их водой и проверки качества отмывочных вод анализом. Допуск людей в эти емкости должен производиться после вентиляции, проверки воздуха в нем на отсутствие вредных и взрывоопасных веществ и достаточность кислорода (20% по объему).

При вскрытии люков цистерн и баков, в которых содержалась кислота, необходимо пользоваться инструментом, не дающим искрения.

При осмотре или ремонте баков и цистерн, предназначенных для хранения агрессивных, окисляющих, взрыво- и пожароопасных веществ, запрещается пользоваться открытым огнем.

При необходимости проведения работ на перекрытиях баков и других емкостей должны применяться настилы или трапы из досок.

Работы по перекачке, очистке и нейтрализации цистерн из-под химических веществ выполняются по наряду-допуску.

Аппаратура используемая для перемешивания и дозирования реагентов должна обеспечивать следующие параметры.

- 1) Прочность
- 2) Коррозионную стойкость
- 3) Герметичность

Прочность и коррозионная стойкость обеспечивается применением стали марки 12X18H10T имеющую скорость коррозии $P = 0,1 \text{ мм/год}$. Сплав 12X18H10T применяется в сварных конструкциях работающих в контакте со средами окислительного характера, в некоторых кислотах средней концентрации, органических растворителях, атмосферных условиях и т.д. Изготавливают емкостное, теплообменное и другое оборудование. $[\sigma] = 146,5 \text{ МПа}$; Прочность обеспечена.

Герметичность обеспечивается фланцевыми соединениями и применением прокладочного материала. Материал прокладки – фторопласт 4.

Производится расчет вала мешалки на виброустойчивость, жесткость и прочность.

8.2.1 Электробезопасность

Помещение УОВ согласно ПУЭ относится к классу помещений с повышенной опасностью электропоражения из-за возможности одновременного прикосновения к металлическим конструкциям и корпусам электромоторов.

Возможными причинами электропоражений при эксплуатации 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.

Опасным для здоровья является переменный ток 5...25 мА (50 Гц) и 50...80 мА постоянный. Этот ток называют пороговым не отпускающим[32].

Электробезопасность в отделении водоподготовки в соответствии с ГОСТ 12.1.019 – 79 и ПОТ Р М – 016 - 2001 обеспечивается:

- конструкцией электроустановок, то есть существуют блокирующие устройства – СПБ, предупреждающие возникновение опасных производственных факторов при нарушениях или экстремальных отклонениях параметров безопасности технологических процессов и действующего оборудования. Блокирующие устройства либо приостанавливают процесс или работу оборудования, либо нормализуют параметры оборудования при их отклонениях выше установленных пределов. Электрические блокирующие устройства чаще всего используют в химических производствах при переработке ядовитых и токсичных веществ, на установках и агрегатах с принудительной системой охлаждения.
- техническими способами и средствами защиты, то есть по способу защиты человека от поражения электрическим током все электротехнические изделия в соответствии с ГОСТ 12.2.007.0 – 75 делятся на пять классов защиты: 0, 01, I, II, III. Все электрооборудование, находящееся в отделении водоподготовки, а именно электродвигатели, служащие в качестве привода вентилях, насосы для перекачки воды имеют 01 класс защиты, то есть изделия имеют рабочую изоляцию, элемент для заземления и провод без заземляющей жилы для присоединения к источнику питания;
- использованием зануления, которое служит для защиты от электропоражений при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением;
- средствами индивидуальной защиты, которые подразделяют на 2 вида:

- 1) основные (диэлектрические перчатки, монтерский инструмент с изолирующими рукоятками);
- 2) дополнительные (изолирующие подставки, диэлектрические галоши).

При обслуживании электрооборудования отсутствие явно выраженных признаков, предупреждающих персонал об опасности, приводит к тому, что поражение током возникает неожиданно.

Весь электротехнический персонал, соприкасающийся по характеру своей работы с машинами и механизмами, работающими с помощью электроприводов, должны иметь квалификационную группу по технике безопасности. Персоналу, не работающему на электроустановках, запрещается подключение и запуск в работу основного и вспомогательного оборудования

В цехе водоочистки опасность электрических поражений создает разнообразное оборудование:

- электропривод насосов и вентиляторов (включая пусковую аппаратуру);
- электроинструмент, станки;
- сварочные аппараты;
- осветительные установки, приборы и автоматика.

По роду своей работы персонал УОВ должен иметь следующие квалификационные группы по электробезопасности:

1 группа – весь персонал, в том числе обслуживающий электроприемники группы А;

2 группа – при работах на сварочных агрегатах – сварщик и наблюдающий за сварщиком при работе в емкостях; при выполнении работ, при которых происходит перемещение питающих кабелей, находящихся под напряжением;

3 группа – ИТР.

Для обеспечения электробезопасности применяются отдельно или в сочетании следующие технические способы и средства:

- а) изоляция токоведущих частей;
- б) защитное заземление и зануление;

- в) малое напряжение (менее 42 В);
- г) защитное отключение электрооборудования;
- д) блокировка и оградительные устройства, знаки;
- е) средства защиты и предохранительные приспособления.

Расчет защитного заземления

Произведем расчет защитного заземления для катионитового фильтра. Согласно методике (17, с.94) сопротивление одиночного трубчатого заземлителя, вертикально установленного в землю, определяем по формуле:

$$r_{\text{тр}} = \frac{0,366}{l} \rho \cdot \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right),$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м;

l – длина заземлителя, м;

d – диаметр трубы, м;

t – глубина заложения трубы от поверхности грунта до середины трубы, м.

На практике были получены хорошие результаты при применении трубчатого заземлителя $l=2,5$ м, $d=6 \cdot 10^{-2}$ м, глубина заложения $t=1,95$ м для меньшего влияния температурного колебания верхних слоев Земли на сопротивление.

