

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

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» Кафедра общей химии и химической технологии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Разработка основного оборудования установки производства соляной кислоты методом адиабатической абсорбции

УДК 66.081.05:661.81

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2К32	Кенесбек Арман		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т.Г.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Раденков Т.А.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

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

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

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой
_____ Ан В.В.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврская работа <small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>
--

Студенту:

Группа	ФИО
2К32	Кенесбек Арман

Тема работы:

Разработка основного оборудования установки производства соляной кислоты методом адиабатической абсорбции	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.04.17, 3010/С

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	
<i>(наименование объекта исследования или проектирования;</i> <i>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>	Расчет насадочной абсорбционной колонны непрерывного действия поглощения HCl газа водой Производительность по соляной кислоте = 12,5 м ³ /с; Температура газовой смеси T = 20° C; Начальная объемная концентрация хлороводорода в воздухе = 85%; Начальная объемная концентрация хлороводорода в воде = 0%; Конечная объемная концентрация хлороводорода в воде = 30%;

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<p>1. Технологический расчет: - описание технологической схемы; - материальный и тепловой баланс колонны; - определение основных размеров аппарата.</p> <p>2. Конструктивно-механический расчет колонны: - определение расчетных параметров; - определение толщины стенки обечайки, днища; - расчет фланцевых соединений; - расчет на прочность и устойчивость.</p> <p>3. Социальная ответственность: - анализ опасных факторов проектируемой производственной среды; - охрана окружающей среды; - защита в чрезвычайной ситуации.</p> <p>4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: - анализ производственной мощности; - расчет себестоимости продукции; - анализ безубыточности производства; - определение технико-экономических показателей.</p>
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>Лист 1 – Технологическая схема (А1). Лист 2– Общий вид абсорбционной колонны (А0). Лист 3 – График безубыточности и технико-экономические показатели (А1)</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</p>	
<p style="text-align: center;">Раздел</p>	<p style="text-align: center;">Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Рыжакина Татьяна Гавриловна</p>
<p>Безопасность жизнедеятельности и охрана окружающей среды</p>	<p>Раденков Тимофей Александрович</p>

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p style="text-align: center;">28.02.17г.</p>
--	---

Задание выдал руководитель:

<p style="text-align: center;">Должность</p>	<p style="text-align: center;">ФИО</p>	<p style="text-align: center;">Ученая степень, звание</p>	<p style="text-align: center;">Подпись</p>	<p style="text-align: center;">Дата</p>
<p style="text-align: center;">Доцент</p>	<p style="text-align: center;">Балмашнов М.А.</p>	<p style="text-align: center;">к.т.н., доцент</p>		

Задание принял к исполнению студент:

<p style="text-align: center;">Группа</p>	<p style="text-align: center;">ФИО</p>	<p style="text-align: center;">Подпись</p>	<p style="text-align: center;">Дата</p>
<p style="text-align: center;">2К32</p>	<p style="text-align: center;">Кенесбек Арман</p>		

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

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

Цели образовательной программы

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

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

Реферат

Данная бакалаврская работа включает в себя расчет насадочной абсорбционной колонны непрерывного действия поглощения HCl газа водой. Произведены технологический, тепловой, конструктивно-механический расчеты колонны. В конструктивно-механическом расчете были произведены расчеты толщин стенок обечайки, крышки и днища, штуцеров, а также расчеты фланцевых соединений и расчет аппарата от воздействия опорных нагрузок.

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены вопросы обеспечения охраны окружающей среды и безопасной работы персонала.

В разделе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» рассчитаны технико-экономические показатели и построен график безубыточности.

Цель бакалаврской работы: расчет и выбор аппарата, который будет удовлетворять всем условиям технологического процесса.

Бакалаврская работа состоит из графической части и пояснительной записки. Графическая часть состоит из 2 листа форматом A1 и 1 лист формата A0. Пояснительная записка состоит из 126 страниц, 17 таблиц, 14 рисунков и 41 источников литературы.

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
						2
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Abstract

The bachelor's work includes calculating of the packed absorption column. There were made technological, thermal, constructive and mechanical calculations of the equipment. The mechanical calculation includes the wall thicknesses, the flange connection and the support calculations.

In the section «Social responsibility» the issues of ensuring the safe operation of personal and protection of the environment are considered.

In the section «Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving» a break-even schedule was constructed and technical and economic indicators were calculated.

Purpose of the bachelor's work is calculation of the absorption column to satisfy all the conditions of the technological process.

The diploma project consists of a graphic part and an explanatory note.

The graphic part consists of 2 sheets of A1 format and 1 sheet of A0 format. Explanatory note consists of 126 pages, 17 tables, 14 drawings and 41 sources of literature.

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
						3
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Оглавление

Введение.....	5
1. Описание технологической схемы.....	6
2. Расчет насадочного абсорбера.....	8
2.1. Технологический расчет.....	8
2.2. Тепловой расчет.....	24
2.3. Гидравлический расчет.....	29
2.4. Конструктивно-механический расчет.....	30
2.4.1. Выбор типа и материала аппарата.....	30
2.4.2. Определение расчетных параметров.....	31
2.4.3. Расчет толщины стенки гладкой цилиндрической обечайки....	34
2.4.4. Расчет толщины стенки эллиптической крышки и днища.....	37
2.4.5. Расчет штуцеров.....	41
2.4.6. Подбор люка.....	45
2.4.7. Расчет фланцев.....	47
2.4.8. Выбор опорной решетки.....	63
2.4.9. Выбор распределительной тарелки.....	66
2.4.10. Расчет опорной обечайки.....	67
2.4.11. Расчет толщины изоляции.....	74
3. Расчет вспомогательного оборудования.....	75
4. Социальная ответственность.....	79
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	93
Заключение	116
Список используемой литературы.....	117

Введение

Абсорбцией называется процесс поглощения газов или паров из газовых или парогазовых смесей жидкими поглотителями (абсорбентами). Различают физическую и химическую абсорбцию. На практике абсорбции подвергают большей частью не отдельные газы, а газовые смеси, составные части которых (одна или несколько) могут поглощаться данным поглотителем в заметных количествах. Эти составные части называют абсорбируемыми компонентами или просто компонентами, а не поглощаемые составные части – инертным газом.

В настоящее время процесс абсорбции нашел широкое применение в самых различных отраслях химической промышленности. Одной из таких отраслей химической промышленности является получение кислоты соляной из абгазов хлорорганических производств. Данная кислота повсеместно используется в химической промышленности. А именно: для подкисления рассола в производстве каустической соды, для получения регенерированного хлористого водорода, для получения хлоридов металлов; в цветной и черной металлургии – для снятия окисной пленки с поверхности металла, в процессах выщелачивания металлов из руд; в других отраслях промышленности – для очистки котлов и химводоочистки, не связанной с питьевым водоснабжением.

На производстве АО «Каустик» для поглощения хлороводород-газа используют абсорбционные колонны насадочного типа с нерегулярной насадкой. Насадочный абсорбер представляет собой колонный аппарат, в котором на колесниковой решётке наложена насадка. Высота слоя насадки ограничена, поэтому в аппарате может быть несколько слоев. Сверху в аппарат поступает жидкий поглотитель или с помощью разбрызгивающего устройства распределяются тарелки равномерно. Жидкость движется вниз, распределяя по поверхности тонкой плёнкой. Газ движется снизу-вверх контактируя.

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

1. Описание технологической схемы

Хлор из буферной емкости 1, где от него отделяется серная кислота, увлекаемая хлором из сушильной башни, и водород через огневзрывопреградитель 2 подают в горелку печи 3 в соотношении, обеспечивающем избыток водорода. Выходящий из печи газ охлаждается в газовом холодильнике 4, орошаемом водой и разделяется на два потока. Один поток (линия соляной кислоты) поступает в абсорбционную колонну 5, орошаемую водой. Температура абсорбции составляет 95 °С и регулируется испарением воды, подаваемой в колонну. Газ подается в нижнюю часть колонны, где равномерно распределяется перед поступлением на насадку. Абсорбент подается в верхнюю часть колонны и равномерно распределяется. В колонне осуществляется противоточное взаимодействие газа и жидкости. Продукционную соляную кислоту собирают в сборнике 6, а непоглощенные газы, содержащие хлористый водород, водород, азот и пары воды, направляют в санитарную башню 7, орошаемую водой, после чего выбрасывают через эжектор 8 в атмосферу. Второй поток газа (линия жидкого хлористого водорода) дополнительно охлаждается в рассольном холодильнике из тантала или графита 9 и направляется на осушку в башню 10, орошаемую концентрированной серной кислотой. Сухой хлористый водород проходит через конденсатор 11, сжимается компрессором 12 до давления 10 МПа и поступает в сборник жидкого продукта 13, откуда разливается в баллоны или tanks.

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

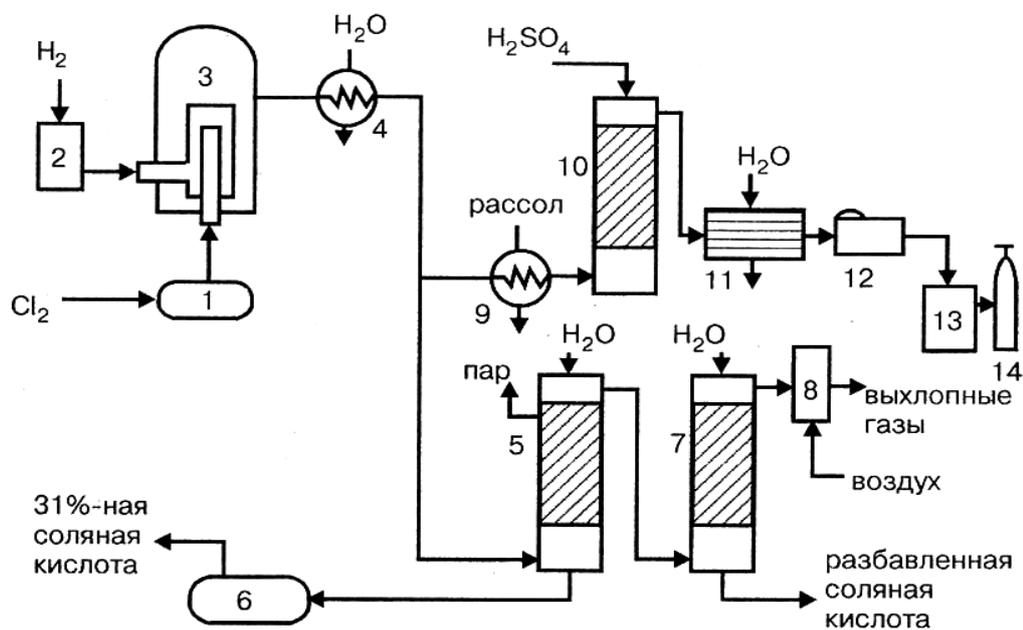


Рис. 20. Технологическая схема производства соляной кислоты и хлористого водорода методом адиабатической абсорбции

1 — буферная емкость, 2 — огневзрывопреградитель, 3 — печь, 4 — газовый холодильник, 5 — абсорбционная колонна, 6 — сборник кислоты, 7 — санитарная башня, 8 — эжектор, 9 — рассольный холодильник, 10 — сушильная башня, 11 — конденсатор, 12 — компрессор, 13 — сборник HCl (жидк.), 14 — баллон (танк)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

2. Расчет насадочного абсорбера

2.1. Технологический расчет.

Исходные данные:

Производительность по соляной кислоте, м ³ /с	12,5
Степень извлечения, %	97
Температура газовой смеси, °С	350
Начальная объемная концентрация хлороводорода в воздухе, %	85
Начальная объемная концентрация хлороводорода в воде, %	0
Конечная объемная концентрация хлороводорода в воде, %	30
Кольца Рашига, мм	25x25x3
Удельная поверхность f , м ² /м ³	200
Свободный объем ε , м ³ /м ³	0,74
Эквивалентный диаметр $d_э$, м	0,015

Количество хлороводорода M , кг/с, переходящего из газовой смеси в поглотитель-вода, определили из уравнения материального баланса [1, с 192]:

$$M = G * (\bar{Y}_n - \bar{Y}_k) * L * (\bar{X}_k - \bar{X}_n)$$

Где, M – количество поглощенного компонента, кг/с;

G, L – расходы соответственно инертного газа и поглотителя, кг/с;

\bar{Y}_n, \bar{Y}_k – начальная и конечная концентрация хлороводорода в газовой смеси, кг/кг воздуха;

\bar{X}_k, \bar{X}_n – начальная и конечная концентрация хлороводорода в воде, кг/кг воды;

Начальную объемную концентрацию газовой фазы y_n , %, пересчитали в относительно массовую согласно [3, с 206] по формуле:

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
						8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\bar{Y}_H = \frac{M_{HCl}}{M_{возд}} * \frac{y_H}{(100-y_H)}$$

Где, M_{HCl} , $M_{возд}$ – мольные массы соответственно HCl и воздуха, кг/кмоль.

$$\bar{Y}_H = \frac{36,5}{29} * \frac{85}{100-85} = 7,13 \text{ кг/кг воздуха};$$

Концентрацию хлороводорода \bar{Y}_K , кг/кг, в газовой смеси на выходе из абсорбера определили согласно [2, с 207] по формуле:

$$\bar{Y}_K = \bar{Y}_H * (1 - \varepsilon)$$

Где, ε – степень извлечения

$$\bar{Y}_K = 7,13 * (1 - 0,97) = 0,2139 \text{ кг/кг воздуха};$$

Конечную концентрацию хлороводорода в воде, \bar{X}_K , кг/кг определили согласно [1, с 193] по формуле:

$$\bar{X}_K = \frac{x_K}{100 - x_K}$$

Где, x_K – конечная объемная концентрация хлороводорода в воде, %

$$\bar{X}_K = \frac{30}{100 - 30} = 0,43 \text{ кг/кг воды};$$

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Принимаем, что газовая смесь, поступающая из колонны синтеза, перед подачей в колонну охлаждается в холодильнике до $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. В этом случае объем газовой смеси, поступающей в абсорбер, равен:

$$V = 12,5 * 293 / (350 + 273) = 5,87\text{ м}^3/\text{с};$$

Количество хлороводорода, поступающего в колонну G_{HCl} , кг/с, определили согласно [2, с 234] по формуле:

$$G_{\text{HCl}} = V * 0,85 * \rho_{\text{HCl}}$$

Где, V – объем газовой смеси, $\text{м}^3/\text{с}$

ρ_{HCl} – плотность хлороводорода при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{кг}/\text{м}^3$

$$\rho_{\text{HCl}} = 1,63\text{ кг}/\text{м}^3$$

$$G_{\text{HCl}} = 5,87 * 0,85 * 1,63 = 8,132\text{ кг}/\text{с};$$

Количество воздуха, поступившего на абсорбцию $G_{\text{возд}}$, кг/с, определяется согласно [2, с 234] по формуле:

$$G_{\text{возд}} = V * 0,15 * \rho_{\text{возд}}$$

Где, $\rho_{\text{возд}}$ – плотность воздуха при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{кг}/\text{м}^3$

$$\rho_{\text{возд}} = 1,2\text{ кг}/\text{м}^3$$

$$G_{\text{возд}} = 5,87 * 0,15 * 1,2 = 1,056\text{ кг}/\text{с};$$

Плотность газа, поступившего на абсорбцию ρ_g , $\text{кг}/\text{м}^3$, определили согласно [2, с 234] по формуле:

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	<i>Лист</i>
						10
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$\rho_{\Gamma} = \frac{G_{HCl} + G_{\text{возд}}}{V}$$

Где, ρ_2 - плотность газа, $\text{кг}/\text{м}^3$

$$\rho_2 = \frac{8,132 + 1,056}{5,87} = 1,565 \text{ кг}/\text{м}^3;$$

Количество поглощенного хлороводорода M , $\text{кг}/\text{с}$, определили согласно [2, с 234] по формуле:

$$M = G_{HCl} * \varepsilon$$

$$M = 8,132 * 0,97 = 7,888 \text{ кг}/\text{с};$$

Расход воды в абсорбере L , $\text{кг}/\text{с}$, определили согласно [2, с 208] по формуле:

$$L = \frac{M}{\bar{X}_K - \bar{X}_H}$$

$$L = \frac{7,888}{0,43 - 0} = 18,344 \text{ кг}/\text{с};$$

Количество не вступившего хлороводорода G'_{HCl} , $\text{кг}/\text{с}$, определили согласно [2, с 207] по формуле:

$$G'_{HCl} = G_{HCl} - M$$

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

$$G'_{HCl} = 8,132 - 7,888 = 0,244 \text{ кг/с};$$

Предельную скорость газа ω_{np} , м/с, выше которой наступает захлебывание насадочных абсорберов, определили согласно [1, с 196] по формуле:

$$\lg \left[\frac{\omega_{np}^2 * f * \rho_{\Gamma} \left(\frac{\mu_x}{\mu_B} \right)^{0,16}}{g * \epsilon^3 * \rho_{\text{воды}}} \right] = A - B \left(\frac{L}{G} \right)^{0,25} * \left(\frac{\rho_{\Gamma}}{\rho_{\text{воды}}} \right)^{0,125}$$

Где, ω_{np} – предельная фиктивная скорость газа, м/с

μ_x, μ_B – вязкость соответственно поглотителя при температуре в абсорбере и воды при 20 °С

A, B – коэффициенты, зависящие от типа насадки [1, с 197]

L, G – расходы фаз, кг/с

$\rho_{\Gamma}, \rho_{\text{воды}}$ – плотности соответственно газа и воды, кг/м³

$$G = G_{HCl} + G_{\text{возд}} = 8,132 + 1,056 = 9,188 \text{ кг/с}$$

$$\lg \left[\frac{\omega_{np}^2 * 200 * 1,565}{9,81 * 0,74^3 * 998} 1^{0,16} \right] = -0,073 - 1,75 \left(\frac{18,344}{9,188} \right)^{0,25} * \left(\frac{1,565}{998} \right)^{0,125}$$

$$\lg[\omega_{np}^2 * 0,0789] = -1,0009$$

$$\omega_{np}^2 * 0,0789 = 10^{-1,0009}$$

$$\omega_{np} = 1,26 \text{ м/с}$$

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Рабочую скорость газа в колонне ω , м/с, определили согласно [1, с 198] по формуле:

$$\omega = \omega_{np} * (0,75 \div 0,9)$$

$$\omega = 1,26 * 0,85 = 1,071 \text{ м/с}$$

Диаметр абсорбера D , м, определили согласно [2, с 213] по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{4 * V}{\pi * \omega}}$$

Где, V – объем газовой смеси, м³/с

ω – рабочая скорость газа, м/с

$$D = \sqrt{\frac{4 * 5,87}{3,14 * 1,071}} = 2,6 \text{ м};$$

Выбираем стандартный диаметр обечайки абсорбера $D = 2600$ мм [1, с 197];

Площадь поперечного сечения S , м², определили согласно [1, с 198] по формуле:

$$S = 0,785 * D^2$$

$$S = 0,785 * 2,6^2 = 5,3 \text{ м}^2;$$

Плотность орошения жидкости $U, \text{ м}^3/(\text{м}^2*\text{с})$, рассчитывают согласно [1, с 198] по формуле:

$$U = L/(\rho_{\text{воды}}*S)$$

$$U = 18,344/(998*5,3) = 34,6*10^{-4} \text{ м}^3/(\text{м}^2*\text{с});$$

Для обычных насадочных колонн действительная плотность орошения U должна быть не меньше U_{opt} :

$$U \geq U_{\text{opt}};$$

Оптимальную плотность орошения $U_{\text{opt}}, \text{ м}^3/(\text{м}^2*\text{с})$, рассчитывают согласно [1, с 198] по формуле:

$$U_{\text{opt}} = b*f$$

где, b – коэффициент (при абсорбции хлористого водорода водой)
 $b=1,38*10^{-5} \text{ м}^2/(\text{м}^2*\text{с})$ [1, с 198];

$$U_{\text{opt}} = 1,38*10^{-5} * 200 = 27,6*10^{-4} \text{ м}^3/(\text{м}^2*\text{с});$$

Так как $U / U_{\text{opt}} = 34,6*10^{-4} / 27,6*10^{-4} = 1,25 > 1$, поверхность насадки смочена полностью. Коэффициент смачиваемости Ψ равен 1.

Движущую силу внизу абсорбера на входе газа $\Delta \bar{Y}_b, \text{ кг/кг}$, определили согласно [2, с 236] по формуле:

$$\Delta \bar{Y}_b = \bar{Y}_n - \bar{Y}'_{Xk}$$

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Где, $\bar{Y}'_{X_k} = m * \bar{X}_k = 0,7224$

$$\Delta \bar{Y}_6 = 7,13 - 0,7224 = 6,40 \text{ кг/кг воздуха};$$

Движущую силу вверху абсорбера $\Delta \bar{Y}_m$, кг/кг, определили согласно [2, с 236] по формуле:

$$\Delta \bar{Y}_m = \bar{Y}_k - \bar{Y}'_{X_n}$$

Где, $\bar{Y}'_{X_n} = 0$

$$\Delta \bar{Y}_m = 0,2139 - 0 = 0,2139 \text{ кг/кг воздуха};$$

Так как отношение $\Delta \bar{Y}_6 / \Delta \bar{Y}_m = 6,40/0,2139 = 169 > 2$, то среднюю движущую силу $\Delta \bar{Y}_{cp}$, кг/кг, определили согласно [1, с 211] по формуле:

$$\Delta \bar{Y}_{cp} = \frac{\Delta \bar{Y}_6 - \Delta \bar{Y}_m}{2,3 \lg \frac{\Delta \bar{Y}_6}{\Delta \bar{Y}_m}}$$

$$\Delta \bar{Y}_{cp} = \frac{6,40 - 0,2139}{2,3 \lg \frac{6,40}{0,2139}} = 0,2 \text{ кг/кг воздуха};$$

Коэффициент массопередачи K_y , кг/м²*с, определили согласно [1, с 218] по формуле:

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{\beta_{\Gamma}} + \frac{m}{\beta_{\text{ж}}}}$$

Где, m – тангенс угла наклона равновесной кривой, равная 1,68

$\beta_{\text{ж}}, \beta_{\Gamma}$ – коэффициенты массоотдачи соответственно в жидкой и газовой фазах, м/с

Для определения коэффициента массоотдачи в газовой фазе необходимо рассчитать ряд величин.

Мольную массу газовой фазы M_{Σ} , кг/кмоль , определили согласно [2, с 236] по формуле:

$$M_{\Sigma} = 0,85 * M_{\text{HCl}} + 0,15 * M_{\text{в}}$$

Где, $M_{\text{HCl}}, M_{\text{в}}$ – мольные массы соответственно хлороводорода и воздуха, кг/кмоль

$$M_{\Sigma} = 0,85 * 36,5 + 0,15 * 29 = 35,3 \text{ кг/кмоль};$$

Вязкость газовой фазы μ_{Σ} , Па*с , определили согласно [2, с 236] по формуле:

$$\frac{M_{\Gamma}}{\mu_{\Gamma}} = \frac{0,85 * M_{\text{HCl}}}{\mu_{\text{HCl}}} + \frac{0,15 * M_{\text{в}}}{\mu_{\text{в}}}$$

Где, $\mu_{\text{HCl}}, \mu_{\text{в}}$ – динамические вязкости соответственно хлороводорода и воздуха, Па*с

$$\frac{32,8}{\mu_{\Gamma}} = \frac{0,85 * 36,5}{0,014 * 10^{-3}} + \frac{0,15 * 29}{0,018 * 10^{-3}}$$

$$\frac{32,8}{\mu_{\Gamma}} = 2457,7 * 10^3$$

$$\mu_{\Gamma} = 0,013 * 10^{-3} \text{ Па} * \text{с}$$

Коэффициент диффузии хлороводорода в воздухе при 20 °С, D_2 , $\text{м}^2/\text{с}$, определили согласно [2, с 24] по формуле:

$$D_2 = D_0 * \frac{P_0}{P} * \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{3}{2}}$$

Где, D_0 – коэффициент диффузии хлороводорода в воздухе при 0 °С и 0,1 МПа, $\text{м}^2/\text{с}$

$$D_2 = 0,133 * 10^{-4} * \frac{0,1}{0,1} * \left(\frac{273+20}{273}\right)^{\frac{3}{2}} = 0,147 * 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с};$$

Массовую скорость газовой фазы W_2 , $\text{кг}/\text{м}^2 * \text{с}$, определили согласно [2, с 223] по формуле:

$$W_2 = \frac{G}{S}$$

Где, S – площадь поперечного сечения, м^2

$$W_2 = \frac{9,188}{5,3} = 1,73 \text{ кг}/\text{м}^2 * \text{с}$$

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		17

Критерий Рейнольдса Re_2 , определили согласно [2, с 233] по формуле:

$$Re_2 = \frac{4 * W_{\Gamma}}{f * \mu_{\Gamma}}$$

Где, W_2 – массовая скорость газовой фазы, $кг/м^2 * с$

$$Re_2 = \frac{4 * 1,73}{200 * 0,013 * 10^{-3}} = 2661,5;$$

Т.е. режим движения – переходный;

Критерий Прандтля Pr_2 , определили согласно [2, с 223] по формуле:

$$Pr_2 = \frac{\mu_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma} * D_{\Gamma}}$$

Где, D_2 – коэффициент диффузии HCl в воздухе при 20 °C, $м^2/с$

$$Pr_2 = \frac{0,013 * 10^{-3}}{1,565 * 0,147 * 10^{-4}} = 0,56;$$

Коэффициент массоотдачи в газовой фазе для колонн с неупорядоченными насадками β_2 , $м/с$, определили согласно [2, с 219] по формуле:

$$\beta_2 = C * \frac{D_{\Gamma}}{d_3} * Re_{\Gamma}^{0,655} * (Pr_{\Gamma})^{0,33}$$

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Где, C – коэффициент, равный 0,407

$d_э$ – эквивалентный диаметр насадки, м

$$\beta_э = 0,407 * \frac{0,147 * 10^{-4}}{0,015} * 2661,5^{0,655} * (0,56)^{0,33} = 0,057 \text{ м/с};$$

Коэффициент массоотдачи $\beta_э$, $\text{кг/м}^2 * \text{с}$, выразим выбранной для расчета размерности согласно [2, с 237]:

$$\beta_э = \beta_э * \rho_э$$

$$\beta_э = 0,057 * 1,565 = 0,089 \text{ кг/м}^2 * \text{с};$$

Для определения коэффициента массоотдачи в жидкой фазе рассчитали следующие величины:

Толщина стекающей пленки жидкости σ_{np} , м, определили согласно [2, с 223] по формуле:

$$\sigma_{np} = \left[\frac{\mu_{ж}^2}{g * \rho_{ж}^2} \right]^{0,33}$$

Где, g – ускорение свободного падения, $\text{м}^2/\text{с}$

$$\sigma_{np} = \left[\frac{(1,005 * 10^{-3})^2}{9,81 * 998^2} \right]^{0,33} = 5,2 * 10^{-5} \text{ м}$$

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

Массовую скорость жидкой фазы $W_{жс}$, $кг/м^2*с$, определили согласно [2, с 223] по формуле:

$$W_{жс} = \frac{L}{S}$$
$$W_{жс} = \frac{18,344}{5,3} = 3,46 \text{ кг/м}^2*с;$$

Критерий Рейнольдса для стекающей по насадке пленки жидкости $Re_{жс}$ определили согласно [2, с 223] по формуле:

$$Re_{жс} = \frac{4*W_{жс}}{f*\mu_{жс}}$$

Где, $W_{жс}$ – массовая скорость жидкой фазы, $кг/м^2*с$

$$Re_{жс} = \frac{4*3,46}{200*1,005*10^{-3}} = 68,8;$$

Т.е. режим движения – ламинарный;

Критерий Прандтля для жидкости $Pr_{жс}$, определили согласно [2, с 223] по формуле:

$$Pr_{жс} = \frac{\mu_{жс}}{\rho_{жс}*D_{жс}}$$

Где, $D_{жс}$ – коэффициент диффузии $НСl$ в воде, $м^2/с$

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$Pr_{ж} = \frac{1,005 \cdot 10^{-3}}{998 \cdot 0,061 \cdot 10^{-6}} = 16,5;$$

Коэффициент массоотдачи в жидкой фазе $\beta_{ж}$, $кг/м^2 \cdot с$, определили согласно [2, с 218] по формуле:

$$\beta_{ж} = 0,0021 \cdot \frac{D_{ж}}{d_3} \cdot Re_{ж}^{0,77} \cdot (Pr_{ж}')^{0,5}$$

$$\beta_{ж} = 0,0021 \cdot \frac{0,061 \cdot 10^{-6}}{0,015} \cdot 68^{0,77} \cdot (16,5)^{0,5} = 4,71 \cdot 10^{-4} \text{ м/с};$$

Коэффициент массоотдачи $\beta_{ж}$, $кг/м^2 \cdot с$, выразим выбранной для расчета размерности согласно [2, с 237]:

$$\beta_{ж} = \beta_{ж} \cdot \rho_{ж}$$

$$\beta_{ж} = 4,71 \cdot 10^{-4} \cdot 998 = 0,471 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

Коэффициент массопередачи по газовой фазе K_y , $кг/м^2 \cdot с$, определили согласно [2, с 218] по формуле:

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{\beta_{Г}} + \frac{m}{\beta_{ж}}}$$

Где, m – тангенс угла наклона равновесной кривой, равный 1,68

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		21

$$K_y = \frac{1}{\frac{1}{0,089} + \frac{1,68}{0,471}} = 0,025 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с};$$

Площадь поверхности массопередачи в абсорбере F , м^2 , определили согласно [2, с 217]:

$$F = \frac{M}{K_y \cdot \Delta \bar{Y}_{cp}}$$

Где, K_y – коэффициент массопередачи по газовой фазе, $\text{кг/м}^2 \cdot \text{с}$

M – количество поглощенного хлороводорода, кг/с

$\Delta \bar{Y}_{cp}$ – средняя движущая сила, кг/кг

$$F = \frac{7,888}{0,025 \cdot 0,2} = 1577,6 \text{ м}^2;$$

Высота колонны H , м , определяется согласно [2, с 217] по формуле:

$$H = H_n + h_1 + h_2$$

Где, H_n – высота насадки, м

h_1 – высота сепарационной части колонны (над насадкой),
принимается равной 1,4 м

h_2 – высота нижней части колонны, принимается равной 2,5 м

Высоту насадки H_n , м, определим согласно [2, с 217] по формуле:

$$H_n = M / (f * S * K_y * \Delta \bar{Y}_{cp} * \Psi);$$

$$H_n = 7,888 / (200 * 5,3 * 0,025 * 0,2 * 1) = 1,6 \text{ м};$$

Принимаем с запасом 25%:

$$H_n = 2 \text{ м}$$

Высоту колонны, H , м, определили согласно [2, с 217] по формуле:

$$H = 2 + 1,5 + 2,5 = 6 \text{ м}$$

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

2.2. Тепловой расчет

Исходные данные:

Дифференциальная теплота растворения HCl, кДж/кмоль	45000
Удельная теплоемкость воздуха, Дж/кг*К	1010
Удельная теплоемкость воды, Дж/кг*К	4190
Удельная теплоемкость хлороводорода, Дж/кг*К	2462
Начальная температура жидкости, °С	20

Уравнение теплового баланса имеет вид, согласно [3, с 135]

$$Q_1 + Q_2 + Q_p = Q_3 + Q_4 + Q_0$$

Где, Q_1 – тепло, вносимое поступающим газом, *Вт*

Q_2 – тепло, вносимое поступающей жидкостью, *Вт*

Q_3 – тепло, уносимое уходящим инертным газом, *Вт*

Q_4 – тепло, уносимое жидкостью, *Вт*

Q_p – тепло, выделяющееся при абсорбции, *Вт*

Q_0 – тепло, отводимое в процессе абсорбции, *Вт*

Уравнение теплового баланса абсорбера, работающего без отвода теплоты, согласно [2, с 208]:

$$\Phi^*(\bar{X}_k - \bar{X}_n) = C^*(t_2 - t_1)$$

Где, Φ – дифференциальная теплота растворения, кДж/кмоль

C – удельная теплоемкость жидкости, Дж/кг

t_1, t_2 – температура жидкости на входе и на выходе из абсорбера, °С

Дифференциальную теплоту растворения хлороводорода Φ , кДж/кмоль, перевели в Дж/кг [2, с 208]:

$$\Phi = \frac{\Phi}{M_{HCl}} * 1000$$

Где, M_{HCl} – мольная масса хлороводорода, кг/кмоль

$$\Phi = \frac{45000}{36,5} * 1000 = 1232876,7 \text{ Дж/кг};$$

Температуру жидкости на выходе из абсорбера t_2 , °C, определили согласно [2, с 208] по формуле:

$$t_2 = t_1 + \frac{\Phi}{C_{\text{воды}}} * (\bar{X}_k - \bar{X}_n)$$

Где, $C_{\text{воды}}$ – удельная теплоемкость воды, Дж/кг*К

$$t_2 = 20 + \frac{1232876,7}{4190} * (0,43 - 0) = 93,6 \text{ °C};$$

Теплоту, поступающую с газовой фазой Q_1 , Вт, определили согласно [3, с 135] по формуле:

$$Q_1 = (G_{\text{возд}} * C_{\text{возд}} + G_{HCl} * C_{HCl}) * t_1$$

Где, $C_{\text{возд}}$ – удельная теплоемкость воздуха, Дж/кг*К

C_{HCl} – удельная теплоемкость хлороводорода, Дж/кг*К

$$Q_1 = (1,056 * 1010 + 8,132 * 2462) * 20 = 421750,8 \text{ Вт};$$

Теплоту, поступающую с жидкой фазой Q_2 , Вт, определили согласно [3, с 135] по формуле:

$$Q_2 = L * C_{\text{воды}} * t_1$$

Где, L – расход воды в абсорбере, кг/с

$$Q_2 = 18,344 * 4190 * 20 = 1537227,2 \text{ Вт};$$

Теплоту, выделившуюся при абсорбции Q_p , Вт, определили согласно [3, с 135] по формуле:

$$Q_p = M * \Phi$$

Где, M – количество поглощенного HCl, кг/с

$$Q_p = 7,888 * 1232876,7 = 9724931,4 \text{ Вт};$$

Теплоту, уходящую с газовой фазой Q_3 , Вт, определили согласно [3, с 135] по формуле:

$$Q_3 = G'_{\text{HCl}} * C_{\text{HCl}} * t_2$$

Где, t_2 – температура жидкости на выходе из абсорбера, °C

$$Q_3 = 0,244 * 2462 * 93,6 = 56228,1 \text{ Вт};$$

Теплоту, уходящую с жидкой фазой Q_4 , Вт, определили согласно [3, с 135] по формуле:

$$Q_4 = (L * C_{\text{воды}} + G'_{\text{HCl}} * C_{\text{HCl}}) * t_2$$

$$Q_4 = (18,344 * 4190 + 0,244 * 2462) * 93,6 = 7250451,4 \text{ Вт};$$

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
						26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Количество пришедшей теплоты $Q_{\text{прих}}$, Bm , определили согласно [3, с 135] по формуле:

$$Q_{\text{прих}} = Q_1 + Q_2 + Q_p$$

$$Q_{\text{прих}} = 421750,8 + 1537227,2 + 9724931,4 = 11683909,4 Bm;$$

Количество расходуемой теплоты $Q_{\text{расх}}$, Bm , определили согласно [3, с 135] по формуле:

$$Q_{\text{расх}} = Q_3 + Q_4$$

$$Q_{\text{расх}} = 56228,1 + 7250451,4 = 7306679,5 Bm;$$

Тепловые потери $Q_{\text{ном}}$, Bm , определили согласно [3, с 135] по формуле:

$$Q_{\text{ном}} = Q_{\text{прих}} * 0,02$$

$$Q_{\text{ном}} = 11683909,4 * 0,02 = 233678,1 Bm;$$

Количество отводимого тепла $Q_{\text{отв}}$, Bm , определили согласно [3, с 135] по формуле:

$$Q_{\text{отв}} = Q_{\text{прих}} - Q_{\text{расх}} - Q_{\text{ном}}$$

$$Q_{\text{отв}} = 11683909,4 - 7306679,5 - 233678,1 = 4143551,8 Bm;$$

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
						27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 1 – сводная таблица теплового баланса

Приход			Расход		
Тепловые потоки	Вт	%	Тепловые потоки	Вт	%
Газовая фаза, Q_1	421750,8	3,61	Газовая фаза, Q_3	56228,1	0,48
Жидкая фаза, Q_2	1537227,2	13,16	Жидкая фаза, Q_4	7250451,4	62,06
Выделившаяся теплота, Q_p	9724931,4	83,23	Тепловые потери, $Q_{пот}$	233678,1	2,00
			Отводимое тепло, $Q_{отв}$	4143551,8	35,46
Итого	11683909,4	100	Итого	11683909,4	100

2.3. Гидравлический расчет

Гидравлическое сопротивление ΔP обуславливает энергетические затраты на транспортировку газового потока через абсорбер. Величину ΔP рассчитывают по формуле [4, с 201]:

$$\Delta P = \Delta P_c * 10^{bU},$$

где, ΔP_c – гидравлическое сопротивление сухой (не орошаемой жидкостью) насадки, Па; U – плотность орошения, $m^3/(m^2 * c)$; b – коэффициент, для колец Рашига (25 мм) $b = 0,06$.

Гидравлическое сопротивление сухой насадки ΔP_c определяют по уравнению:

$$\Delta P_c = \lambda * \frac{H_H}{d_3} * \frac{\omega_{\Gamma}^2}{2} * \rho_{\Gamma},$$

где λ – коэффициент сопротивления. Для беспорядочно насыпанных кольцевых насадок можно рассчитывать по формуле:

при турбулентном движении ($Re_z > 40$)

$$\lambda = 16 / Re_z^{0,2}$$

$$\lambda = 16 / 2661,5^{0,2} = 3,3$$

$$\Delta P_c = 3,3 * \frac{2}{0,015} * \frac{1,071^2}{2} * 1,565 = 395 \text{ Па}$$

Гидравлическое сопротивление равно:

$$\Delta P = 395 * 10^{0,06 * 34,6 * 10^{-4}} = 1711 \text{ Па}$$

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.4. Конструктивно-механический расчет

Исходные данные:

Высота цилиндрической обечайки, мм	$H := 6000$
Внутренний диаметр, мм	$D := 2600$
Рабочее давление, МПа	$P := 0.1$
Температура в стенке, °C	$t_c := 93.6$
Материал обечайки:	листовой прокат из стали 20К
Скорость коррозии, мм/год	$\Pi := 0.2$
Срок эксплуатации, лет	$\alpha := \frac{\pi}{6}$
Угол наклона образующей конической части фланца	$\tau_B := 15$
Плотность стали при 20 °C	$\rho := 7870 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

2.4.1. Выбор типа и материала аппарата

Выбор определенной исполнительной марки стали, в соответствии с рекомендациями [5, с 37], обусловлен специфическими условиями работы, и соответственно необходимостью удовлетворения выбранной маркой стали определенных критериев, таких как хладостойкость, совместимость по агрессивности среды, доступность и сравнительная дешевизна.

В соответствии с рекомендацией [6, с.17] материал для изготовления стальных сварных аппаратов должен быть химически и коррозионностойким в заданной среде, при рабочих параметрах, обладать хорошей свариваемостью и

соответствующими прочностными и пластическими характеристиками в рабочих условиях, допускать холодную и горячую механическую обработку, а также иметь низкую стоимость и высокую распространенность на рынке.

В соответствии с рекомендациями [7, с.59], выбираем марку стали - 20К. Данная сталь конструкционная углеродистая качественная. Рекомендуются как заменитель стали марок 15К. для изготовления фланцев, днища, цельнокованых и сварных барабанов паровых котлов, полумуфт, корпусов аппаратов и других деталей котлостроения и сосудов, работающих под давлением и при температуре до 450 °С. Обладает более высокой прочностью по сравнению со сталью 15К.

Выбор данной марки стали, обусловлен коррозионной стойкостью к данной среде аппарата (хлористый водород), а также выгодными технико-экономическими параметрами и большей доступностью.

2.4.2. Определение расчетных параметров

Определение допускаемых напряжений при расчетной температуре, МПа:

Примем расчетную температуру стенки обечайки, равной температуре среды:

$$t_p := t_c$$

$$t_p := \max(t_c, 20) \quad t_p = 93.6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Для стали 20К, согласно таблице А.1 [8, с 9], допускаемое напряжение $[\sigma]$ для углеродистых и низколегированных сталей вычисляют по формуле, интерполируя стандартные значения с последующим округлением в меньшую сторону в пределах до 0,5 МПа в соответствии с данными рекомендациями:

В рабочем состоянии:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 147 \\ 142 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_p), 0.5) \quad \sigma = 142 \quad \text{МПа}$$

Так как аппарат изготавливается из листового проката, поправочный коэффициент принимаем в соответствии с [8, с 6]:

$$\eta := 1$$

$$\sigma_d := \eta \cdot \sigma \quad \sigma_d = 142 \quad \text{МПа}$$

Определение допускаемых напряжений при температуре 20 °С.

Допускаемое напряжение для стали 20К по [8, с 9] при $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$\sigma_{20} := 147 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{d20} := \eta \cdot \sigma_{20} = 147 \quad \text{МПа}$$

Определение предела текучести при температуре 20 °С.

Расчетное значение предела текучести при $20 \text{ }^\circ\text{C}$ для стали 20К определим согласно таблицы Б.1 [8, с 14], расчетное значение предела текучести R_e/t для углеродистых низколегированных сталей:

$$R_{e20} := 220 \quad \text{МПа}$$

Определение допускаемых напряжений при гидравлических испытаниях.

При гидравлических испытаниях коэффициент запаса прочности согласно таблице 1 [8, с 5]:

$$n_T := 1.1$$

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		32

Для условий испытания сосудов из углеродистых сталей, допускаемое напряжение вычисляют согласно [8, с 5] по формуле:

$$\sigma_{и} := \eta \cdot \text{Floor}\left(\frac{R_{e20}}{n_T}, 0.5\right) \quad \sigma_{и} = 199.5 \quad \text{МПа}$$

Определение расчетного давления.

Расчетное давление для элементов и сосуда аппарата согласно [8, с 5] принимают равным рабочему давлению:

$$P_p := P = 0.1 \quad \text{МПа}$$

Гидравлическое испытание сосудов, кроме литых должно проводиться под пробным давлением, определяемым согласно [8, с 15] по формуле:

$$P_{и} := 1.25 \cdot P \cdot \frac{\sigma_{д20}}{\sigma_{д}} = 0.129 \quad \text{МПа}$$

Определение модуля продольной упругости.

Так как сталь 20К относится к углеродистым сталям, то модуль упругости для стали 20К при расчетной температуре, согласно таблице В.1 [8, с 21], расчетное значение модуля продольной упругости будет равно:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 100 \end{pmatrix} \quad E := \begin{pmatrix} 1.99 \cdot 10^5 \\ 1.91 \cdot 10^5 \end{pmatrix}$$

$$E := \text{Floor}(\text{linterp}(t, E, t_p), 0.5) \quad E = 1.916 \times 10^5 \quad \text{МПа}$$

Модуль упругости для стали 20К при температуре испытания 20 °С:

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

Определение коэффициента прочности сварных швов.

При расчете на прочность сварных элементов сосудов допускаемые напряжения умножают на коэффициент прочности сварных швов ϕ . Сварку производим стыковую с двухсторонним сплошным проваром, выполняемую автоматической и полуавтоматической сваркой. Длина контролируемых швов от общей длины составляет 100%. Коэффициент прочности сварных швов для стали 20К при данном виде сварки, согласно таблице Д.1 [8, с 22] принимаем:

$$\phi_p := 1$$

2.4.3. Расчет толщины стенки гладкой цилиндрической обечайки.