Тогда получим

$$r_{\text{тр}} = \frac{0,366 \cdot 4 \cdot 10^3}{250} \left(\lg \frac{2 \cdot 250}{6} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 195 + 250}{4 \cdot 195 - 250} \right) = 12,1 \text{ Ом.}$$

Если сопротивление одиночного заземлителя будет превышать нормируемое значение, то вместо одиночного применяют группу из нескольких параллельно соединенных заземлителей, расположенных на расстоянии 2,5–5 м друг от друга.

Количество заземлителей определяем по формуле:

$$n = \frac{r_{\text{мп}}}{r_3 \eta_{\text{мп}}},$$

где $r_3 = 4$ Ом – сопротивление заземляющего устройства по ПУЭ;

$\eta_{\text{тр}} = 0,65$ – коэффициент использования трубчатых заземлителей.

$$n = \frac{12,1}{4 \cdot 0,65} = 4,7.$$

Окончательно принимаем $n=6$.

Параллельное соединение заземлителей осуществляется стальными полосами прямоугольного сечения, которые, находясь в земле, в тоже время сами являются заземлителями. Сопротивление соединительной полосы определяем по следующей эмпирической формуле:

$$r_n = \frac{\rho}{2\pi d_0} \cdot \ln \frac{2l_n^2}{t \cdot b}.$$

Определяем длину соединительной полосы (l_n)

$$l_n = a \cdot n = 200 \cdot (6 - 1) = 1000 \text{ мм}.$$

где $b = 40 \cdot 10^{-3}$ м – ширина полосы.

$$r_n = \frac{4000}{2 \cdot 3,14 \cdot 1000} \cdot \ln \frac{2 \cdot 1000^2}{195 \cdot 4} = 50 \text{ м}.$$

Тогда, сопротивление прямоугольного контурного заземления состоящего из труб и соединительных полос определяем по формуле:

$$r_k = \frac{r_{mp} \cdot r_n}{r_{mp} \cdot \eta_n + r_n \cdot \eta_{mp} \cdot n};$$

$$r_k = \frac{12,1 \cdot 5}{12,1 \cdot 0,48 + 56 \cdot 0,65} = 2,4 \text{ Ом};$$

$$r_k < r_3;$$

$$2,4 < 4 \text{ Ом}.$$

Требования электробезопасности выполняются.

8.2.2 Пожаровзрывобезопасность

Территория вокруг здания и производственные помещения должны своевременно очищаться от горючих отходов, мусора, сухой травы и листьев, которые должны удаляться в специальное место автомашиной. Дороги, подъезды и проходы к зданиям, к водоисточнику, подступы к эксплуатационным выходам, стационарным пожарным лестницам и пожарному инвентарю должны быть всегда свободны, в исправном состоянии, а зимой – очищаться от снега и льда. В производственных помещениях здания ВПУ запрещается:

- а) устраивать антресоли и другие встроенные помещения из горючих и трудногорючих материалов и листового металла;
- б) мыть оборудование, полы, чистить спецодежду с применением ЛВЖ и ГЖ;
- в) сливать отходы производства, содержащие ЛВЖ и ГЖ в канализацию;
- г) отогревать замерзшие трубы отопления или технологические с применением открытого огня;
- д) очищать от горючих отложений аппараты методом выжигания;
- е) складывать промасленную спецодежду на приборы отопления, верстаки;
- ж) оставлять неубранные разлитые ЛВЖ и ГЖ, а также промасленный обтирочный материал;

з) производить перепланировку помещений без предварительной разработки проекта, согласованного с пожарной охраной.

Курение разрешается только в специально отведенных и оборудованных для этих целей местах, согласованных с пожарной охраной. Хранение материалов, резервного оборудования и запчастей осуществляется в местах по схеме, согласованной с пожарной охраной. Работа с ЛВЖ и ГЖ должна производиться в соответствии с должностными инструкциями и инструкциями по технике безопасности. Электроустановки должны монтироваться и эксплуатироваться согласно требованиям соответствующих нормативных документов. Электродвигатели, аппаратура управления и защиты, приборы и проводка должны иметь исполнение и степень защиты, соответствующие классу зоны и ПУЭ. Технологические процессы должны проводиться в соответствии с правилами технической эксплуатации и другой утвержденной в установленном порядке нормативно-технической и эксплуатационной документацией. В здании УОВ предусмотрено наличие трех пожарных кранов, которые устанавливаются на внутренних водопроводных сетях с целью быстрой подачи воды для пожаротушения. В цехе предусматривается наличие трех видов огнетушителей:

- 1) углекислотные ОУ-5, ОУ-8;
- 2) химические пенные – ОХП-10;
- 3) порошковые – ОПУ-10.

Химические пенные огнетушители применяются для тушения различных веществ и материалов, за исключением щелочных металлов, веществ горящих без доступа воздуха и электроустановок, находящихся под напряжением.

Углекислотные огнетушители применяются для тушения небольших очагов пожаров различных горючих веществ и материалов, а также электроустановок, находящихся под напряжением до 10000 В, расположенных в местах с температурой воздуха от -40 °С до 50 °С, кроме веществ, горение которых может происходить без доступа воздуха. Углекислотные огнетушители должны находиться от радиаторов отопления и других нагревательных приборов на расстоянии не менее одного метра. Огнетушители порошковые унифицированные предназначены для тушения электроустановок напряжением до 1000 В, твердых и жидких веществ, кроме щелочных металлов и других материалов, горение которых может происходить без доступа воздуха. В помещении УОВ предусмотрено наличие 10 огнетушителей:

- 1) фильтровый зал с насосами (категория Д) – ОУ-5 – 4 шт.;
- 2) Щит управления (категория Г) – ОП-5 – 1 шт.;
- 3) Реагентные помещения (категория Д) – ОУ-5 – 3 шт.;
- 4) Мастерская с кладовой (категория Д) – ОУ-5 – 1 шт.

Помещения УОВ оборудованы АП-датчиками ДЛТ, порог срабатывания которых равен 72 °С.