Толщину стенки вычисляют согласно [10, с 6] по формуле, мм:

$$s_1 \geq s_p + c$$

где расчетную толщину стенки вычисляют по формуле:

$$s_p := \max \left(\left(\frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p - P} \right), \left(\frac{P_i \cdot D}{2 \cdot \sigma_i \cdot \phi_p - P_i} \right) \right)$$

$$s_p = 0.916 \quad \text{мм}$$

Прибавку к расчетным толщинам вычисляют согласно [8, с 7] по формуле, мм:

$$c = c_1 + c_2 + c_3$$

c_1 – поправка на коррозию;

c_2 – поправка на минусовое отклонение;

c_3 – поправка на утонение стенки элемента сосуда при технических операциях;

Прибавки к расчетной толщине стенки, мм:

$$c_k := П \cdot ТВ$$

Для компенсации коррозии центральной обечайки:

$$c_k = 3 \quad \text{мм}$$

Прибавку к расчетной толщине для компенсации эрозии, примем:

$$c_э := 0 \quad \text{мм}$$

Так как согласно рекомендациям [5, с 19], и исходным данным отсутствуют высокие скорости среды (для газа более 100 м/с), отсутствуют абразивные частицы и ударное действие среды.

$$c_1 := c_k + c_э \quad c_1 = 3 \quad \text{мм}$$

В соответствии с таблицей 4 [11, с 4] примем:

$$c_2 := 0.8 \quad \text{мм}$$

Поскольку в ходе технологических операций изготовления цилиндрической обечайки абсорбционной колонны, не происходит утонения стенки, в соответствии с рекомендацией [8, с 7] примем:

$$c_3 := 0 \quad \text{мм}$$

$$c := c_1 + c_2 + c_3$$

$$c = 3.8 \quad \text{мм}$$

Исполнительную толщину стенки принимаем:

$$s_1 := \text{Ceil}(s_p + c, 1)$$

$$s_1 = 5 \quad \text{мм}$$

В соответствии с рекомендацией [1, с 211] минимальная толщина стенок корпуса колонного аппарата при диаметре 2600 мм, должна составлять не менее 12 мм. В соответствии с таблицей 4 [11, с 4] примем:

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		35

Исполнительную толщину стенки цилиндрической обечайки абсорбционной колонны принимаем:

$$s_{.1} := 12 \text{ мм}$$

Условия применения расчетных формул.

Расчетные формулы применимы при отношении толщины стенки к диаметру:

$$\frac{s_{.1} - c}{D} \leq 0.1 \text{ для обечаек и труб при } D \geq 200 \text{ мм}$$

$$\frac{s_{.1} - c}{D} = 3.154 \times 10^{-3}$$

Условия применимости формул выполняются. Таким образом, как в рабочем состоянии, так и при гидравлических испытаниях, при толщине стенки $S = 12$ мм, прочность цилиндрической обечайки аппарата обеспечивается.

Допускаемое внутреннее избыточное давление на цилиндрическую обечайку:

Рабочие условия:

$$P_d := \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p \cdot (s_{.1} - c)}{D + (s_{.1} - c)} = 0.893 \text{ МПа}$$

$$P_p = 0.1$$

$$P_d > P_p$$

Условия испытаний:

$$P_{д.и} := \frac{2 \cdot \sigma_{и} \cdot \phi_p \cdot (s_{.1} - c)}{D + (s_{.1} - c)} = 1.254 \text{ МПа}$$

$$P_{и} = 0.129 \text{ МПа}$$

$$P_{д.и} > P_{и}$$

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		36

Рассчитанная толщина стенки абсорбционной колонны обеспечивает прочность сосуда в заданных эксплуатационных условиях, как в рабочих, так и в условиях испытаний, т.к. рабочее, давление меньше рассчитанного допустимого давления при заданной толщине стенки.

Выбор исполнительного типа и материала крышки и днища.

В качестве исполнительного типа крышки и днища выбираем эллиптическую форму, отличающуюся выгодными технико-экономическими показателями. В качестве материала изготовления крышки и днища используем ту же сталь что и при изготовлении цилиндрической обечайки - сталь 20К. Эллиптические днища изготавливают горячей штамповкой и могут применяться в аппаратах, работающих под избыточным давлением до 10 МПа.

2.4.4. Расчет толщины стенки эллиптической крышки и днища.

Так как, эллиптическая крышка подвергается воздействию только внутреннего давления, то соответственно рассчитывать толщину ее стенки нужно только исходя из условия прочности [5, с 253].

В соответствии с [10, с 14], условия применения расчетных формул для эллиптических днищ:

$$0.2 < \frac{h}{D} < 0.5$$

В соответствии с рекомендациями [12, с.2]:

$$h_b := 0.25 \cdot D$$

где h_b - это высота эллиптической крышки, мм.

$$h_b = 650 \quad \text{мм}$$

Расчетная толщина стенки эллиптического днища определяется в соответствии с [10, с 14] мм:

$$s_{э.р} := \max \left(\left(\frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p - 0.5P} \right), \left(\frac{P_n \cdot D}{2 \cdot \sigma_n \cdot \phi_p - 0.5P_n} \right) \right)$$

$$s_{э.р} = 0.916 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки с учетом всех прибавок к расчетным толщинам, в соответствии [10, с. 14]:

$c_{.0} := 2$ мм - прибавка на утонение при технологических операциях (не более 15% в соответствии с [13, с 47].

$$s_{э.} := (s_{э.р}) + c + c_{.0}$$

$$s_{э.} = 6.716 \text{ мм}$$

Примем:

$$s_{э.} := 10 \text{ мм}$$

Выбор стандартного днища и крышки.

В соответствии с рассчитанными из условия прочности минимальными значениями толщины стенки днища и крышки произведем выбор параметров днища и крышки из стандартизированных значений представленных в ГОСТ 6533-68 [12, с 5]:

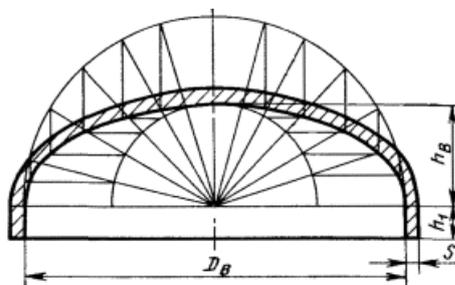


Рисунок 1

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Из стандартных значений в качестве исполнительного выбираем днище 2600-10-650 ГОСТ 6533-68, и крышку 2600-10 -650 ГОСТ 6533-68 [12, с 6].

$$s_{\text{э}} = 10 \text{ мм}$$

Определение допускаемых значений давления.

В рабочих условиях:

$$P_{\text{д}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{д}} \cdot \phi_{\text{р}} \cdot (s_{\text{э}} - c)}{D + 0.5(s_{\text{э}} - c)} \quad P_{\text{д}} = 0.676 \text{ МПа}$$

$$P = 0.1 \text{ МПа}$$

В условиях испытаний:

$$P_{\text{д.и}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{и}} \cdot \phi_{\text{р}} \cdot (s_{\text{э}} - c)}{D + 0.5(s_{\text{э}} - c)} \quad P_{\text{д.и}} = 0.95 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{и}} = 0.129 \text{ МПа}$$

Рассчитанная толщина стенки днища и крышки абсорбционной колонны обеспечивает прочность сосуда в заданных эксплуатационных условиях, как в рабочих, так и в условиях испытаний, т.к. рабочее, давление меньше рассчитанного допустимого давления при заданной толщине стенки.

Проверка применимости формул.

В соответствии с [10, с.14] для эллиптических днищ, проверка применимости формул расчета производится в соответствии с условием:

$$0.002 \leq \frac{(s_{\text{э}} - c)}{D} \leq 0.1$$

$$\frac{s_{\text{э}} - c}{D} = 2.385 \times 10^{-3}$$

$$0.002 \leq 0.0031 \leq 0.1$$

Условие применимости формул выполняется.

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Изготовление и сварка деталей.

Эллиптическую крышку изготавливаем горячей штамповкой из матрицы, при допущении в соответствии с рекомендациями [13, с 47], утонения исходной толщины заготовки на 15%, что не приведет к нарушению условий эксплуатации т.к. в ходе расчета было принято утолщение стенки эллиптической части обечайки, на величину утонения.

Стыковые швы, при присоединении эллиптической части обечайки к цилиндрической части, выполняются автоматической сваркой с двусторонним сплошным проваром при длине контролируемых швов 100%, в соответствии с рекомендацией [5, с 252].

Сварку проводим в соответствии с ОСТ 26-291-79 с последующей проверкой качества швов внешним осмотром, ультразвуковой дефектоскопией [14, с 18].

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		40

2.4.5. Расчет штуцеров.

Обеспечению герметичного соединения трубопроводов с эксплуатируемыми аппаратами призваны штуцера. В качестве исполнительного типа штуцера выбираем штуцера тип 1 исполнение 1 по [16, с 3], используемые на условное давление от 0,6 МПа до 16 МПа и температуре от минус 70 до 600 °С, штуцера с плоскими стальными приварными фланцами.

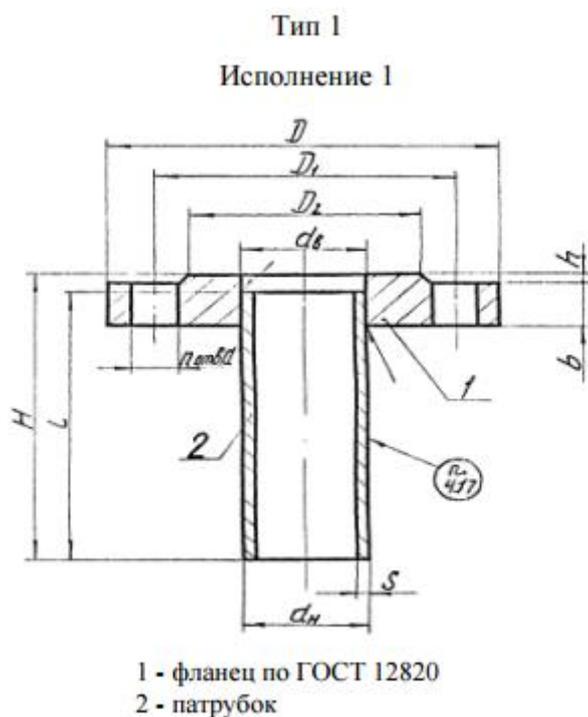


Рисунок 2

В качестве исполнительного типа фланца выбираем фланец на условное давление 0,1 - 1,0 МПа по [17, с 4]:

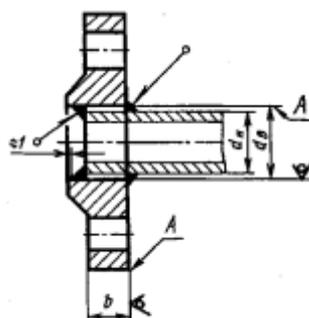


Рисунок 3.

Расчёт штуцеров сводится к определению диаметра штуцера по уравнению:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot \omega}}$$

Скорость движения воды, $\frac{\text{М}}{\text{с}}$ $\omega_{\text{В}} := 2$ [2]

Скорость движения газа, $\frac{\text{М}}{\text{с}}$ $\omega_{\text{Г}} := 20$ [2]

Производительность колонны по газовой фазе, $\frac{\text{КГ}}{\text{с}}$ $G := 9.188$

Количество поглощенного хлороводорода, $\frac{\text{КГ}}{\text{с}}$ $M := 7.888$

Расход воды в абсорбере, $\frac{\text{КГ}}{\text{с}}$ $L := 18.344$

Плотность газовой смеси, $\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$ $\rho_{\text{Г}} := 1.565$ [2]

Плотность дистиллята, $\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$ $\rho_{\text{В}} := 998$ [2]

Диаметр штуцера для подачи газовой смеси:

$$d_1 := \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho_{\text{Г}} \cdot \omega_{\text{Г}}}}$$

$$d_{,1} := 0.490 \text{ м}$$

В соответствии с таблицей 2 [16, с 5], выбираем исполнительный диаметр штуцера из приведенных стандартных значений, подобрав соответствующий плоский приварной фланец из приведенных стандартных значений в таблице 5 [17, с 7].

Масса патрубка и фланца, кг:

$$M_{\text{ш1}} := 51.5 \text{ кг}$$

Диаметр штуцера для подачи воды:

$$d_2 := \sqrt{\frac{4 \cdot L}{\pi \cdot \rho_B \cdot \omega_B}}$$

$$d_2 = 0.108 \quad \text{м}$$

В соответствии с таблицей 2 [16, с 5], выбираем исполнительный диаметр штуцера из приведенных стандартных значений, подобрав соответствующий плоский приварной фланец из приведенных стандартных значений в таблице 5 [17, с 7].

Масса патрубка и фланца:

$$M_{ш2} := 6.1 \quad \text{кг}$$

Диаметр штуцера для отвода газовой смеси:

$$d_3 := \sqrt{\frac{4 \cdot M}{\pi \cdot \rho_G \cdot \omega_G}}$$

$$d_{.3} := 0.482 \quad \text{м}$$

В соответствии с таблицей 2 [16, с 5], выбираем исполнительный диаметр штуцера из приведенных стандартных значений, подобрав соответствующий плоский приварной фланец из приведенных стандартных значений в таблице 5 [17, с 7].

Масса патрубка и фланца:

$$M_{ш3} := 51.5 \quad \text{кг}$$

Диаметр штуцера для отвода раствора:

$$d_4 := \sqrt{\frac{4 \cdot L}{\pi \cdot \rho_B \cdot \omega_B}}$$

$$d_4 = 0.108 \quad \text{м}$$

В соответствии с таблицей 2 [16, с 5], выбираем исполнительный диаметр штуцера из приведенных стандартных значений, подобрав соответствующий плоский приварной фланец из приведенных стандартных значений в таблице 5 [17, с 7].

Масса патрубка и фланца:

$$M_{ш4} := 6.1 \quad \text{кг}$$

Таблица 2 – исполнительные размеры штуцеров типа 1 исполнения 1 по АТК 24.218-06-90 [16, с 9]

D_y	d_e	D	D_1	D_2	b	h	d	n	l	H	d_u	S	Масса, кг
									210	215			6,1
150	161	260	225	202	17			8	150	155	159		7,9
									210	215			9,2
									150	160			12,1
200	222	315	280	258	19				210	220	219	8,0	14,6
									150	160			17,4
250	276	370	335	312	20	3	18	12	150	160	273	10	21,3
									210	220			24,3
300	328	435	395	365					180	190	325		28,9
									240	250			32,0
									180	193			38,5
350	380	485	445	415	22				240	253	377		40,0
									200	213			47,5
400	429	535	495	465	24	4	22	16	260	273	426	12	51,5
									200	213			51,5
									260	273			60,5
500	534	640	600	570	25				200	213	530		51,5
									260	273			60,5

Таблица 3 – исполнительные размеры подобранного фланца $D_y=150$ мм и $D_y=500$ мм по ГОСТ 12820-80 [17, с 3]

Проход условный D_y	P_y 0,1 и 0,25 МПа (1 и 2,5 кгс/см ²)					
	d_u	d_e	b	Масса, кг		
				с соединительным выступом	с выступом	с впадиной
150	152 (А)	154	13	3,61	3,62	3,41
	159 (Б)	161		3,43	3,39	3,23
	168 (В)	170		3,20	3,09	3,00
500	530	530	20	16,01	15,86	15,15

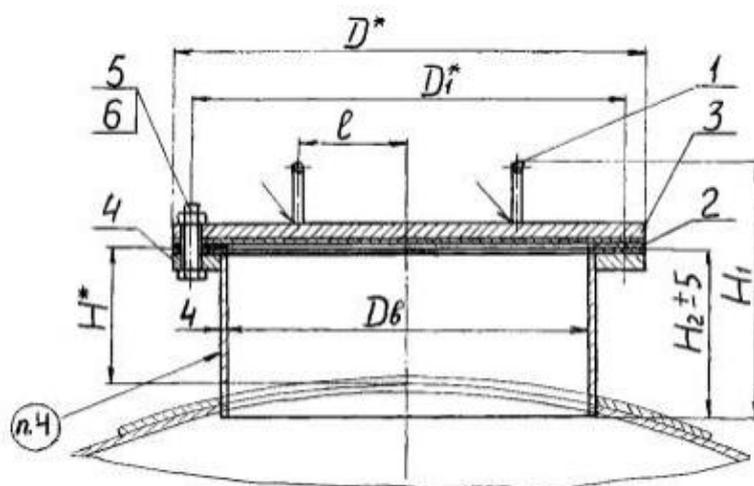
2.4.6. Подбор люка-лаза.

В соответствии с рекомендацией [1, с 211], о необходимости установки люк-лазов для загрузки и выгрузки насадки, установим 2 люк-лаза в верхней и нижней частях секции. Рекомендованный диаметр люка при данном диаметре колонны (2600 мм) составляет 500 мм.

$$d_{\text{люк}} := 500 \text{ мм}$$

В качестве исполнительного типа люка-лаза выбираем люк с фланцем приварным встык с гладкой уплотнительной поверхностью без соединительного выступа на условное давление 0.1 МПа в соответствии с [18, с 5], исполнения 1, рассчитанный на условное давление от 0,1 МПа до 1,6 МПа и эксплуатационную температуру от -70 до 100 °С. В целях предотвращения образования микро-гальвано пары, развития коррозионных процессов из-за использования разных марок сталей в качестве исполнительной марки примем материал - сталь 20К.

Конструкция и размеры люков исполнения 1 на условное давление 0.1 МПа должны соответствовать указанным на рисунке 4:



1. Ручка по ОСТ 26-2002. 2. Прокладка по ОСТ 26-2002. 3. Крышка исполн. 1 по ОСТ 26-2095.
4. Фланец. 5. Болт по ОСТ 26-2037. 6. Гайка по [ОСТ 26-2038](#).

Рисунок 4

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист 45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В соответствии с таблицей 1 [18, с 5] исполнительные размеры люка исполнения 1 равны:

$$D_B := 500 \text{ мм}$$

$$D_{\text{штрих}} := 610 \text{ мм}$$

$$D_{\text{штрих1}} := 570 \text{ мм}$$

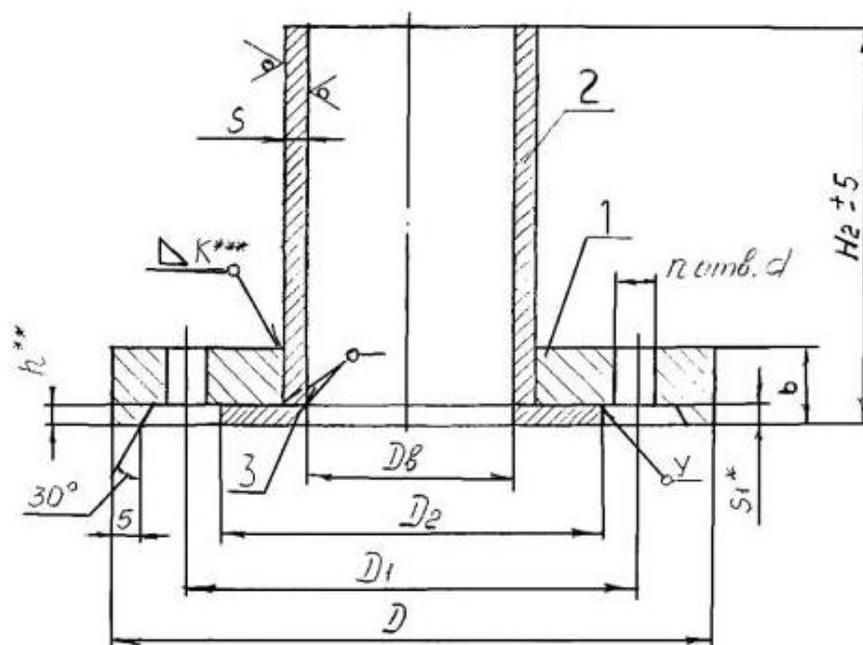
$$H_{\text{штрих}} := 200 \text{ мм}$$

$$H_1 := 367 \text{ мм}$$

$$H_2 := 284 \text{ мм}$$

$$l := 215 \text{ мм}$$

Конструкция и размеры фланца люка исполнения 1 на условное давление 0,1 МПа должны быть выполнены в соответствии с рисунком 5 по [18, с 5]:



1. Фланец; 2. Втулка; 3. Накладка

* Размер S_1 равен S , но не более 6 мм

** Размер h равен S_1 .

*** Катет K равен S .

Рисунок 5

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

$$D_B = 500 \quad \text{мм}$$

$$D_{\text{штрих}} = 610 \quad \text{мм}$$

$$D_{\text{штрих1}} = 570 \quad \text{мм}$$

$$H_2 = 284 \quad \text{мм}$$

$$d := 18 \quad \text{мм}$$

$$n := 24$$

$$b := 22 \quad \text{мм}$$

$$s := 4 \quad \text{мм}$$

Масса одного люка-лаза составит:

$$G_{\text{люка}} := 57.5 \quad \text{кг}$$

Масса двух люк-лазов:

$$G_{\text{люков}} := 2 \cdot G_{\text{люка}} = 115 \quad \text{кг}$$

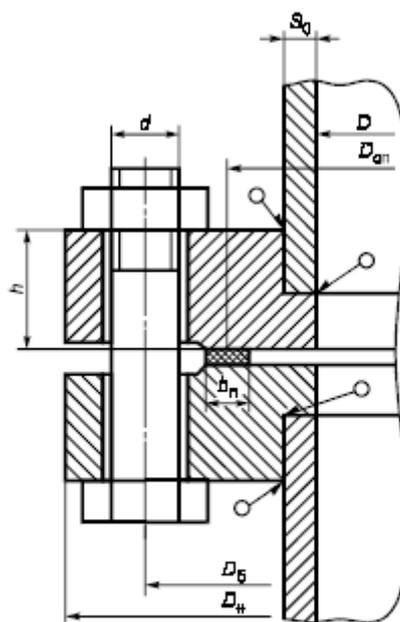
Масса фланца, втулки и накладки люка исполнения 1 в соответствии с [18, с 5]:

$$G_{\text{ф}} := 12.1 + 13.9 + 1.2 = 27.2 \quad \text{кг}$$

2.4.7. Расчет фланцев

В соответствии с рекомендацией [5, с 86] в качестве исполнительного типа фланца выбираем плоский приварной фланец по ГОСТ 12820-80 [17], в соответствии с рекомендацией [19, с 4], для значений давления до 1,6 МПа рекомендуется применение фланца с гладкой уплотнительной поверхностью, фланец изолированного типа.

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		47



а — фланцевое соединение с гладкой уплотнительной поверхностью

Рисунок 7

В соответствии с рекомендацией [20, с 211] во фланцевых соединениях, при значениях расчетного давления менее 4 МПа и расчетной температуре менее 300 °С, предпочтительно использование болтового соединения к соединению шпилькой.

В качестве исполнительного материала фланцев, в целях предотвращения развития коррозионных процессов, выбираем сталь той же марки, что и корпус колонны - сталь 20К в соответствии с рекомендацией [21, с 2].

В качестве материалов болтов в соответствии с [21, с 2], рекомендовано использовать сталь 40Х исполнением ХЛ, а также гайки высокопрочные и шайбы по ГОСТ 22353-77 [39] и ГОСТ 22356-77 [40] соответственно.

В качестве исполнительного материала прокладки, в соответствии с рекомендацией [20, с 261], поскольку проектируемый аппарат размещается на открытой площадке, выбираем паронит с температурой эксплуатации от - 200 до 400 °С. В соответствии с [22, с 15] для рабочей среды: кислоты,

щелочи, окислители, нитрозные и другие агрессивные газы используем паронит кислотостойкий - ПК с температурой эксплуатации до +250 °С. В соответствии с рекомендацией таблицы 2 [22, с 15], примем эффективную толщину плоской прокладки ПК равной:

$$b_{\text{п}} := 2 \text{ мм}$$

Примем расчетный параметр b_s равным 1 поскольку используем болты, а не шайбы:

$$b_s := 1$$

Примем, в соответствии с таблицей В.1 [8, с 21], модуль продольной упругости стали 20К при 20 °С и при 100 °С соответственно:

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

$$E := 1.91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Расчет количества болтов произведем из условия:

$$n_{\text{б}} \geq \frac{\pi \cdot D_{\text{б}}}{t_{\text{ш}}}$$

где, $D_{\text{б}}$ - диаметр болтовой окружности; $t_{\text{ш}}$ - рекомендуемый шаг расположения болтов

Толщина обечайки фланца, рассчитывается из условия:

$$s_0 \geq S.$$

Примем :

$$s_0 := s$$

Толщина обечайки фланца у основания, мм:

$$s_{11} := s_0$$

$$s_{12} := 6 \text{ мм}$$

В соответствии с рекомендацией [21, с 6], примем диаметр болта, мм:

$$d_{\text{б}} := 18 \text{ мм}$$

В соответствии с рекомендацией [20, с 94], нормативный зазор между гайкой и обечайкой, примем:

$$u := 2 \text{ мм}$$

$$d_{11} := 0.5 \quad d_{33} := d_{11} \quad d_{ш1} := 22 \quad d_{ш3} := d_{ш1}$$

$$d_{22} := 0.150 \quad d_{44} := d_{22} \quad d_{ш2} := 18 \quad d_{ш4} := d_{ш2}$$

Диаметр болтовой окружности фланца, мм:

$$D_{б1} := d_{11} \cdot 10^3 + 2(s_{ш1} + d_{ш1} + u) = 572 \text{ мм} \text{ - фланец штуцера ввода газовой смеси.}$$

$$D_{б2} := d_{22} \cdot 10^3 + 2(s_{ш2} + d_{ш2} + u) = 202 \text{ мм} \text{ - фланец штуцера для подачи воды.}$$

$$D_{б3} := d_{33} \cdot 10^3 + 2(s_{ш3} + d_{ш3} + u) = 572 \text{ мм} \text{ - фланец штуцера отвода газовой смеси.}$$

$$D_{б4} := d_{44} \cdot 10^3 + 2(s_{ш4} + d_{ш4} + u) = 202 \text{ мм} \text{ - фланец штуцера отвода жидкости.}$$

Ориентировочное количество болтов во фланцах находим в соответствии с [16, с 7]:

$$n_{б1} := 16 \text{ - фланец штуцера ввода газовой смеси.}$$

$$n_{б2} := 8 \text{ - фланец штуцера для подачи воды.}$$

$$n_{б3} := 16 \text{ - фланец штуцера отвода газовой смеси.}$$

$$n_{б4} := 8 \text{ - фланец штуцера отвода жидкости.}$$

Определение расчетных параметров

В соответствии с таблицей В.1, [19, с 12] расчетная температура неизолированных плоских фланцев:

$$t_{\phi} := t_c$$
$$t_{\phi} = 93.6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Расчетная температура болтов:

$$t_b := 0.97 \cdot t_c$$
$$t_b = 90.792 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемое напряжение для материала болтов 40Х в соответствии с [8, с 12] и таблице 23 [5, с. 159] для 20 и 100⁰С:

$$\sigma_{д.б} := 230 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при рабочей температуре, в соответствии с [8, с 12]:

$$E_{б100} := 1.91 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$E_{б20б} := 1.99 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали 40Х и 20К при $t=20-100^\circ\text{C}$ в соответствии с таблицей Ж.2 [19, с 20] и таблицы Г.1 [8, с 21]:

$$\alpha_b := 13.3 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}} \quad \alpha_{\phi} := 11.6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$$

Эффективная ширина плоской прокладки (b_0) в соответствии с [19, с 13], должна удовлетворять увловию:

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

$$b_{.0} := 15 \text{ мм}$$

Примем характеристики прокладки в соответствии с таблицей И.1 [19, с 20]:

Прокладочный коэффициент	$m_{\text{прок}} := 2.5$
Удельное давление обжатия прокладки, МПа	$q_{\text{обж}} := 20$
Допускаемое удельное давление, МПа	$q_d := 130$
Коэффициент обжатия	$K_{\text{обж}} := 0.9$
Условный модуль сжатия прокладки, МПа	$E_{\text{п}} := 0.02 \cdot 10^5$

Наружный диаметр фланцев рассчитывается из условия, мм:

$$D_{\text{нар.фланц}} \geq D_{\text{б}} + a$$

Примем в соответствии с таблицей 25 приложения 2 [5, с.160] конструктивные добавки, мм:

$a := 40$ - для гаек шестигранных.

$e := 30$ - для плоских прокладок.

Тогда:

$D_{\text{нар.фланц.1}} := D_{\text{б1}} + a = 612$ мм - фланец штуцера ввода газовой смеси.

$D_{\text{нар.фланц.2}} := D_{\text{б2}} + a = 242$ мм - фланец штуцера для подачи воды.

$D_{\text{нар.фланц.3}} := D_{\text{б3}} + a = 612$ мм - фланец штуцера отвода газовой смеси.

$D_{\text{нар.фланц.4}} := D_{\text{б4}} + a = 242$ мм - фланец штуцера отвода жидкости.

Средний диаметр прокладки, мм:

$$D_{\text{ср.пр1}} := D_{\text{нар.прокл.1}} - d_6 = 524 \quad \text{мм}$$

$$D_{\text{ср.пр2}} := D_{\text{нар.прокл.2}} - d_6 = 154 \quad \text{мм}$$

$$D_{\text{ср.пр3}} := D_{\text{нар.прокл.3}} - d_6 = 524 \quad \text{мм}$$

$$D_{\text{ср.пр4}} := D_{\text{нар.прокл.4}} - d_6 = 154 \quad \text{мм}$$

Расчетный диаметр прокладки по [19, с 17] мм:

$$D_{\text{сп1}} := D_{\text{нар.прокл.1}} - b_{.0} = 527$$

$$D_{\text{сп2}} := D_{\text{нар.прокл.2}} - b_{.0} = 157$$

$$D_{\text{сп3}} := D_{\text{нар.прокл.3}} - b_{.0} = 527$$

$$D_{\text{сп4}} := D_{\text{нар.прокл.4}} - b_{.0} = 157$$

Усилия в болтах фланцевого соединения при затяжке и в рабочих условиях.

Площадь поперечного сечения болтов в соответствии с таблицей Д.1, [19, с 25], без проточки:

$$f_6 := 281.5 \quad \text{мм}^2$$

Суммарная площадь сечения болтов по внутреннему диаметру резьбы или нагруженному сечению наименьшего диаметра:

$$A_6 := n_{61} \cdot f_6$$

$$A_6 = 4.504 \times 10^3 \quad \text{мм}^2$$

Равнодействующую нагрузку от давления вычисляют по формуле:

$$Q_{\text{д1}} := 0.785 \cdot D_{\text{сп1}}^2 \cdot P = 2.18 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$Q_{\text{д2}} := 0.785 \cdot D_{\text{сп2}}^2 \cdot P = 1.935 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

В соответствии с рекомендацией [19, с 8] т.к. фланец не имеет рубашки, примем момент сил равным:

$$M_i := 0$$

$$F := 0$$

Ввиду отсутствия действия внешних сил, примем приложенную нагрузку Q_{FM} равной нулю в соответствии с рекомендацией [19, с 8]:

$$Q_{FM} := 0$$

Длина обечайки фланца, мм:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot s_{.1}} = 176.635 \text{ мм}$$

Расчетный коэффициент равный отношению наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K_{p1} := \frac{D_{\text{нар.фланц.1}}}{D} = 0.235$$

$$K_{p2} := \frac{D_{\text{нар.фланц.2}}}{D} = 0.093$$

Усилие на прокладке в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения, вычисляются по формуле:

$$R_{п1} := \pi \cdot D_{сп1} \cdot b_0 \cdot m_{\text{прок}} = 8.278 \times 10^3 \text{ Н}$$

$$R_{п2} := \pi \cdot D_{сп2} \cdot b_0 \cdot m_{\text{прок}} = 2.466 \times 10^3 \text{ Н}$$

Податливость прокладок рассчитывается по формуле:

$$y_{п1} := \frac{b_{п} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{п} \cdot \pi \cdot D_{сп1} \cdot b_{п}} = 2.718 \times 10^{-7} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

$$y_{п2} := \frac{b_{п} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{п} \cdot \pi \cdot D_{сп2} \cdot b_{п}} = 9.124 \times 10^{-7} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

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

$$L_{60} := 62 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта при определении податливости, по [19, с 7]:

$$d_{\text{болт}} := 18 \text{ мм}$$

$$L_6 := \begin{cases} (L_{60} + 0.28 \cdot d_{\text{болт}}) & \text{if } bs = 1 \\ (L_{60} + 0.56 \cdot d_{\text{болт}}) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$L_6 = 67.04 \text{ мм}$$

Податливость болтов рассчитывается по формуле:

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6}$$

$$y_6 = 7.48 \times 10^{-8} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Безразмерные расчетные коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца в соответствии с ГОСТ Р 52857.4-2007 [19, с 32]:

- для фланца штуцеров ввода и отвода газовой смеси:

$$\beta_T := \frac{K_{p1}^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K_{p1})) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K_{p1}^2) \cdot (K_{p1} - 1)} = 1.403$$

$$\beta_U := \frac{K_{p1}^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K_{p1})) - 1}{1.36 \cdot (K_{p1}^2 - 1) \cdot (K_{p1} - 1)} = -1.265$$

$$\beta_Y := \left[\frac{0.69 + 5.72 \cdot \frac{K_{p1}^2 \cdot \log(K_{p1})}{(K_{p1}^2 - 1)}}{\left(\frac{K_{p1}^2 - 1}{K_{p1} - 1} \right)} \right] = -1.178$$

$$\beta_Z := \frac{K_{p1}^2 + 1}{K_{p1}^2 - 1} = -1.117$$

- для фланца штуцера ввода и отвода жидкости:

$$\beta_{T2} := \frac{K_{p2}^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K_{p2})) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K_{p2}^2) \cdot (K_{p2} - 1)} = 1.104$$

$$\beta_{U2} := \frac{K_{p2}^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K_{p2})) - 1}{1.36 \cdot (K_{p2}^2 - 1) \cdot (K_{p2} - 1)} = -0.873$$

$$\beta_{Y2} := \left[\frac{0.69 + 5.72 \cdot \frac{K_{p2}^2 \cdot \log(K_{p2})}{(K_{p2}^2 - 1)}}{\left(\frac{K_{p2}^2 - 1}{K_{p2} - 1} \right)} \right] = -0.818$$

$$\beta_{Z2} := \frac{K_{p2}^2 + 1}{K_{p2}^2 - 1} = -1.017$$

Коэффициенты β_F , β_V и f для фланцевых соединений с приварными стык фланцами в соответствии с рисунками К.2 и К.4 [19, с 33], примем:

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

Толщина тарелки фланца, в соответствии с [23, с 9] принимается из условия:

$$h \geq \lambda_\phi \cdot \sqrt{D \cdot s_0}$$

Расчетный коэффициент λ , в соответствии с [19, с 23] рассчитывается в соответствии с формулой:

$$\lambda_1 := \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (s_0)^2} + \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} = -6.154$$

$$\lambda_2 := \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_{U2} \cdot l_0 \cdot (s_0)^2} + \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_{T2} \cdot l_0} = -9.061$$

Угловая податливость фланца при затяжке рассчитывается по формуле

$$y_{\phi 1} := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda_1 \cdot l_0 \cdot (s_0)^2} = -1.446 \times 10^{-10} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

$$y_{\phi 2} := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda_2 \cdot l_0 \cdot (s_0)^2} = -9.821 \times 10^{-11} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\phi n 1} := \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_{\phi 1}}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_{\text{нар.фланц.1}}} = 5.004 \times 10^{-11} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

$$y_{\phi n 2} := \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_{\phi 2}}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_{\text{нар.фланц.2}}} = 4.469 \times 10^{-11} \frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Плечо действия усилий в болтах при приварных встык и плоских фланцах в соответствии с [19, с 17]:

$$b_1 := 0.5 \cdot (D_{\phi 1} - D_{\text{сп1}}) = 22.5 \text{ мм}$$

$$b_2 := 0.5 \cdot (D_{\phi 2} - D_{\text{сп2}}) = 22.5 \text{ мм}$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев, мм:

$$e_1 := 0.5 \cdot (D_{\text{сп1}} - D - s_0) = 1.038 \times 10^3 \text{ мм}$$

$$e_2 := 0.5 \cdot (D_{\text{сп2}} - D - s_0) = 1.224 \times 10^3 \text{ мм}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внутренним давлением или внешней осевой силой α , вычисляются по формуле:

$$\alpha_1 := 1 - \frac{y_{\text{п1}} - (y_{\text{ф1}} \cdot e_1 + y_{\text{ф2}} \cdot e_2) \cdot b_1}{y_{\text{п1}} + y_{\text{б}} + (y_{\text{ф1}} + y_{\text{ф2}}) \cdot b_1^2} = 27.409$$

$$\alpha_2 := 1 - \frac{y_{\text{п2}} - (y_{\text{ф1}} \cdot e_1 + y_{\text{ф2}} \cdot e_2) \cdot b_2}{y_{\text{п2}} + y_{\text{б}} + (y_{\text{ф1}} + y_{\text{ф2}}) \cdot b_2^2} = 7.094$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_{\text{M1}} := \frac{y_{\text{б}} + 2 \cdot y_{\text{фн1}} \cdot b_1 \cdot \left(b_1 + e_1 - \frac{e^2}{D_{\text{сп1}}} \right)}{y_{\text{б}} + y_{\text{п1}} \cdot \left(\frac{D_{\text{б1}}}{D_{\text{сп1}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\text{фн1}} \cdot b^2} = 3.69 \times 10^{-4}$$

$$\alpha_{\text{M2}} := \frac{y_{\text{б}} + 2 \cdot y_{\text{фн2}} \cdot b_2 \cdot \left(b_2 + e_2 - \frac{e^2}{D_{\text{сп2}}} \right)}{y_{\text{б}} + y_{\text{п2}} \cdot \left(\frac{D_{\text{б2}}}{D_{\text{сп2}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\text{фн2}} \cdot b^2} = 4.326 \times 10^{-4}$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык плоских фланцев, по ГОСТ Р 52857.4-2007 [19, с 24]:

$$\gamma_1 := \frac{1}{y_{п1} + 2 \cdot b_1^2 \cdot y_{фн1} \cdot \frac{E_{20}}{E} + y_6 \cdot \frac{E_{206}}{E_{6100}}} = 2.484 \times 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

$$\gamma_2 := \frac{1}{y_{п1} + 2 \cdot b_2^2 \cdot y_{фн2} \cdot \frac{E_{20}}{E} + y_6 \cdot \frac{E_{206}}{E_{6100}}} = 2.52 \times 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

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

$$Q_{t1} := \gamma_1 \cdot 2 \cdot \alpha_{\phi} \cdot h \cdot (t_{\phi} - 20) - 2 \cdot \alpha_6 \cdot h \cdot (t_6 - 20) = 1.557 \times 10^4 \text{ Н}$$

$$Q_{t2} := \gamma_2 \cdot 2 \cdot \alpha_{\phi} \cdot h \cdot (t_{\phi} - 20) - 2 \cdot \alpha_6 \cdot h \cdot (t_6 - 20) = 1.579 \times 10^4 \text{ Н}$$

Расчетную нагрузку на болты (шпильки) при затяжке, необходимую для обеспечения в рабочих условиях давления на прокладку, достаточного для герметизации фланцевого соединения:

$$P_{611} := \max \left[\alpha_1 \cdot (Q_{д1} + F) + R_{п1} + \frac{4 \cdot \alpha_{M1} \cdot M_1}{D_{сп1}}, \alpha_1 \cdot (Q_{д1} + F) + R_{п1} + \frac{4 \cdot \alpha_{M1} \cdot M_1}{D_{сп1}} - Q_{t1} \right]$$

$$P_{612} := \max \left[\alpha_2 \cdot (Q_{д2} + F) + R_{п2} + \frac{4 \cdot \alpha_{M2} \cdot M_2}{D_{сп2}}, \alpha_2 \cdot (Q_{д2} + F) + R_{п2} + \frac{4 \cdot \alpha_{M2} \cdot M_2}{D_{сп2}} - Q_{t2} \right]$$

$$P_{611} = 6.058 \times 10^5 \text{ Н}$$

$$P_{612} = 1.619 \times 10^4 \text{ Н}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке, вычисляют по формуле:

$$P_{обж1} := 0.5 \cdot \pi \cdot D_{сп1} \cdot b_0 \cdot q_{обж} = 2.483 \times 10^5 \text{ Н}$$

$$P_{обж2} := 0.5 \cdot \pi \cdot D_{сп2} \cdot b_0 \cdot q_{обж} = 7.398 \times 10^4 \text{ Н}$$

Расчетную нагрузку на болты (шпильки) при затяжке, необходимую для обеспечения обжатия прокладки и минимального начального натяжения болтов (шпилек) определяют по формуле:

$$P_{б21} := \max(P_{обж1}, 0.4 \cdot A_б \cdot \sigma_{д.б}) = 4.144 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

$$P_{б22} := \max(P_{обж2}, 0.4 \cdot A_б \cdot \sigma_{д.б}) = 4.144 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Расчетную нагрузку на болты (шпильки) фланцевых соединений вычисляют по формулам:

- при затяжке фланцевого соединения:

$$P_{мб1} := \max(P_{б11}, P_{б21}) = 6.058 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

$$P_{мб2} := \max(P_{б21}, P_{б22}) = 4.144 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

- в рабочих условиях:

$$P_{рб1} := P_{мб1} + (1 - \alpha_1) \cdot (Q_{д1} + F) + Q_{т1} + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{M1}) \cdot M_1}{D_{сп1}} = 4.565 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$P_{рб2} := P_{мб2} + (1 - \alpha_2) \cdot (Q_{д2} + F) + Q_{т2} + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{M2}) \cdot M_2}{D_{сп2}} = 4.184 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Проверка расчета фланцевого соединения на прочность и герметичность.

Фланцевое соединение должно быть прочным, жестким и герметичным [23, с 10]. В соответствии с рекомендацией [19, с 6], необходимо провести расчет фланцевых соединений на прочность и герметичность.

Усилие на прокладки в рабочих условиях, необходимое для обеспечения герметичности фланцевого соединения, вычисляют по формуле:

$$R_{п} := \pi \cdot D_{сп1} \cdot b_{п} \cdot m \cdot P = 827.81 \quad \text{Н}$$

Для фланцев штуцеров ввода и отвода газовой смеси:

Расчетные напряжения в болтах (шпильках) вычисляют по формулам:

- при затяжке:

$$\sigma_{\text{б11}} := \frac{P_{\text{мб1}}}{A_{\text{б}}} = 134.513$$

- в рабочих условиях:

$$\sigma_{\text{б12}} := \frac{P_{\text{рб1}}}{A_{\text{б}}} = 10.135$$

Условия прочности в болтах (шпильках) определяют по формулам:

- при затяжке:

$$\sigma_{\text{б1}} \leq \sigma_{\text{д,б}}$$

- в рабочих условиях:

$$\sigma_{\text{б1}} \leq \sigma_{\text{д,б}}$$

KL := "Условия прочности при затяжке НЕ выполняются"

KF := "Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"

Usl := $\left\{ \begin{array}{l} \text{"KL"} \text{ if } \sigma_{\text{б11}} > (\sigma_{\text{д,б}}) \\ \text{KF} \text{ if } \sigma_{\text{б12}} > (\sigma_{\text{д,б}}) \\ \text{"Условия прочности выполняются"} \text{ otherwise} \end{array} \right.$

Usl = "Условия прочности выполняются"

$$q := \frac{\max(P_{мб1}, P_{рб1})}{\pi \cdot D_{сп1} \cdot b_{п} \cdot 10^3}$$

$$q = 0.183 \quad \text{МПа}$$

Uslp := $\begin{cases} \text{"Условия прочности прокладки НЕ выполняются"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условия прочности прокладки выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Uslp = "Условия прочности прокладки выполняются"

Для фланцев штуцеров ввода и отвода жидкости:

Расчетные напряжения в болтах (шпильках) вычисляются по формулам:

- при затяжке:

$$\sigma_{б21} := \frac{P_{мб2}}{A_{б}} = 92$$

- в рабочих условиях:

$$\sigma_{б22} := \frac{P_{рб2}}{A_{б}} = 92.887$$

Условия прочности в болтах (шпильках) определяют по формулам:

- при затяжке:

$$\sigma_{б2} \leq \sigma_{д,б}$$

- в рабочих условиях:

$$\sigma_{б2} \leq \sigma_{д,б}$$

KL := "Условия прочности при затяжке НЕ выполняются"

KF := "Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"

Usl :=
$$\begin{cases} \text{"KL"} & \text{if } \sigma_{\text{б21}} > (\sigma_{\text{д.б}}) \\ \text{KF} & \text{if } \sigma_{\text{б22}} > (\sigma_{\text{д.б}}) \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl = "Условия прочности выполняются"

$$q := \frac{\max(P_{\text{мб2}}, P_{\text{рб2}})}{\pi \cdot D_{\text{сп2}} \cdot b_{\text{п}} \cdot 10^3}$$

$$q = 0.424 \text{ МПа}$$

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

Uslp = "Условия прочности прокладки выполняются"

2.4.8. Выбор опорной решетки.

В соответствии с [24, с 2] в аппаратах с внутренним диаметром $D = 2600$ мм, опорные решетки должны устанавливаться на опорном кольце с одной центральной балкой. Материал решетки исполнения 1 - сталь 09Г2С.