8.3 Охрана окружающей среды

Работа по охране окружающей среды на НПО «Вирион» осуществляется практически с начала его основания, с 1983 года. Для организации природоохранной деятельности и осуществления производственного контроля в области охраны окружающей среды на предприятии создан отдел охраны окружающей среды и Центральная лаборатория аналитического контроля окружающей среды и промышленной санитарии.

В 2007-2008 годах основной задачей в области охраны окружающей среды является внедрение и сертификация на всех предприятиях ВГУП НПО «Микроген» и в том числе в НПО «Вирион», Корпоративной Системы экологического менеджмента (КСЭМ), отвечающей требованиям международного стандарта ISO 14001:2004.

Осуществление производственной и хозяйственной деятельности в НПО «Вирион» и работа отдела направлены на выполнение целей и задач корпоративной Экологической политики ВГУП НПО «Микроген».

Природоохранные мероприятия в НПО «Вирион» осуществляются в соответствии с ежегодными Целевыми программами «Регулирование качества окружающей среды», согласованными с территориальными органами Ростехнадзора.

8.3.1. Охрана атмосферы.

На предприятии проведена инвентаризация источников выбросов загрязняющих веществ всех производственных подразделений, разработан проект нормативов предельно-допустимых выбросов (том ПДВ) НПО «Вирион», принято долевое участие в разработке сводного тома «Охрана атмосферы и предельно-допустимые выбросы г. Томска».

На предприятии зарегистрировано 574 стационарных источника выбросов и около 300 передвижных источников загрязнения атмосферного воздуха, от которых поступает в атмосферу 104 наименования загрязняющих веществ. 70 источников выбросов оборудованы пылегазоочистными установками - это рукавные фильтры, скрубберы, циклоны.

В 2013 году выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников составили 5355 тонн (разрешенный выброс 13088 тонн). Газоочистными установками уловлено 100 тонн загрязняющих веществ (пыли). Основными загрязняющими веществами являются: окись углерода, окислы азота, этилен. Для недопущения попадания газов в атмосферу на предприятии предусмотрено факельное хозяйство. На факелах происходит выжигание неотработанных газов.

Еженедельно Центральная лаборатория осуществляет контроль качества атмосферного воздуха на границе санитарно-защитной зоны предприятия по 17 ингредиентам. В течение года выполняется порядка 1700 анализов. В 2013 году, как и в предыдущие годы, превышений ПДК не зарегистрировано.

8.3.2. Охрана гидросферы

Забор воды для производственных нужд предприятия осуществляется из р.Томь. через собственный водозабор, оборудованный рыбозащитными устройствами, эффективность которых проверяется ежегодно. Питьевая вода поступает на предприятие из горводопровода. Имеется лицензия на водопользование, выданная Главным управлением природных ресурсов по Томской области. Водопользование осуществляется в пределах установленного лимита.

Все сточные воды предприятия (ливневые, хозяйственные, химзагрязненные) в соответствии с проектом направляются на городские биологические очистные сооружения. Кроме того, на производствах имеются локальные очистные сооружения, через которые проходят химзагрязненные стоки перед сбросом на биологическую очистку. Общий объем сброса сточных вод составляет 6,5 млн.куб.м в год.

С целью сокращения объемов потребления воды на производственные нужды проектом предусмотрена организация систем оборотного водоснабжения на каждом производстве. Годовой объем водооборота составляет около 300 млн.м³.

8.3.3. . Отходы производства и потребления.

Созданная в НПО «Вирин» система осуществления деятельности по обращению с опасными отходами (включая их образование, использование, обезвреживание, транспортировку, временное хранение, захоронение и учет) получила положительное экологическое заключение экспертной комиссии Ростехнадзора и была лицензирована в мае 2005 года.

На предприятии разработан проект нормативов образования отходов, установлены лимиты на их размещение, разработаны и согласованы паспорта опасных отходов. Во всех

подразделениях назначены ответственные лица, прошедшие профессиональную подготовку на право обращения с опасными отходами, подтвержденную сертификатами установленного образца.

В ходе осуществления производственно-хозяйственной деятельности на предприятии образуется более 100 различных видов отходов производства и потребления I-V классов опасности.

Захоронение отходов осуществляется на городских полигонах в соответствии с заключенными договорами, а также в собственном накопителе твердых отходов, состоящем из двух железобетонных карт с гидроизоляционным слоем.

За 2013 год на предприятии образовалось 9546 тонн отходов. Большая часть отходов производства (около 4622 тонн) реализована сторонним организациям для дальнейшей переработки, остальные отходы размещены на городских полигонах и на собственном накопителе. На площадках временного хранения на территории предприятия находится около 160 тонн отходов.

8.4 Защита человека в чрезвычайных ситуациях

Мероприятия по предотвращению аварий являются наиболее сложными и трудоёмкими. Они представляют комплекс организационных и инженерно-технических мероприятий, направленных на выявление и устранение причин аварий, максимальное снижение возможных и потерь в случае, если эти причины полностью не устранимы, а также на создание благоприятных условий для организации и проведения аварийных восстановительных работ.

Стихийные бедствия это такие явления природы, которые вызывают экстремальные ситуации, нарушают нормальную жизнедеятельность людей и работу промышленных объектов. На производствах заблаговременно разрабатываются мероприятия по снижению воздействий стихийного бедствия и уменьшению возможных людских потерь и материальных ценностей:

- соблюдение мер безопасности
- оповещение руководящего состава, аварийных формирований и населения
- специальная подготовка и оснащение формирований
- оказание медицинской и социальной помощи пострадавшим.

9. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.

9.1 Потребители результатов исследования

Продукт – оборотная вода.

Целевой рынок – предприятия нефтехимической отрасли.

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.

Наличие квалифицированного 9001: 2000. К настоящему моменту эта цель достигнута. Во всех подразделениях Общества внедрена и успешно функционирует система менеджмента качества (Служба главного механика, Служба главного энергетика, Служба главного метролога, Управление контроля качества, Производство мономеров и т.д.).

Сертификат соответствия системы менеджмента требованиям стандарта DIN ISO 9001: 2000 (русская версия - ГОСТ Р ИСО 9001:2000) в области производства полипропилена и полиэтилена выдан Обществу европейским органом по сертификации TUV Thuringen e. V – Германия 30.10.2007

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. Пример такого анализа, выполненного нами для НПО «Вирион», представлен ниже.

Накопленный многолетний опыт работы на рынке производства ПВЭД и полипропилена. Возможные рассогласование по срокам при одновременной реализации проекта и покупке нового цеха.

Хорошие деловые связи с потребителями продукции и поставщиками материалов и комплектующих. Отсутствие источников финансирования.

Низкая трудоемкость производства. Трудности в организации сбыта большого объема продукции.

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии С3. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями. С4. Квалифицированный руководитель. С5. Мобильность рабочего места	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой Сл2. Большое количество конкурентов
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт научных исследований В3. Повышение стоимости конкурентных разработок В4. Переход нефтехимической	Проектирование участка производства оборотного водоснабжения	1. Повышение квалификации кадров 2. Привлечение новых заказчиков

отрасли на ресурсосберегающие технологии		
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. Переход на альтернативное топливо У4. Истощение природных ресурсов	1. Продвижение новой технологии с целью появления спроса 2. Использование импортного сырья 3. Применение технологии к альтернативным источникам	1. Повышение квалификации кадров 2. Привлечение новых заказчиков 1. Продвижение новой технологии с целью появления спроса 2. Использование импортного сырья 3. Применение технологии к альтернативным источникам

Завоеванная доля рынка производства полипропилена (13%) Существующая низкая эффективность процесса отгрузки потребителям продукции.

Удобное месторасположение предприятия относительно районов с предприятиями нефтехимической промышленности. Нечетко оформленные условия договора.

Близость к транспортным магистралям (шоссейная дорога проходит на расстоянии 0,5 км, ж/д ветка – через территорию цеха). Затягивание сроков партнерами при поставках оборудования, предоставления нового цеха.

Обеспеченность нового цеха всеми необходимыми коммуникациями.

Наличие производственных мощностей, позволяющих поддержать новое производство за счет существующего оборудования.

Высокое качество продукции, соответствующее европейскому уровню

Активная маркетинговая политика.

Наличие лидера проекта и управленческой команды.

Высокая маржинальная рентабельность производства полипропилена на новом технологическом оборудовании.

Сравнительно быстрая окупаемость и высокая эффективность проекта.

Наличие деловых контактов со структурами, способными поддерживать продвижение проекта на всех этапах его реализации

Внешние благоприятные возможности Внешние угрозы предприятию

Спрос на полипропилен в России, странах СНГ и в мире достаточно высок и имеет устойчивую тенденцию к увеличению. Снижение денежной составляющей в расчетах с потребителями продукции.

Положительная тенденция роста производства нефтехимической промышленности в Российской Федерации. Снижение общей платежеспособности предприятий.

9.3 Расчёт производственной мощности

Под производственной мощностью химического предприятия (производства, цеха) понимается максимально возможный годовой выпуск готовой продукции в номенклатуре и ассортименте, предусмотренных на плановый период при наилучшем использовании производственного оборудования, площадей в результате внедрения инноваций или проведения организационно-технических мероприятий.

$$M = P_{\text{час.}} \cdot T_{\text{эф.}} \cdot K_{\text{об.}},$$
$$M = 910 \cdot 0,9 \cdot 8322 = 6815718 \text{ м}^3;$$

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

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

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

Режим работы цеха характеризуется непрерывной рабочей неделей, так как по характеру протекания технологического процесса остановок оборудования не допустим, двумя сменами в сутки по 12 часов работы.

Календарный фонд времени оборудования T равен 365 дням или 8760 часам.

Номинальный фонд времени T при работе по непрерывной неделе без остановок производства в праздничные дни является максимальным и совпадает с календарным, равным 365 дням.

Планируемый фонд рабочего времени оборудования равен номинальному времени за вычетом остановок на ремонты T , производимые в рабочее время в соответствии с установленной системой планово-предупредительного ремонта (ППР).

Планируемый фонд рабочего времени определяем по формуле:

$$T_{пл} = T_n - T_{рем},$$

где $T_{пл}$ – планируемый фонд времени работы оборудования, ч;

T_n – номинальный, режимный фонд времени работы оборудования, ч;

$T_{рем}$ – потери рабочего времени по графику ППР, ч.

В инвестиционных проектах потери рабочего времени по графику ППР от 5% до 10% номинального фонда рабочего времени и зависит от режима производства.

$$T_{рем} = 5\%T_n = 8760 \cdot 5\% = 438 \text{ часа}.$$

$$T_{пл} = 8760 - 438 = 8322 \text{ часов}$$

Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество дней (часов)
Календарный фонд времени	365 (8760)
Номинальный фонд рабочего времени	365 (8760)
Простой оборудования в ремонтах	18,25 (438)
Эффективное время работы оборудования за год	346,75 (8322)

Для анализа использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен

$$K_{экс} = T_{эф}/T_n.$$

$$K_{экс} = 346,75/365 = 0,95$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен

$$K_{инт} = Q_{пп}/Q_{max},$$

$$K_{инт} = 6815718/7282484 = 0,94$$

где $Q_{пп}$ – производительность единицы оборудования в единицу времени;

$Q_{\max}$ – максимальная производительность в единицу времени.

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{им.}} = K_{\text{экс.}} \cdot K_{\text{инт.}}$$

$$K_{\text{им.}} = 0,95 \cdot 0,94 = 0,89$$

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

$$N_{\text{год}} = K_{\text{им.}} \cdot M,$$

$$N_{\text{год}} = 0,89 \cdot 6815718 = 6065989$$

где $K_{\text{им.}}$ – коэффициент использования мощности.