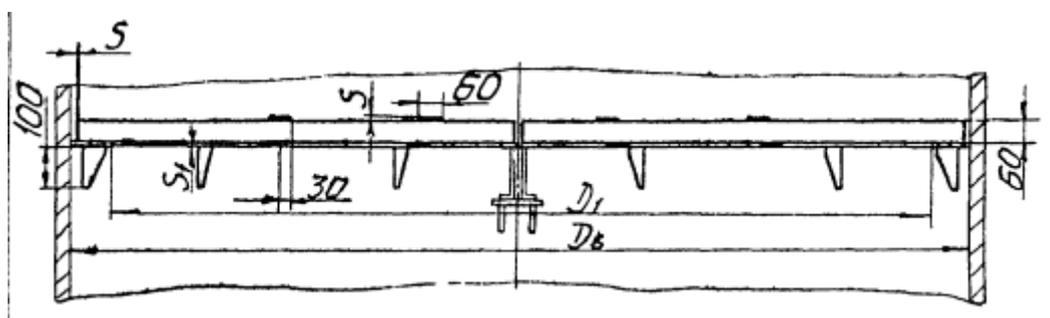


Рисунок 8

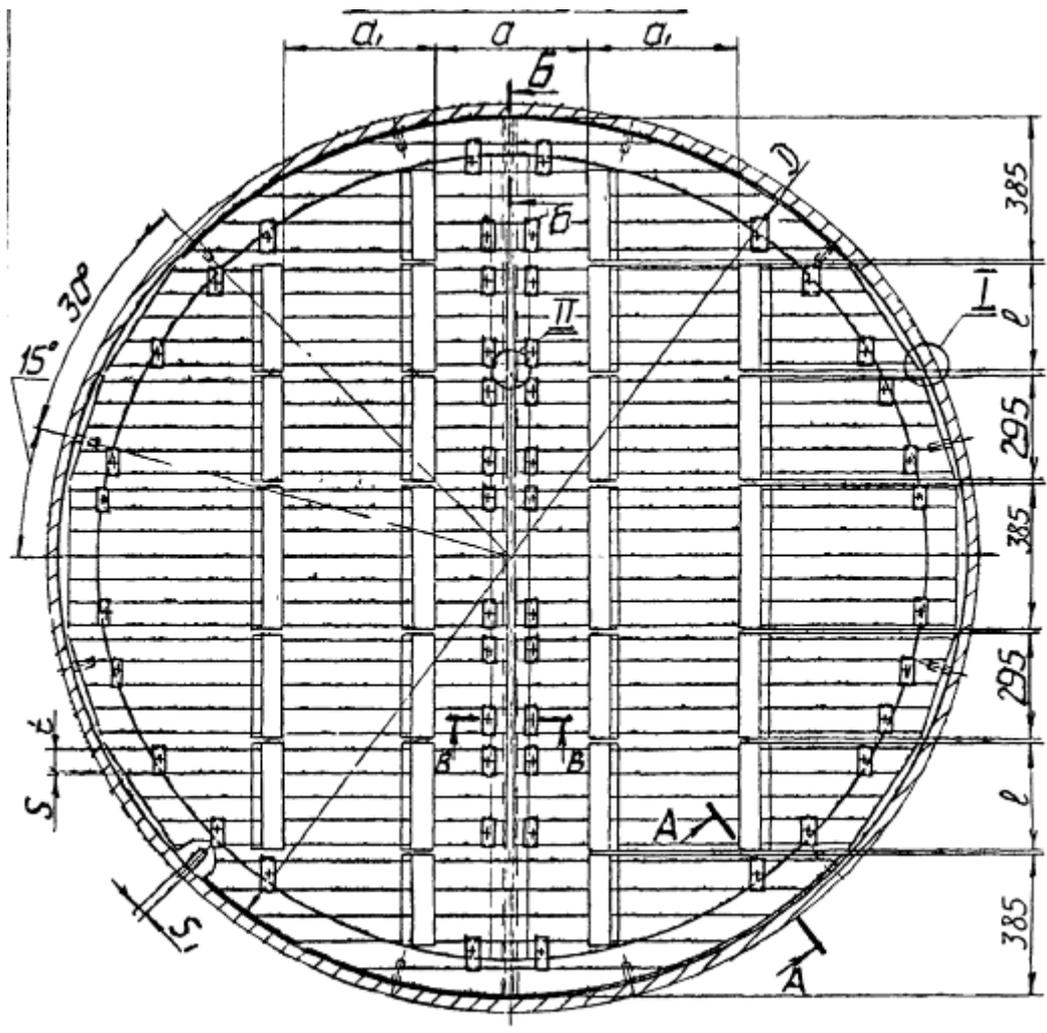


Рисунок 9

Конструкции, основные размеры и свободные сечения опорной решетки соответствуют таблице 4 ОСТ 26-02-601-72 [24, с 6]:

Таблица 4

Диаметр аппарата внутренний, $D_{в}$	D	D_1	Диаметр насадки	Исполнение решетки	t (пред. откл. +2)	S	S_1	l	a	a_1	S, m^2	m
2600	2560	2436	25	I	23	8	12	38	500	580	2.428	980

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ

Лист

64

В соответствии с рекомендацией [24, с 3], опорные балки изготавливаем по исполнению 1 из углеродистых и низколегированных сталей. Выбираем тип опорной балки 1, так как он предназначен для опорных решеток с одной центральной балкой. Конструкции и основные размеры опорных балок под решетки должны соответствовать рисункам 10 и 11 ОСТ 26-02-601-72 [24, с12]

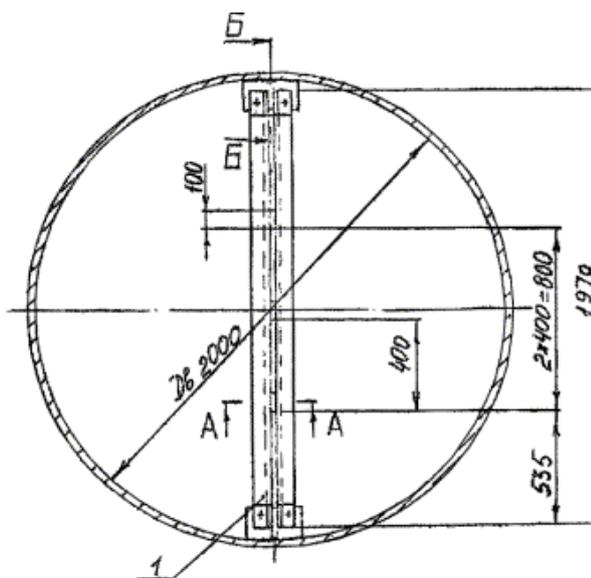


Рисунок 10

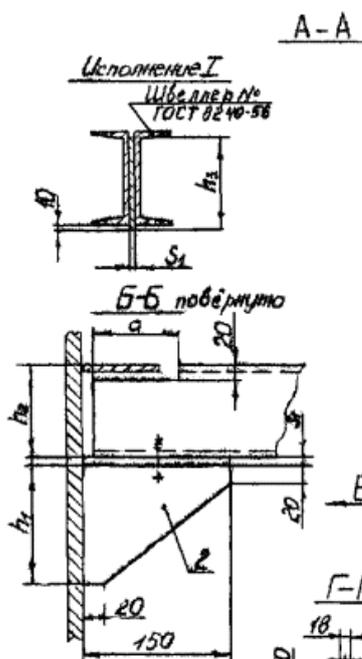


Рисунок 11

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

2.4.9. Выбор распределительной тарелки.

В соответствии с рекомендацией [1, с 239] в насадочных колоннах устанавливаются тарелки типа ТСН-3, предназначенные для питания колонного аппарата и для равномерного распределения жидкости по сечению колонны. Тарелку ТСН-3 устанавливают сверху колонны, над насадкой. Тарелки должны изготавливаться в соответствии с требованиями настоящего стандарта, техническими требованиями ОСТ 26-291-71 [15]. Так как жидкостью является вода, в качестве исполнительного материала тарелки берем - конструкционную углеродистую сталь обыкновенного качества - сталь Ст3кп. В соответствии с рекомендацией ОСТ 26-705-79 [41], болты и шпильки для тарелок из углеродистых сталей должны изготавливаться из стали марки 08Х13, а гайки - из стали марки 08Х13 или 20Х13 по ГОСТ 5632-72 [38].

Таблица 5. Технологическая характеристика тарелок типа ТСН-3

Диаметр колонны D , мм	Свободное сечение колонны, m^2	D_1 , мм	D_2 , мм	D_3 , мм	h , мм	Жидкостной патрубков			
						d , мм	t , мм	n , шт.	свободное сечение, m^2
2600	5,309	1770	1850	400	200	57	95	254	0,0022

Диаметр колонны D , мм	Параметры тарелки					масса тарелки, кг (ориентировочно)	
	рабочее сечение, m^2	сечение слива, m^2	максимально допустимая нагрузка по жидкости, $m^3/(m^2 \cdot ч)$	число отверстий для слива жидкости n_1	масса тарелки, кг (ориентировочно)		
					из углеродистой стали	из легированной стали	
2600	2,461	0,558	290	38	113,5	90	

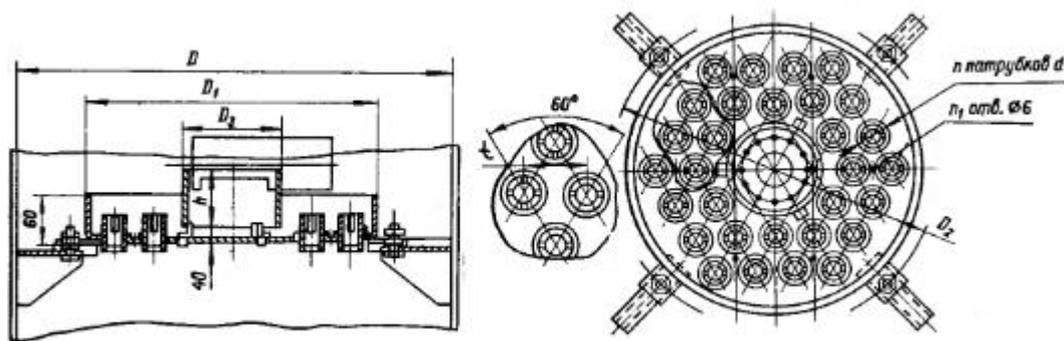


Рисунок 12. Тарелка типа ТСН-3

2.4.10. Расчет опорной обечайки.

Установка химических аппаратов на фундаменты или специальные несущие конструкции осуществляется большей частью с помощью опор. Для установки данного вертикального аппарата используем цилиндрическую опору.

Расчет веса всего аппарата в рабочем состоянии:

В соответствии с рекомендацией [25, с 105] и [26, с 11], в качестве исполнительного типа опорной обечайки рекомендуется выбирать цилиндрическую опорную обечайку.

$$D_n := D + 2s_{.1} \quad \text{внутренний диаметр центральной обечайки.}$$

1) Масса цилиндрической обечайки, кг:

$$M_{\text{цилиндрич}} := \pi \cdot \left(\frac{D_n^2 - D^2}{4} \right) \cdot \rho \cdot H \cdot 10^{-9}$$

$$M_{\text{цилиндрич}} = 4.65 \times 10^3 \quad \text{кг}$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

2) Масса днища и крышки, в соответствии с [12, с 8] кг:

$$M_{\text{днища}} := 619.5 \quad \text{кг}$$

$$M_{\text{днища.крышк}} := 2 \cdot M_{\text{днища}} = 1.239 \times 10^3 \quad \text{кг}$$

3) Масса штуцеров и фланцев, кг:

Масса штуцера для подачи газовой смеси:

$$M_{\text{ш1}} = 51.5 \quad \text{кг}$$

Масса штуцера для подачи воды:

$$M_{\text{ш2}} = 6.1 \quad \text{кг}$$

Масса штуцера для отвода газовой смеси:

$$M_{\text{ш3}} = 51.5 \quad \text{кг}$$

Масса штуцера для отвода жидкости:

$$M_{\text{ш4}} = 6.1 \quad \text{кг}$$

Общая масса всех штуцеров и фланцев, кг:

$$M_{\text{общ.штуцер}} := M_{\text{ш1}} + M_{\text{ш2}} + M_{\text{ш3}} + M_{\text{ш4}} = 115.2 \quad \text{кг}$$

4) Масса люк-лазов, кг:

$$G_{\text{люков}} = 115 \quad \text{кг}$$

5) Масса воды в аппарате при гидравлических испытаниях:

$$M_{\text{воды}} := \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H \cdot \rho_{\text{в}} \cdot 10^{-9} = 3.179 \times 10^4 \quad \text{кг}$$

6) Масса насадки, кг:

$$\rho_{\text{насад}} := 530 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \quad \text{Плотность насадки;}$$

$$S := 5.3 \quad \text{м}^2 \quad \text{Площадь поперечного сечения колонны;}$$

$$H_{\text{нас}} := 2 \quad \text{м} \quad \text{Высота слоя насадки;}$$

$$M_{\text{насад}} := \rho_{\text{насад}} \cdot S \cdot H_{\text{нас}} = 5.618 \times 10^3 \quad \text{кг}$$

7) Масса опорной решетки, кг:

$$M_{\text{реш}} := 980 \quad \text{кг}$$

8) Масса центральной опорной балки, кг:

$$M_{\text{балки}} := 120 \quad \text{кг}$$

9) Масса опорной решетки вместе с балкой, кг:

$$M_{\text{оп}} := M_{\text{реш}} + M_{\text{балки}} = 1.1 \times 10^3 \quad \text{кг}$$

10) Масса распределительной тарелки, кг:

$$M_{\text{тар}} := 113.5 \quad \text{кг}$$

11) Общая масса аппарата, кг:

Примем, что масса вспомогательных устройств (мерительных приборов, стропольных устройств) составляет 10% от массы всей колонны без среды.

Общая масса крышки, днища и цилиндрической обечайки, кг:

$$M_{\text{обеч}} := M_{\text{цилиндрич}} + M_{\text{днища.крышк}} + M_{\text{общ.штуцер}}$$

$$M_{\text{обеч}} = 6.004 \times 10^3 \quad \text{кг}$$

Общая масса пустого аппарата, кг:

$$M_{\text{общая.пустого}} := 1.1 \cdot (M_{\text{обеч}} + G_{\text{люков}} + M_{\text{насад}} + M_{\text{оп}} + M_{\text{тар}}) = 1.425 \times 10^4 \quad \text{кг}$$

Общая масса аппарата при гидравлических испытаниях, кг:

$$M_{\text{полн.аппарата}} := M_{\text{общая.пустого}} + M_{\text{воды}} = 4.604 \times 10^4 \text{ кг}$$

Вес аппарата, МН:

$$G_{\text{полн.аппарата}} := M_{\text{полн.аппарата}} \cdot 9.8 \cdot 10^{-6} = 0.451 \text{ МН}$$

$$G_{\text{пуст.аппарата}} := M_{\text{общая.пустого}} \cdot 9.8 \cdot 10^{-6} = 0.14 \text{ МН}$$

Тогда:

- максимальный вес аппарата $G_{\text{max}} := G_{\text{полн.аппарата}}$

- минимальный вес аппарата $G_{\text{min}} := G_{\text{пуст.аппарата}}$

Изгиб выступающей части кольца, м:

$$b_{\text{оп}} := 0.06$$

В соответствии с рекомендацией [25, с.105], примем расчетную толщину стенки опорной обечайки в соответствии с формулой, мм:

$$S_{\text{опоры.р}} := 12$$

В качестве исполнительного материала обечайки выбираем сталь 20К. В соответствии с рекомендацией [27, с 13], примем количество болтов равным:

$$n_{\text{опоры}} := 16$$

Внутренний диаметр фундаментного кольца, м:

$$D_1 := (D_{\text{н}} - 0.06) \cdot 10^{-3} = 2.45$$

Наружный диаметр фундаментного кольца, м:

$$D_2 := D_1 + 2 \cdot S_{\text{опоры.р}} \cdot 10^{-3} + 0.2 = 2.95$$

Опорная площадь фундаментного кольца, м²:

$$F_{\text{фунд.кольца}} := \frac{\pi \cdot (D_2^2 - D_1^2)}{4} = 0.963$$

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		70

Максимальное напряжение на опорной поверхности фундаментного кольца, МПа:

$$\sigma_{\max 1} := \frac{G_{\max}}{F_{\text{фунд.кольца}}} = 0.469 \text{ МПа}$$

В качестве исполнительного материала болтов в соответствии с рекомендацией [27, с 18] выбираем сталь 40Х.

Толщина фундаментного кольца, м:

$$\delta_k := b_{\text{оп}} \cdot \sqrt{3 \cdot \frac{\sigma_{\max 1}}{(\sigma_{\text{д.б}})}} = 4.691 \times 10^{-3}$$

Примем исполнительную толщину фундаментного кольца равной 5 мм.

Минимальное напряжение на опорной поверхности фундаментного кольца, МПа:

$$\sigma_{\min 1} := \frac{G_{\min}}{F_{\text{фунд.кольца}}} = 0.145 \text{ МПа}$$

Нагрузку на наиболее нагруженный болт Р.б приближенно можно:

$$P_{\text{б}} := \sigma_{\min 1} \cdot \frac{F_{\text{фунд.кольца}}}{n_{\text{опоры}}} = 8.725 \times 10^{-3} \text{ МН}$$

Примем в соответствии с рекомендацией [25, с.106] прибавку на атмосферную коррозию равной:

$$c_{\text{к.атм}} := 0.03$$

Внутренний диаметр резьбы фундаментного болта определяются из условия прочности на растяжение, м:

$$d_0 := \sqrt{\frac{4 \cdot P_{\text{б}}}{\pi \cdot (\sigma_{\text{д.б}})}} + c_{\text{к.атм}} = 0.037 \text{ м}$$

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		71

Примем в соответствии с таблицей 1 [27, с 21] исполнительный диаметр фундаментного болта равным:

$$d_{\text{болт.ф}} := 0.048 \text{ м}$$

Площадь опасного сечения сварного шва, м²:

$$f_c := \pi \cdot D_H \cdot 10^{-3} \cdot 0.7 \cdot S_{\text{опоры.р}} \cdot 10^{-3} = 0.069$$

Напряжение в сплошном сварном шве крепящим корпус аппарата к цилиндрической опорной части:

$$\sigma_c := \frac{\sigma_{\text{max1}}}{f_c} = 6.768 \text{ МПа}$$

Напряжение в сварном шве должно удовлетворять условию:

$$\text{Url_k} := \begin{cases} \text{"Условие выполняется"} & \text{if } \sigma_c \leq 0.8 \cdot (\sigma_{\text{д.б}}) \\ \text{"Условие не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Url_k} = \text{"Условие выполняется"}$$

В соответствии с таблицей 1 [27, с 21] в качестве исполнительного типа опоры принимаем цилиндрическую опору тип 2, с наружными стойками под болты с максимальной приведенной нагрузкой до 0.8 МН:

Таблица 6. Основные размеры выбранной цилиндрической опоры тип 2 по АТК 24.200.04-90

D,мм	D ₁ ,мм	D ₂ ,мм	D ₃ ,мм	s ₁ ,мм	Приведенная нагрузка, МН				
					До 0.8 МН				
					Фундаментальный болт по ГОСТ 24379.1-80				
		d,мм	количество						
2600	2450	2780	2920	8	36	16			

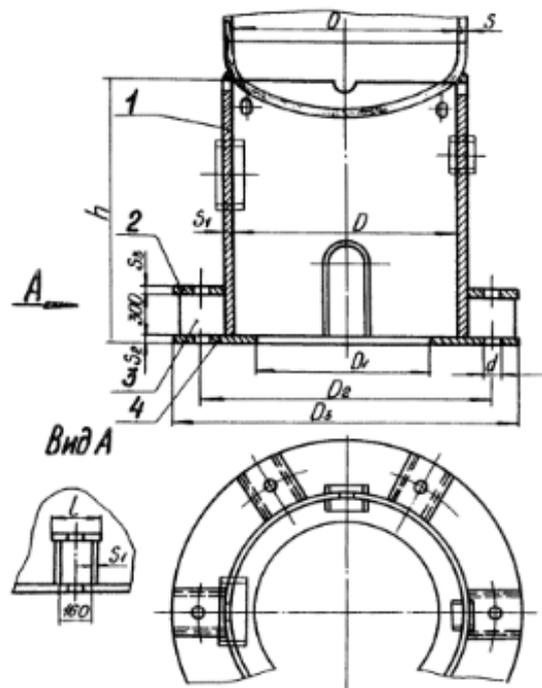


Рисунок 13. Цилиндрическая опорная обечайка тип 2 АТК 24.200.04-90.

2.4.11. Расчет толщины изоляции

Примем температуру окружающего воздуха $t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ и определим суммарный коэффициент теплопередачи в окружающую среду лучеиспусканием и конвекцией по уравнению [4]:

$$\alpha = 9,74 + 0,07 * \Delta t ,$$

Где Δt – разность температур поверхности аппарата и окружающего воздуха.

Примем температуру поверхности изоляции $t_{cm} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$ [4].

Тогда:

$$\alpha = 9,74 + 0,07 * (45 - 20) = 11,49 \text{ Вт}/(\text{м}^2 * \text{К})$$

Удельный тепловой поток:

$$q = \alpha * (t_{cm} - t_0) = 11,49 * (88,9 - 20) = 791,9 \text{ Вт}/\text{м}^2$$

Принимая приближенно, что все термическое сопротивление сосредоточено в слое изоляции, можно написать:

$$q = K * (t_{вн} - t_0) \approx (\lambda / \delta) * (t_{вн} - t_0),$$

откуда толщина слоя изоляции:

$$\delta = (\lambda / q) * (t_{вн} - t_0) = (0,098 / 791,9) * (93,6 - 20) = 0,0091 \text{ м}$$

где $\lambda = 0,098 \text{ Вт}/(\text{м} * \text{К})$ – коэффициент теплопроводности совелита [4].

Толщину изоляции следует принять равную 10 мм.

3. Расчет вспомогательного оборудования

Расчет центробежного насоса для подачи воды вверх колонны

Исходные данные:

Диаметр трубопровода, м	0,15
Длина линии нагнетания, м	10
Длина на линии всасывания, м	30
Геометрическая высота подъема, м	10
На линии всасывания 1 вентиль, дроссельная задвижка	
На линии нагнетания 1 вентиль	

Режим течения воды Re , определим согласно [4, с 90] по формуле:

$$Re = \frac{\omega_B * d * \rho_B}{\mu_B}$$

Где, ω_B – скорость воды, принимаем равной 2 м/с

$$Re = \frac{2 * 0,15 * 998}{1,005 * 10^{-3}} = 297910$$

Т.е. режим движения – турбулентный

Среднее значение абсолютной шероховатости стенок труб $e = 0,2$ мм

Относительная шероховатость $d/e = 150/0,2 = 750$ мм

Коэффициент трения, λ , определили по справочнику [4, с 22]

$$\lambda = 0,030$$

Сумму коэффициентов местных сопротивлений для всасывающей линии $\Sigma\zeta_{вс}$, определили согласно [2, с 33] по формуле:

$$\Sigma\zeta_{вс} = \zeta_1 + \zeta_2$$

где, $\zeta_1 = 0,5$ – вход в трубу (с острыми краями)

$\zeta_2 = 4,0$ – вентиль нормальный (при $d = 0,15$ м)

$$\Sigma \zeta_{вс} = 0,5 + 4 = 4,5$$

Давление, создаваемое насосом при всасывании жидкости $\Delta p_{вс}$, Па, определили согласно [4, с 90] по формуле:

$$\Delta p_{вс} = \left(\lambda * \frac{L_{вс}}{d} + \Sigma \zeta_{вс} \right) * \frac{\rho_{в} * \omega^2}{2}$$

Где, $L_{вс}$ – длина всасывания, м

$$\Delta p_{вс} = \left(0,03 * \frac{30}{0,15} + 4,5 \right) * \frac{998 * 2^2}{2} = 20958 \text{ Па}$$

Потери напора на всасывающей линии $H_{н.вс}$, м, определили согласно [4, с 90] по формуле:

$$H_{н.вс} = \frac{\Delta p_{вс}}{\rho_{в} * g}$$

$$H_{н.вс} = \frac{20958}{998 * 9,81} = 2,14 \text{ м}$$

Сумму коэффициентов местных сопротивлений для нагнетательной линии $\Sigma \zeta_{н}$, определили согласно [2, с 33] по формуле:

$$\Sigma \zeta_{н} = \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + 2 * \zeta_4$$

Где, $\zeta_1 = 1$ – выход из трубы

$\zeta_2 = 4,0$ – вентиль нормальный (при $d = 0,15$ м)

$\zeta_3 = 0,9$ (при $\alpha = 15$)

$\zeta_4 = 1,6$ – колено под углом 90°

$$\Sigma \zeta_{н} = 1 + 4 + 0,9 + 2 * 1,6 = 9,1$$

Давление, создаваемое насосом при нагнетании жидкости $\Delta p_{н}$, Па, определили согласно [4, с 90] по формуле:

$$\Delta p_{н} = \left(\lambda * \frac{L_{н}}{d} + \Sigma \zeta_{н} \right) * \frac{\rho_{в} * \omega^2}{2}$$

Где, $L_{н}$ – длина всасывания, м

$$\Delta p_{н} = \left(0,03 * \frac{30}{0,15} + 9,1 \right) * \frac{998 * 2^2}{2} = 30139 \text{ Па}$$

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
						76
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Потери напора на нагнетающей линии H_n , м, определили согласно [4, с 91] по формуле:

$$H_n = \frac{\Delta p_n}{\rho_B * g}$$
$$H_{n.вс} = \frac{30139}{998 * 9,81} = 3,07 \text{ м}$$

Общие потери напора H_n , м, определили согласно [4, с 91] по формуле:

$$H_n = H_{n.вс} + H_n$$
$$H_n = 2,14 + 3,07 = 5,21 \text{ м}$$

Полный напор, развиваемый насосом H , м, определили согласно [4, с 91] по формуле:

$$H = \frac{p_2 - p_1}{\rho_B * g} + H_{\Gamma} + H_n$$

Где, H_2 – геометрическая высота подъема воды, м

$$H = \frac{0,1 * 10^6}{998 * 9,81} + 10 + 5,21 = 25,42 \text{ м}$$

Полезную мощность насоса N , кВт, определили согласно [4, с 91] по формуле:

$$N = V * \rho_B * g * H$$

Где, V – объем воды, м³/с

$$V = \frac{L}{\rho_B}$$
$$V = \frac{18,344}{998} = 0,018 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$N = 0,018 * 998 * 9,81 * 25,42 = 4,47 \text{ кВт}$$

Для центробежного насоса средней производительности приняли

$$\eta = \eta_n * \eta_o * \eta_n = 0,6$$

Мощность, потребляемая двигателем насоса $N_{ДВ}$, кВт, определили согласно [4, с 91] по формуле:

$$N_{ДВ} = \frac{N}{\eta}$$

$$N_{ДВ} = \frac{4,47}{0,6} = 7,45 \text{ кВт}$$

По полученным расчетным данным соответствует насос со следующими характеристиками:

Марка насоса	X90/33
Производительность Q , м ³ /с	2,5*10 ⁻²
Напор столба жидкости H , м	33
Число оборотов n , об/с	48,3
Тип электродвигателя	АО2-72-2
Мощность электродвигателя N_n , кВт	30

4. Социальная ответственность

Охрана труда - система обеспечения безопасности жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включая правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические и иные мероприятия. Конституция Российской Федерации, Трудовой кодекс, Основы законодательства РФ об охране труда, устанавливающих гарантии осуществления права трудящихся на охрану труда, отвечающих требованиям сохранения жизни и здоровья работников [28].

Статьи из Конституции Российской Федерации [29]:

- Статья 7, п. 2.

«В РФ охраняется труд и здоровье людей, устанавливается гарантированный минимальный размер оплаты труда, обеспечивается гос. поддержка семьи, материнства, отцовства и детства, инвалидов и пожилых граждан».

- Статья 37, п. 3.

«Каждый имеет право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены, на вознаграждение за труд без какой бы то ни было дискриминации и не ниже установленного федеральным законом минимального размера оплаты труда».

- Статья 41, п.1.

«Каждый имеет право на охрану здоровья и медицинскую помощь».

- Статья 42.

«Каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, достоверную информацию о ее состоянии и на возмещение ущерба, причиненного его здоровью или имуществу экологическим правонарушением».

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
						79
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Главная задача Компании АО «Каустик» – сохранение, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов, а также бережное отношение к окружающей среде.

4.1 Общая характеристика производства

К опасным производственным факторам относятся:

- опасность поражения химически агрессивными веществами и их растворами (серная кислота, соляная кислота);
- опасность отравления парами и аэрозолями химически агрессивных и токсичных веществ;
- опасность поражения электрическим током;
- наличие вращающихся частей и механизмов оборудования;
- наличие оборудования и трубопроводов, работающих под давлением;
- опасность получения термических ожогов;
- опасность воздействия вибрации и различных шумов на производстве;
- опасность возникновения пожара;

Помимо этого, на предприятии должны быть соблюдены санитарно-гигиенические нормы по метеоусловиям. Особое внимание следует уделить освещению, отоплению и вентиляции цеха [28].

Ввиду перечисленных факторов и по характеристике процесса, производство относится к вредным.

4.2 Общие положения при работе с агрессивными жидкостями

Все работы, связанные с ремонтом насосов, трубопроводов и запорной арматуры в агрессивных средах, необходимо проводить по «Наряду-допуску на работы повышенной опасности» с использованием средств индивидуальной защиты: суконная спец. одежда, резиновые перчатки, резиновые сапоги, защитные очки, фильтрующий противогаз с коробкой

марки «В». Перед ремонтом аппаратура и трубопроводы должны быть освобождены от агрессивной среды и промыты обильным количеством воды. Розливы агрессивных жидкостей должны быть немедленно смыты обильным количеством воды и нейтрализованы известью или кальцинированной содой (при разливе кислоты), после чего засыпаны песком, собраны в контейнер и отправлены на площадку временного хранения отходов.

Основные свойства химических реагентов по пожароопасности и токсичности приведены в таблице 7.

4.2.1 Основные правила безопасной работы с серной кислотой

Серная кислота и ее водные растворы пожаро- взрывобезопасны. Пары серной кислоты токсичны. ПДК паров в воздухе рабочей зоны - 1 мг/л. При попадании на кожу серная кислота вызывает сильные ожоги. При попадании в глаза может вызвать потерю зрения. Вдыхание концентрированных паров может привести к потере сознания и тяжёлому поражению лёгочной ткани.

При попадании серной кислоты на кожный покров, необходимо немедленно промыть поражённый участок обильным количеством проточной воды, обработать 5 % раствором пищевой соды, доставить пострадавшего в медицинский пункт.

При попадании серной кислоты в глаза, необходимо немедленно промыть глаза обильным количеством проточной воды, промыть глаза 0,5 % раствором пищевой соды, доставить пострадавшего в медицинский пункт.

4.2.2 Основные правила безопасной работы с соляной кислотой

Во время работы с соляной кислотой необходимо позаботиться о защите от возможной детонации состава – такое вполне может произойти, так как раствор соляной кислоты при контакте с воздухом выделяет хлористый водород, который становится взрывоопасным при взаимодействии с некоторыми металлами. Основная задача – исключить контакт раствора с

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		81

рядом металлов (Al, Zn, Fe, Co, Ni, Pb и т.д.). Кроме того, так называемый «туман», который сопровождает раствор соляной кислоты при испарении, представляет опасность для человека. Если концентрация паров составляет более 5 мг/м³, риск получить ожоги крайне высок.

Удалить разлитый на пол раствор соляной кислоты можно при помощи воды и щелочного раствора. В случае попадания на кожу, пораженный участок необходимо промыть теплой водой и вытереть насухо мягкой тканью.

Использование йода и зеленки категорически запрещается. Если имеет место отравление кислотой через воздух, необходимо устранить источник и удалить раствор соляной кислоты путем проветривания. При попадании состава в глаза, следует промыть их большим количеством воды. В любом из перечисленных выше случаев необходимо обратиться к врачу, так как раствор соляной кислоты является весьма опасным веществом, отравление и ожог которым может привести к инвалидности. Чтобы этого не произошло, необходимо следовать правилам техники безопасности. В этом случае раствор соляной кислоты не будет представлять никакой опасности человеку и окружающей среде.

Раствор соляной кислоты заливается в гуммированные цистерны или контейнеры, а также полиэтиленовые бочки и стеклянные бутылки – любой из указанных вариантов вполне допустим. При этом использованную тару, в которой имеется остаточный раствор соляной кислоты, тоже можно эксплуатировать, если, конечно, результаты технического анализа не допускают обратного. Важно обеспечить герметичность емкости, так как раствор соляной кислоты при испарении является крайне опасным (не исключен ожог легких и слизистых оболочек). Для этих целей используются прокладки из резины или полиэтилена, что касается не только заполненной,

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

но и пустой тары. Если раствор соляной кислоты упакован и разлит правильно, допускается транспортировка любыми видами транспорта.

Несмотря на тот момент, что срок эксплуатации кислоты неограничен, она требует тщательного и последовательного соблюдения правил техники безопасности, к которым относятся:

- при попадании кислоты в желудок, ее необходимо как можно быстрее оттуда удалить путем вызывания рвотного рефлекса, после чего выпить воды и снова повторить процедуру;
- не допускать попадания кислоты на кожу, при попадании раствора кислоты на кожу, его необходимо срочно смыть теплой водой и промокнуть мягкой салфеткой, при появлении ран следует нанести антисептик или заживляющий состав;
- при работе с кислотой нужно находиться в маске, иначе есть вероятность отравления парами, пострадавшего стоит немедленно вывести на воздух, где нет паров, дать отдышаться, а при необходимости, сделать искусственное дыхание и вызвать врача;
- глаза при работе с кислотой должны быть защищены очками. При поражении глаз раствором кислоты, их следует немедленно промыть водой, при сильном покалывании и рези, нужно обратиться к врачу.

Таблица 7 - Основные свойства хим. реагентов по пожароопасности и токсичности

Наименование сырья, реагентов, продукции	Класс опасности	Степень опасности	Характеристика токсичности (воздействие на человека)	ПДК по ГОСТ 12.1.005-88
1	2	3	4	5

Серная кислота.	II	Пожаро-взрывобезопасна.	При попадании на кожу вызывает сильные ожоги. При попадании в глаза может вызвать потерю зрения. Вдыхание паров может привести к тяжелому поражению легочной ткани. Токсична.	1,0 мг/м ³
Соляная кислота	II	Пожаро-взрывоопасна	При попадании на кожу вызывает сильные ожоги. При попадании в глаза может вызвать потерю зрения. Вдыхание паров может привести к тяжелому поражению легочной ткани. Токсична.	5,0 мг/м ³ Хлора в воздухе раб зоны - 1 мг/м ³

4.3 Требования к персоналу

Запрещается прием на работу лиц моложе 18 лет. Все рабочие и служащие, поступающие на предприятие, подлежат предварительному и периодическому медицинскому освидетельствованию не реже 1 раза в год.

Лица, принятые на работу, в обязательном порядке проходят организуемое предварительное обучение с последующим обязательным проведением

проверки знаний по вопросам безопасности и охраны труда. Работники, не прошедшие предварительное обучение, инструктирование и проверку знаний по вопросам безопасности и охраны труда, к работе не допускаются.

К управлению машинами и механизмами, к работе с химреагентами и ремонту электрооборудования допускаются только лица, прошедшие специальное обучение, сдавшие экзамены и получившие соответствующее удостоверение.

К техническому руководству работами допускаются лица, имеющие законченное специальное высшее или среднее техническое образование.

Администрация предприятия составляет для персонала график работы с 8 до 20 ч с разрывом рабочего времени (1 – 2 часа) для принятия пищи и отдыха.

4.4 Основные правила техники безопасности

Основными правилами безопасности при ведении процесса получения концентрированной соляной кислоты является строгое соблюдение:

- параметров технологического режима работы по операциям;
- требований рабочих инструкций по пуску и остановке производства.

В целях обеспечения безопасности и охраны труда предусмотрены:

- система приточно-вытяжной общеобменной вентиляции;
- гидроуборка помещений;
- установка ванн со стационарной душевой трубкой, крана и фонтанчика для промывки лица, и рук.

На всех переделах устанавливается герметичное оборудование. Оборудование с выделением вредных паров и газов снабжено местными отсосами.

Все емкости для хранения жидких реагентов, емкости для растворения, а также связанные с ними коммуникации расположены так, чтобы при необходимости можно было полностью удалить самотеком, содержащиеся в них растворы в приемный зумпф.

Сети трубопроводов в зависимости от назначения имеют свой цветовой код.

Оборудование и трубопроводы, работающие при повышенных температурах, теплоизолированы.

Фланцевые соединения трубопроводов с агрессивными жидкостями оборудуются защитными устройствами (кожухами).

Все оборудование, требующее периодического ремонта, размещено в зоне действия крана.

В производственном помещении предусмотрены площадки по фронту обслуживания технологического оборудования.

Все проемы и движущиеся части снабжены защитным ограждением.

В цехе предусматривается общеобменная принудительная вентиляция, система подогрева и местного кондиционирования воздуха.

В производственных помещениях предусматриваются аптечки, укомплектованные перевязочным материалом и медикаментами.

Все трудящиеся на участке обеспечиваются защитной спецодеждой в соответствии с установленными нормами их выдачи.

Предусматривается полное переодевание всего технологического и ремонтного персонала с возможностью санитарной обработки тела.

В помещениях поддерживается оптимальная температура, влажность воздуха, освещенность.

Для охлаждения воздуха в теплый период до оптимальных температур в помещениях кабинетов, операторских и физико-химической лаборатории предусмотрена установка кондиционеров с автоматическим режимом работы.

4.5 Организация производственного освещения

Рациональное освещение производственных помещений в светлое время суток осуществляется за счет естественного освещения через оконные проемы в наружных стенах. В темное время суток применяется общее местное и комбинированное искусственное освещение. Предусмотрено также аварийное

и дежурное освещение. Рациональное освещение рабочих мест обеспечивает безопасные и здоровые условия труда. Освещение, соответствующее санитарным нормам, является главнейшим условием гигиены труда и культуры производства. При хорошем освещении устраняется напряжение зрения, ускоряется темп работы. При недостаточном освещении глаза сильно напрягаются, темп работы снижается. Недостаточное освещение рабочих мест отрицательно влияет на хрусталик глаза, что может привести к близорукости. Разряды зрительных работ выбраны по таблицам №1 и №2 СНиП 23-05-95 «Искусственное и естественное освещение».

- технологические помещения – IV-Г;
- служебные помещения – Б-2;
- физико-химическая лаборатория – А-2;
- вентиляционные камеры – VIII-В;
- проходы, тамбуры, лестничные клетки – Ж-1, З-1, В-2;
- насосные – IV-Г.

В соответствии с разрядами зрительных работ по таблицам Е1 и Ж1 СНиП 23-05-95 приняты нормативные освещенности от 10 до 300 лк.

Предусматривается наружное освещение между зданиями на промплощадке.

4.6 Мероприятия по защите от акустических и механических колебаний

В цехе и других производственных помещениях источниками шума являются вентиляторы и электродвигатели рабочих механизмов, уровень шума которых при установке в соответствие с техническими требованиями не должен превышать допустимых норм. Шум и вибрация являются результатом колебания тел, передаваемого непосредственно или на расстояние другим объектам. Шум и вибрация различаются частотой колебаний в секунду. Если число колебаний в секунду не превышает 16, то они воспринимаются человеком как сотрясения и называются вибрацией. Частота колебаний от 16

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		87

до 20000 в секунду воспринимается органами слуха как шум, колебания с частотой свыше этого предела не ощущаются человеком, и называются ультразвуками. Вибрация приводит к преждевременному износу деталей, механизмов, может вызвать аварию, вредно действует на сердечно-сосудистую и нервную системы организма, вызывает снижение слуха и даже стойкую глухоту, является причиной снижения работоспособности, ослабления памяти, внимания, остроты зрения, что увеличивает возможность травматизма.

Для снижения уровня шума в производственных помещениях до допустимых значений предусмотрено:

- установка вентагрегатов в отдельных выгороженных помещениях – венткамерах, расположенных в удаленных от рабочих мест частях здания;
- подбор диаметров воздуховодов по средним скоростям в магистральных воздуховодах для уменьшения сопротивления сети (4 – 8 м/с);
- плавное соединение воздуховодов с вентиляционным агрегатом при помощи переходов и гибких вставок;
- виброизоляция вентагрегатов с помощью пружинных амортизаторов, идущих в комплекте к вентиляционным агрегатам;
- монтаж насосов и химического оборудования беспрокладочным методом с применением установочных винтов, удаляемых после подливки;
- подвод питания к электродвигателям по гибким кабелепроводам.

Источников вибраций, которые влияли бы на организм обслуживающего персонала, нет. Установка машин и механизмов на отдельно стоящих фундаментах и виброизолирующих опорах, а также применение гибких вставок в узлах воздуховодов позволяет обеспечивать уровень вибрации в допустимых пределах.

4.7 Правила безопасности при обслуживании и эксплуатации электрооборудования

Мероприятия по технике безопасности должны выполняться в соответствии с ПТЭ электроустановок потребителей и ПТБ при эксплуатации электроустановок потребителей РФ. Эти мероприятия обязательно включают в себя: наличие на рабочих местах защитных средств, защитное отключение, пониженное напряжение, наличие заземления.

Основные опасности, обусловленные электрическим током:

1. Опасность напряжения прикосновения - при прикосновении человека к неизолированным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением.
2. Опасность напряжения перехода - при прикосновении человека к нетоковедущим металлическим частям электроустановок, находящихся под напряжением.
3. Опасность токов короткого замыкания.

Для защиты от напряжения прикосновения используются малое напряжение (в переносных светильниках), изоляция токоведущих частей, предупредительная сигнализация.

Для защиты от напряжения перехода используется защитное заземление.

Для защиты от токов нагрузки используются автоматическое отключение, установка плавких предохранителей. При выполнении ремонтных работ производится отключение установки от источника питания, снятие предохранителей и другие мероприятия, обеспечивающие невозможность ошибочной подачи напряжения к месту работы, установку знаков безопасности и ограничений.

В зависимости от реакции организма на электрический ток различают несколько пороговых значений тока через тело человека. Электрический ток, вызывающий при прохождении через организм человека ощутимые раздражения, называются ощутимым током. Для постоянного тока эта величина составляет 5 - 7 мА.

Повышение силы тока через организм человека вызывает при определённых значениях судорожное сокращение мышц, которое невозможно преодолеть. Наименьшее значение этого тока называется пороговым неотпускающим током. При постоянном токе среднее значение пороговых неотпускающих токов равно 50 - 80 мА. В помещении цеха значение тока не превышает 30 мА. Наименьший электрический ток, вызывающий фибрилляцию сердца, называется пороговым фибрилляционным током. Для постоянного тока он равен 300 мА.

Средства индивидуальной защиты от статического электричества:

- Специальная одежда антиэлектростатическая;
- Специальная обувь антиэлектростатическая;
- Предохранительные приспособления антиэлектростатические (кольца и браслеты);
- Средства защиты рук антиэлектростатические(перчатки);

Материал полов должен не пропускать электрический ток, а также должен быть стойким к воздействию химических веществ, используемых в технологическом процессе. В данном случае предусмотрен пол из бетона [28].

4.8 Противопожарные мероприятия

Раздел разработан в соответствии с:

– «Правилами пожарной безопасности в Российской Федерации». от 18 июня 2003 г.

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		90

- СНиП 2.04.09-84 «Пожарная автоматика зданий и сооружений»;
- Справочником руководителя тушения пожара (под. ред. Иванникова);
- СНиП 2.04.01-85 «Внутренний водопровод и канализация»;
- СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения»;

Обеспечение пожарной безопасности и пожаротушения возлагается на руководителя предприятия.

Расследование пожаров и установление их последствий производится в соответствии с законодательством. В случае выявления нарушений правил пожарной безопасности или бездействия должностных лиц и граждан материалы расследования подлежат передаче в соответствующие органы для привлечения виновных к ответственности.

Оснащение производственных зданий и территории промплощадки первичными средствами пожаротушения и мероприятия по пожарной безопасности должны производиться в соответствии с «Приказ МЧС РФ от 18.06.2003 N 313 "Об утверждении Правил пожарной безопасности в Российской Федерации (ППБ 01-03)»

Местоположение первичных средств пожаротушения и пожарного инвентаря должно быть согласовано с органами пожарного надзора.

Пожарные щиты с набором инвентаря (огнетушителями ОХП - 10, ОУ -5 для тушения электрооборудования, ведра, лопаты, топор), и ящиками для песка $V=1,0 \text{ м}^3$ предусматриваются на выходе из помещений и здания цеха таким образом, чтобы не препятствовать вынужденной эвакуации людей.

4.9 Промышленная санитария

Все рабочие и служащие, поступающие на работу, подлежат предварительному медицинскому освидетельствованию.

Все трудящиеся на рабочих местах, где возможно присутствие в воздухе рабочей зоны вредных газов и паров, а также возможен непосредственный контакт с опасными реагентами и продуктами производства, обеспечиваются средствами индивидуальной защиты, спецодеждой и обувью в соответствии с нормами трудового законодательства:

В калькуляции себестоимости предусмотрена соответствующая статья затрат «Охрана труда».

Допуск к работе с вредными и токсичными веществами без спецодежды и других защитных средств запрещается. Средства защиты перед началом работы должны быть проверены.

Аварийный запас СИЗ определяется планом ликвидации аварий.

Контроль состояния воздушной среды рабочей зоны производственных помещений осуществляется в соответствии с ГОСТ 12.1.005-76 ССБТ.

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		92

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Предпроектный анализ

Потенциальные потребители

Продукт: кислота соляная техническая.

Целевой рынок: химическая промышленность.

5.2 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.

	Сильные стороны: 1. Высококвалифицированный производственный персонал, готовый к внедрению новых методов производства и освоению выпуска новых видов продукции. 2. Собственный научно-исследовательский центр. 3. Выгодное географическое положение: город расположен на берегу р. Волга недалеко от Волго-Донского канала. 4. Предприятие владеет большим парком железнодорожных вагонов, предназначенных для перевозки готовой продукции. 5. Продукция предприятия сертифицирована не только по российским, но и по западным стандартам качества. Сертификация продукции по западным стандартам качества обеспечивает возможность экспорта продукции, а это, в свою очередь, приводит к увеличению прибыли компании. 6. Минимальный риск возникновения технических аварий.	Слабые стороны: 1. Большое количество конкурентов 2. Большая зависимость от тарифов на энергоресурсы, так как производство основных видов продукции предприятия очень энергоемко. Соответственно, постоянное повышение тарифов на электрическую и тепловую энергию приводит к увеличению себестоимости продукции предприятия и таким образом снижает ее конкурентоспособность на рынке, прежде всего на экспортных рынках.
--	---	---

<p>Возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Внедрение новых, более эффективных технологий производства и освоение выпуска новых видов продукции, которые пользуются большим спросом. 2. Получение доступа к значительным источникам в финансировании, в том числе к долгосрочному и более дешевому финансированию. 3. Появление молодых профессиональных менеджеров на рынке труда. 4. Увеличение объема сбыта продукции как в России, так и за рубежом за счет поиска новых потребителей и расширения географии сбыта. Это потенциально приведет к увеличению прибыли предприятия. 5. Снижение экспортных тарифов на продукцию предприятия и увеличение импортных тарифов. 	<p>Сильные стороны и возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Развитие сотрудничества научно-исследовательского центра предприятия с научно-исследовательскими институтами химической отрасли. 2. Установление прочных деловых отношений с российскими и западными кредитными и инвестиционными организациями. 3. Более широкое использование различных видов транспорта для доставки новых видов продукции АО «Каустик» потребителям. 4. Расширение географических границ экспорта и увеличение объема экспортных поставок. 	<p>Слабые стороны и возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. За счет получения доступа к значительным источникам финансирования обновлять производственные мощности. 2. Найм профессиональных топ-менеджеров, которые внедрят стратегическое и тактическое планирование, увеличат эффективность деятельность предприятия в целом.
<p>Угрозы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Отсутствие спроса на новые технологии производства 2. Активизация агрессивных рыночных действий конкурентов. Это может привести к утрате компанией своих позиций на рынке, снижению прибыли. 3. Увеличение экспортных тарифов, что повлечет за собой снижение объема экспорта, уменьшение прибыли компании. 4. Внедрение новых, более эффективных технологий конкурентами раньше, чем АО «Каустик». Это снизит конкурентоспособность продукции АО «Каустик», уменьшит долю компании на рынке и прибыль. 5. Ужесточение экологических норм и стандартов для промышленных предприятий. Это вызовет резкое увеличение расходов из-за необходимости покупки новых, более 	<p>Сильные стороны и угрозы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Выпуск новых видов продукции для увеличения диверсификации производства. Это укрепит собственные конкурентные позиции АО «Каустик» на рынке, снизит уязвимость от агрессивных действий конкурентов. 2. Лоббирование сохранения экологических норм и стандартов на текущем уровне. Это позволит избежать дополнительных больших затрат, связанных с покупкой и установкой новых, еще более современных очистных систем. 3. Лоббирование снижения экспортных тарифов на продукцию предприятия и увеличения импортных тарифов. 4. Развитие сотрудничества АО «Каустик» с научно-исследовательскими институтами химической отрасли. Это позволит внедрять новые технологии раньше конкурентов. 	<p>Слабые стороны и угрозы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Строительство собственной котельной. Это позволит устранить зависимость от тарифов на энергоресурсы и позволит получать энергию по себестоимости. 2. Найм профессиональных специалистов в области маркетинга, которые войдут в штат созданного отдела маркетинга и будут эффективно реализовывать маркетинговые функции.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

эффективных очистных систем.
 Прибыль компании уменьшится.
 6. Увеличение налогов, что вызовет уменьшение прибыли компании, сокращение собственных инвестиций в развитие производства.
 7. Резкий рост инфляции в России. Это, во-первых, повлечет увеличение процентных ставок по кредитам, что в свою очередь уменьшит инвестиции компании в производство. Во-вторых, высокая инфляция приведет к увеличению себестоимости и цены продукции, вследствие чего уменьшится спрос на продукции компании, объем производства и прибыль АО «Каустик».
 8. Снижение политической стабильности в России. Это повлечет сокращение иностранных инвестиций в российскую экономику.

5.3 Экономический расчет

5.3.1 Расчет эффективного фонда времени

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

Номинальный фонд работы оборудования:

$$T_n = D_p \cdot R_p,$$

где: D_p – количество рабочих дней в расчетном периоде;

R_p – количество рабочих часов в сутки.

При непрерывном режиме работы номинальный фонд времени равен календарному:

$$T_n = T_k = 8760 \text{ часов.}$$

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

$$T_{эф} = T_k - T_{рем} - T_{то} [25];$$

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

T_k – номинальный фонд рабочего времени;

$T_{рем}$ – время простоя оборудования на ремонтах за расчетный период;

$T_{то}$ – время технологических остановок за расчетный период.

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

Таблица 8 - Баланс времени работы оборудования и времени его простоя

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		96

Время работы между ремонтами, час			Время простоя при ремонте, час			Затраты на ремонт		
Кап.	Сред.	Тек.	Кап.	Сред.	Тек.	Кап.	Сред.	Тек.
51840	17280	720	2160	360	16	2160	700	1104

Общее количество ремонтов за ремонтный период:

$$R = R_{\text{ц}} / T_m,$$

где R – количество всех ремонтов за ремонтный цикл;

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

T_m – пробег оборудования между текущими ремонтами.

$$R = \frac{51840}{720} = 72 \text{ ремонта за ремонтный цикл.}$$

Длительность ремонтного цикла:

$$\frac{R_{\text{ц}}}{T_n} = \frac{51840}{8760} = 6 \text{ лет}$$

Количество средних ремонтов за ремонтный цикл:

$$R_c = \frac{R_{\text{ц}}}{T_n} - 1,$$

где T_c – пробег оборудования между средними ремонтами;

$$R_c = \frac{51840}{17280} - 1 = 2 \text{ средних ремонта за ремонтный цикл.}$$

Количество текущих ремонтов:

$$R_T = \frac{R_{\text{ц}}}{T_n} - R_c - 1 = \frac{51840}{720} - 2 - 1 = 69 \text{ текущих ремонтов.}$$

Всего ремонтов в течении расчетного времени $72: 6 = 12$, т. е. 1 средний и 11 текущих ремонтов.

Время на ремонт оборудования в расчетный период:

$$T_{\text{рем}} = 11 \cdot T_{\text{т}}' + T'_{\text{ср}} = 11 \cdot 16 + 360 = 536 \text{ часов.}$$

Время технологически неизбежных остановок: $T_{\text{мо}} = T_n + T_{\text{но}}$,

где T_{no} – время остановки, 48 ч;

T_n – время пуска, 3 ч;

$T_{mo} = 48 + 3 = 51$ час.

Эффективный фонд работы оборудования: $T_{эф} = T_n - T_{рем} - T_{mo}$

$T_{эф} = 8760 - 536 - 51 = 8173$ ч (341 дней).

Производственная мощность цеха:

$$M = P_{сут} * T_{эфф} * K_{об} = 28,3 * 8173 * 1 = 231295 \text{ м/год}$$

Для анализа использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен:

$$K_{экс} = T_{эфф} / T_{ном} = 8173 / 8760 = 0,93.$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен:

$$K_{инт} = Q_{нн} / Q_{max} = 25 / 28,3 = 0,89,$$

где $Q_{нн}$ – производительность единицы оборудования в единицу времени;

Q_{max} – максимальная производительность в единицу времени.

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{им} = K_{экс} \cdot K_{инт} = 0,93 \cdot 0,89 = 0,82.$$

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

$$N_{год} = K_{им} \cdot M = 0,82 \cdot 231295 = 189662 \text{ м/год},$$

где $K_{им}$ – коэффициент использования мощности.

Вывод: установка работает на неполную мощность, степень загрузки равна 82%.

5.3.2. Расчет себестоимости готовой продукции по действующему производству

5.3.2.1. Расчет годового фонда заработной платы цехового персонала

1. Расчет численности персонала (табл. 9, 10):

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

Таблица 9. Расчет численности персонала основных рабочих

Категория персонала	Норма обслуживания,	Число смен в сутки,	Число единиц оборудования,	Явочная численность,	Эффективное время рабочего,	Коэффициент перехода,	Списочная численность,
	$H_{обс}$	S	n	$R_{яв}$	$T_{эфф}$	$K_{пер}$	$R_{сп}$
Основные рабочие	0,25	2	1	8	136		20

5.3.3 Организация труда и заработной платы

5.3.3.1. Определение баланса времени одного рабочего

Баланс времени одного рабочего устанавливает число дней, подлежащих отработки одним среднесуточным рабочим в год, в зависимости от принятого режима работы цеха, продолжительности работы цеха и продолжительности рабочего дня. Цех будет работать в 2 смены продолжительностью по 12 часов. Работа будет производиться четырьмя производственными бригадами. График сменности рабочих бригад приведен в таблице 11 [35].

Таблица 10 - График сменности бригад.

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

где А,Б,В,Г — вахты.

Длительность сменоборота: $T_{см.об.} = n_{\sigma} \cdot T_{м}$,

где n_{σ} — число вахт;

$T_{м}$ — число дней, в которые бригада ходит в смену.

$T_{см.об.} = 4 \cdot 2 = 8$ дней.

За длительность сменоборота бригада отдыхает 4 дня, за год 180 дней.

Таким образом, на одного среднесуточного рабочего приходится 180 выходных дней. Составим баланс рабочего времени среднесуточного рабочего, с целью определения фонда рабочего времени [35].

Таблица 11 – Баланс рабочего времени среднесуточного рабочего

Элементы времени	Количество дней	Часы
Календарное число дней	365	4380
Нерабочие дни, выходные	180	2160
Номинальный фонд рабочего времени	185	2220
Планируемые невыходы:		
а) очередные отпуска	33	396
б) по болезни	12	144
в) выполнение общественных обязанностей	1	12
г) отпуск, в связи с учебой	3	36
ИТОГО:	49	588
Эффективный фонд рабочего времени	136	1632

Эффективный фонд рабочего времени составит:

$T_{эф} = 185 - 49 = 136$ дней = $136 \cdot 12 = 1632$ часов.

5.3.3.2. Расчет численности рабочих, служащих и ИТР.

Расчет численности основных рабочих.

Численность производственных рабочих определяется, исходя из прогрессивных норм обслуживания при полном обеспечении рабочими всех мест. Число рабочих мест определяется, исходя из необходимых точек наблюдения и операций обслуживания процесса, а также объема работы на управление каждым участком [35].

1) Определим явочное число основных рабочих в сутки:

$$R_{яв} = \frac{F \cdot C}{H_{обс}}$$

где $H_{обс}$ – норма обслуживания;

F – количество установок;

C – количество смен в сутки.

Учитывая, что работа основных производственных рабочих заключается в наблюдении за ходом процесса, а также, учитывая уровень автоматизации оборудования, цеха, примем 4 человека.

$$R_{яв} = 4 \cdot 2 = 8 \text{ рабочих.}$$

2) Определим списочное число основных рабочих:

$$R_C = R_{яв} \frac{T_{эф.обор.}}{T_{эф.раб.}},$$

где $T_{эф.обор.}$ – проектируемое число дней работы оборудования в год;

$T_{эф.раб.}$ – проектируемое число дней работы в год одного рабочего.

$$R_C = 8 \cdot \frac{341}{136} = 20(\text{чел})$$

Приведем состав рабочего персонала ниже в таблицу 13 [35].

Таблица 12 – Численность основных рабочих

Профессия	Тариф разряд	Число рабочих в смену	R _{яв} в сутки	R _с в сутки	Число рабочих дней в году	Число рабочих дней оборуд.	Число смен в сутки
Аппаратчик	7	1	2	5	136	341	2
Аппаратчик	5	2	4	10			
Слесарь по обслуживанию оборудования	5	1	2	5			

Численность вспомогательного персонала и ИТР.

С учетом специфики данного цеха и приборного оформления комплектуем цех вспомогательным обслуживающим персоналом в составе (таблица 13).

Таблица 13 – Численность вспомогательного персонала

№ п/п	Профессия	Тариф разряд	Оклад, руб.	Количество человек
1	Электрик	4	12062	1
2	Контролер качества продукции и техпроцесса	7	17500	1
3	Слесарь-ремонтник	6	15240	3

Расчет ИТР производится в связи с потребностью цеха в каждой группе работников.

Таблица 14 – Численность ИТР, служащих и прочего персонала

№ п/п	Наименование должности	Категория	Тариф разряд	Оклад, руб.	Количество человек
1	Начальник цеха	ИТР	Высшее	39095	1
2	Инженер-технолог	ИТР	Высшее	22350	1

3	Инженер по ремонту	ИТР	Высшее	20140	1
4	Уборщица	МОП		10000	1
Итого					4

5.3.3. Расчет годового фонда заработной платы

Расчет фонда заработной платы основных рабочих.

Расчетный фонд заработной платы (ЗП) складывается из основной и дополнительной заработной платы.

Основной фонд (ЗП):

$$Z_{осн.} = Z_{тар} + D_{пр} + D_{н.вр.} + D_{праз.} + \Phi_m [35],$$

где $Z_{тар}$ – тарифный фонд;

$D_{пр}$ – оплата премий;

$D_{н.вр.}$ – доплаты за ночные смены;

$D_{праз.}$ – доплата за работу в праздники;

Φ_m – фонд мастера.

а) Тарифный фонд

$$Z_{тар} = Z^4_{тар} + Z^5_{тар} + Z^{сл}_{тар},$$

где $Z^4_{тар}$, $Z^5_{тар}$ – ЗП по тарифным ставкам рабочих различной квалификации,

$Z^{сл}_{тар}$ – ЗП по тарифной ставке слесаря по обслуживанию.

$$Z^i_{тар} = R_{сн} \cdot T_{эф} \cdot T^i_{сн},$$

где $R_{сн}$ – списочное число рабочих;

$T_{эф}$ – эффективное время работы одного среднесписочного рабочего;

$T_{сн}$ – тарифная часовая ставка.

Часовая тарифная ставка составляет:

для аппаратчика 7^{го} разряда – 118 руб./час;

для аппаратчика 5^{го} разряда – 89 руб./час;

для слесаря по обслуживанию – 81 руб./час.

$$Z^7_{тар} = 5 \cdot 1632 \cdot 118 = 962\,880 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{тар}}^5 = 9 \cdot 1632 \cdot 89 = 1\,307\,232 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{тар}}^{\text{сл}} = 5 \cdot 1632 \cdot 81 = 660\,960 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{тар}} = 962\,880 + 1\,307\,232 + 660\,960 = 2\,931\,072 \text{ руб.}$$

б) Доплата за работу в ночное время осуществляется отчислением 40% от тарифной ЗП:

$$D_{\text{н.вр.}} = Z_{\text{тар.}} \cdot \frac{\Pi}{100},$$

где Π – процент отчисления.

$$D_{\text{н.вр.}} = 2\,931\,072 \cdot \frac{40}{100} = 1\,172\,428,8 \text{ руб.}$$

в) Доплата премий – 80% от тарифной ЗП:

$$D_{\text{пр}} = Z_{\text{тар}} \cdot \frac{\Pi}{100} = 2\,931\,072 \cdot \frac{80}{100} = 2\,344\,857,6 \text{ руб.}$$

г) Доплата за работу в праздничные дни.

Принято 11 праздничных дней в году. Доплата в праздничные дни осуществляется по двойным тарифным ставкам:

$$D_{\text{пр}} = D_{\text{пр}}^5 + D_{\text{пр}}^7 + D_{\text{пр}}^{\text{сл}}$$

$$D_{\text{пр}}^i = R_{\text{яв}} * N * T_{\text{ст}}^i,$$

где N – число праздничных дней в году.

$$D_{\text{пр}}^5 = 4 \cdot 178 \cdot 11 \cdot 12 = 93\,984 \text{ руб.}$$

$$D_{\text{пр}}^7 = 2 \cdot 236 \cdot 11 \cdot 12 = 62\,304 \text{ руб.}$$

$$D_{\text{пр}}^{\text{сл}} = 2 \cdot 162 \cdot 11 \cdot 12 = 42\,768 \text{ руб.}$$

$$D_{\text{пр}} = 93\,984 + 62\,304 + 42\,768 = 199\,056 \text{ руб.}$$

д) Премия из фонда мастера – 3% от $Z_{\text{тар}}$:

$$\Phi_{\text{м}} = Z_{\text{тар}} * \frac{\Pi}{100} = 2\,931\,072 \cdot \frac{3}{100} = 87\,932,16 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 2\,931\,072 + 2\,344\,857,6 + 1\,172\,428,8 + 199\,056 + 87\,932,16 = 6\,555\,346,56 \text{ руб [35].}$$

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		104

Расчет фонда дополнительной заработной платы.

Определим процент дополнительной заработной платы:

$$П_{д.з.} = \frac{T_{от}}{T_{эф}} \cdot 100\% [35].,$$

где $T_{эф}$ – эффективное количество рабочих дней в год;

$T_{от}$ – планируемое количество дней отгулов среднесуточного рабочего.

$$П_{д.з.} = \frac{49}{136} \cdot 100\% = 36 \%$$

$$З_{дон} = З_{осн} \cdot \frac{П_{д.з.}}{100} = 6\,555\,346,56 \cdot \frac{36}{100} = 2\,359\,924,76 \text{ руб.}$$

Годовой фонд заработной платы основных рабочих:

$$З = З_{осн} + З_{дон} = 6\,555\,346,56 + 2\,359\,924,76 = 8\,915\,271,32 \text{ руб.}$$

С учетом районного коэффициента:

$$З_{осн. раб} = 7\,735\,308,94 \cdot 1,5 = 11\,602\,963,41 \text{ руб.}$$

Расчет фонда заработной платы вспомогательных рабочих.

а) Фонд ЗП вычисляем путем умножения числа штатных единиц на их месячный оклад и на число месяцев работы в году. Число месяцев работы в году для вспомогательного персонала принимаем равным 11 месяцев.

$$\Phi_{осн}^{всп.} = 1 \cdot 11 \cdot 12\,062 + 1 \cdot 11 \cdot 17\,500 + 3 \cdot 11 \cdot 15\,240 + 1 \cdot 11 \cdot 10\,000 = 938\,102 \text{ руб.}$$

б) Дополнительная ЗП вспомогательного персонала находится по формуле:

$$З_{дон}^{всп.} = \frac{\Phi_{осн}^{всп.} \cdot Д_{отп.}}{В_k}$$

где $\Phi_{осн}^{всп.}$ – основной фонд заработной платы;

$Д_{отп.}$ – календарное количество дней отпуска: для вспомогательного персонала – 28 дней;

$В_k$ – календарный год – 365 дней.

$$З_{доп.}^{всп.} = \frac{938102 \cdot 28}{365} = 71964 \text{ руб.}$$

в) Доплата премий – 80% от тарифной ЗП:

$$Д_{пр}^{всп.} = \Phi_{осн}^{всп.} \cdot \frac{\Pi}{100} = 938\,102 \cdot \frac{80}{100} = 750\,481,6 \text{ руб}$$

г) Годовой фонд заработной платы вспомогательных рабочих:

$$\Phi_{зн}^{всп.} = \Phi_{осн}^{всп.} + З_{доп}^{всп.} + Д_{пр}^{всп.} = 938\,102 + 71964 + 750\,481,6 = 1\,760\,547,6$$

руб.

С учетом районного коэффициента:

$$\Phi_{зн} = 1\,760\,547,6 \cdot 1,5 = 2\,640\,821,4 \text{ руб.}$$

Расчет годового фонда заработной платы ИТР.

Оклады должностных лиц ИТР устанавливаются в зависимости от категории цеха.

Начальник цеха – 39 095 руб.

Инженер-технолог – 22 350 руб.

Инженер по ремонту – 20 140 руб.

а) Фонд ЗП вычисляем путем умножения числа штатных единиц на их месячный оклад и на число месяцев работы в году. Число месяцев работы в году для ИТР принимаем равным 11 месяцев.

$$\Phi_{осн} = 1 \cdot 11 \cdot 39\,095 + 1 \cdot 11 \cdot 22\,350 + 1 \cdot 11 \cdot 20\,140 = 897\,435 \text{ руб.}$$

б) Дополнительная ЗП ИТР находится по формуле:

$$З_{доп.} = \frac{\Phi_{осн} \cdot Д_{отпн}}{В_{к}}$$

где $\Phi_{осн}$ – основной фонд заработной платы;

$Д_{отпн}$ – календарное количество дней отпуска: для ИТР – 30 дней;

$В_{к}$ – календарный год – 365 дней.

$$З_{доп.} = \frac{897435 \cdot 30}{365} = 73761,78 \text{ руб.}$$

в) Доплата премий – 80% от тарифной ЗП:

$$D_{np} = \Phi_{осн.} \cdot \frac{\Pi}{100} = 897\,435 \cdot \frac{80}{100} = 717\,948 \text{ руб}$$

г) Годовой фонд заработной платы ИТР:

$$\Phi_{зн} = \Phi_{осн} + Z_{дон} + D_{np} = 897\,435 + 73\,761,78 + 717\,948 = 1\,689\,144,78$$

руб.

С учетом районного коэффициента:

$$\Phi_{зн} = 1\,689\,144,78 \cdot 1,5 = 2\,533\,717,17 \text{ руб.}$$

Общий фонд заработной платы:

$$\Phi_{общ} = Z_{осн. раб} + Z_{всп. раб} + Z_{ИТР} :$$

$$11\,602\,963,41 + 2\,640\,821,4 + 2\,533\,717,17 = 16\,777\,501,98 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды:

Отчисления от заработной платы составляют 30% от $Z_{общ.}$:

$$\Phi_{страх.} = 16\,777\,501,98 \cdot 0,3 = 5\,033\,250,59 \text{ руб [35]}$$

5.3.4 Расчет капитальных затрат

Расчет капитальных затрат на строительство

Величина капитальных затрат на здание цеха и его сооружение определяется по укрупненным параметрам. Такими параметрами являются: стоимость 1 м^3 здания согласно действующим поясным ценам на строительство и стройматериалы с учетом характера здания, его размеры и назначение.

Выбираем под цех каркасное здание:

длина – 70 м,

ширина – 70 м.

высота – 12 м.

Производственная площадь – 4900 м^2 ;

Полный объем здания – 58800 м^3 .

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		107

Стоимость 1 м³ – 3600 руб;

Стоимость санитарно-технических работ составляет 500 руб./м²;

Полная стоимость здания составит:

$$C_{зд} = 58800 \cdot (3600 + 500) = 241\,080\,000 \text{ руб.}$$

Таблица 15 – Расчет стоимости основного оборудования

Наименование	Цена, тыс. руб./шт.	Количество, шт.	Сумма, тыс. руб.
Буферная емкость	120	1	120
Газовзрывопреградитель	30	1	30
Сушильная башня	300	1	300
Печь синтеза	15 000	1	15 000
Газовый холодильник	150	1	150
Абсорбционная колонна	20 000	1	20 000
Сборник кислоты	50	1	50
Санитарная башня	300	1	300
Эжектор	20	1	20
Рассольный холодильник	150	1	150
Конденсатор	15	1	15
Компрессор	20	1	20
Сборник жидкого продукта	50	1	50
Насос	40	3	120
Итого			36 325

Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования

• транспортные расходы на перевозку оборудования, заготовительно-складские работы составляют 8% от стоимости оборудования:

з

т • стоимость монтажных работ составляет 20% от стоимости оборудования:

з

м

о

$$:0,08 = 2\,906\,000 \text{ руб}$$

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		108

• стоимость специальных работ принимаем 10% от стоимости оборудования (строительство фундаментов, трубопроводов, пусконаладочных работ):

З

с Капитальные затраты на оборудование составят:

n З

к

⇒ 50 128 500 руб. Сумма капитальных затрат:

$$p \quad \Sigma Z_{\text{кап}} = C_{\text{зд}} + Z_{\text{к. об.}} = 241\,080\,000 + 50\,128\,500 = 291\,208\,500 \text{ руб. [35].}$$

о

Расчет затрат на производство

⇒ Расходы на охрану труда и технику безопасности составляют 12% от

$\Phi_{\text{общ.}}$:

$$\cdot \quad Z_{\text{o.т.}} = 16\,777\,501,98 \cdot 0,12 = 2\,013\,300,23 \text{ руб.}$$

с Затраты на текущий ремонт здания составляют 2% от стоимости здания:

$$\circ \quad Z_{\text{т.р.}} = 241\,080\,000 \cdot 0,02 = 4\,821\,600 \text{ руб.}$$

д Содержание здания (включает в себя затраты на освещение, отопление, вентиляцию) – 2% от стоимости здания:

$$\equiv \quad Z_{\text{сод.}} = 241\,080\,000 \cdot 0,02 = 4\,821\,600 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления – 3,7% от стоимости здания:

$$З \quad Z_{\text{ам.}} = 241\,080\,000 \cdot 0,037 = 8\,919\,960 \text{ руб.}$$

руб Сумма затрат на содержание и эксплуатацию здания составляет:

$$p \quad \Sigma Z = 4\,821\,600 + 4\,821\,600 + 8\,919\,960 + 2\,013\,300,23 = 20\,576\,460,2 \text{ руб.}$$

а Текущий ремонт производственного оборудования обходится в 7% от стоимости оборудования:

· З

т

+

р

З					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
						109
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Отчисления на амортизацию оборудования – 10% от стоимости оборудования:

з

а Расходы на содержание оборудования составляют 3% от стоимости оборудования:

з

с Сумма расходов на содержание и эксплуатацию оборудования составляет:

$$z_{0,1} = 3\,632\,500 + 3\,632\,500 + 1\,089\,750 = 7\,265\,000 \text{ руб.}$$

Таким образом, общепроизводственные расходы составят:

$$z_{\text{общ.}} = 20\,576\,460,2 + 7\,265\,000 = 27\,841\,460,2 \text{ руб.} [35].$$

5.3.5 Расчет технологических затрат

Расчет затрат на электроэнергию

$$z_{0,03} = 1\,089\,750 \text{ руб.}$$

$$z_{\text{эн.}} = T_{\text{э}} \cdot N_m \cdot T_{\text{р. об.}},$$

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

N_m – суммарная мощность электродвигателей, кВт (125 кВт);

$T_{\text{р. об.}}$ – время работы оборудования в год, час (8173 час.).

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

Расчет затрат на воду

$$z_{\text{вод.}} = T_{\text{в}} \cdot T_{\text{р. об.}} \cdot B, \text{ где}$$

$T_{\text{в.}}$ – стоимость 1 м³ воды, руб. (4 руб/м³);

B – часовой расход воды, м³ (1084 м³).

$$z_{\text{вод.}} = 4 \cdot 8173 \cdot 1084 = 35\,438\,128 \text{ руб.}$$

Расчет затрат на хлор технический

$$z_{\text{ц. н.}} = T_{\text{к}} \cdot K, \text{ где}$$

$T_{\text{к}}$ – стоимость 1 т хлора технического, руб. (283 980 руб.);

K – годовой расход хлора технического, тонны (4675 т).

$$Z_{ц.н.} = 283\,980 \cdot 4675 = 1\,327\,634\,000 \text{ руб.}$$

Расчет затрат на водород технический

$$Z_{ц.н.} = T_k \cdot K, \text{ где}$$

T_k – стоимость 1т водорода технического, руб. (1 080 000 руб.);

K – годовой расход водорода технического, тонны (261,6 т).

$$Z_{ц.н.} = 1\,080\,000 \cdot 261,6 = 282\,458\,880 \text{ руб.}$$

Расчет затрат на освещение

$$Z_{осв.} = T_{Э} \cdot N_T \cdot T_{р. об.},$$

$N_T = 115$ кВт – суммарная мощность всего электрооборудования,

$$Z_{осв.} = 0,974 \cdot 115 \cdot 8173 = 915\,458 \text{ руб}$$

Калькуляция себестоимости получения 1 т соляной кислоты

Сумма цеховой себестоимости и общезаводских расходов составляет общезаводскую себестоимость:

$$C_{об. зав.} = C_{цех.} + Z_{об. зав.},$$

где $C_{цех.}$ – цеховая себестоимость (складывается из суммы условно-переменных и условно-постоянных затрат);

$Z_{об.зав.}$ – общезаводские расходы (составляют 10 % от цеховой себестоимости).

Калькуляция себестоимости приведена в таблице 16 [35,36].

Таблица 16 – Проектная калькуляция себестоимости получения 1 тонны соляной кислоты (Q=189662 т).

Статьи расходов	Ед. измер	Затраты на производство ГП	
		На 1 т ГП	На N год
Затраты на сырье: Хлор технический Водород технический	т т	7000 1489,27	1327 634 000 282 458 880
Технологические затраты: Электроэнергия Н ₂ O	кВт·ч м ³	5,24 186,84	995 063 35 438 128
Итого условно-переменные затраты	руб.	8681,37	1646 526 071
Фонд ЗП рабочих (осн. и всп.)	руб.	75,1	14 243 784,81
Отчисления на соц. нужды (общ)	руб.	26,53	5 033 250,59
Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования: —амортизация обор-ия; —тек. и кап. ремонт; —содержание обор-ия;	руб. руб. руб.	38,29 19,15 13,40 5,74	7 265 000 3 632 500 2 542 750 1089 750
Цеховые расходы: — на содержание здания; —амортизация здания; —тек. и кап. ремонт; —ЗП ИТР, служ. и МОП; —расходы на ОТ и ТБ	руб. руб. руб. руб. руб.	25,42 47,03 25,42 13,36 10,61	23 109 817,4 4 821 600 8 919 960 4 821 600 2 533 717,17 2 013 300,23
Итого условно-постоянные затраты	руб.	160,15	30 374 817,4
Цеховая себестоимость	руб.	8941,1	1676 900 888,4
Общезаводские расходы, 10% от цеховой себестоимости	руб.	894,1	167 690 088,8
Коммерческие расходы	руб.	89,4	16 769 008,8
Полная себестоимость	руб.	9814	1882 319 485,2
Условно переменные затраты	руб.	8681,37	1646 526 071
Условно постоянные затраты	руб.	1132,72	214 833 915

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Определение цены 1 т готовой продукции

Цену продукта определяем по формуле:

$$Ц = C \cdot (1 + P/100),$$

где C – полная себестоимость единицы готовой продукции;

P – рентабельность продукции (%).

Рентабельность продукции можно принять от 10% до 25%.

$$Ц = 9\,814 \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) = 10\,795 \text{ руб.}$$

5.3.6. Экономическая оценка эффективности проекта

Выручка составит [36]:

$$Пр_{об} = Ц \cdot V_{пр} = 10\,795 \cdot 189\,662 = 2\,047\,477\,155 \text{ руб.}$$

Следовательно, балансовая прибыль составит [36]:

$$Пр_{бал} = Пр_{об} - C = 2\,047\,477\,155 - 1\,882\,319\,485,2 = 165\,157\,669,6 \text{ руб.}$$

Определим чистую прибыль производства:

$$Пр_{чист} = Пр_{бал} - 0,20 \times Пр_{бал} \text{ [36]}$$

$$Пр_{чист} = 165\,157\,669,6 - 0,20 \times 188\,351\,145,1 = 132\,126\,135,7 \text{ руб.}$$

По формуле находим точку безубыточности и сравниваем с графиком.

$$Q = Z_{ном} / (Ц - Z_{пер}) = 214\,833\,915 / (10\,795 - 8681,37) = 101\,642 \text{ тонн.}$$

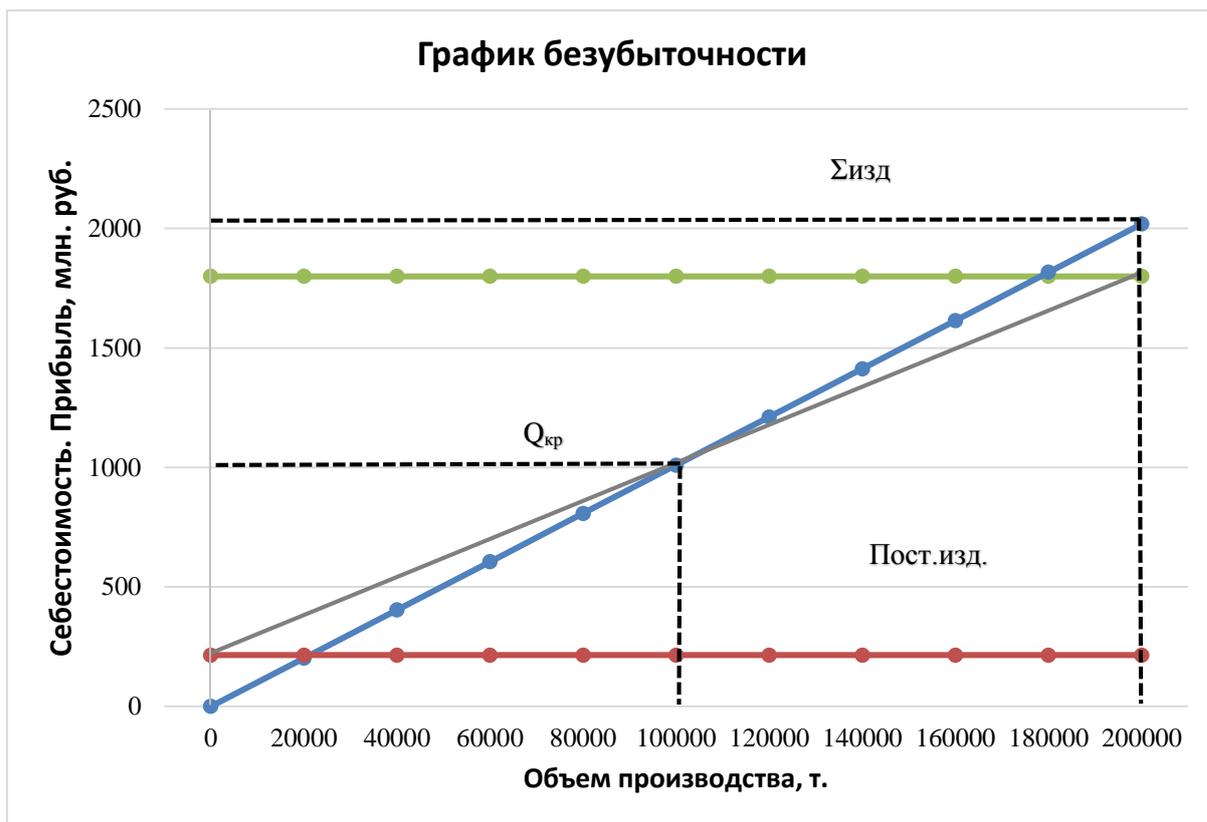


Рисунок 14. График безубыточности

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Таблица 17 – Технико-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Отчетный год
1. Объем производства	тыс. т	189,6
2. Объем продаж	тыс. т	189,6
3. Цена 1 тонны	руб.	10 795
4. Выручка от продажи (2*3)	тыс. руб.	2 047 477,1
5. Суммарные издержки	тыс. руб.	1 882 319,4
5.1.Издержки переменные	тыс. руб.	1 646 526
5.2.Издержки постоянные	тыс. руб.	214 833,9
6. Операционная прибыль (4–5)	тыс. руб.	165 157,7
7. Налог на прибыль (6*20%)	тыс. руб.	33 031,54
8. Чистая прибыль (6–7)	тыс. руб.	132 126,16
9. Себестоимость 1 тонны	руб.	9 814
10. Стоимость основных средств	тыс. руб.	36 325
11. Численность основных рабочих	чел.	20
12. Фондовооруженность (10/11)	тыс. руб./чел.	1 816,25
13. Фондоотдача (4/10)	руб./руб.	56,36
14. Фондоемкость (10/4)	руб./руб.	0,02
15. Производительность труда (4/11)	тыс. руб./чел.	102 373,8
16. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	7,01
17. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	6,45
18. Критический объем продаж (Q _{кр.})	тыс. т	101,642
19. Критический объем продаж (Q _{кр.})	тыс. руб.	1 097 225,3

Заключение

В ходе данной работы провел технологический расчет насадочного абсорбера для поглощения хлороводород-газа водой. Были рассчитаны основные геометрические размеры аппарата: $D = 2,6 \text{ м}$, $H = 6 \text{ м}$. Также провел конструктивно-механический расчет аппарата, в ходе которого были подобраны штуцера, люки, фланцы, распределительная тарелка ТСН-3, опорная решетка, опорная обечайка. Аппарат был рассчитан на прочность и устойчивость. Подобранные элементы оборудования полностью удовлетворяют условиям прочности и устойчивости. Дополнительно был проведен расчет вспомогательного оборудования – насоса. Был подобран насос марки - Х90/33 с производительностью $Q = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$.

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены вопросы обеспечения охраны окружающей среды и безопасной работы персонала.

Также, в данной работе был проведен технико-экономический расчет и построен график безубыточности. Точка безубыточности находится на отметке $Q_{кр} = 101642 \text{ т}$.

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	Лист
						116
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Список использованных источников

1. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию - 5-е изд., стереотипное. - М.: ООО ИД «Альянс», 2010. — 496 с.
2. Иоффе И. Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии. Л.: Химия, 1991. – 352 с.
3. Гутник С.П., Сосонко В. Е., Гутман В. Д. Расчёты по технологии органического синтеза: Учебное пособие для техникумов. - М.: Химия, 1988. – 252 с.
4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учебное пособие для вузов — 14-е изд., стереотипное. - М.: ООО ИД «Альянс», 2007. — 576 с.
5. Беляев В.М., Миронов В.М. Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли. Ч.1: Тонкостенные сосуды и аппараты химических производств: Учебное пособие. – Изд-во Томского политехнического университета, - 2011. – 300 с.
6. Фролов К.В. Требования, предъявляемые к конструкционным материалам. Конструкционные материалы: Учебное пособие для техникумов. - М.: Химия, 1999 – 237 с.
7. Баранник В.П. Краткий справочник по коррозии (химическая стойкость материалов). Москва, Ленинград: ГНТИХЛ, 1953. – 455 с.
8. ГОСТ Р 52857.1-2007, Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 2008. – 23 с.

9. Перри Дж.Г. Справочник инженера-химика. Том 1. (Chemical Engineers' Handbook, 1963) Перевод с четвертого английского издания под общей редакцией Н.М. Жаворонкова и П.Г. Романкова. Ленинград: Изд-во «Химия», 1969. – 724 с.
10. ГОСТ Р 52857.2-2007, Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек. М.: Изд-во стандартов, 2008. – 41 с.
11. ГОСТ 19903-74, Прокат листовой горячекатаный. Сортамент (с изменениями N 1-6). М.: Изд-во стандартов, 1976. – 40 с.
12. ГОСТ 6533-78, Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. М.: Изд-во стандартов, 1978. – 26 с.
13. ГОСТ 24306-80, Сосуды и аппараты стальные сварные. Технические требования. М.: Изд-во стандартов, 1981. – 46 с.
14. Лацинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник — 3-е изд., стереотипное. М.: ООО ИД «Альянс», 2008. — 752 с.
15. ОСТ 26-291-94, Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия (С Изменениями N 1, 2). М.: Изд-во стандартов, 1996. – 50 с.
16. АТК 24.218.06-90, Штуцера для сосудов и аппаратов стальных сварных типы, основные параметры, размеры и общие технические требования. М.: Изд-во стандартов, 1990. – 46 с.
17. ГОСТ 12820-80, Фланцы стальные плоские приварные на Ру от 0,1 до 2,5 МПа (от 1 до 25 кгс/см²), конструкция и размеры, М.: Изд-во стандартов, 1981. – 12 с.

18. ОСТ 26-2094-83, Люки с фланцами и крышками, облицованными листом из коррозионностойкой стали, стальных сварных сосудов и аппаратов. Конструкция и размеры, М.: Изд-во стандартов, 2003. – 30 с.
19. ГОСТ 52857.4-2007, Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений. М.: Изд-во стандартов, 2008. – 37 с.
20. Михалев М.Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи. М.: изд-во Ленинград «Машиностроение», 1984. — 299 с.
21. СТО 0041-2004, Конструкции стальные строительные. Болтовые соединения. Проектирование и расчет, М.: ИД «Москва», 2004. – 16 с.
22. ГОСТ 481-80, Паронит и прокладки из него. Технические условия, М.: ИД «Москва», 2004. – 16 с.
23. Коптев А.А., Коптева В.Б. Фланцевые соединения: конструкции, размеры, расчет на прочность. Методические указания, Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 24 с.
24. ОСТ 26-02-601-72, Решетки опорные под насадки кольцевые. Основные размеры и технические требования, М.: Изд-во стандартов, 1985. – 18 с.
25. Семакина О.К., Машины и аппараты химических производств: учебное пособие / Томский политехнический университет. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. - 127 с.
26. ГОСТ Р 51273-99, Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Определение расчетных усилий для аппаратов колонного

типа от ветровых нагрузок и сейсмических воздействий, М.: Изд-во стандартов, 2009. – 12 с.

27. АТК 24.200.04-90, Опоры цилиндрические и конические вертикальных аппаратов типы и основные размеры, М.: Изд-во стандартов, 1990. – 30 с.
28. Кушелев В.П. Основы техники безопасности на предприятиях химической промышленности. – Л.: Химия, 1977 – 279 с.
29. Конституция Российской Федерации (по состоянию на 30 декабря 2008 года) – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2008.
30. «Правила пожарной безопасности в Российской Федерации». от 18 июня 2003 г.
31. СНиП 2.04.09-84 «Пожарная автоматика зданий и сооружений»;
32. Иванников В. П., Ключ П. П. Справочник руководителя тушения пожара. — М.: Стройиздат, 1987. — 288 с.
33. СНиП 2.04.01-85 «Внутренний водопровод и канализация»;
34. СНиП 2.04.02-84 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения»;
35. Бизнес-план. Методические материалы. Изд.-3 – М.: Финансы и статистика, 2001. – 208 с.
36. Станиславчик Е.Н. Финансовый анализ инвестиционного проекта – М.: Ось-98, 2000. – 96 с.
37. Рыжакина Т.Г., Экономика и управление производством, расчет экономического эффекта дипломного проекта. Методические указания к выполнению экономической части дипломного проекта для студентов ИПР заочной форм обучения. 2011. – 35 с.
38. ГОСТ 5632-72, Стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные, М.: Изд-во стандартов, 1973. – 60 с.

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		120

39. ГОСТ 22353-77, Болты высокопрочные класса точности В. Конструкция и размеры, М.: Изд-во стандартов, 1977. – 5 с.
40. ГОСТ 22356-77, Болты и гайки высокопрочные и шайбы. Общие технические условия, М.: Изд-во стандартов, 1977. – 9 с.
41. ОСТ 26-705-79, Тарелки ТСН-2 и ТСН-3 колонных аппаратов. Конструкция и размеры, М.: Изд-во стандартов, 1979. – 20 с.

					ФЮРА РООУПСК 000 000 ПЗ	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		121