9.4. Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству

9.4.1 Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала

1. Расчет численности персонала (табл. 9,1):

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

Расчет численности персонала основных рабочих

Категория персонала	Норма обслуживания.	Число смен в сутки.	Число единиц оборудования	Явочная численность,	Эффективное время рабочего.	Коэфф. перехода	Списоч. численность.
	$N_{\text{обс}}$	S	n	$N_{\text{яв}}$	$T_{\text{эфф}}$	$K_{\text{пер.}}$	$N_{\text{сп}}$
Машинист	8	2	10	8	147,5	2,35	16
Старший машинист	8	2	10	2	147,5	2,35	4
Итого	16	4	20	10	195	4,7	20

Расчет численности ИТР, служащих и МОП

Наименование должности	Категория	Тарифный разряд	Число штатных единиц	Количество смен в сутках	Штатная численность
Начальник цеха	ИТР	14	1	1	1
Мастер	ИТР	12	1	1	1
Технолог	ИТР	10	1	1	1
Итого		36	3	3	3

2. Расчет баланса эффективного годового времени одного среднесписочного работника (табл. 9.2).

Таблица 9.2

Баланс эффективного времени одного среднесписочного работника

№ п/п	Показатели	Дни	Часы
1	Календарный фонд рабочего времени	365	4380
2	Нерабочие дни • выходные • праздничные	182,5 -	2190 -
3	Номинальный фонд рабочего времени	182,5	2190
4	Планируемые невыходы • очередные и дополнительные отпуска • невыходы по болезни • декретные отпуска • отпуск в связи с учебой без отрыва от производства • выполнение госуд. обязанностей	28 3 2 1 1	336 36 24 12 12
5	Эффективный фонд рабочего времени	147,5	1912

3. Количество выходных дней в году, ночных смен определяется из графика сменности (пример графика сменности представлен в табл. 9.3).

Таблица 9.3

График сменности

Номер смены	Часы работы	Дни месяца															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	6	4
1	8.00 -20.00	А	А	Г	Г	В	В	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В	Б	Б
2	20.00 -8.00	В	В	Б	Б	А	А	Г	Г	В	В	Б	Б	А	А	Г	Г
Отдых		Б	Б	В	В	Б	Б	В	В	Б	Б	В	В	Б	Б	В	В

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

4. Расчет сменоборота и количества выходных дней в году.

5. Общий фонд заработной платы рабочих за год:

$$З_{\text{год}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} = 9640309.34, \text{ где}$$

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

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

Основной фонд заработной платы для рабочих повременников:

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

$$Z_{\text{осн(машинисты)}} = 1924392,7 + 769757,1 + 769757,1 = 3463.906$$

$$Z_{\text{осн(ст.машинист)}} = 786669,13 + 314667,65 + 314667,65 = 1414.004$$

$$Z_{\text{осн (нач.цеха)}} = 391537,5 + 156615 = 548.152$$

$$Z_{\text{осн(технолог)}} = 190284 + 76113,6 = 266.397$$

$$Z_{\text{осн(мастер)}} = 279829,5 + 111931,8 = 391.761, \text{ где}$$

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

Пр – оплата премий, тыс. руб;

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

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

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

Тарифный фонд заработной платы:

$$Z_{\text{тар}} = \sum \text{Ч}_{\text{сп}} \cdot T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{эф.раб}},$$

$$Z_{\text{тар (машинисты)}} = 19 \cdot 686,67 \cdot 147,5 = 1924.392$$

$$Z_{\text{тар (ст.машинист)}} = 5 \cdot 1066,67 \cdot 147,5 = 786.669$$

$$Z_{\text{тар(нач.цеха)}} = 1 \cdot 1590 \cdot 246,25 = 391.537$$

$$Z_{\text{тар (технолог)}} = 1 \cdot 772,7 \cdot 246,25 = 190.284$$

$$Z_{\text{тар (мастер)}} = 1 \cdot 1136,3 \cdot 246,25 = 279.829, \text{ где}$$

$\text{Ч}_{\text{сп}}$ – списочная численность рабочих данного разряда, чел.;

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

Размер премий принимаем равным 20–70 % от тарифного фонда заработной платы (для расчета примем 40%).

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

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

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

$$Z_{\text{доп(машинист)}} = 35 \cdot 3463906,9 / 147,5 = 821.944$$

$$Z_{\text{доп(ст.машинист)}} = 35 \cdot 1416004,4 / 147,5 = 336.001$$

$$Z_{\text{доп(нач.цеха)}} = 35 \cdot 548152,5 = 77.910$$

$$Z_{\text{доп (технолог)}} = 35 \cdot 266397,6 = 37.863$$

$$Z_{\text{доп(мастер)}} = 35 \cdot 391761,3 = 55.681$$

где D_H – количество дней невыхода на работу по планируемым причинам (отпуск, ученические, гособязанности).

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

9.4.2 Расчет затрат на производство продукции

Расчет годовой потребности в сырье и материалах

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

Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Таблица 9.4

Наименование сырья	Ед. изм.	Расход		Цена, руб.	Сумма затрат, руб.	
		на ед. продукции	на весь объем		на ед. продукции	на весь объем
$Al_2(SO_4)_3$	кг	0,11	878073,2	3,7	0,41	3272
поваренная соль	кг	0,55	4390366,2	0,8	0,44	3512
сульфоуголь	кг	0,11	878073,2	16,9	1,9	15166
антрацит	кг	0,11	878073,2	8,1	0,9	7184
Итого					3,65	24877,37

9.4.3 Расчет годовой потребности в электроэнергии

Расчет потребности электроэнергии

Таблица 9.5

Наименование электрооборудования	Единичная мощность двигателя, кВт	Количество установленных двигателей	Фонд времени работы электрооборудования в год, ч.	Суммарно-потребляемое количество электроэнергии в год, кВт·ч
Электродвигатель	10	22	8322	558822

9.4.4 Расчет амортизационных отчислений

Для расчета амортизационных отчислений необходимо учесть:

- полную стоимость зданий;

- полную стоимость оборудования;
- нормы амортизационных отчислений.

Расчет амортизационных отчислений представлен в табл. 9.6

Расчет амортизационных отчислений

Таблица 9.6

Наименование основных средств	Стоимость, тыс. руб.	Норма амортизации, %	Годовые амортизационные отчисления, тыс.руб.
1.Оборудование			
1.1.Механический фильтр	5345	5	267
1.2.Катионовый фильтр	2969,3	5	148
1.3.Насос	522,6	12,5	65
Итого	8836,9		480

Калькуляция себестоимости на производство
и реализацию продукции при заданном объеме производства (Q)

Таблица 9.7

Статьи затрат	Ед. изм.	Затраты на единицу готовой продукции	Затраты на весь объем
1. Сырье	Тыс. руб.	0,00365	2487737
2. Электроэнергия на технологические нужды	Тыс.руб	0,124	845149
Условно-переменные издержек	Тыс.руб	0,1276	8700264
3. Общепроизводственные издержки			
3.1.Заработная плата производственных рабочих	Тыс.руб	0,0012	817886
3.2. Отчисления на соц.нужды производственных рабочих (30%)	Тыс.руб	0,00036	245366
3.3. Заработная плата управленческого персонала	Тыс.руб	0,00026	17721
3.4. Отчисления на соц.нужды управленческого персонала (30%)	Тыс.руб	0,00008	54526
4.1. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:			
• Амортизация оборудования;	Тыс. руб	0,00007	480
• Расходы по содержанию оборудования	Тыс. руб	0,0026	20499
Условно-постоянные издержки	Тыс. руб	0.00457	31148
Цеховая себестоимость	Тыс. руб	0.13217	900833

9.5. Определение цены готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = С * (1 + P/100),$$

$$Ц = 0,13217 * (1 + 0,05) = 0,139$$

где С – полная себестоимость единицы готовой продукции;

Р – рентабельность продукции, принимаем 5%.

9.6. Анализ безубыточности по действующему производству

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

$$B_{пр} = Ц \cdot Q = 947385 \text{ тыс. руб.}$$

Определение точки безубыточности:

Аналитическим способом:

$$Q_{кр.} = \frac{Изд_{пост}}{Ц_{гпп} - Изд_{пергпп}}, \text{ тыс. м}^3,$$

$$Q_{кр.} = 31148 / (0,139 - 0,1276) = 2732.281 \text{ тыс. м}^3,$$

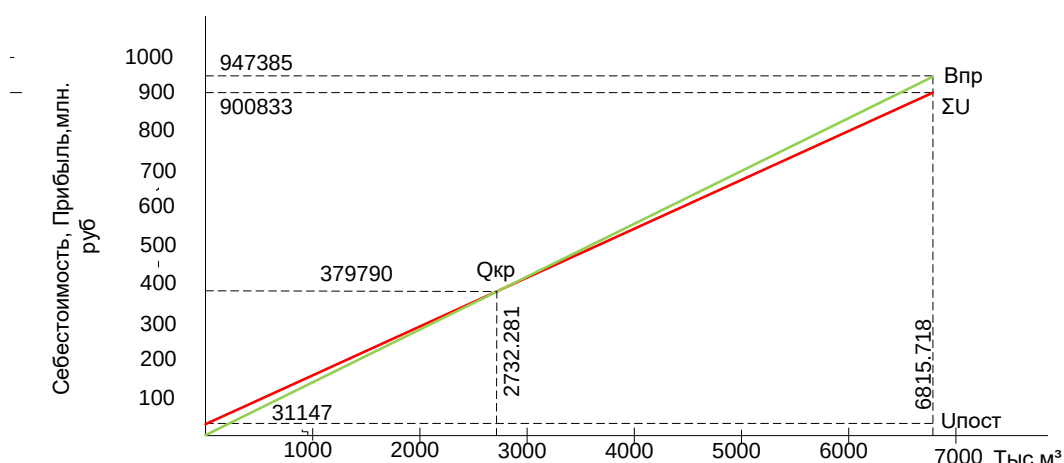
где $Ц_{гпп}$ – цена единицы готовой продукции (1 м³);

$Изд_{гпп}$ – удельные переменные издержки (переменные издержки на единицу готовой продукции – 1 м³).

Графическим способом:

Графически точка безубыточности определяется согласно рис. 9.1.

Рис. 9.1. График безубыточности



9.7 Определение потребности в инвестициях в проектном году

В этом разделе необходимо определить сумму инвестиций для осуществления инновационного проекта (табл. 9.8).

Таблица 9.8

Потребность в инвестициях для инновационной деятельности

Наименование объекта	Ед. изм.	Величина
1. Приобретение оборудования и других основных средств	т.р.	53000,00
Всего инвестиций		53000,00

9.8. Расчет экономической эффективности инвестиционных показателей в случае внедрения инновационного проекта

9.8.1 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**).

Расчет чистого денежного потока (ЧДП)

Таблица 9.9.

Наименование показателя	Годы (t=0, 1, 2...n)				
	1	2	3	4	5...
1. Объем продаж, м³	6815718	6815718	6815718	6815718	6815718
2. Цена 1-ого м³, тыс. руб.	0,139	0,139	0,139	0,139	0,139
3. Выручка от продажи, тыс. руб. (1*2)	947385	947385	947385	947385	947385
4. Суммарные издержки, тыс. руб.	900833	900833	900833	900833	900833
4.1. Условно-переменные издержки, тыс. руб.	870026	870026	870026	870026	870026
4.2. Условно-постоянные издержки, тыс. руб.	31148	31148	31148	31148	31148
5. Амортизация оборудования, тыс. руб.	480	480	480	480	480
6. Чистая прибыль, тыс. руб. (3-4)	46552	46552	46552	46552	46552
12. Чистый денежный поток от операционной деятельности, тыс.руб. (5+6)	47032	47032	47032	47032	47032
13. ЧДД при(i=10%)	42760	38870	35340	32120	29200

а). Чистая текущая стоимость (NPV)

Данный метод основан на сопоставлении дисконтированных чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности.

Если инвестиции носят разовый характер, то **NPV** определяется по формуле

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0,$$

$$NPV = 125290$$

где $ЧДП_{опt}$ – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t=0, 1, 2 \dots n$);

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Чистая текущая стоимость является абсолютным показателем.

Условием эффективности инвестиционного проекта по данному показателю является выполнение следующего неравенства: $NPV > 0$.

Чем больше NPV , тем больше влияние инвестиционного проекта на экономический потенциал предприятия, реализующего данный проект, и на экономическую ценность этого предприятия.

б). Индекс доходности (рентабельности) инвестиций (PI)

Индекс доходности показывает, сколько приходится дисконтированных денежных поступлений на рубль инвестиций.

Расчет этого показателя осуществляется по формуле:

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_t}{(1+i)^t} / I_0,$$

$$PI = 3.36$$

где I_0 – первоначальные инвестиции.

Условием эффективности инвестиционного проекта по данному показателю является выполнение $PI > 1$.

в). Внутренняя ставка доходности (IRR)

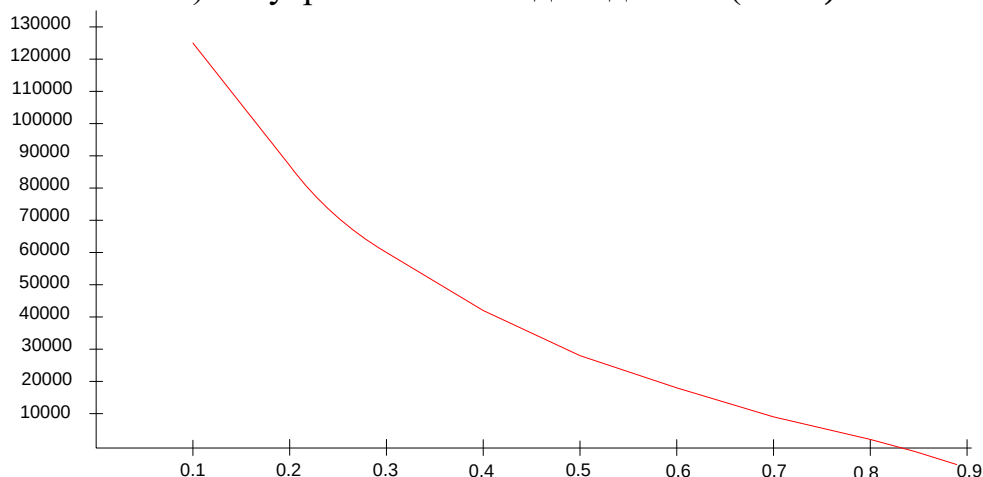


Рис. 8.2. Зависимость **NPV** от ставки дисконтирования

$$\sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{ont}}{(1+IRR)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+IRR)^t}$$

$$IRR = 0,846$$

Значение ставки, при которой **NPV** обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности». Формальное определение «внутренней ставки доходности» заключается в том, что это та ставка дисконтирования, при которой суммы дисконтированных притоков денежных средств равны сумме дисконтированных оттоков или **NPV**=0. По разности между IRR и ставкой дисконтирования i можно судить о запасе экономической прочности инвестиционного проекта. Чем ближе IRR к ставке дисконтирования i , тем больше риск от инвестирования в данный проект.

г). **Срок окупаемости инвестиций**

Метод расчета срока окупаемости инвестиций **РР** (Токуп.) состоит в определении того периода, через который первоначальные инвестиции будут возвращены прибылью или чистыми денежными поступлениями. Этот метод ориентирован на краткосрочную оценку, рассматривает, как скоро инвестиционный проект окупит себя. Чем быстрее проект окупит первоначальные затраты, тем эффективнее проект. Использование данного показателя предполагает установление приемлемого значения срока окупаемости как меры оценки эффективности инвестиций.

Чем больше нужна ликвидность инвестору, тем короче должен быть срок окупаемости.

Существует **два подхода** к расчету срока окупаемости.

Первый заключается в том, что сумма первоначальных инвестиций делится на величину годовых поступлений (чистой прибыли):

$$PP = \frac{I_0}{ЧДП},$$

$$PP = 1.13 \text{ года}$$

где I_0 – первоначальные инвестиции;

ЧДП – чистый денежный поток от операционной деятельности.

Данный подход применяется в тех случаях, когда величины чистых денежных поступлений примерно равны по годам.

Срок окупаемости инвестиционного проекта

Периоды	0	1	2	3
Чистый денежный поток	-53000	47032	47032	47032
Ставка дисконтирования, i , %	10			
Дисконтированный денежный поток	-53000	42760	38870	35340
Накопленный дисконтированный денежный поток	-53000	-10240	28630	63970

9.9. Определение технико-экономических показателей

Технико-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Отчетный год
1. Объем производства	м ³	6815718
2. Объем продаж	м ³	6815718
3. Цена 1 м ³	тыс. руб.	0,139
4. Выручка от продажи (2*3)	тыс. руб.	947385
5. Суммарные издержки	тыс. руб.	900833
5.1. Издержки переменные	тыс. руб.	870026,4
5.2. Издержки постоянные	тыс. руб.	31147
6. Операционная прибыль (4–5)	тыс. руб.	46552
7. Налог на прибыль (6*20%)	тыс. руб.	9310,4
8. Чистая прибыль (6–7)	тыс. руб.	37241,6
9. Себестоимость 1 м ³	тыс. руб.	0.132
10. Стоимость основных средств	тыс. руб.	53000
11. Численность основных рабочих	чел.	20
12. Фондовооруженность (10/11)	тыс. руб./чел.	2650
13. Фондоотдача (4/10)	руб./руб.	17.8
14. Фондоемкость (10/4)	руб./руб.	0.056
15. Производительность труда (4/11)	тыс. руб./чел.	47369
16. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	4.13
17. Критический объем продаж ($Q_{кр.}$)	тыс. м ³	2732.281
18. Критический объем продаж ($Q_{кр.}$)	тыс. руб.	379790
19. Чистая текущая стоимость (NPV)	тыс. руб.	125290
20. Индекс доходности (рентабельности) инвестиций (PI)	тыс. руб.	3.36
21. Внутренняя ставка доходности (IRR)	%	84.6
22. Дисконтированный срок окупаемости.	годы	1.13

Вывод: В расчете проектируемого производства получились следующие показатели :

Фондоотдача-17.8 руб./руб

Рентабельность производства-5 %

Чистая текущая стоимость (**NPV**)-125290 тыс. руб.

Индекс доходности (рентабельности) инвестиций (**PI**)-3.36 тыс. руб.

Критический объем продаж ($Q_{кр.}$)- 2732281 тыс. м³

Критический объем продаж ($Q_{кр.}$)- 379790 тыс. руб.

Внутренняя ставка доходности (**IRR**)-84.6%

Дисконтированный срок окупаемости.- 1.13 года

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Михалёв М.Ф., Третьяков Н.П., Мильченко А.И., Зобин В.В. Расчёт и конструирование машин и аппаратов химических производств. Учеб.пособие 1984-302с.
- 2 Анурьев В. И. Справочник конструктора – машиностроителя: в 3 т. Т.3. – М.: Машиностроение, 1982. – 576 с.
- 3 Пищулин В.П. Машины и аппараты химических производств: Руководство по выполнению выпускной квалификационной работы. 2007. – 152 с.
- 4 Конструирование расчёт элементов оборудования отрасли. ТПУ В.М. Миронов, В.М.Беляев, учебное пособие. Часть 1, год издания 2003г.
- 5 ГОСТ Р 52857.2 – 2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность
- 6 ГОСТ 13716–23.06.2009 Устройство строповые для сосудов и аппаратов.
- 7 ГОСТ Р 52857.4 – 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.
- 8 Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Машиностроение, 1981.
- 9 Домашнев А.Д. Конструирование и расчёт химических аппаратов .1965-304с.
- 10 Единая система планово-предупредительного ремонта и рациональной эксплуатации технологического оборудования машиностроительных предприятий.
- 11 Иванов М. Н. Детали машин. М.: Высшая школа, 1984. – 336 с.
- 12 Краткий справочник металлиста/ Под общ. ред. П. Н. Орлова, Е. А. Скороходова. – 3-е изд, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 960 с.: ил.
- 13 Лацинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1981. – 382 с, ил.
- 14 Рахмилевич З.З. Справочник механика химических и нефтехимических производств. 1985-592с.
- 15 Васильцов Э.А., Ушаков В.Г. Аппараты для перемешивания жидких сред. Справ.пособие.-М. Машиностроение 1979-272с.
- 16 Павлов К.Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов / Под ред. чл. – корр. АН СССР П. Г. Романкова. – 10 – е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 576 с., ил.
- 17 Пищулин В. П., Зарипова Л. Ф. Расчет агитаторов: Руководство для студентов. – Томск, Отд №1 ТПИ, 1998. – 56 с.
- 18 Пищулин В. П., Зарипова Л. Ф. Расчет потерь тепла в окружающую среду: Руководство для студентов. – Томск: Отделение №1 ТПИ, 1987. – 59 с.
- 19 Пряников В. И. Техника безопасности в химической промышленности. – М.: Химия, 1989.

- 20 Расчет защитного заземления. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий по курсу «Безопасность жизнедеятельности» для студентов всех специальностей, Томск, изд. ТПУ, 1991. – 10 с.
- 21 ГОСТ Р 52857.1-2007 Нормы и методы расчетов на прочность.
- 22 Ревин С. А. Методические указания по проектированию технологических процессов механической обработки деталей машин. Часть VII. Станочные приспособления, их расчет и проектирование. – М.: МВ и ССО РСФСР, 1970.
- 23 Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1/ Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 656 с., ил.
- 24 Справочник технолога-машиностроителя. В двух томах. Изд. 3-е перераб. Том 1. Под ред. канд. техн. наук А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – М., «Машиностроение», 1972. – 694 с.
- 25 Справочник технолога-машиностроителя. В двух томах. Изд. 3-е переработанное. Том 2. Под ред. заслуженного деятеля науки и техники РСФСР д-ра техн. наук профессора А. Н. Малова. – М., «Машиностроение», 1972. – 568 с.
- 26 Шувалов В. В. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. – М.: Химия, 1994.
- 27 Лацинский А.А. Толчинский А.Р. «Основы конструирования и расчета хим аппаратуры» Справочник 3- издание 2008.-752 с.
- 28 Матвеев В.В. Крупин Н.Ф. Примеры расчета такелажной оснастки – Л Стройиздательство 1987-320 с.
- 29 Охрана труда в химической промышленности. Под редакцией Г.В. Макарова, А.Я. Васина и др. – М.: Химия, 1989.
- 30 Николадзе Г.И. Водоснабжение. – М.: Стойиздат, 1989.
- 31 Голубцова В.А., Гурвич С.М. Водоподготовка. Справочник химика-энергетика. – М.: Государственное энергетическое издательство, 1958.
- 32 Конюшков А.М. Водоснабжение. – М.: Издательство литературы по строительству. – М.: 1964
- 33 СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03.Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. М.: Госкомсанэпиднадзор России, 2003.
34. ГОСТ 12.2.003-04 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
35. ГОСТ 12.1.002-04«Электрические поля промышленной частоты.
36. СанПиН 2.2.4.548-06. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
37. ГОСТ 12.1.030-01 ССБТ. Защитное заземление, зануление.
38. ГОСТ 12.1.038-02 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
39. ГОСТ 12.1.003–03 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
40. ГОСТ 12.1.005–08 (с изм. №1 от 2000 г.). ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (01. 01.89).

41. ГОСТ 12.1.007–06 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с изм. 1990 г.).
42. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест. – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 2001.
43. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности