

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

---

Институт электронного обучения

Направление подготовки 18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Кафедра общей химии и химической технологии

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
Трехкорпусная вакуум-выпарная установка с разработкой выпарного аппарата с выносной греющей камерой.

УДК 66.048.5-957

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К22	Гуляндин Евгений Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семакина Ольга Константиновна	К.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романцов Игорь Иванович	К.Т.Н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ан В.В.	К.Т.Н., ДОЦЕНТ		

Томск – 2017 г.

**Перечень результатов обучения (профессиональных и универсальных компетенций), запланированных к достижению выпускниками данной образовательной программы**

<b>Код результата</b>	<b>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</b>	<b>Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон</b>
<i><b>Профессиональные компетенции</b></i>		
P1	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)
P2	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)
P3	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)
P4	Проектировать и использовать новое энерго-и ресурсосберегающих процессов и оборудования химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-8,11,23,24), Критерий 5 АИОР (п.1.3)
P5	Проводить теоретические и экспериментальные исследования в области энерго-и ресурсосберегающих процессов и оборудования химической технологии, нефтехимии и биотехнологии	Требования ФГОС (ПК-1,4,5,19-22 ОК-7,10), Критерий 5 АИОР (п.1.4)
P6	Осваивать и эксплуатировать современное высокотехнологичное оборудование, обеспечивать его высокую эффективность и надежность, соблюдать правила охраны 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)
P7	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 EUR-ACE и FEANI
<b>Код результата</b>	<b>Результат обучения (выпускник должен быть готов)</b>	<b>Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон</b>

		<b>сторон</b>
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)
<b>Общекультурные компетенции</b>		
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 течении всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-6,7,8), Критерий 5 АИОР (п.2.6)
P11	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющим 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 «ЭльПласт», ООО «Сибметахим, ОАО «Фармстандарт–Томскхимфарм», и др.).
Ц2	Подготовка выпускников к проектной деятельности в области энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Требования к выпускникам предприятий химического комплекса России (ОАО «ТомскНИПИнефть», ОАО НК «РОСНефть», г. Краснодар, ОАО «Самаранефтехимпроект,

Код цели	Формулировка цели	Требования ФГОС ВПО и (или) заинтересованных работодателей
		ЭЛЕСИ и др.).
Ц3	Подготовка выпускников к научным исследованиям для решения задач, связанных с разработкой новых методов создания процессов, материалов и оборудования, обеспечивающих энерго-ресурсосбережение, экологическую безопасность технологи.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Потребности научно-исследовательских центров РАН, СО РАН (ТПУ, ТГУ, Институт химии нефти СО РАН, Институт катализа СО РАН, г. Новосибирск, НИОСТ, ООО НПЦ «НООСФЕРА», г. Надым и др).
Ц4	Подготовка выпускников к организационно-управленческой деятельности.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI, запросы отечественных предприятий и НИИ.
Ц5	Подготовка выпускников к самообучению и непрерывному профессиональному самосовершенствованию.	Требования ФГОС ВПО, критерии АИОР, соответствующие международным стандартам EUR-ACE и FEANI , запросы отечественных предприятий и НИИ..

## Форма задания на выполнение выпускной квалификационной работы

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

Институт электронного обучения

Направление подготовки 18.03.02 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:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К22	Гуляндин Евгений Сергеевич

Тема работы:

Трехкорпусная вакуум-выпарная установка с разработкой выпарного аппарата с выносной греющей камерой.

Утверждена приказом директора (дата, номер)

2840/С от 19.04.2017

Срок сдачи студентом выполненной работы:

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

#### Исходные данные к работе

*(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*

РАСЧЕТ ВЫПАРНОГО АППАРАТА С ВЫНОСНОЙ ГРЕЮЩЕЙ КАМЕРОЙ  
Производительность по хлорид натрия(NaCl), 11т/ч  
Концентрация раствора Хн, 6 %  
Концентрация раствора Хк, 20 %  
Давление греющего пара, 0,8Мпа  
Давление в аппарате, 0,413 Мпа  
Начальная температура раствора, 20°С  
Температура раствора в аппарате, 169,9 °С  
Коэффициент теплопередачи K=900 Вт/(м<sup>2</sup>К)  
Размер труб греющей камеры 38x2мм

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Основные конструктивные особенности выпарной установки с выносной греющей камерой. Достоинства – недостатки.</p>
--	---

<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Лист 1. Технологическая схема; Лист 2. Общий вид выпарного аппарата; Лист 3. Выносные элементы выпарного аппарата; Лист 4. Техничко-экономические показатели;</p>
--	--

<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
---	--

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Романцов Игорь Иванович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Татьяна Гавриловна

<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>

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

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семакина Ольга Константиновна	к.т.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К22	Гуляндин Евгений Сергеевич		

## **Аннотация**

Тема диплома: Трехкорпусная вакуум-выпарная установка с разработкой выпарного аппарата с выносной греющей камерой.

В обзоре литературы рассмотрены нахождение в природе и производство, применение, структура, а так же физические и физико-химические свойства.

В экспериментальной части выявлена цель исследования.

В дипломном проекте разработана технологическая схема выпарной установки по выпариванию водного раствора NaCl. При этом рассчитаны и сконструированы следующие основные технологические аппараты: выпарной аппарат с выносной греющей камерой.

Описаны мероприятия по социальной ответственности в производстве продуктов NaCl.

Произведен расчет технико-экономической эффективности инвестиционного проекта производства NaCl.

## Annotation

Theme of the diploma: A three-body vacuum-evaporation plant with the development of a vaporizer with a remote heating chamber.

In the review of the literature, the finding in nature and production, application, structure, as well as physical and physicochemical properties are considered.

In the experimental part, the goal of the study was identified.

In the diploma project, a technological scheme of the evaporator has been developed for evaporation of an aqueous solution of NaCl. At the same time, the following main technological devices were designed and constructed: an evaporator with a remote heating chamber.

Measures for social responsibility in the production of NaCl products are described.

The calculation of the technical and economic efficiency of the NaCl investment project was made.



Содержание	
Введение .....	11
1 Обзор литературы.....	14
1.1 Нахождение в природе и производство.....	14
1.2 Применение.....	17
1.3 Физические и физико-химические свойства.....	18
1.4 Структура.....	19
2 Цель исследования.....	19
3 Разработка аппаратурно-технологической схемы установки получения хлорид натрия.....	20
3.1 Основная часть.....	20
3.2 Выбор выпарных аппаратов.....	21
4 Конструирование и расчет оборудования.....	23
4.1 Исходные данные для расчета.....	23
4.2 Определение поверхности теплопередачи выпарного аппарата.....	24
4.2.1 Материальный расчет.....	24
4.2.2 Тепловой расчет.....	24
4.2.3 Расчет коэффициентов и построение нагрузочных кривых.....	28
4.2.4 Расчет поверхностей нагревательных камер.....	32
4.3 Определение толщины тепловой изоляции.....	35
4.4 Конструктивно - механический расчет.....	36
4.4.1 Определение числа греющих труб.....	36
4.4.2 Определение диаметра греющей камеры.....	36
4.4.3 Определение размеров парового пространства.....	36
4.4.4 Определение диаметра штуцеров.....	37
4.5 Механический расчет выносной греющей камеры.....	39
4.5.1 Расчет кожуха греющей камер.....	39
4.5.2 Расчет днища (крышки)греющей камеры.....	41
4.5.3 Расчет трубной решетки.....	44
4.6 Расчет сепарационного пространства.....	46
4.6.1 Расчет выпуклых днищ и крышек.....	48
4.6.2 Расчет конических обечаек.....	49
4.7 Расчет фланцевого соединения крышки с цилиндрической обечайкой греющей камеры.....	53
4.7.1 Определение расчетных параметров.....	54
4.7.2 Проверка прочности болтов и прокладки.....	60
4.7.3 Расчет фланцев на статическую прочность.....	60
4.8 Укрепление отверстий.....	63
4.9 Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок.....	66
5 Расчет барометрического конденсатора.....	73
5.1 Расход охлаждающей воды.....	73
5.2 Диаметр конденсатора.....	73
5.3 Высота барометрической трубы.....	73

5.4 Расчет производительность вакуум-насоса.....	74
6 Расчет вспомогательного оборудования.....	75
6.1 Подбор подогревателя исходной смеси.....	75
6.2 Подбор центробежного насоса.....	75
6.3 Подбор емкости.....	77
7 Социальная ответственность.....	78
7.1 Характеристика работы оборудования.....	80
7.2 Характеристика помещения.....	80
7.3 Метеоусловия.....	81
7.4 Система вентиляции.....	81
7.5 Освещение.....	82
7.6 Производственная безопасность.....	83
7.7 Электробезопасность.....	86
7.8 Безопасность в ЧС.....	88
7.9 Экологическая безопасность.....	88
8 Экономический раздел.....	90
8.1 Потенциальные потребители .....	92
8.2 SWOT-анализ.....	92
8.3 Оценка экономической эффективности.....	99
9 Вывод.....	122
10 Список литературы.....	123

## **Введение**

Современная промышленность характеризуется весьма большим числом разнообразных производств, различающихся условиями протекания технологических процессов и многообразием физико-химических свойств перерабатываемых веществ и выпускаемой продукции. Вместе с тем технологические процессы различных производств, представляют собой комбинацию сравнительно небольшого числа типовых процессов (нагревание, охлаждение, выпаривание и т. д.) При кипении растворов нелетучих веществ (например, растворов солей, щелочей, органических веществ с очень низким давлением паров при температуре кипения и т.п.э в пары переходит практически только растворитель. По мере его испарения и удаления в виде паров концентрация раствора повышается. Процесс концентрирования растворов, заключающийся в частичном удалении растворителя путем его испарения при кипении, называется выпариванием .

Испарение при температурах ниже температуры кипения данного раствора происходит с его поверхности, в то время как при кипении растворитель испаряется во всем объеме кипящего растворителя из раствора.

Обычно из раствора удаляют лишь часть растворителя, так как в применяемых для выпаривания аппаратах вещество должно оставаться в текучем состоянии. В ряде случаев при выпаривании растворов твердых веществ достигается насыщение раствора. При дальнейшем удалении растворителя из такого раствора происходит кристаллизация, т.е. выделение из него твердого вещества.

Процесс выпаривания широко применяется для повышения концентрации разбавленных растворов, выделения из них растворенных веществ путем кристаллизации, а иногда – для выделения растворителя (например, при получении питьевой или технической воды в выпарных опреснительных установках) .

Для осуществления процесса выпаривания необходимо теплоту от теплоносителя передать кипящему раствору, что возможно лишь при наличии разности температур между ними. При анализе и расчете процесса выпаривания эту разность температур между теплоносителем и кипящим

раствором принято называть полезной разностью температур. В качестве теплоносителя в выпарных аппаратах чаще всего используют насыщенный водяной пар, который называют греющим или первичным, хотя, конечно, для этой цели могут быть применены и другие виды нагрева, и другие теплоносители.

Таким образом, выпаривание является типичным процессом переноса теплоты от более нагретого теплоносителя - греющего пара – к кипящему раствору. Основные отличия процесса выпаривания, вследствие которых выпаривание в ряду тепловых процессов выделяют в самостоятельный раздел, заключаются в особенностях его аппаратного оформления и методе расчета выпарных установок.

Выпаривание проводят при атмосферном давлении, под вакуумом или под давлением, большим атмосферного. Образующийся при выпаривании растворов пар называется вторичным, или соковым .

Выпаривание под вакуумом имеет ряд преимуществ по сравнению с атмосферной выпаркой: снижается температура кипения раствора, что дает возможность использовать этот способ для выпаривания растворов термически нестойких веществ; повышается полезная разность температур, что ведет к снижению требуемой поверхности теплопередачи выпарного аппарата; несколько снижаются потери теплоты в окружающую среду (так как снижается температура стенки аппарата); появляется возможность использования теплоносителя низкого потенциала. К недостаткам выпаривания под вакуумом относятся удорожание установки (так как требуется дополнительное оборудование – конденсатор, вакуум–насос и др.), а также несколько больший расход греющего пара на 1 кг выпариваемой жидкости (вследствие снижения давления над раствором происходит увеличение теплоты испарения растворителя).

При выпаривании под повышенным давлением (выше атмосферного) вторичный пар может быть использован в качестве греющего агента для различных технологических нужд.

В случае, если в выпарной установке имеется один выпарной аппарат, такую установку называют однокорпусной. Если же в установке имеются два и

более последовательно соединенных корпусов, то такую установку называют многокорпусной. В этом случае вторичный пар одного корпуса используют для нагревания в других выпарных аппаратах той же установки, что приводит к существенной экономии свежего греющего пара. Вторичный пар, отбираемый из выпарной установки для других нужд, называют экстра-паром. В многокорпусной выпарной установке свежий пар подают только в первый корпус. Из первого корпуса образовавшийся вторичный пар поступает во второй корпус этой же установки в качестве греющего, в свою очередь вторичный пар второго корпуса поступает в третий корпус в качестве греющего и т.д.

При больших производительностях (от нескольких кубических метров выпариваемого раствора в час и выше), что характерно для промышленности, выпаривание проводят по непрерывному принципу. В аппаратах непрерывного действия обычно создают условия для интенсивной циркуляции раствора, т.е. в таких аппаратах гидродинамическая структура потоков близка к модели идеального смешения. Поэтому концентрация раствора в таких аппаратах ближе к конечной, что приводит к ухудшению условий теплопередачи (так, с повышением концентрации раствора увеличивается его вязкость и, следовательно, снижается коэффициент теплоотдачи от стенки к раствору) .

## **1 Обзор литературы.**

Хлорид натрия или хлористый натрий (NaCl) — натриевая соль соляной кислоты. Известен в быту под названием поваренной соли, основным компонентом которой и является. Хлорид натрия в значительном количестве содержится в морской воде, придавая ей солёный вкус. Встречается в природе в виде минерала галита (каменной соли). Чистый хлорид натрия представляет собой бесцветные кристаллы, но с различными примесями его цвет может принимать голубой, фиолетовый, розовый, жёлтый или серый оттенок. [1]

### **1.1 Нахождение в природе и производство.**

В природе хлорид натрия встречается в виде минерала галита, который образует залежи каменной соли среди осадочных горных пород, прослойки и линзы на берегах солёных озёр и лиманов, соляные корки в солончаках и на стенках кратеров вулканов и в сольфатарах. Огромное количество хлорида натрия растворено в морской воде. Мировой океан содержит  $4 \times 10^{15}$  тонн NaCl, то есть из каждой тысячи тонн морской воды можно получить в среднем 1,3 тонны хлорида натрия. Следы NaCl постоянно содержатся в атмосфере в результате испарения брызг морской воды. В облаках на высоте полтора километра 30 % капель, больших 10 мкм по размеру, содержат NaCl. Также он найден в кристаллах снега.

Наиболее вероятно, что первое знакомство человека с солью произошло в лагунах тёплых морей или на соляных озёрах, где на мелководье солёная вода интенсивно испарялась под действием высокой температуры и ветра, а в осадке накапливалась соль. По образному выражению Пифагора, «соль была рождена благородными родителями: солнцем и морем».

#### **Галит**

В природе хлорид натрия чаще всего встречается в виде минерала галита. Он имеет гранецентрированную кубическую решётку и содержит 39,34 % Na, 60,66 % Cl. Другими химическими элементами, входящими в состав примесей, являются: Br, N, H, Mn, Cu, Ga, As, I, Ag, Ba, Tl, Pb, K, Ca, S, O. Плотность 2,1—2,2 г / см<sup>3</sup>, а твёрдость по шкале Мооса — 2. Бесцветный прозрачный минерал со стеклянным блеском. Распространённый минерал соленосных толщ. Образуется при осаждении в замкнутых водоёмах, а также как продукт сгона на стенках кратеров вулканов. Составляет пласты в осадочных породах лагунных и морских фаций, штокоподобные тела в соляных куполах и тому подобных.

#### **Каменная соль**

Каменной солью называют осадочную горную породу из группы эвапоритов, состоящую более чем на 90 % из галита. Галит также часто называют каменной солью. Эта осадочная горная порода может быть бесцветной или снежно-белой, но чаще она окрашена примесями глин, талька (серый цвет), оксидами и гидроксидами железа (жёлтый, оранжевый, розовый, красный), битумами

(бурая). Каменная соль содержит хлориды и сульфаты натрия, калия, магния и кальция, бромиды, иодиды, бораты, гипс, примеси карбонатно-глинистого материала, доломита, анкериту, магнезита, битумов и так далее.

По условиям формирования месторождений каменную соль подразделяют на следующие виды:

- рассолы современных соляных бассейнов
- соляные подземные воды
- залежи минеральных солей современных соляных бассейнов
- ископаемые залежи (важнейшие для промышленности).

### Морская соль

Морская соль является смесью солей (хлориды, карбонаты, сульфаты и т. д.), образующейся при полном испарении морской воды. Среднее содержание солей в морской воде составляет:

Соединение	Масс. доля, %
NaCl	77,8
MgCl <sub>2</sub>	10,9
MgSO <sub>4</sub>	4,7
KCl	2,5
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2,5
CaCO <sub>3</sub>	0,3
Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,3
другие соли	0,2

При испарении морской воды при температуре от +20 до +35 °С в осадке сначала кристаллизуются наименее растворимые соли — карбонаты кальция и магния и сульфат кальция. Затем выпадают более растворимые сульфаты натрия и магния, хлориды натрия, калия и магния, и после них — сульфаты калия и магния. Последовательность кристаллизации солей и состав осадка может несколько варьироваться в зависимости от температуры, скорости испарения и других условий. В промышленности морскую соль получают из морской воды, в основном методом обычного выпаривания. Она отличается от каменной соли значительно большим содержанием других химических солей, минералов и различных микроэлементов, в первую очередь йода, калия, магния и марганца. Соответственно, она отличается от хлорида натрия и по вкусу — горько-солёный привкус ей придают соли магния. Она используется в медицине: при лечении кожных заболеваний, таких как псориаз. Как лечебное вещество в аптечной и обычной торговой сети, распространённым продуктом является соль из Мёртвого моря. В очищенном виде этот вид соли также предлагается в продуктовой торговой сети — как натуральная и богатая йодом пищевая.

## **Залежи**

Залежи каменной соли найдены во всех геологических системах. Важнейшие из них сосредоточены в кембрийских, девонских, пермских и третичных отложениях. Каменная соль составляет мощные пластовые залежи и ядра сводчатых структур (соляных куполов и штоков), образует прослойки, линзы, гнезда и вкрапления в других породах<sup>[4]</sup>. Среди озёрных месторождений России крупнейшие — Эльтонское, Баскунчак в Прикаспии, Кучукское озеро, Кулундинское озеро, Эбейты и другие озёра в Западной Сибири.

## **Производство**

В древности технология добычи соли заключалась в том, что соляную рапу (раствор) вытаскивали лошадиным приводом из шахт, которые назывались «колодцами» или «окнами», и были достаточно глубокими — 60—90 м. Извлечённый солевой раствор выливали в особый резервуар — творило, откуда она через отверстия стекала в нижний резервуар, и системой жёлобов подавалась в деревянные башни. Там её разливали в большие чаны, на которых соль вываривали.

На Руси поморы вываривали соль на побережье Белого моря и называли её морянка. В 1137 году новгородский князь Святослав определил налог на соляные варницы:

« ...на мори от чрена и от салгы по пузу... »

Беломорской солью, называемой «морянкой», торговали по всей Российской империи до начала XX века, пока её не вытеснила более дешёвая поволжская соль.

Современная добыча хлорида натрия механизирована и автоматизирована. Соль массово добывается выпариванием морской воды (тогда её называют морской солью) или рассола с других ресурсов, таких как соляные источники и соляные озера, а также разработкой соляных шахт и добычей каменной соли. Для добычи хлорида натрия из морской воды необходимы условия жаркого климата с низкой влажностью воздуха, наличие значительных низменных территорий, лежащих ниже уровня моря, или затопляемых приливом, слабая водопроницаемость почвы испарительных бассейнов, малое количество осадков в течение сезона активного испарения, отсутствие влияния пресных речных вод и наличие развитой транспортной инфраструктуры.

Мировое производство соли в 2009 году оценивается в 260 миллионов тонн. Крупнейшими мировыми производителями являются Китай (60,0 млн тонн), США (46,0 млн тонн), Германия (16,5 млн тонн), Индия (15,8 млн тонн) и Канада (14 млн тонн). [1]



## 1.2 Применение.

### В пищевой промышленности и кулинарии



Соль поваренная



В пищевой промышленности и кулинарии используют хлорид натрия, чистота которого должна быть не менее 97 %. Его применяют как вкусовую добавку и для консервирования пищевых продуктов. Такой хлорид натрия имеет товарное название поваренная соль, порой также употребляются названия пищевая, столовая, а также уточнение названия в зависимости от её происхождения — каменная, морская, и по составу добавок — йодированная, фторированная и т. д. Такая соль является кристаллическим сыпучим продуктом с солёным вкусом без привкуса, без запаха (за исключением йодированной соли), в котором не допускаются посторонние примеси, не связанные с методом добывания соли. Кроме хлорида натрия, поваренная соль содержит небольшое количество солей кальция, магния, калия, которые придают ей гигроскопичности и жёсткости. Чем меньше этих примесей в соли, тем выше её качество.

Выделяют сорта: экстра, высший, первый и второй. Массовая доля хлористого натрия в сортах, %:

- экстра — не менее 99,5;
- высший — 98,2;
- первый — 97,5;
- второй — 97,0.

Массовая доля влаги в выварочной соли сорта «экстра» 0,1 %, в высшем сорте — 0,7 %. Допускают добавки йодида калия (йодистого калия), йодата калия, фторидов калия и натрия. Массовая доля йода должна составлять  $(40,0 \pm 15,0) \times 10^{-4}$  %, фтора  $(25,0 \pm 5,0) \times 10^{-3}$  %. Цвет экстра и высшего сортов — белый, однако для первого и второго допускается серый, желтоватый, розовый и голубоватый оттенки в зависимости от происхождения соли. Пищевую поваренную соль производят молотой и сеяной. По размеру зёрен молотую соль подразделяют на номера: 0, 1, 2, 3. Чем больше номер, тем больше зерна соли.

В кулинарии хлорид натрия потребляют как важнейшую приправу. Соль имеет характерный вкус, без которого пища кажется человеку пресной. Такая

особенность соли обусловлена физиологией человека. Однако зачастую люди потребляют соли больше, чем нужно для физиологических процессов.

Хлорид натрия имеет слабые антисептические свойства — 10-15%-ное содержание соли предотвращает размножение гнилостных бактерий. Этот факт обуславливает её широкое применение как консерванта. [1]

### 1.3 Физические и физико-химические свойства.

Температура плавления +800,8 °С, кипения +1465 °С.

Умеренно растворяется в воде, растворимость мало зависит от температуры: коэффициент растворимости NaCl (в граммах на 100 г воды) равен 35,9 при +21 °С и 38,1 при +80 °С. Растворимость хлорида натрия существенно снижается в присутствии хлороводорода, гидроксида натрия, солей — хлоридов металлов. Растворяется в жидком аммиаке, вступает в реакции обмена. В чистом виде хлорид натрия не гигроскопичен. Однако соль часто бывает загрязнена примесями (преимущественно ионами  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и  $\text{SO}_2-4$ ), и такая соль на воздухе сыреет<sup>[20]</sup>. Кристаллогидрат  $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  можно выделить при температуре ниже +0,15 °С<sup>[21]</sup>.

Смесь измельчённого льда с мелким порошком хлорида натрия является эффективным охладителем. Так, смесь состава 30 г NaCl на 100 г льда охлаждается до температуры -20 °С. Это происходит потому, что водный раствор соли замерзает при температуре ниже 0 °С. Лёд, имеющий температуру около 0 °С, плавится в таком растворе, поглощая тепло окружающей среды. [1]

Термодинамические характеристики	
$\Delta_f H^0_g$	-181,42 кДж/моль
$\Delta_f H^0_l$	-385,92 кДж/моль
$\Delta_f H^0_s$	-411,12 кДж/моль
$\Delta_f H^0_{aq}$	-407 кДж/моль
$S^0_{g, 1 \text{ bar}}$	229,79 Дж/(моль·К)
$S^0_{l, 1 \text{ bar}}$	95,06 Дж/(моль·К)
$S^0_s$	72,11 Дж/(моль·К)

Диэлектрическая проницаемость NaCl — 6,3

Плотность и концентрация водных растворов NaCl

Концентрация, % ⇄	Концентрация, г/л ⇄	Плотность, г/мл ⇄
1	10,05	1,005
2	20,25	1,012
4	41,07	1,027
6	62,47	1,041
8	84,47	1,056
10	107,1	1,071
12	130,2	1,086
14	154,1	1,101
16	178,5	1,116
18	203,7	1,132
20	229,5	1,148
22	256	1,164
24	283,2	1,18
26	311,2	1,197

#### 1.4 Структура.

Хлорид натрия образует бесцветные кристаллы кубической сингонии, пространственная группа  $Fm\bar{3}m$ , параметры ячейки  $a = 0,563874$  нм,  $d = 2,17$  г/см<sup>3</sup>. Каждый из ионов  $Cl^-$  окружён шестью ионами  $Na^+$  в октаэдрической конфигурации, и наоборот. Если мысленно отбросить, например, ионы  $Na^+$ , то останется плотно упакованная кубическая структура ионов  $Cl^-$ , называемая гранецентрированной кубической решёткой. Ионы  $Na^+$  тоже образуют плотно упакованную кубическую решётку. Таким образом, кристалл состоит из двух подрешёток, сдвинутых друг относительно друга на полупериод. Такая же решётка характерна для многих других минералов.

В кристаллической решётке между атомами преобладает ионная химическая связь, что является следствием действия электростатического взаимодействия противоположных по заряду ионов.[1]

#### 2 Цель исследования.

Рассмотреть способ получения хлорид натрия методом выпарной установки, для получения более концентрированного состава  $NaCl$ .

### **3 Разработка аппаратурно-технологической схемы установки получения хлорид натрия.**

#### **3.1 Основная часть.**

Технологическая схема выпарной установки

В химической промышленности для концентрирования растворов нелетучих и мало летучих веществ широко применяется процесс выпаривания. Наиболее целесообразно для этого использовать многокорпусные выпарные установки непрерывного действия (МВУ). МВУ состоят из нескольких корпусов, в которых вторичный пар предыдущего корпуса используется в качестве греющего пара для последующего корпуса. В этих установках первичным паром обогревается только первый корпус. В многокорпусных выпарных установках достигается значительная экономия греющего пара по сравнению с однокорпусными установками той же производительности.

Принципиальная технологическая схема трехкорпусной вакуум-выпарной установки непрерывного действия представлена на рис.1.1.

Исходный раствор подается из емкости 1 центробежным насосом 2 через теплообменник 3 в первый корпус выпарной установки 4. В теплообменнике 3 исходный раствор нагревается до температуры близкой к температуре кипения раствора в первом корпусе выпарной установки.

Первый корпус установки обогревается свежим (первичным) паром. Вторичный пар, образующийся при кипении раствора в первом корпусе, направляется в качестве греющего пара во второй корпус 5; сюда же поступает частично сконцентрированный раствор из первого корпуса. Аналогично упаренный раствор из второго корпуса подается в третий корпус 6, обогреваемый вторичным паром второго корпуса. Упаренный до конечной концентрации в третьем корпусе готовый продукт поступает из него в емкость 10. По мере прохождения из корпуса в корпус давление и температура пара понижаются, и из последнего (третьего) корпуса пар с низким давлением отводится в барометрический конденсатор смешения 7, в котором при конденсации пара создается вакуум. Раствор и вторичный пар перемещаются из корпуса в корпус самотеком благодаря общему перепаду давления, возникающего в результате избыточного давления в первом корпусе и вакуума

в последнем. Воздух и неконденсирующиеся газы, поступающие в установку с охлаждающей водой (в конденсаторе) и через неплотности трубопроводов, отсасываются через ловушку 8 вакуум-насосом.

Смесь охлаждающей воды и конденсата сливается самотеком через барометрическую трубу в бак-гидрозатвор 9. Конденсат греющих паров из выпарных аппаратов и теплообменника выводится с помощью конденсатоотводчиков.

### 3.2 Выбор выпарных аппаратов

Конструкция выпарного аппарата должна удовлетворять ряду общих требований, к числу которых относятся: высокая производительность и интенсивность теплопередачи при возможно меньших объеме аппарата и расходе металла на его изготовление, простота устройства, надежность в эксплуатации, легкость чистки поверхности теплообмена, осмотра и ремонта.

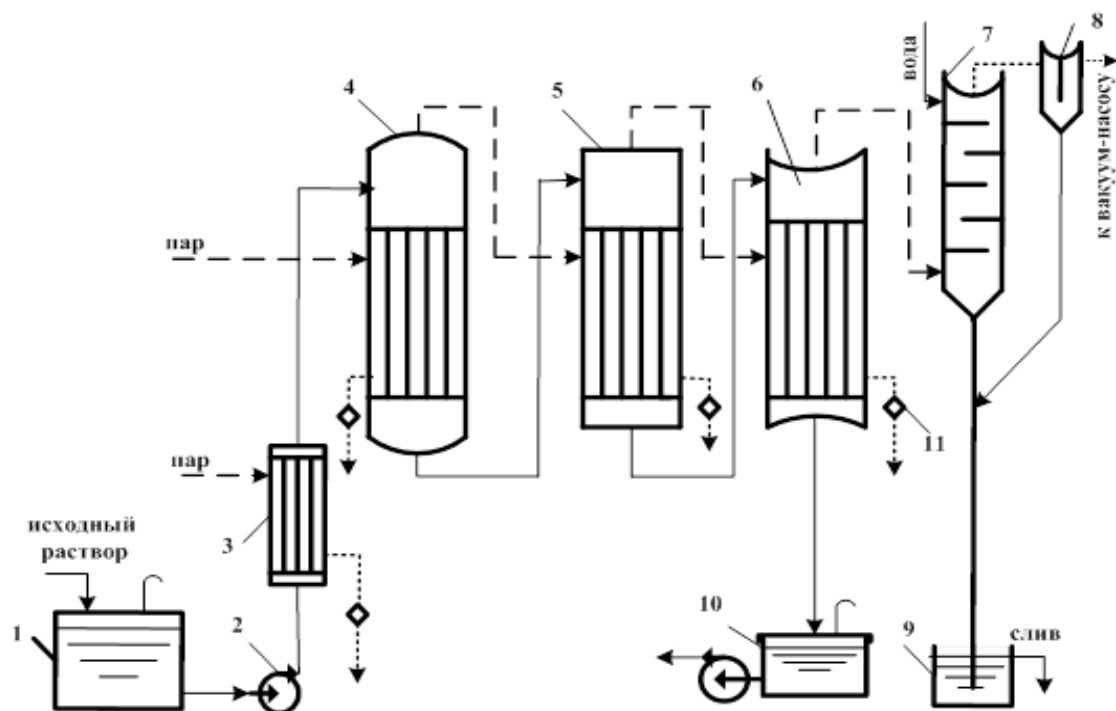


Рисунок 1 – Принципиальная схема трехкорпусной вакуум выпарной установки.

Вместе с тем выбор конструкции и материала выпарного аппарата определяется в каждом конкретном случае физико-химическими свойствами раствора.

Для выпаривания растворов небольшой вязкости (до 8 мПа·с) без образования кристаллов, чаще всего используют выпарные аппараты с естественной циркуляцией. Высоковязкие и кристаллизующиеся растворы выпаривают в аппаратах с принудительной циркуляцией.

Растворы чувствительные к повышенным температурам рекомендуется выпаривать в роторно-пленочных выпарных аппаратах, а растворы склонные к пенообразованию – в прямоточных аппаратах с восходящей пленкой.

## 4 Конструирование и расчет оборудования

### 4.1 Исходные данные для расчета.

Провести расчет выпарного аппарата непрерывного действия с естественной циркуляцией раствора для выпаривания  $G$ (Т/ч) водного раствора вещества. Концентрация исходного и упаренного растворов соответственно  $x_n$  и  $x_k$  (% масс.). Давление в барометрическом конденсаторе  $P_{Б.К.}$  (МПа). Исходные данные приведены в табл.

Остальные условия для расчета:

1. Тип - выпарной аппарат с выносной греющей камерой.
2. Греющий пар – насыщенный водяной пар. Давление  $P=0,8$  МПа.
3. Исходный раствор поступает в аппарат подогретым до температуры кипения.
4. Теплотой дегидратации (концентрирования) можно пренебречь.
5. Тепловые потери составляют 5 % от тепла, отданного греющим паром.
6. Ориентировочное значение коэффициента теплопередачи  $K=900$  Вт/(м<sup>2</sup>К)
7. Ориентировочная длина труб кипяточной камеры  $H_T=4$  м

Таблица 1

Выпариваемый водный раствор	Производительность по исходному раствору $G_n$ (Т/ч)	Концентрация раствора(% масс.)		Давление пара в барометрическом конденсаторе $P_{Б.К.}$ (МПа)
		$x_n$	$x_k$	
NaCl	11,0	6	20	0,06

Выбор марки стали стойкую в среде кипящего раствора NaCl в изменении концентрации от 6% до 20%. В этих условиях химическую стойкость проявляет сталь марки 12X18H10T. Скорость коррозии её менее 0,1 мм/год. Коэффициент теплопроводности  $\lambda=17,4$  Вт/м·К

Размер труб нагревательной камеры 38×2 мм

## 4.2 Определение поверхности теплопередачи выпарного аппарата.

### 4.2.1 Материальный расчет.[2]

Общее количество выпариваемой воды

$$\sum_{i=1}^3 W_i = G_H \cdot \left(1 - \frac{X_H}{X_K}\right) = 11000 \cdot \left(1 - \frac{6}{20}\right) = 7700 \text{ кг/ч}$$

Производительность установки по упаренному раствору

$$G_K = G_H - \sum_{i=1}^3 W_i = 11000 - 7700 = 3300 \text{ кг/ч}$$

Распределение выпариваемой воды по корпусам

$$W_1 = W_2 = W_3 = \frac{\sum_{i=1}^3 W_i}{3} = \frac{7700}{3} = 2566.77 \text{ кг/ч}$$

Концентрации упаренного раствора по корпусам

$$1.\text{корп. } \bar{X}_K = \frac{G_H \cdot \bar{X}_H}{G_H - W_1} = \frac{11000 \cdot 6}{11000 - 2566,7} = 7,82\%$$

$$2.\text{корп. } \bar{X}_K = \frac{G_H \cdot \bar{X}_H}{G_H - W_1 - W_2} = \frac{11000 \cdot 6}{11000 - 2566,7 - 2566,7} = 11,25\%$$

$$3.\text{корп. } \bar{X}_K = \frac{G_H \cdot \bar{X}_H}{G_H - \sum_{i=1}^3 W_i} = \frac{11000 \cdot 6}{11000 - 7700} = 20\%$$

### 4.2.2 Тепловой расчет.[2]

Температурные потери и общая полезная разность температур выпарной установки

$\Delta_{0i} = \theta_i - t$  где  $\theta_i$  и  $t$  температура кипения раствора и чистого растворителя

$$1.\text{корп. } \Delta_{01} = 1,37 \text{ }^\circ\text{C} \quad \sum_{i=1}^3 \Delta_{0i} = 8,3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$2.\text{корп. } \Delta_{02} = 2,06 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$3.\text{корп. } \Delta_{03} = 4,87 \text{ }^\circ\text{C}$$

Гидравлическая температурная депрессия  $\Delta'''$  принимается равной по  $1^\circ\text{C}$  на каждый корпус

$$1.\text{корп. } \Delta_1''' = 1 \text{ }^\circ\text{C} \quad \sum_{i=1}^3 \Delta_i''' = 3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$2.\text{корп. } \Delta_2''' = 1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$3.\text{корп. } \Delta_3''' = 1 \text{ }^\circ\text{C}$$

Общая полезная разность температур выпарной установки без учета гидростатической температурной депрессии  $\Delta''$

$$\sum \Delta t_{\text{пол}} = T - t_{\text{конд.}} - \sum_{i=1}^3 \Delta_{0i}' - \sum_{i=1}^3 \Delta_i''' = 169,6 - 85,5 - 8,3 - 3 = 72,8^\circ\text{C}$$

В первом приближении общая полезная разность температур выпарной установки может быть распределена поровну между корпусами

$$\Delta t_{\text{пол.1}} = \Delta t_{\text{пол.2}} = \Delta t_{\text{пол.3}} = \frac{\sum \Delta t_{\text{пол}}}{3} = \frac{72,8}{3} = 24,26 \text{ }^\circ\text{C}$$



Ориентировочный тепловой режим работы выпарной установки.

Таблица 2

№ п/п	Параметр	Усл. обозн.	Ед. изм.	Корпус			Баром. конд.
				1	2	3	
1	Температура греющего пара	T	°C	169,6	142,97	115,65	85,5
2	Полезная разность температур	$\Delta t_{\text{пол}}$	°C	24,26	24,26	24,26	
3	Температура кипения раствора	$t_{\text{кип}}$	°C	145,34	118,71	91,39	
4	Норм. Ф-х. температурная депрессия	$\Delta_0$	°C	1,37	2,06	4,87	
5	Температура вторичного пара	$t_{\text{в.п.}}$	°C	143,97	116,65	86,52	
6	Гидравлич. Температурная депрессия	$\Delta''''$	°C	1	1	1	
7	Конечная конц. Раствора	$\overline{X_K}$	%	7,82	11,25	20	
8	Давление вторичного пара	$P_{\text{в.п.}}$	МПа	0,413	0,182	0,063	0.06
9	Плотность раствора	$\rho_{\text{р-ра}}$	кг/м <sup>3</sup>	966,72	1007,82	1106,6	
10	Удельная теплота парообразования ВОДЫ	$r_{\text{в.п.}}$	кДж/кг	2140	2216	2293	
11	Плотность воды	$\rho_{\text{в}}$	кг/м <sup>3</sup>	922,45	945,86	967,44	

Пересчет нормальной физико-химической температурной депрессии на действительную по уравнению предложенному Тищенко

$$\Delta_g = 0,01622(\Delta_0) \frac{T_{\text{в.п.}}^2}{r_{\text{в.п.}}}$$

$$1.\text{корп. } \Delta_{g1} = 0,01622 \cdot (1,37) \cdot \frac{(273+143,97)^2}{2140} = 1,81 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$2.\text{корп. } \Delta_{g2} = 0,01622 \cdot (2,06) \cdot \frac{(273+116,65)^2}{2216} = 2,29 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$3.\text{корп. } \Delta_{g3} = 0,01622 \cdot (4,87) \cdot \frac{(273+86,52)^2}{2293} = 4,45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Оптимальный уровень раствора в кипятильных трубах

$$H_{\text{опт}} = (0,26 + 0,0014(\rho_{\text{р-ра}} - \rho_{\text{в}}))H_{\text{T}}$$

1.корп.  $H_{\text{опт}} = (0,26 + 0,0014(966,72 - 922,45))4 = 1,28 \text{ м}$

2.корп.  $H_{\text{опт}} = (0,26 + 0,0014(1007,82 - 945,86))4 = 1,39 \text{ м}$

3.корп.  $H_{\text{опт}} = (0,26 + 0,0014(1106,6 - 967,44))4 = 1,82 \text{ м}$

Гидростатическое давление столба жидкости на среднем уровне  $\Delta P_{\text{гидр}}$

$$\Delta P_{\text{гидр}} = \frac{\rho g H_{\text{опт}}}{2}$$

1.корп.  $\Delta P_{\text{гидр}} = \frac{966,72 \cdot 9,8 \cdot 1,28}{2} = 0,006 \text{ МПа}$

2.корп.  $\Delta P_{\text{гидр}} = \frac{1007,82 \cdot 9,8 \cdot 1,39}{2} = 0,007 \text{ МПа}$

3.корп.  $\Delta P_{\text{гидр}} = \frac{1106,6 \cdot 9,8 \cdot 1,82}{2} = 0,01 \text{ МПа}$

Полное давление на среднем уровне

$$P_{\text{ур}} = P_{\text{в.п.}} + P_{\text{гидр.}}$$

1.корп.  $P_{\text{ур}} = 4,13 + 0,06 = 0,419 \text{ МПа}$

2.корп.  $P_{\text{ур}} = 1,82 + 0,07 = 0,189 \text{ МПа}$

3.корп.  $P_{\text{ур}} = 0,63 + 0,1 = 0,073 \text{ МПа}$

По правилу Бабо рассчитываются температуры кипения растворов при давлении  $P_{\text{ур}}$  в каждом корпусе

1.корп.  $C = (1,033/1,08)_{101,3^{\circ}\text{C}} = 0,956$   $C = (4,19/P_{\text{р-ля}})_t = 0,956$  отсюда  $P_{\text{р-ля}} = 4,4$   
ата  $t_{\text{кип}} = 146,15^{\circ}\text{C}$

2.корп.  $C = (1,033/1,12)_{102,6^{\circ}\text{C}} = 0,922$   $C = (1,89/P_{\text{р-ля}})_t = 0,922$  отсюда  $P_{\text{р-ля}} = 2,07$   
ата  $t_{\text{кип}} = 120,68^{\circ}\text{C}$

3.корп.  $C = (1,033/1,22)_{104,8^{\circ}\text{C}} = 0,847$   $C = (0,73/P_{\text{р-ля}})_t = 0,847$  отсюда  $P_{\text{р-ля}} = 0,87$   
ата  $t_{\text{кип}} = 96,1^{\circ}\text{C}$

Гидростатическая температурная депрессия

$$\Delta'' = t_{\text{кип.}(P_{\text{ур}})} - t_{\text{кип.}(P_{\text{в.п.}})}$$

1.корп.  $\Delta'' = 146,15 - 145,34 = 0,81^{\circ}\text{C}$

2.корп.  $\Delta'' = 120,68 - 118,71 = 1,97^{\circ}\text{C}$

3.корп.  $\Delta'' = 96,1 - 91,39 = 4,92^{\circ}\text{C}$

Общая полезная разность температур выпарной установки с учетом гидростатической температурной депрессии

$$\begin{aligned} \sum \Delta t_{\text{пол}} &= T - t_{\text{конд.}} - \sum_{i=1}^3 \Delta_{gi}' - \sum_{i=1}^3 \Delta_i'' - \sum_{i=1}^3 \Delta_i''' \\ &= 169,6 - 85,5 - 8,55 - 7,7 - 3 = 64,8^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Распределение  $\sum \Delta t_{\text{пол}}$  по корпусам

Для дальнейшего расчета в 1-ом приближении, исходя из практических данных, принимаются следующие соотношения тепловых нагрузок и коэффициентов теплоотдачи

$$Q_1 : Q_2 : Q_3 = 1 : 1 : 1$$

$$K_1 : K_2 : K_3 = 1 : 0,8 : 0,6$$

В этом случае

$$\Delta t_{\text{пол.}i} = \frac{\sum \Delta t_{\text{пол.}} \cdot \frac{Q_i}{K_i}}{\sum_{i=1}^3 \frac{Q_i}{K_i}}$$

По корпусам

$$1.\text{корп. } \Delta t_{\text{пол.}1} = \frac{\sum \Delta t_{\text{пол.}}}{1 + \frac{Q_2 \cdot K_1}{Q_1 \cdot K_2} + \frac{Q_3 \cdot K_1}{Q_1 \cdot K_3}} = \frac{64,8}{1 + \frac{1}{0,8} + \frac{1}{0,6}} = 17,35^\circ\text{C}$$

$$2.\text{корп. } \Delta t_{\text{пол.}2} = \Delta t_{\text{пол.}1} \cdot \frac{Q_2}{K_1} \cdot \frac{K_1}{Q_1} = 17,35 \cdot \frac{1}{0,8} = 21,69^\circ\text{C}$$

$$3.\text{корп. } \Delta t_{\text{пол.}3} = \Delta t_{\text{пол.}1} \cdot \frac{Q_3}{K_3} \cdot \frac{K_1}{Q_1} = 17,35 \cdot \frac{1}{0,6} = 28,91^\circ\text{C}$$

Тепловой режим работы выпарной установки в 1-ом приближении

Таблица 3

№ п/п	Параметр	Усл. обозн.	Ед. изм.	Корпус			Баром. конд.
				1	2	3	
1	Температура греющего пара	T	°C	169,6	148,63	121,68	82,51
2	Полезная разность температур	$\Delta t_{\text{пол}}$	°C	17,35	21,69	28,8	
3	Температура кипения раствора в трубах	$t_{\text{кип}}^{\text{ТР}}$	°C	152,25	126,94	92,88	
4	Гидростат. Темп. депрессия	$\Delta^{\text{г}}$	°C	0,81	1,97	4,92	
5	Т-ра кип. Р-ра на верхнем уровне	$t_{\text{кип}}^{\text{УР}}$	°C	151,44	124,97	87,96	
6	Ф-х темп. депрессия	$\Delta_g$	°C	1,81	2,29	4,45	
7	Температура вторичного пара	$t_{\text{в.п.}}$	°C	149,63	122,68	83,51	
8	Гидравл. Температурная депрессия	$\Delta^{\text{гг}}$	°C	1	1	1	
9	Уд. Теплота испарения гр.пара	r	кДж/кг	2058	2124	2206	
10	Энтальпия вторичного пара	$I_{\text{в.п.}}$	кДж/кг	2753	2713	2646	
11	Теплоемкость исх. раствора	$C_{\text{р.н.}}$	кДж/кг	4			
12	Теплоемкость кон. Раствора	$C_{\text{р.к.}}$	кДж/кг	3,94	3,82	3,53	
13	Теплота дегидратации	$\Delta q$	кДж/кг	-14,82	-15,69	-17,93	
14	Концентрация раствора	$\bar{X}$	%	7,82	11,25	20	

Расходы греющего пара по корпусам рассчитываются на основе решения системы теплового и материального балансов[3]

$$\left\{ \begin{array}{l} D_i = \frac{A}{r_i} \left[ W_i \cdot (I_{в.п.i} - C_{рhi} \cdot t_{н.i}) + (G_{п} - \sum W_i) \cdot (C_{pki} \cdot t_{кипi}^{уп} - C_{рhi} \cdot t_{ни} + 0,01 \cdot \bar{X}_{ни} \cdot \Delta q) \right] \\ \sum_{i=1}^3 W_i = W_1 + W_2 + W_3 \end{array} \right.$$

$$1. \text{корп. } D_1 = \frac{1,05}{2058} \cdot [W_1 \cdot (2753 - 4 \cdot 150,63) + (11000 - W_1) \cdot (3,94 \cdot 151,44 - 4 \cdot 150,63 - 0,01 \cdot 7,82 \cdot 14,82)] = 1,1W_1 - 35,11$$

$$2. \text{корп. } D_2 = \frac{1,05}{2124} \cdot [W_2 \cdot (2713 - 3,94 \cdot 151,44) + (11000 - W_1 - W_2) \cdot (3,82 \cdot 124,97 - 3,94 \cdot 151,44 - 0,01 \cdot 11,25 \cdot 15,69)] = 1,17W_2 - 699,8$$

$$3. \text{корп. } D_3 = \frac{1,05}{2206} \cdot [W_3 \cdot (2646 - 3,82 \cdot 124,97) + 3300 \cdot (3,53 \cdot 83,51 - 3,82 \cdot 124,97 - 0,01 \cdot 20 \cdot 17,93)] = 1,03W_3 - 292,43$$

Таким образом получаем систему уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} D_1 = 1,1 \cdot W_1 - 35,11 \\ W_1 = 1,17W_2 - 699,8 \\ W_2 = 1,03W_3 - 292,43 \\ W_1 + W_2 + W_3 = 7700 \end{array} \right.$$

Решение

$$D_1 = 2520,65 \text{ кг/ч}$$

$$W_1 = 2323,43 \text{ кг/ч}$$

$$W_2 = 2583,96 \text{ кг/ч}$$

$$W_3 = 2792,61 \text{ кг/ч}$$

Конечные концентрации растворов по корпусам[3]

$$1. \text{корп. } \bar{X}_{k1} = \frac{11000 \cdot 6}{11000 - 2323,43} = 7,6\%$$

$$2. \text{корп. } \bar{X}_{k2} = \frac{11000 \cdot 6}{11000 - 2323,43 - 2583,96} = 10,83\%$$

$$3. \text{корп. } \bar{X}_{k3} = \frac{11000 \cdot 6}{11000 - 7700} = 20\%$$

Тепловые нагрузки по корпусам

$$Q_i = D_i r_i$$

$$1. \text{корп. } Q_1 = D_1 \cdot r_1 = \frac{2520,65}{3600} \cdot 2058 \cdot 10^3 = 1440972 \text{ Вт}$$

$$2. \text{корп. } Q_2 = D_2 \cdot r_2 = \frac{2583,96}{3600} \cdot 2124 \cdot 10^3 = 1524536 \text{ Вт}$$

$$3. \text{корп. } Q_3 = D_3 \cdot r_3 = \frac{2792,61}{3600} \cdot 2206 \cdot 10^3 = 1711249 \text{ Вт}$$

#### 4.2.3 Расчет коэффициентов и построение нагрузочных кривых[4]

Расчет зависимости теплоотдачи  $q_j = \alpha_{пi} \cdot \Delta t_i$

Коэффициент теплоотдачи при конденсации насыщенных паров рассчитываются по уравнению

$$\alpha_{п} = 1,15 \cdot A \cdot (H)^{-0,25} \cdot (\Delta t)^{-0,25}$$

$$\text{Где } A = \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \cdot \rho^2 \cdot r \cdot g}{\mu}}$$

В результате предварительного расчета

$$1. \text{корп. } \alpha_{п1} = 1,15 \cdot \sqrt[4]{\frac{(67,9 \cdot 10^{-2})^4 \cdot 897^2 \cdot 2058 \cdot 10^3 \cdot 9,8}{163 \cdot 10^{-6}}} \cdot (4)^{-0,25} \cdot (\Delta t_1)^{-0,25} = 10804,44 (\Delta t_1)^{-0,25}$$

$$2. \text{корп. } \alpha_{п2} = 1,15 \cdot \sqrt[4]{\frac{(68,4 \cdot 10^{-2})^4 \cdot 917^2 \cdot 2124 \cdot 10^3 \cdot 9,8}{185 \cdot 10^{-6}}} \cdot (4)^{-0,25} \cdot (\Delta t_2)^{-0,25} = 10726,59(\Delta t_2)^{-0,25}$$

$$3. \text{корп. } \alpha_{п3} = 1,15 \cdot \sqrt[4]{\frac{(67,6 \cdot 10^{-2})^4 \cdot 943^2 \cdot 2206 \cdot 10^3 \cdot 9,8}{213 \cdot 10^{-6}}} \cdot (4)^{-0,25} \cdot (\Delta t_3)^{-0,25} = 10410,86(\Delta t_3)^{-0,25}$$

Задавая значения  $\Delta t_i$  в пределах от 1 до 6°C рассчитаем коэффициент теплоотдачи  $\alpha_{пi}$  затем удельны тепловой поток  $q_i$

Таблица 4

$\Delta t_i$	$(\Delta t_i)^{-0,25}$	1 корпус		2 корпус		3 корпус	
		$\alpha_{п1}$	$q_1$	$\alpha_{п2}$	$q_2$	$\alpha_{п3}$	$q_3$
1	1	10804	10840	10727	10727	10410	10411
2	0,840	9076	18151	9010	18021	8745	17490
3	0,760	8211	24634	8152	24457	7912	23737
4	0,707	7639	30555	7584	30335	7360	29442
5	0,670	7228	36140	7176	35880	6965	34824
6	0,640	6904	41424	6854	41125	6652	39915

Построение зависимости  $q_i = \lambda_{ст.i} / \delta_{ст.i} \cdot \Delta t_i$

Значение  $\Delta t_i$  возьмем равное 6°C  $q_i = 17,5 / 0,002 \cdot 6 = 52200$  Вт/м

Построение зависимости  $q_i = \lambda_H / \delta_H \cdot \Delta t_i$

Значение  $\Delta t_i$  возьмем равное 6°C  $q_i = 2,3 / 0,0005 \cdot 6 = 27600$  Вт/м

где  $\lambda_H$  - коэффициент теплопроводности слоя накипи (среднее значение),  $\delta_H$  - толщина слоя накипи (принятая)

Теплофизические свойства раствора и пара по корпусам МВУ

Таблица 5

№ п/п	Наименование параметра	Усл. обоз.	Размерность	Корпуса		
				1	2	3
1	Концентрация раствора	$\bar{X}$	%	7,6	10,83	20
2	Температура кипения раствора в трубах	$t_{кип}^{ТР}$	°C	152,25	126,94	92,88
3	Вязкость раствора	$\mu \cdot 10^{-3}$	Па·с	0,33	0,35	0,49
4	Поверхностное натяжения раствора	$\sigma \cdot 10^3$	Н/м	59,40	64,21	68,07
5	Коэффициент теплопроводности раствора	$\lambda_p$	Вт/м·К	0,68	0,64	0,59
6	Удел. теплоемкость раствора	$C_p$	кДж/кг·К	3,94	3,82	3,53
7	Плотность раствора	$\rho$	Кг/м <sup>3</sup>	966,72	1007,83	1106,6

8	Теплота испарения вторичного пара	$r_{в.п.}$	кДж/кг·К	2121	2179	2301
9	Плотность вторичного пара	$\rho_{в.п.}$	Кг/м <sup>3</sup>	2,49	1,21	0,33
10	Плотность пара при 100°C	$\rho_{100}$	Кг/м <sup>3</sup>	0,597	0,597	0,597

Результаты последовательного расчета определяющих критериев и коэффициента теплоотдачи при кипении раствора

Таблица 6

№ п/п	Расчетное уравнение	Корпуса МВУ		
		1	2	3
1	$(U \cdot d_0)_p = 0,078 \cdot \left(\frac{\rho_{100}}{\rho_{в.п.}}\right)^{1,1}$	0,016	0,036	0,15
2	$K = \frac{q}{r_{в.п.} \cdot \rho_{в.п.} \cdot (U \cdot d_0)_p}$	q/84500	q/94917	q/113899
3	$Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{\lambda}$	1,91	2,09	2,93
4	$Nu = 54 \cdot \frac{K^{0,6}}{Pr^{0,3}}$	0,049q <sup>0,6</sup>	0,045q <sup>0,6</sup>	0,039q <sup>0,6</sup>
5	$\alpha_p = Nu \cdot \lambda_p \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot g}{\sigma}}$	13,31q <sup>0,6</sup>	11,3q <sup>0,6</sup>	8,48q <sup>0,6</sup>

Результаты расчетов зависимости  $\Delta t_{i=f}(q_i)$

Таблица 7

№ п/п	$q$	$q^{0,6}$	Корпуса МВУ					
			1		2		3	
			$\alpha_{p-ра}$	$\Delta t$	$\alpha_{p-ра}$	$\Delta t$	$\alpha_{p-ра}$	$\Delta t$
1	10000	250	3327	3,01	2825	3,54	2120	4,72
2	15000	320	4259	3,52	3616	4,15	2714	5,53
3	20000	380	5058	3,95	4294	4,66	3222	6,21
4	25000	435	5790	4,32	4915	5,09	3689	6,78
5	30000	485	6455	4,65	5480	5,47	4113	7,29
6	35000	532	7081	4,94	6011	5,82	4511	7,76
7	40000	577	7680	5,21	6520	6,13	4893	8,17
8	45000	619	8239	5,46	6995	6,43	5246	8,57

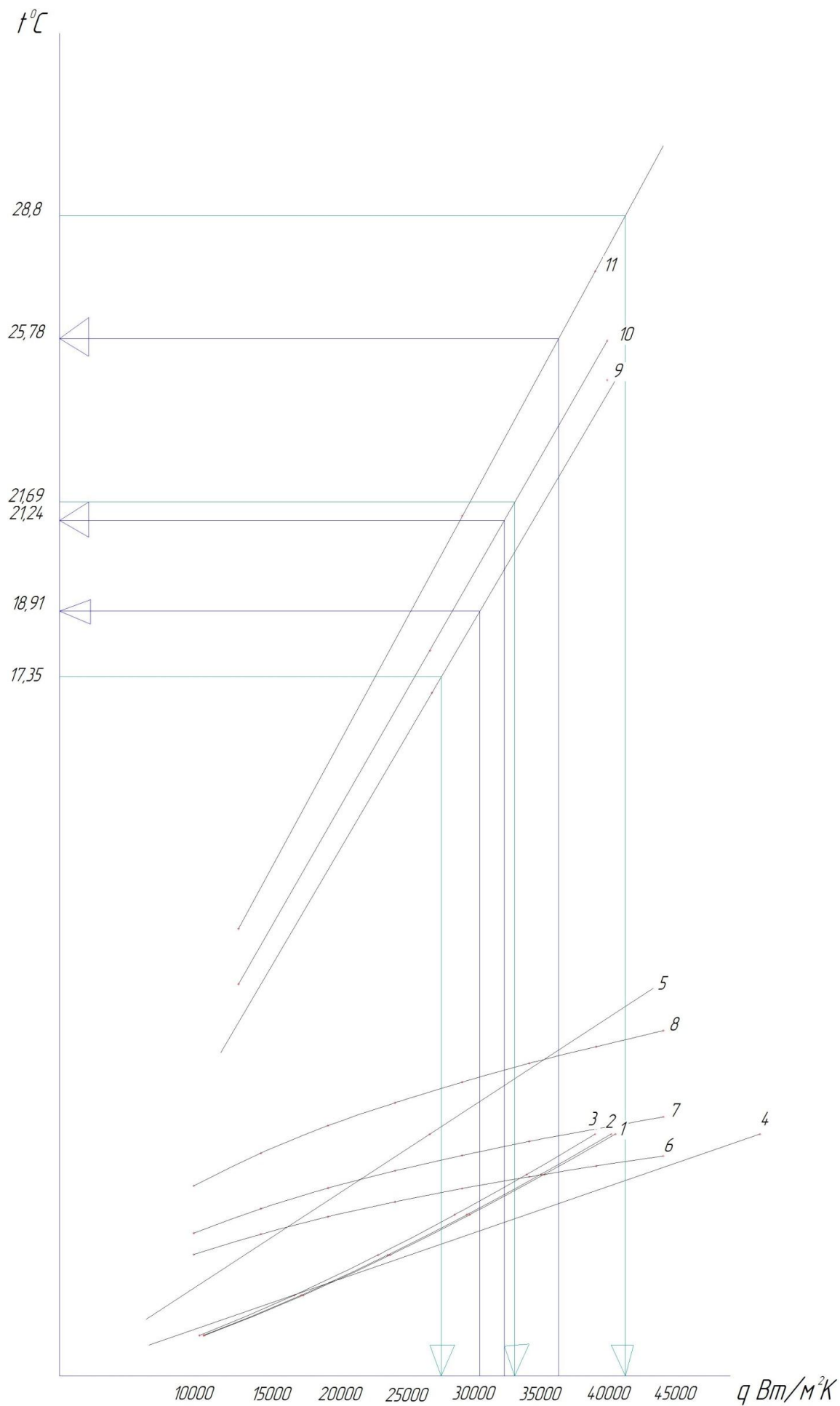


Рисунок 2 Зависимость температурных напоров от тепловых нагрузок

$$1-\Delta t_1 = f(q_1); 2-\Delta t_2 = f(q_2); 3-\Delta t_3 = f(q_3); 4-\Delta t'' = f(q''); 5-\Delta t''' = f(q'''); 6-\Delta t^{\square} = f(q^{\square}_1); 7-\Delta t^{\square} = f(q^{\square}_2); 8-\Delta t^{\square} = f(q^{\square}_3); 9-\Delta t_{\text{пол}} = f(q) \text{ (1 корп.)}; 10-\Delta t_{\text{пол}} = f(q) \text{ (2 корп.)}; 11-\Delta t_{\text{пол}} = f(q) \text{ (3 корп.)}; \Delta t_{\text{пол}} = \Delta t' + \Delta t'' + \Delta t''' + \Delta t^{\square}$$

#### 4.2.4 Расчет поверхностей нагревательных камер.[3]

Расчет в первом приближении

$$\Delta t_{\text{пол}1} = 17,35 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \Delta t_{\text{пол}2} = 21,69 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \Delta t_{\text{пол}3} = 28,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

По полученным нагрузочным кривым определяем удельные тепловые нагрузки по корпусам и коэффициенты теплопередачи

$$1.\text{корп. } q_1 = 28443 \text{ Вт/м}^2 \quad \text{и} \quad K_1 = 1639 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

$$2.\text{корп. } q_2 = 33921 \text{ Вт/м}^2 \quad \text{и} \quad K_1 = 1563 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

$$3.\text{корп. } q_3 = 42162 \text{ Вт/м}^2 \quad \text{и} \quad K_1 = 1464 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

В соответствии с данными рассчитываем поверхности нагревательных камер по корпусам в 1-ом приближении

$$F_1 = Q_1/q_1 = 1440972/28443 = 51 \text{ м}^2$$

$$F_2 = Q_2/q_2 = 1524536/33921 = 45 \text{ м}^2$$

$$F_3 = Q_3/q_3 = 1711249/42162 = 41 \text{ м}^2$$

Расчет во втором приближении

$$F_{\text{ср}} = (F_1 + F_2 + F_3)/3 = (51 + 45 + 41)/3 = 46 \text{ м}^2$$

Тогда

$$1.\text{корп. } q_1 = Q_1/F_{\text{ср}} = 1440972/46 = 31325 \text{ Вт/м}^2$$

$$2.\text{корп. } q_2 = Q_2/F_{\text{ср}} = 1524536/46 = 33142 \text{ Вт/м}^2$$

$$3.\text{корп. } q_3 = Q_3/F_{\text{ср}} = 1711249/46 = 37201 \text{ Вт/м}^2$$



Таблица 8 теплового режима выпарной установки во 2-ом приближении

№ п/п	Параметр	Усл. обозн.	Ед. изм.	Корпус			Баром. конд.
				1	2	3	
1	Температура греющего пара	T	°C	169,6	147,07	120,57	84,42
2	Полезная разность температур	$\Delta t_{\text{пол}}$	°C	18,91	21,24	25,78	
3	Температура кипения раствора в трубах	$t_{\text{кип}}^{\text{тр}}$	°C	150,69	125,83	94,79	
4	Гидростат. Темп. депрессия	$\Delta$	°C	0,81	1,97	4,92	
5	Т-ра кип. Р-ра на верхнем уровне	$t_{\text{кип}}^{\text{ур}}$	°C	149,88	123,86	89,87	
6	Ф-х темп. депрессия	$\Delta_g$	°C	1,81	2,29	4,45	
7	Температура вторичного пара	$t_{\text{в.п.}}$	°C	148,07	121,57	85,42	
8	Гидравл. Температурная депрессия	$\Delta$	°C	1	1	1	
9	Энтальпия греющего пара	$i_{\text{гр.п.}}$	кДж/кг	2776	2749	2709	
10	Энтальпия конд. греющего пара	$I_k$	кДж/кг	718	621	529	
11	Уд. Теплота испарения гр. пара	r	кДж/кг	2058	2130	2209	
12	Энтальпия вторичного пара	$I_{\text{в.п.}}$	кДж/кг	2749	2711	2649	
13	Теплоемкость исх. раствора	$C_{\text{р.н.}}$	кДж/кг	4			
14	Теплоемкость кон. Раствора	$C_{\text{р.к.}}$	кДж/кг	3,94	3,82	3,53	
15	Теплота дегидратации	$\Delta q$	кДж/кг	-14,82	-15,69	-17,93	
16	Концентрация раствора	$\bar{X}$	%	7,6	10,83	20	

Расход греющего пара по корпусам

$$1.\text{корп. } D_1 = \frac{1,05}{2058} \cdot [W_1 \cdot (2749 - 4 \cdot 149,07) + (11000 - W_1) \cdot (3,94 \cdot 149,88 - 4 \cdot 149,07 - 0,01 \cdot 7,6 \cdot 14,82)] = 1,11W_1 - 73,63$$

$$2.\text{корп. } D_2 = \frac{1,05}{2130} \cdot [W_2 \cdot (2711 - 3,94 \cdot 149,88) + (11000 - W_1 - W_2) \cdot (3,82 \cdot 123,86 - 3,94 \cdot 149,88 - 0,01 \cdot 10,83 \cdot 15,69)] = 1,17W_2 - 685,99$$

$$3.\text{корп. } D_3 = \frac{1,05}{2209} \cdot [W_3 \cdot (2649 - 3,82 \cdot 123,86) + 3300 \cdot (3,53 \cdot 85,42 - 3,82 \cdot 123,86 - 0,01 \cdot 20 \cdot 17,93)] = 1,03W_3 - 274,63$$

Таким образом получаем систему уравнений

$$\begin{cases} D_1 = 1,11W_1 - 73,63 \\ W_1 = 1,17W_2 - 685,99 \\ W_2 = 1,03W_3 - 274,63 \\ W_1 + W_2 + W_3 = 7700 \end{cases}$$

Решение

$$D_1 = 2522 \text{ кг/ч}$$

$$W_1 = 2337 \text{ кг/ч}$$

$$W_2 = 2585 \text{ кг/ч}$$

$$W_3 = 2776 \text{ кг/ч}$$

Тепловые нагрузки по корпусам

$$1. \text{ корп. } Q_1 = D_1 \cdot r_{г.п.} = (2522/3600) \cdot 2058 \cdot 10^3 = 1441743 \text{ Вт}$$

$$2. \text{ корп. } Q_2 = W_1 \cdot r_{г.п.} = (2337/3600) \cdot 2130 \cdot 10^3 = 1383317 \text{ Вт}$$

$$3. \text{ корп. } Q_3 = W_2 \cdot r_{г.п.} = (2585/3600) \cdot 2209 \cdot 10^3 = 1586185 \text{ Вт}$$

В соответствии с данными рассчитываем поверхности нагревательных камер по корпусам в 2-ом приближении

$$F_1 = Q_1 / q_1 = 1441743 / 31325 = 46 \text{ м}^2$$

$$F_2 = Q_2 / q_2 = 1383317 / 33142 = 41,74 \text{ м}^2$$

$$F_3 = Q_3 / q_3 = 1586185 / 37201 = 42,64 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{ср}} = (F_1 + F_2 + F_3) / 3 = (46 + 41,76 + 42,64) / 3 = 43,46 \text{ м}^2$$

Согласно условию задания выбираем аппарат превышающий расчетную поверхность нагревательной камеры

По ГОСТ 11987-8 «Аппараты выпарные трубчатые стальные. Типы, основные параметры и размеры» выбираем выпарной аппарат со следующими характеристиками.

Таблица 9

Тип 1 Исполнение 2

Номинальная поверхность теплообмен $F, \text{ м}^2$	63
Диаметр труб $d, \text{ мм}$	38x2
Высота труб $H, \text{ мм}$	4000
Диаметр греющей камеры $d_k, \text{ мм}$	600
Диаметр сепаратора $d_c, \text{ мм}$	1400
Диаметр циркуляционной трубы $d_{ц}, \text{ мм}$	500
Общая высота аппарата $H_a, \text{ мм}$	13000
Масса аппарата $M_a, \text{ кг}$	7500

### 4.3 Определение толщины тепловой изоляции.[4]

Толщину тепловой изоляции  $\delta_n$  находим из равенства удельных тепловых потоков через слой изоляции от поверхности в окружающую среду:

$$\alpha_e(t_{cm2}-t_n)=(\lambda_n/\delta_n)(t_{cm1}-t_{cm2})$$

где  $\alpha_e=9.3+0.058t_{cm2}$ —коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности изоляционного материала в окружающую среду, Вт/(м<sup>2</sup>К)[3];  $t_{cm2}$  — температура изоляции со стороны окружающей среды (при работе в закрытом помещении интервал 35-45 °С;  $t_{cm1}$  — температура изоляции со стороны аппарата, примем равной температуре греющего пара;  $t_{r1}$ ,  $t_g$  — температура окружающей среды(воздуха) °С;

$\lambda_n$  — коэффициент теплопроводимости изоляционного материала, Вт/(м·К).

Рассчитаем толщину тепловой изоляции для первого корпуса:

$$t_{cm1}=169,6^{\circ}\text{C}; \quad t_{cm2}=40^{\circ}\text{C}; \quad t_g=20^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha_e=9.3+0.058 \cdot 40=11,62 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$$

В качестве материала для тепловой изоляции выберем совелит, имеющий коэффициент теплопроводимости  $\lambda_n=0,09$  Вт/(м·К).

Тогда получим

$$\delta_n = \frac{0.09(169.6 - 40)}{11.62(40 - 20)} = 0.05 \text{ м}$$

Принимаем толщину тепловой изоляции 0.05 м и для других корпусов.

## 4.4 Конструктивно - механический расчет.

### 4.4.1 Определение числа греющих труб.

Число труб греющей камеры определяется уравнением [5] :

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d_p \cdot L}$$

Где  $F$  – поверхность теплообмена,  $m^2$ ;  $d_p$  – расчетный диаметр трубы (внутренний, наружный или средний, в зависимости от соотношения коэффициентов теплоотдачи),  $m$ ;  $L$  – длина трубы,  $m$ .

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d_p \cdot L}$$

Где  $d_p$  – расчетный диаметр трубы (внутренний, наружный или средний, в зависимости от соотношения коэффициентов теплоотдачи),  $m$ ;  $L$  – длина трубы,  $m$ .

$$n = \frac{44}{3,14 \cdot 0,038 \cdot 4} = 94 \text{ шт}$$

### 4.4.2 Определение диаметра греющей камеры.

Определим диаметр кожуха из уравнения [5]

$$n = k_1 \cdot \frac{\pi \cdot D_k^2}{4 \cdot 0.866 \cdot t^2}$$

где  $k_1 = 0,7 - 0,85$  - коэффициент заполнения;  $D$  - диаметр круга, на котором размещаются трубы,  $m$ ;  $t$  - шаг расположения труб, шаг расположения труб  $t=48$  [3]

Тогда :

$$D_k = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.866 \cdot 0.048^2 \cdot 94}{3.14 \cdot 0.85}} = 0.53 \text{ м}$$

Примем стандартный диаметр греющей камеры равный 600 мм

### 4.4.3 Определение размеров парового пространства.

Размеры парового пространства существенны для получения сухого пара. На влажность

удаляемого вторичного пара влияют величина поверхности зеркала испарения, высота парового пространства, его объем и физико-химические свойства упаренного раствора (вязкость, плотность, поверхностное натяжение). Для чистой воды необходимое напряжение парового пространства, т.е. съем объема пара в кубических метрах в час

с  $1 \text{ м}^3$  пространства ( $\delta_0$ ), зависит от давления вторичного пара и с его ростом уменьшается.

Для растворов надежных данных нет, но приближенно можно считать, что

$$\delta = 0.9 \cdot \delta_0 = 0.9 \cdot 400 = 360 \text{ ч}^{-1}$$

Во избежание чрезмерного уноса брызг и капель скорость вторичного пара вдоль оси аппарата не должна превышать практически установленного значения.

$$w_0 \leq \sqrt[3]{\frac{4.26}{\rho_{\text{ВП}}}}$$

Где  $\rho_{\text{ВП}}$  плотность пара равная 2.49 кг/м<sup>3</sup>  
Тогда

$$w_0 = \sqrt[3]{\frac{4.26}{2.49}} = 1.19 \text{ м/с}$$

Объем парового пространства равен

$$V_{\text{п}} = \frac{G_{\text{п}}}{\rho_{\text{п}} \cdot \delta} = \frac{2522}{2.49 \cdot 360} = 2.8 \text{ м}^3$$

Где  $G_{\text{п}}$  – расход вторичного пара, кг/ч.

Диаметр парового пространства

$$D_{\text{п}} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\text{п}}}{\pi \cdot H}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2.8}{3.14 \cdot 1.8}} = 1.4$$

Где  $H$  -высота сепаратора для не вспенивающихся растворов, значение которой не должно  $\geq 1.8$  м

Диаметр входной трубы , по которой парожидкостная смесь поступает из греющей камеры в сепаратор, определяются из соотношения  $D_{\text{п}}=4 \cdot D_{\text{вх}}$  тогда

$$D_{\text{вх}} = \frac{1.2}{4} = 0.3 \text{ м}$$

Рассчитанные размеры выпарного аппарата соответствуют требованиям ГОСТ 11987-81

#### 4.4.4 Определение диаметра штуцеров.

Диаметры штуцеров для подачи исходного раствора, удаления упаренного раствора, подачи греющего пара, отвода конденсата, отвода вторичного пара рассчитываются на основании уравнения расхода по формуле [6] :

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

где  $G$  - объемный расход раствора или пара, кг/ч;

$\rho$  - плотность раствора или пара, кг/ м<sup>3</sup>;

$v$  - скорость потока, м/с. Принимаем, согласно, рекомендациям [6]:

для исходного раствора

$$v = 1 \text{ м/с};$$

для водяного насыщенного пара

$$v = 20 \text{ м/с};$$

Определение диаметра штуцера для подачи исходного раствора.

$$d = \sqrt{\frac{4 * 11000}{3,14 * 966,72 * 3600}} = 0,063 \text{ м}$$

Принимаем диаметр штуцера для подачи исходного раствора 100мм.

Определение диаметра штуцера для подачи греющего пара.

$$d = \sqrt{\frac{4 * 2522}{3,14 * 2,49 * 72000}} = 0,134 \text{ м}$$

Примем стандартный диаметр штуцера для подачи греющего пара 150мм.

Определение диаметра штуцера для отвода вторичного пара.

$$d = \sqrt{\frac{4 * 2522}{3,14 * 1,21 * 72000}} = 0,192 \text{ м}$$

Примем стандартный диаметр штуцера для отвода вторичного пара 200мм.

Определение диаметра штуцера для отвода упаренного раствора.

$$d = \sqrt{\frac{4 * 2337}{3,14 * 1007,82 * 3600}} = 0,029 \text{ м}$$

Примем стандартный диаметр штуцера для отвода упаренного раствора 50мм

Определение диаметра штуцера для отвода конденсата.

$$d = \sqrt{\frac{4 * 11000}{3,14 * 1000 * 3600}} = 0,062 \text{ м}$$

Примем стандартный диаметр штуцера для отвода конденсата 90мм.

#### 4.5 Механический расчет выносной греющей камеры.

Данные к механическому расчету греющей камеры.

Диаметр корпуса –  $D=600\text{мм}$ .

Диаметр трубок –  $d \times s=38 \times 2\text{мм}$ .

Число трубок –  $n=94\text{шт}$ .

Длина труб –  $\ell =4,0\text{м}$ .

Материал корпуса – 12Х18Н10Г ГОСТ 5632–74.

Материал трубок – 12Х18Н10Г ГОСТ 5632–74.

Давление в межтрубном пространстве –  $p_k=0,8\text{МПа}$

Давление в трубках –  $p_t=0,413\text{МПа}$

Температура корпуса –  $t_k=169,9^\circ\text{C}$ .

Температура трубок –  $t_t=145,34^\circ\text{C}$ .

$$D := 600\text{mm}$$

$$\rho := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$d := 38\text{mm}$$

$$n := 94$$

$$l := 4\text{m}$$

$$g := 9,8 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$$

$$P_k := 0,8\text{MPa}$$

$$P_t := 0,413\text{MPa}$$

$$t_k := 169,9^\circ\text{C}$$

$$t_t := 145,34^\circ\text{C}$$

##### 4.5.1 Расчет кожуха греющей камеры.

Кожух рассчитывается на прочность от действия внутреннего давления в межтрубном пространстве.

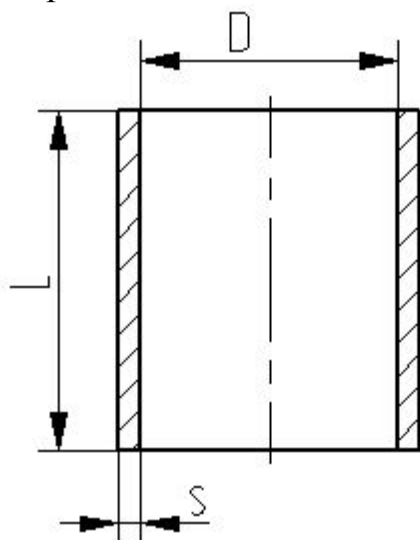


Рисунок 3 Эскиз обечайки

Расчетное давление

По Правилами Ростехнадзора расчетное давление принимают равным 90% от давления срабатывания клапана или мембраны. При давлении от 0,3 до 6 МПа величина срабатывания на 15% больше рабочего давления [8], следовательно

$$P_p := P_k + \rho \cdot g \cdot l$$

$$P_p = 8.392 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Допускаемое напряжение

$$\eta := 1$$

Для стали 12Х18Н10Т ГОСТ 5632–74. при  $t_k = 169.9^\circ\text{C}$  нормативное допускаемое напряжение [9].

$$\sigma_1 = 164.8 \text{ МПа}$$

$$\sigma_1 := 164.8 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{20} := 184 \text{ МПа}$$

$$\sigma := \eta \cdot \sigma_1$$

$$\sigma = 1.648 \times 10^8 \text{ Pa}$$

где

$\eta = 0.9 \div 1.0$  - поправочный коэффициент;

$\sigma_1$  - нормативное допускаемое напряжение.

Принимаем  $\eta = 1.0$ .

Коэффициент прочности сварного шва

Принимаем ручную сварку, следовательно

$$\varphi := 0.9$$

Прибавка на коррозию

$$C_1 := 2 \text{ mm}$$

$$C_2 := 0 \text{ mm}$$

$$C_3 := C_2$$

$$C := C_1 + C_2 + C_3$$

$$C = 2 \times 10^{-3} \text{ m}$$

где

$C_1$  – прибавка на коррозию, мм;

$C_2 = 0.4 \div 0.8$  мм – прибавка на минусовой допуск листа, мм;

$C_3$  – конструктивная прибавка, мм;

Так как аппарат изготавливается из листового проката

$$\eta_d := 1$$

Допускаемое напряжение для стали 12Х18Н10Т при  $t = 200^\circ\text{C}$

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

$$\sigma_d = 1.648 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{20} := 184 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{d20} := \eta \cdot \sigma_{20} = 1.84 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$P_{и} := 1.25 P_p \cdot \frac{\sigma_{d20}}{\sigma_d}$$

$$P_{и} = 1.171 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Расчетное значение предела текучести при  $200^\circ\text{C}$  для стали 12Х18Н10Т

$$R_{p1.0} := 276 \text{ МПа}$$

$$P := 0.5 \text{ МПа}$$



Допускаемое напряжение для стали 12X18H10Г при гидравлических испытаниях

$$\sigma_{\text{и}} := \text{Floor}\left(\frac{R_{\text{p}1.0}}{1.1}, P\right)$$

$$\sigma_{\text{и}} = 2.505 \times 10^8 \text{ Pa}$$

Исполнительная толщина кожуха греющей камеры определяется по формуле [8]

$$S_{\text{p}} := \max\left(\frac{P_{\text{р}} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{\text{д}} \cdot \varphi - P}, \frac{P_{\text{и}} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{\text{и}} \cdot \varphi - P_{\text{и}}}\right)$$

$$S_{\text{p}} = 1.611 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Принимает толщину стенки корпуса греющей камеры

$$S := 4 \text{ mm}$$

#### 4.5.2 Расчет днища (крышки) греющей камеры.

Крышку и днище принимаем эллиптическими. Днище (крышка) изготавливается из того же материала, что и трубки, т.е. сталь 12X18H10Г ГОСТ 5632–74. Крышка рассчитывается на прочность от внутреннего давления в трубном пространстве.

Радиус кривизны в вершине днища

Для стандартных днищ

$$R := D$$

Исполнительная толщина эллиптического днища (крышки) определяется по формуле:

$$S := \frac{P \cdot R}{2 \cdot \sigma \cdot \varphi - 0.5P} + C$$

где

P – расчетное давление, МПа

R – радиус кривизны в вершине днища, мм;

C – прибавка на коррозию, мм;

[σ] – допускаемое напряжение, МПа;

- коэффициент прочности сварного шва.

$$S = 2.959 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Окончательную толщину днища (крышки) принимаем 4 мм.

Подбор днища

По ГОСТ 6533–78 выбираем днище с параметрами:

$$D := 600 \text{ mm}$$

$$h_{\text{отб}} := 25 \text{ mm}$$

$$h_{\text{в}} := 150 \text{ mm}$$

$$F := 0.44 \text{ m}^2$$

$$V := 35.2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$m := 13.9 \text{ kg}$$

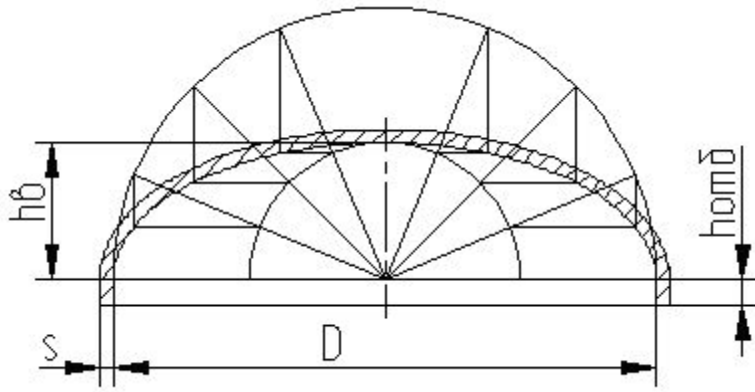


Рисунок 4 Эллиптическая крышка (днище)

Определение температурных усилий в греющей камере.

Коэффициенты линейного расширения труб и корпуса.

По таблице [9] коэффициент линейного расширения труб изготовленных из стали 12Х18Н10Т составляет

$$\alpha_T := 16.610^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$\alpha_K := \alpha_T$$

Модули упругости материалов кожуха и трубы [2].

Модуль упругости материала корпуса при  $t_K = 169.6^\circ\text{C}$

Модуль упругости материала трубок при  $t_T = 145.34^\circ\text{C}$

$$E_K := 1.93 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

$$E_T := 1.95 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Площадь поперечного сечения труб [3.]

$$d_H := 38 \text{ мм}$$

$$d_{BH} := 34 \text{ мм}$$

$$F_T := \frac{\pi \cdot (d_H^2 - d_{BH}^2) \cdot n}{4}$$

где

$d_H$  - наружный диаметр труб, мм;

$d_{BH}$  - внутренний диаметр труб, мм;

$n$  - число труб.

$$F_T = 0.021 \text{ м}^2$$

Площадь поперечного сечения корпуса [3.]

$$D_{cp} := D + S$$

$$D_{cp} = 0.603 \text{ м}$$

$$F_K := \pi \cdot D_{cp} \cdot S$$

где

$D_{cp} = D + S$  - средний диаметр кожуха, мм.

$S$  - толщина стенки кожуха, мм.

$$F_K = 5.605 \times 10^{-3} \text{ м}^2$$

Температурное усилие для греющей камеры при  $t_k > t_t$  определяется по формуле

[2, с.93]

$$Q := \frac{\alpha_k \cdot t_k - \alpha_T \cdot t_T}{\frac{1}{E_T \cdot F_T} + \frac{1}{E_K \cdot F_K}}$$

где

$\alpha_T, \alpha_K$  - коэффициенты линейного расширения труб и корпуса соответственно,  $K^{-1}$ ;

$t_T$  - температура труб,  $^{\circ}C$ ;

$t_k$  - температура кожуха,  $^{\circ}C$ ;

$E_K$  и  $E_T$  - модули упругости материалов кожуха и трубы, МПа.

$F_T$  и  $F_K$  - площади поперечного сечения труб и корпуса,  $mm^2$ .

$$Q = 3.498 \times 10^5 \text{ N}$$

Температурные напряжения в трубках и корпусе

Температурные напряжения в трубках определяются по формуле [2.]

$$\sigma_T := \frac{Q}{F_T}$$

$$\sigma_T = 1.645 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$\sigma_T \leq (\sigma)_T$$

Температурные напряжения в корпусе определяются по формуле [2.]

$$\sigma_K := \frac{Q}{F_K}$$

$$\sigma_K = 6.24 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$\sigma_K \leq (\sigma)_K$$

Вывод: условие прочности от температурных напряжений обеспечено.

### 4.5.3 Расчет трубной решетки[11]

Трубную решетку изготавливаем из того же материала, что и трубки, т.е. сталь 12X18H10T

ГОСТ 5632–74.

$$D_{BH} := 600\text{mm}$$

$$D_K := 608\text{mm}$$

$$d_n := 38\text{mm}$$

$$C := 2\text{mm}$$

$$P_T := 0.41\text{MPa}$$

$$P_K := 0.8\text{MPa}$$

$$Q_t := 3.498 \times 10^5 \text{ N}$$

$$d_B := 34\text{mm}$$

$$n := 94$$

Выбираем трубную решетку из стали 12X18H10T [9] при  $t=169.6$

$$[\sigma] := 145\text{MPa}$$

$$t := 1.2l + C$$

$$t = 0.048\text{m}$$

$$\varphi := \frac{t - d}{t}$$

$$\varphi = 0.202$$

$$Q_p := P_T \cdot \frac{\pi \cdot D_{BH}^2}{4} + P_K \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_K^2 - D_{BH}^2) + Q_t$$

$$Q_p = 4.726 \times 10^5 \text{ N}$$

$$P_p := \frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot D_{BH}^2}$$

$$P_p = 1.672 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$S := \frac{D_{BH}}{4.7} \cdot \sqrt{\frac{P_p}{[\sigma] \cdot \varphi}} + C$$

$$S = 0.033\text{m}$$

Определяем развальцовочное соединение, осевое усилие.

$$Q := P_K \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_{BH}^2 - n \cdot d^2) + P_T \cdot n \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_{BH}^2$$

$$Q = 1.762 \times 10^5 \text{ N}$$

Усилие на 1 трубку от давления

$$q := \frac{Q}{n}$$

$$q = 1.874 \times 10^3 \text{ N}$$

Кроме давление, на трубы действуют температурные усилия. Так, если трубы нагреты больше, чем корпус, то в них возникает сжимающие напряжения и они подвергаются продольному изгибу, поэтому развальцовка работает на вырывание труб из решетки.

Площадь поперечного сечения трубы:

$$f_T := \frac{\pi}{4} \cdot (d_H^2 - d_B^2)$$

$$f_T = 2.262 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Температурное усилие,приходящее на одну трубу:

$$q_T := \sigma_T \cdot f_T$$

где  $\sigma_T$  -температурные напряжения в трубе,МПа.

$$q_T = 3.721 \times 10^3 \text{ N}$$

Суммарное усилие:

$$q_c := q + q_T$$

$$q_c = 5.595 \times 10^3 \text{ N}$$

Удельная нагрузка от давления на единицу длины окружности развальцовки:

$$\sigma_1 := \frac{q}{d_H \cdot \pi}$$

$$\sigma_1 = 0,0157 \text{ МН/м}$$

При таком расчете допускаемая удельная нагрузка:

$$\sigma_1 \leq \sigma_2$$

При развальцовке труб в отверстиях без канавок  $\sigma_2=0,04 \text{ МН/м}$

В отверстиях с канавками  $\sigma_2=0,07 \text{ МН/м}$

Принимаем по данным расчетам развальцовка труб в отверстиях без канавок.

#### 4.6 Расчет сепарационного пространства.

По данным ГОСТ Р 52857.1— Сосуды и аппараты  
НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ

Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.

$$S \geq s + c$$

$$P_K := 0.41 \text{ МПа}$$

$$\rho := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$g := 9.8 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$$

$$l := 4\pi$$

$$D := 1400 \text{ mm}$$

Берем данные по ГОСТ Р 52857.1— Сосуды и аппараты  
НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ общие требования

Допускаемое напряжение  $[\sigma]$ , МПа, для сталей марок 12Х18Н10Т [9]

$$\sigma := 168 \text{ МПа}$$

Расчетное давление

$$P_p := P_K + \rho \cdot g \cdot l$$

$$P_p = 4.522 \times 10^5 \text{ Pa}$$

при расчете на прочность сварных элементов сосудов допускаемые напряжения умножают на коэффициент прочности сварных швов  $\phi$ . числовые значения этих коэффициентов приведены в приложении Д. Из ГОСТ 52857.1 приложения Д (стыковой с подваркой корня шва) принимаем  $\phi=1$ .

$$\phi := 1$$

$$c := 2 \text{ mm}$$

Так как аппарат изготавливается из листового проката

$$\eta := 1$$

Допускаемое напряжение для стали 12Х18Н10Т при  $t=20^\circ\text{C}$  [9]

$$\sigma_{20} := 184 \text{ МПа}$$

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

$$\sigma_d = 1.68 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{d20} := \eta \cdot \sigma_{20} = 1.84 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$P_{\text{и}} := 1.25 P_p \cdot \frac{\sigma_{d20}}{\sigma_d}$$

$$P_{\text{и}} = 6.191 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Расчетное значение предела текучести при  $20^\circ\text{C}$  для стали 12Х18Н10Т [9]

$$R_{p1.0} := 276 \text{ МПа}$$

$$P := 0.5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 12Х18Н10Т при гидравлических испытаниях [3.]

$$\sigma_{\text{и}} := \text{Floor}\left(\frac{R_{\text{p}}1.0}{1.1}, P\right)$$

$$\sigma_{\text{и}} = 2.505 \times 10^8 \text{ Pa}$$

Исполнительная толщина кожуха сепаратора определяется по формуле [12]

$$S_{\text{p}} := \max\left(\frac{P_{\text{p}} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{\text{д}} \cdot \varphi - P_{\text{p}}}, \frac{P_{\text{и}} \cdot D}{2 \cdot \sigma_{\text{и}} \cdot \varphi - P_{\text{и}}}\right)$$

$$S_{\text{p}} = 1.887 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Тогда по формуле, будем иметь

$$S \geq 1.887 + 2 \geq 3.887 \text{ mm}$$

Конструктивно принимаем толщину стенки обечайки сепаратора равной

$$S := 6 \text{ mm}$$

53.12 Допускаемое внутреннее избыточное давление вычисляют по формуле:

$$P := \frac{2 \cdot \sigma \cdot \varphi \cdot (S - c)}{D + (S - c)}$$

$$P = 9.573 \times 10^5 \text{ Pa}$$

#### 4.6.1 Расчет выпуклых днищ и крышек

На рисунке 5 приведены расчетные схемы эллиптических, полусферических и торосферических днищ.

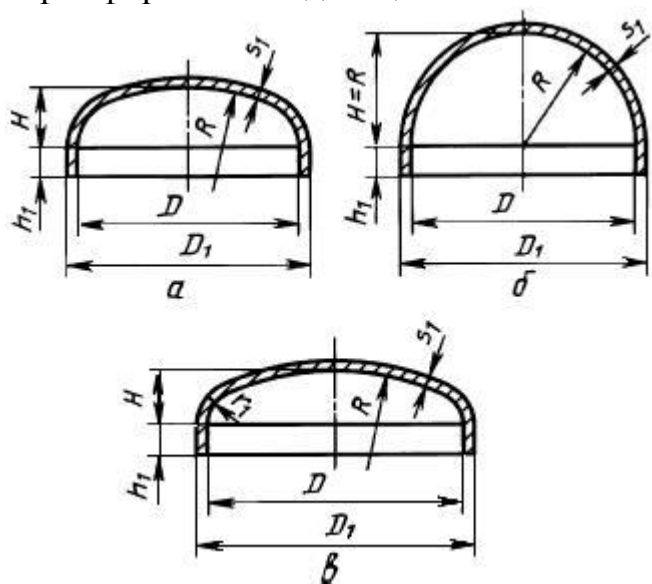


Рисунок 5 а -эллиптическое днище;б -полусферическое днище; в -торосферическое днище.

Примечание -Рисунок не определяет конструкцию днищ и приведен только для указания необходимых расчетных размеров.

Формулы применимы при выполнении условий:

-для эллиптической крышки

$$S := 6mn$$

$$0.002 \leq \frac{S - c}{D} \leq 0.10$$

Так как

$$\frac{S - c}{D} = 2.857 \times 10^{-3}$$

условия применения формул выполняются.

Толщину стенки вычисляют по формуле

$$s_{1p} \geq s_{1p} + c$$

где

$$H := 0.25D$$

$$H = 0.35m$$

$$R := \frac{D^2}{4H}$$

$$s_{1p} := \frac{P_p \cdot R}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma - 0.5 \cdot P_p}$$

$$s_{1p} = 1.885 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Конструктивно принимаем толщину стенки крышки сепаратора по ГОСТ 6533-78 равной

$$S := 6mn$$



#### 4.6.2 Расчет конических обечаек[13]

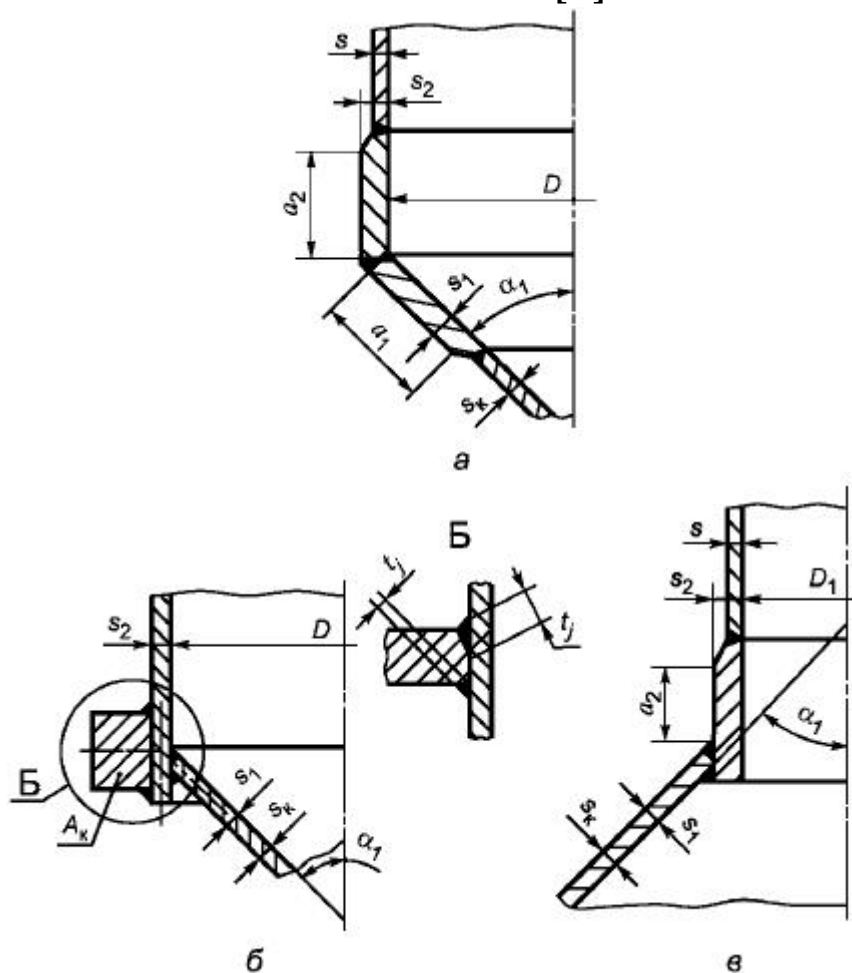


Рисунок ба -соединение конической и цилиндрической обечаек,  
 б -соединение конической и цилиндрической обечаек с укрепляющим  
 кольцом, в -соединение конической обечайки с цилиндрической меньшего  
 диаметра.

Внутренний диаметр низа конического днища аппарата

$$D_0 := 500 \text{ мм}$$

Внутренний диаметр верха конического днища

$$D := 1400 \text{ мм}$$

Угол конуса

$$\alpha := 45 \text{ deg}$$

Толщина стенки

$$S := 8 \text{ мм}$$

Внутреннее давление

$$p := 0.413 \text{ МПа}$$

Температура стенки

$$t_p := 143.97^\circ \text{C}$$

Прибавка к толщине

$$c := 2 \text{ мм}$$

Плотность воды

$$\rho := 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Ускорение свободного падения

$$g := 9.8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Высота труб

$$H := 4 \text{ м}$$

Коэффициент прочности сварных швов

$$\phi := 1$$

Расчет проведем по методике [12]

Допускаемое напряжение для стали 12X18H10 [9]:

В рабочем состоянии при расчетной температуре

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 150 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \begin{pmatrix} 184 \\ 164 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \text{Floor}(\text{lininterp}(t, \sigma, t_p), 0.5)$$

$$\sigma = 164.5 \text{ МПа}$$

Так как аппарат изготавливается из листового проката

$$\eta := 1$$

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

$$\sigma_d = 164.5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 12X18H10 при  $t=200\text{C}$  [9]

$$\sigma_{20} := 184 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{d20} := \eta \cdot \sigma_{20} = 184 \text{ МПа}$$

Принимаем толщину переходных частей

$$s_1 := 8 \text{ мм}$$

$$s_2 := 8 \text{ мм}$$

Коэффициент формы  $\beta_1$

Для цилиндрической обечайки и конического перехода, изготовленных из одного материала

$$\chi := 1$$

$$\beta := 0.4 \sqrt{\frac{D}{s_2 - c}} \cdot \frac{\tan(\alpha)}{1 + \sqrt{\frac{1 + \chi \cdot \left(\frac{s_1 - c}{s_2 - c}\right)^2}{2 \cdot \cos(\alpha)} \cdot \chi \cdot \frac{s_1 - c}{s_2 - c}}} - 0.25$$

$$\beta = 2.541$$

$$\beta_1 := \max(0.5, \beta)$$

$$\beta_1 = 2.541$$

Расчетные длины переходных частей:

$$a_{1p} := 0.7 \sqrt{D \cdot \frac{|s_1 - c|}{\cos(\alpha)}}$$

$$a_{1p} = 76.295 \text{ мм}$$

$$a_{2p} := 0.7 \sqrt{D \cdot |s_2 - c|}$$

$$a_{2p} = 64.156 \text{ мм}$$

Принимаем

$$a_1 := \text{Ceil}(a_{1p}, 5)$$

$$a_1 = 80 \text{ мм}$$

$$a_2 := \text{Ceil}(a_{2p}, 5)$$

$$a_2 = 65 \text{ мм}$$

**Условия применения расчетных формул обечаек без тороидального перехода**

$$Us1\_1 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } \alpha > \frac{70\pi}{180} \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{if } s_1 - c < s_2 - c \\ \text{"Условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Us1\_1 = \text{"Условия применения формул выполняются"}$$

Расчетное давление:

$$P_p := p + \rho \cdot g \cdot H$$

$$P_p = 3.92 \times 10^4 \text{ МПа}$$

Пробное давление при гидравлическом испытании внутри аппарата

$$P_{и} := 1.25 P_p \cdot \frac{\sigma_{д20}}{\sigma_{д}}$$

$$P_{и} = 5.481 \times 10^4 \text{ МПа}$$

Расчетное значение предела текучести при 20°C для стали 12X18H10T [9]

$$R_{p1.0} := 276 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 12X18H10T при гидравлических испытаниях

$$\sigma_{и} := \text{Floor}\left(\frac{R_{p1.0}}{1.1}, 0.5\right)$$

$$\sigma_{и} = 250.5 \text{ МПа}$$

Толщину стенки из условия прочности переходной зоны вычисляют по формулам

$$s_{2p} := \max\left(\frac{p \cdot D \cdot \beta_1}{2 \cdot \sigma_{д} \cdot \phi - p}, \frac{P_{и} \cdot D \cdot \beta_1}{2 \cdot \sigma_{и} \cdot \phi - P_{и}}\right)$$

$$s_{2p} = 4.471 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки

$$s_2 := \text{Ceil}(s_{2p} + c, 1)$$

$$s_2 = 7 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки конической обечайки

$$s_1 := \text{Ceil}\left(s_{2p} \cdot \frac{s_1 - c}{s_2 - c} + c, 1\right)$$

$$s_1 = 8 \text{ мм}$$

Допускаемое внутреннее избыточное или наружное давление  $P_d$  из условия прочности переходной части вычисляются по формуле

$$P_d := \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi \cdot (s_2 - c)}{D \cdot \beta_1 + (s_2 - c)}$$

$$P_d = 0.462 \text{ МПа}$$

$$\text{Prov}_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности выполняется"} & \text{if } p \leq P_d \\ \text{"Условия прочности не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Prov\_1 = "Условия прочности выполняется"**

$$P_d = 0.462 \text{ МПа}$$

$$p = 0.413 \text{ МПа}$$

Допускаемое внутреннее избыточное или наружное давление из условия прочности в условиях испытаний переходной части вычисляются по формуле

$$P_{d,и} := \frac{2 \cdot \sigma_{и} \cdot \phi \cdot (s_2 - c)}{D \cdot \beta_1 + (s_2 - c)}$$

$$P_{d,и} = 0.703 \text{ МПа}$$

$$\text{Prov}_2 := \begin{cases} \text{"Условия прочности не выполняется"} & \text{if } P_{и} \leq P_{d,и} \\ \text{"Условия прочности выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

**Prov\_2 = "Условия прочности выполняется"**

$$P_{и} = 5.481 \times 10^4 \text{ МПа}$$

$$P_{d,и} = 0.703 \times 10^5 \text{ МПа}$$

Таким образом условие прочности при толщине стенок цилиндрической и конической обечаек 8мм выполняется как для рабочего состояния, так и для условий испытаний

#### 4.7 Расчет фланцевого соединения крышки с цилиндрической обечайкой греющей камеры.[15]

Исходные данные для расчета фланцевого соединения крышки с цилиндрической обечайкой греющей камеры:

По ГОСТ 28759.2-90

$$D := 600\text{мм}$$

$$h := 35\text{мм}$$

$$P := 0.8\text{МПа}$$

$$D_H := 740\text{мм}$$

$$h_{\Pi} := 2\text{мм}$$

$$M := 1.15 \cdot 10^7 \text{Н} \cdot \text{мм}$$

$$D_{\sigma} := 700\text{мм}$$

$$S_0 := 8\text{мм}$$

$$F := -0.5 \cdot 10^6 \text{Н}$$

$$D_{\text{СП}} := 664\text{мм}$$

$$d := 20\text{мм}$$

$$c_0 := 2\text{мм}$$

$$b_{\Pi} := 10\text{мм}$$

$$n := 20$$

$$t := 169.6^{\circ}\text{C}$$

Материал обечаек и фланцев - сталь 12Х18Н10Т

Материал болтов - сталь 35Х

Материал прокладки - паронит ПОН.

Фланцы плоские, неизолированные (см. рис. 7а)

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

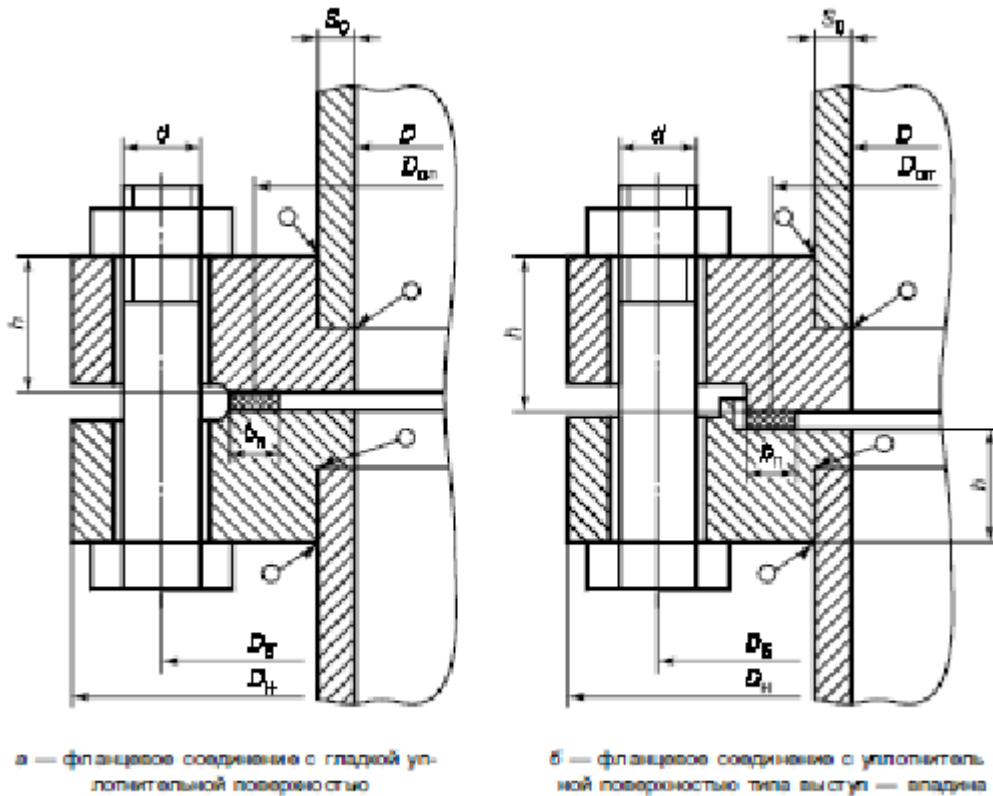


Рисунок 2, лист 1 — Фланцевые соединения с плоскими фланцами

Рисунок 7 – Фланцевые содинения с плоскими фланцами

Выбор крепежных элементов:

Болты

$$b_s = 1$$

#### 4.7.1 Определение расчетных параметров

Расчетные температуры

расчетная температура неизолрированных плоских фланцев  $t_{\phi} = 0,96t$

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

$$t_{\phi} = 162.816$$

расчетная температура болтов

$$t_{\sigma} := 0.85 \cdot t$$

$$t_{\sigma} = 144.16$$

Допускаемые напряжения для болтов из стали 35Х

В рабочем состоянии

$$t_w := \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \begin{pmatrix} 230 \\ 225 \end{pmatrix}$$

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

$$\sigma_{д.б} = 227.5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при рабочей температуре

$$E_{\sigma} := 2.1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

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

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

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

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

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

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

Допускаемые напряжения для фланцев и обечаек стали 12Х18Н10Т

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \begin{pmatrix} 174 \\ 160 \end{pmatrix}$$

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

$$\sigma = 165 \text{ МПа}$$

Так как фланцы изготавливается из листового проката

$$\eta := 1$$

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

$$\sigma_{\text{д.ф}} = 165 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 12Х18Н10Т при рабочей температуре

$$E := 1.93 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

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

$$\sigma_{20} := 184 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{д}20} := \eta \cdot \sigma_{20}$$

$$\sigma_{\text{д}20} = 184 \text{ МПа}$$

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

$$E_{20} := 1.98 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

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

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

Эффективная ширина плоской прокладки

$$b_{\text{н}} := 10 \text{ мм}$$

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

$$b_0 = 10 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки

$$m := 2.5$$

$$q_{\text{обж}} := 20 \text{ МПа}$$

$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{обж}} := 0.9$$

$$E_{\Pi} := 200 \text{ МПа}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке,

$$P_{\text{обж}} := 0.5\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P|$$

$$P_{\text{обж}} = 2.086 \times 10^4 \text{ Н}$$

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

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

$$R_{\Pi} = 4.172 \times 10^4 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечений болтов ГОСТ Р 52857.4-2007

$$f_{\text{б}} := 225 \text{ мм}^2$$

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

$$A_{\text{б}} := n \cdot f_{\text{б}}$$

$$A_{\text{б}} = 4.5 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{сп}})^2 \cdot P$$

$$Q_d = 2.77 \times 10^5 \text{ Н}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента,

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

$$Q_{\text{FM}} = 5.693 \times 10^5 \text{ Н}$$

Податливость прокладки

$$y_{\Pi} := \frac{h_{\Pi} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\Pi}}$$

$$y_{\Pi} = 4.314 \times 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

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

$$L_{\text{б0}} := 62 \text{ мм}$$



Эффективная длина болта при определении податливости

$$L_b := \begin{cases} L_{b0} + 0.28 \cdot d & \text{if } bs = 1 \\ L_{b0} + 0.56 \cdot d & \text{if } bs = 2 \end{cases}$$

$$L_b = 67.6 \text{ мм}$$

Податливость болтов

$$y_b := \frac{L_b}{E_{206} \cdot A_b}$$

$$y_b = 6.891 \times 10^{-8} \text{ мм/Н}$$

Расчетные параметры фланцев:

-параметр длины обечайки

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0}$$

$$l_0 = 69.282 \text{ мм}$$

-отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру

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

$$K = 1.233$$

-коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца,

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

$$\beta_T = 1.824$$

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

$$\beta_U = 10.314$$

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

$$\beta_Y = 9.475$$

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

$$\beta_Z = 4.838$$

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

$$\beta_F := 0.91$$

$$\beta_V := 0.55$$

$$f := 1$$

-коэффициент

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

$$\lambda = 1.316$$

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке

$$y_\Phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2}$$

$$y_\Phi = 4.332 \times 10^{-10}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом,

$$y_{\Phi H} := \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_\delta}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H}$$

$$y_{\Phi H} = 5.398 \times 10^{-11}$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между болтами,

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

$$C_F = 1$$

Приведенный диаметр плоского фланца

$$D_{пр} := D$$

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

$$b := 0.5 \cdot (D_\delta - D_{сп})$$

$$b = 18$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев

$$e := 0.5 \cdot (D_{сп} - D - S_0)$$

$$e = 28$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев

$$S_\Phi := S_0$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев

$$\gamma := \frac{1}{y_\Pi + y_\delta \cdot \frac{E_{20\delta}}{E_\delta} + 2 \cdot b^2 \cdot y_\Phi \cdot \frac{E_{20}}{E}}$$

$$\gamma = 1.264 \times 10^6$$

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

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

$$\alpha = 1.007$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом

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

$$\alpha_M = 0.267$$

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

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_{\Phi} \cdot h \cdot (t_{\Phi} - 20) - 2\alpha_{\delta} \cdot h \cdot (t_{\delta} - 20)]$$

$$Q_t = 6.257 \times 10^4 \text{ Н}$$

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

$$P_{\delta 1} := \max \left[ \begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{СП}}} \\ \alpha \cdot (Q_d + F) + R_{\Pi} + \frac{4 \cdot \alpha_M \cdot |M|}{D_{\text{СП}}} - Q_t \end{array} \right]$$

$$P_{\delta 1} = -1.642 \times 10^5 \text{ Н}$$

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

$$P_{\delta 2} := \max(P_{\text{обж}}, 0.4 \cdot A_{\delta} \cdot \sigma_{20\delta})$$

$$P_{\text{обж}} = 2.086 \times 10^4 \text{ Н}$$

$$P_{\delta 2} = 4.14 \times 10^5 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на болты фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения:

$$P_{\delta M} := \max(P_{\delta 1}, P_{\delta 2})$$

$$P_{\delta M} = 4.14 \times 10^5 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на болты фланцевых соединений в рабочих условиях

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

$$P_{\delta p} = 5.288 \times 10^5 \text{ Н}$$

## 4.7.2 Проверка прочности болтов и прокладки

Расчетные напряжения в болтах

-при затяжке

$$\sigma_{\text{б1}} := \frac{P_{\text{бм}}}{A_{\text{б}}}$$

$$\sigma_{\text{б1}} = 92 \text{ МПа}$$

-в рабочих условиях

$$\sigma_{\text{б2}} := \frac{P_{\text{бр}}}{A_{\text{б}}}$$

$$\sigma_{\text{б2}} = 117.512 \text{ МПа}$$

### Проверка условий прочности болтов при затяжке и в рабочих условиях

Usl\_1 :=  $\begin{cases} \text{"Условия прочности в при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\text{б1}} > \sigma_{20\text{б}} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\text{б2}} > \sigma_{\text{д.б}} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Usl\_1 = "Условия прочности выполняются"

$$\sigma_{\text{б1}} = 92 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{20\text{б}} = 230 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{б2}} = 117.512 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{д.б}} = 227.5 \text{ МПа}$$

Удельное давление на прокладку

$$q := \frac{\max(P_{\text{бм}}, P_{\text{бр}})}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}}$$

$$q = 25.35 \text{ МПа}$$

### Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок)

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

Usl\_2 = "Условие прочности прокладки выполняется"

$$q = 25.35 \text{ МПа}$$

$$q_{\text{д}} = 130 \text{ МПа}$$

## 4.7.3 Расчет фланцев на статическую прочность[15]

Расчетный изгибающий момент, действующий на приварной встык

фланца или плоский

фланец при затяжке,

$$M_{\text{м}} := C_{\text{F}} \cdot P_{\text{бм}} \cdot b$$

$$M_{\text{м}} = 7.452 \times 10^6 \text{ Н*мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях

$$M_{\text{р}} := C_{\text{F}} \cdot \max[P_{\text{бр}} \cdot b + (Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}) \cdot e, |Q_{\text{д}} + Q_{\text{FM}}| \cdot e]$$

$$M_p = 3.321 \times 10^7 \text{ Н*мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

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

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

$$\sigma_{0M} = 262.144 \text{ МПа}$$

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

-радиальное напряжение

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

$$\sigma_{RM} = 12.414 \text{ МПа}$$

-окружное напряжение

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM}$$

$$\sigma_{TM} = 36.002 \text{ МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

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

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

$$\sigma_{0p} = 1.168 \times 10^3 \text{ МПа}$$

-максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца

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

$$\sigma_{0MP} = -13.411 \text{ МПа}$$

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

-радиальное напряжение

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

$$\sigma_{Rp} = 55.332 \text{ МПа}$$

-окружное напряжение

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta \cdot Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta \cdot Z \cdot \sigma_{Rp}$$

$$\sigma_{Tp} = 160.465 \text{ МПа}$$

### Проверка условий статической прочности фланцев

$$\sigma_{Pmax} := \max \left( \left( \left( \left| \sigma_{Op} - \sigma_{Omp} + \sigma_{Tp} \right| \right) \right) \right)$$

$$\sigma_{3max} := \max \left( \left| \sigma_{Om} + \sigma_{Rm} \right|, \left| \sigma_{Om} + \sigma_{Tm} \right| \right)$$

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

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

КТ=1.3 при расчете с учетом стесненности температурных деформаций.

При расчете без учета стесненности температурных деформаций КТ=1.

$$K_T := 1.3$$

$$Us1_3 := \begin{cases} PR_3 & \text{if } \sigma_{3max} < K_T \cdot \sigma_{20} \wedge \sigma_{Pmax} < K_T \cdot \sigma_{д.ф} \\ PR_1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1\_3 = "Условия статической прочности при затяжке и в рабочих условиях выполняются"

$$\sigma_{3max} = 298.145 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot \sigma_{20} = 239.2 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{Pmax} = 1.342 \times 10^3 \text{ МПа}$$

$$K_T \cdot \sigma_{д.ф} = 214.5 \text{ МПа}$$

### Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца

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

$$\Theta = 0.015$$

Допустимый угол поворота плоского фланца

$$\Theta_{д} := 0.13$$

$$Us1_P := \begin{cases} \text{"Условие при испытаниях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > 1.3 \cdot \Theta_{д} \\ \text{"Условие в рабочих условиях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > \Theta_{д} \\ \text{"Условие поворота плоского фланца выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1\_P = "Условие поворота плоского фланца выполняется"

#### 4.8 Укрепление отверстий.[16]

##### Исходные данные для расчета укрепления отверстия штуцера отвода в торичного пара.

Внутреннее расчетное давление, МПа

$$P_{r.c} := 0.413$$

Расчетная температура, °C

$$t_{r.c} := 143.97$$

Исполнительная толщина стенки оболочки, мм

$$s_c := 6$$

Диаметр отверстия, мм

$$d_c := 200$$

Длина внешней части штуцера, мм

$$l_{1.c} := 250$$

Длина внутренней части штуцера, мм

$$l_{2.c} := 5$$

Прибавка к расчетной толщине стенки, мм

$$c_c := 1$$

Внутренний диаметр оболочки, мм

$$D_c := 1400$$

Марка стали -

12X18H10T

по ГОСТ 3680-57

$$\phi := 1$$

Коэффициент прочности сварных швов (для стали)

$$\eta := 1$$

Поправочный коэффициент для листового проката

##### Укрепление отверстия в кожухе сепаратора

по ГОСТ Р 52857.1-2007

Нормативные допускаемые напряжения для :12X18H10T

$$\sigma_{20.c} := 184 \text{ МПа}$$

-при  $t=200^{\circ}\text{C}$

$$\sigma_c := 1644 \text{ МПа}$$

-при расчетной  $t=143.97^{\circ}\text{C}$

Допускаемые напряжения для 12X18H10T при рабочих условиях:

$$\sigma_{d20.c} := \eta \cdot \sigma_{20.c}$$

$$\sigma_{d20.c} = 184 \text{ МПа}$$

-при  $t=200^{\circ}\text{C}$

$$\sigma_{d.c} := \eta \cdot \sigma_c$$

$$\sigma_{d.c} = 164 \text{ МПа}$$

-при расчетной  $t=143.97^{\circ}\text{C}$

Минимальное значение предела текучести для 12X18H10T при  $t=200^{\circ}\text{C}$ :

$$\sigma_{t20.c} := 274 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для 12X18H10T[9]  
при гидравлических условиях испытания:ГОСТ380-71

$$\sigma_{i.c} := \frac{\sigma_{t20.c}}{1.1}$$

$$\sigma_{i.c} = 249.091 \text{ МПа}$$

Пробное давление для не литых сосудов при  $P > 0.5$  МПа:

$$P_{i.c} := 1.25 \cdot P_{r.c} \cdot \frac{\sigma_{d20.c}}{\sigma_{d.c}}$$

$$P_{i.c} = 0.579 \text{ МПа}$$

Исполнительная толщина и прибавка к расчетной толщине стенки обечайки известны.

Определим расчетную толщину стенки из условия прочности:

$$s_{p.c} := \max\left(\frac{P_{r.c} \cdot D_c}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{d.c} - P_{r.c}}, \frac{P_{i.c} \cdot D_c}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{i.c} - P_{i.c}}\right)$$

$$s_{p.c} = 1.765 \text{ мм}$$

Принимаем исполнительную толщину стенки штуцера:

$$s_{ш.с} := s_c$$

$$s_{ш.с} = 6 \text{ мм}$$

$$c_{ш.с} := c_c$$

$$c_{ш.с} = 1 \text{ мм}$$

Определим расчетную толщину стенки штуцера из условия прочности:

$$s_{ш.p.c} := \frac{P_{r.c} \cdot (d_c + 2 \cdot c_{ш.с})}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{d.c} - P_{r.c}}$$

$$s_{ш.p.c} = 0.255 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр цилиндрической оболочки:

$$D_{p.c} := D_c$$

$$D_{p.c} = 1.4 \times 10^3 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия (ось отверстия нормальна к оси оболочки):

$$d_{p.c} := d_c + 2 \cdot c_{ш.с}$$

$$d_{p.c} = 202 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстия, не требующего укрепления:

$$d_{0.p.c} := 0.4 \cdot \sqrt{D_{p.c} \cdot (s_c - c_c)}$$

$$d_{0.p.c} = 33.466 \text{ мм}$$

**Наибольший допускаемый диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления при наличии избыточной толщины стенки: [16]**

$$d_{0.c} := 2 \cdot \left[ \frac{(s_c - c_c)}{s_{p.c}} - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_{p.c} \cdot (s_c - c_c) - c_{ш.с}}$$

$$d_{0.c} = 338.155 \text{ мм}$$



Расчетная длина внешней части штуцера:

$$l_{1.p.c} := \min \left[ l_{1.c}, 1.25 \cdot \sqrt{(d_c + 2 \cdot c_{ш.с}) \cdot (s_{ш.с} - c_{ш.с})} \right]$$

$$l_{1.p.c} = 39.726 \text{ мм}$$

Расчетная длина внутренней части штуцера:

$$l_{2.p.c} := \min \left[ l_{2.c}, 0.5 \cdot \sqrt{(d_c + 2 \cdot c_{ш.с}) \cdot (s_{ш.с} - 2 \cdot c_{ш.с})} \right]$$

$$l_{2.p.c} = 5 \text{ мм}$$

По проведенным расчетам укреплений отверстий по ГОСТ 52857.3-2007

Определили наибольший допускаемый диаметр одиночного отверстия не требующего укрепления, при наличии избыточной толщины стенки равным 338.155 мм. Следовательно, укрепление отверстий требуется только для люк лаза диаметром 500мм.

### Укрепление отверстия.

Т.к. материалы обечайки, штуцера и укрепляющего кольца одинаковы, то

$$\chi_1 := 1$$

$$\chi_2 := 1$$

Укрепим штуцером, тогда расчетная толщина укрепляющего кольца:

$$s_{y.p.c} := 4 \text{ мм}$$

Площадь продольного сечения наружной части штуцера, участвующей в укреплении:

$$A_{1.N.c} := (l_{1.p.c} + s_{y.p.c} + s_c - s_{p.c} - c_c) \cdot (s_{ш.с} - s_{ш.p.c} - c_{ш.с})$$

$$A_{1.N.c} = 222.844 \text{ мм}^2$$

Площадь продольного сечения внутренней части штуцера, участвующей в укреплении:

$$A_{1.B.c} := l_{2.p.c} \cdot (s_{ш.с} - 2 \cdot c_{ш.с})$$

$$A_{1.B.c} = 20 \text{ мм}^2$$

Площадь продольного сечения усиливающей обечайку элемента в зоне укрепления:

$$A_{2.c} := s_{y.p.c} \cdot \sqrt{D_{p.c} \cdot (s_{y.p.c} + s_c - c_c)}$$

$$A_{2.c} = 448.999 \text{ мм}^2$$

Площадь продольного сечения оболочки, участвующая в укреплении:

$$A_{0.c} := \sqrt{D_{p.c} \cdot (s_{y.p.c} + s_c - c_c)} \cdot (s_c - s_{p.c} - c_c)$$

$$A_{0.c} = 363.125 \text{ мм}^2$$

Площадь продольного сечения выреза, подлежащая компенсации:

$$A_c := 0.5 \cdot (d_{p.c} - d_{0.p.c}) \cdot s_{p.c}$$

$$A_c = 148.733 \text{ мм}^2$$

Условие укрепления:

$$(A_{1.N.c} + A_{1.B.c}) \cdot \chi_1 + A_{2.c} \cdot \chi_2 + A_{0.c} = 1.055 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

$$A_c = 148.733 \text{ мм}^2$$

$$(A_{1.N.c} + A_{1.B.c}) \cdot \chi_1 + A_{2.c} \cdot \chi_2 + A_{0.c} \geq A_c$$

$$1.052 \times 10^3 \geq 141.67$$

-условие укрепления выполняется

## 4.9 Расчет обечайек и днищ от воздействия опорных нагрузок. [17]

### Общие положения

Для обечайки нагруженной опорным узлом, определяют местные допускаемые усилия  $[F]_l$ . В основу расчета обечайек, нагруженных несущими ушками, опорными лапами или седловыми опорами, положено предельное напряжение изгиба  $[\sigma]_l$ , определяемое из условия достижения предельного состояния балки прямоугольного сечения, вырезаемой из обечайки.

### Ввод данных

#### Общие данные

$$D := 600 \text{ мм}$$

$$M := 0 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

$$P := 0.8 \text{ МПа}$$

$$F' := 0.5 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

$$D_k := 350 \text{ мм}$$

$$R' := 0.5D \text{ мм}$$

$$g' := 9.8 \text{ м/с}^2$$

$$H_p := 150 \text{ мм}$$

$$s' := 4 \text{ мм}$$

$$H' := 9 \text{ мм}$$

$$t_p := 169.9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$G' := 7.3 \cdot 10^4 \text{ Н}$$

$$\rho := 1000 \text{ кг/м}^3$$

$$c' := 2 \text{ мм}$$

$D'$  :=

цилиндрическая обечайка  
коническая обечайка  
сферическая обечайка и сегмента для торосферических днищ  
эллиптическое днище

$T$  :=

меридиональное напряжение в цилиндрической обечайке  
меридиональное напряжение в конической обечайке

$k$  :=

Рабочие условия  
Условия испытания и монтажа

$pl$  :=

С подкладным листом  
Без подкладного листа

Опора :=  $\begin{cases} \text{"с подкладным листом"} & \text{if } p1 = 1 \\ \text{"без подкладного листа"} & \text{if } p1 = 2 \end{cases}$

### Опорные лапы Основные размеры[17]

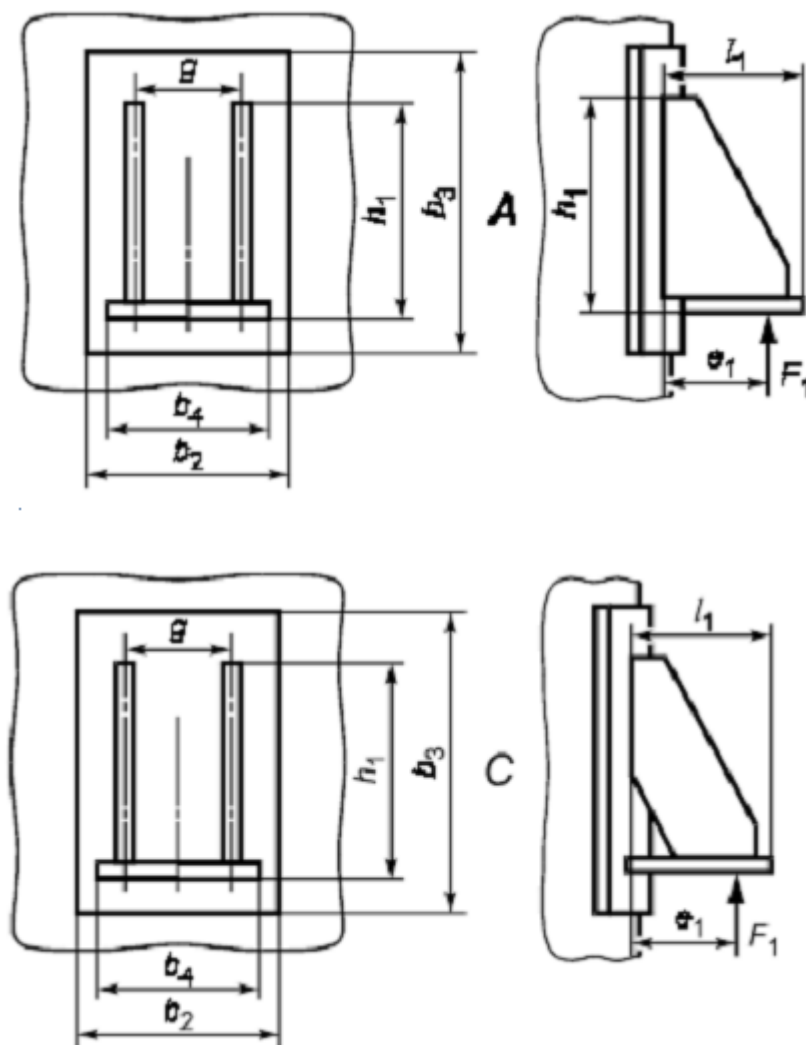


Рисунок 7 Опорные лапы

n :=

Две опоры
Три опоры
Четыре опоры

Тип :=

Конструкция А и С
Конструкция В
Конструкция D

$$b'_2 := 250 \text{ мм}$$

$$b'_3 := 300 \text{ мм}$$

$$b_4 := 200 \text{ мм}$$

$$g := 180 \text{ мм}$$

$$h_1 := 450 \text{ мм}$$

$$l_1 := 900 \text{ мм}$$

$$s'_2 := 15 \text{ мм}$$

$$\text{Конструкция} := \begin{cases} \text{"А или С"} & \text{if Тип} = 1 \\ \text{"В"} & \text{if Тип} = 2 \\ \text{"D"} & \text{if Тип} = 3 \end{cases}$$

### Выбор типа стали

tip :=

Углеродистая сталь
Низколегированная сталь
Аустенитная сталь

$$t_s := \begin{cases} 380 & \text{if tip} = 1 \\ 480 & \text{if tip} = 2 \\ 525 & \text{if tip} = 3 \end{cases}$$

$$t_s = 525$$

$$Us1 := \begin{cases} \text{"Условие применения стали выполняется"} & \text{if } t_p \leq t_s \\ \text{"Условие применения стали НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1 = "Условие применения стали выполняется"

### Выбор марки стали:

a :=

10Г2
15ХМ
15Х5М
12Х18Н10Т
ВСтЗсп
08Х21Н6М2Т
08Х22Н6Т
16ГС
09Г2С

### Расчет допускаемых напряжений

$$\sigma' := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_p), 0.5)$$

$$\sigma = 164.5 \text{ МПа}$$

$$\eta := 1$$

Так как аппарат изготавливается из листового проката

$$\sigma_d := \eta \cdot \sigma'$$

$$\sigma_d = 164.5 \text{ МПа}$$

Расчетное значение предела текучести при 20<sup>0</sup>С для стали:

$$R_{e20} := 300$$

$$\sigma_{н} := \text{Floor}\left(\frac{Re_{20}}{1.1}, 0.5\right)$$

$$\sigma_{н} = 272.5 \text{ МПа}$$

Расчетное значение внутреннего избыточного давления

$$P_p := P + \frac{\rho \cdot g \cdot H_p}{10^9} = 0.801$$

Допускаемое напряжение для стали при  $t=200^{\circ}\text{C}$

$$\sigma_{20} := 184 \text{ МПа}$$

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

Модуль упругости для стали при расчетной температуре

$$E := \text{Floor}\left(\text{linterp}(tt, E \cdot 10^5, t_p), 0.5\right)$$

$$E = 1.982 \times 10^5$$

Модуль упругости для стали при температуре испытания  $200^{\circ}\text{C}$

$$E_{20} := \begin{cases} 1.99 \cdot 10^5 & \text{if } tip = 1 \\ 2.15 \cdot 10^5 & \text{if } tip = 2 \\ 2 \cdot 10^5 & \text{if } tip = 3 \end{cases}$$

$$E_{20} = 2 \times 10^5$$

Коэффициент прочности продольных сварных швов обечайки определяем при условии, что стыковые швы выполняются автоматической сваркой с двусторонним сплошным проваром при длине контролируемых швов 50%, по табл. Д.1 ГОСТ Р 52857.1

Принимаем

$$\phi_p := 0.9$$

**Общие положения**

**Общие мембранные напряжения**

Расчётный диаметр:

$$D_p := \begin{cases} D_p \leftarrow D & \text{if } D' = 1 \\ D_p \leftarrow \frac{D_k}{\cos(\alpha)} & \text{if } D' = 2 \\ D_p \leftarrow R' & \text{if } D' = 3 \\ D_p \leftarrow \frac{D^2}{4H'} \cdot \sqrt{1 - 4x^2 \cdot \frac{D^2 - 4H'^2}{D^2}} & \text{if } D' = 4 \end{cases}$$

$$D_p = 600$$

$$\sigma_{mx} := \begin{cases} \sigma_{mx} \leftarrow \max \left[ \frac{P_p \cdot D_p}{4 \cdot (s' - c')} + \frac{1}{\pi \cdot D_p \cdot (s' - c')} \cdot \left( F' + \frac{4M}{D_p} \right), \frac{P_p \cdot D_p}{4 \cdot (s' - c')} + \frac{1}{\pi \cdot D_p \cdot (s' - c')} \cdot \left( F' - \frac{4M}{D_p} \right) \right] & \text{if } T = 1 \\ \sigma_{mx} \leftarrow \max \left[ \frac{P_p \cdot D_p}{4 \cdot (s' - c')} + \frac{1}{\pi \cdot D_k \cdot (s' - c')} \cdot \left( F' + \frac{4M}{D_p} \right), \frac{P_p \cdot D_p}{4 \cdot (s' - c')} + \frac{1}{\pi \cdot D_k \cdot (s' - c')} \cdot \left( F' - \frac{4M}{D_p} \right) \right] & \text{if } T = 2 \end{cases}$$

$$\sigma_{нк} = 192.739$$

Общее окружное мембранное напряжение в сферической обечайке, сферическом сегменте торосферического днища и эллиптическом днище вычисляются:

$$\sigma_m := \frac{P_p \cdot D_p}{2 \cdot (s' - c')} = 120.221$$

Коэффициент, представляющий отношение местных мембранных напряжений, к местным напряжениям изгиба:

$$\theta_1 := \begin{cases} \theta_2 \leftarrow 0.2 & \text{if } \theta = 1 \\ \theta_2 \leftarrow 0.3 & \text{if } \theta = 2 \end{cases}$$

$$\theta_1 = 0.2$$

Коэффициент, учитывающий степень нагрузки общими мембранными напряжениями:

$$K_2 := \begin{cases} K_2 \leftarrow 1.25 & \text{if } k = 1 \\ K_2 \leftarrow 1.05 & \text{if } k = 2 \end{cases}$$

$$K_2 = 1.25$$

$$\theta_2 := \frac{\sigma_m}{K_2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p}$$

Где  $\sigma_m$ -общие мембранные напряжения.

$$K_1 := \frac{1 - \theta_2^2}{\left(\frac{1}{3} + \theta_1 \cdot \theta_2\right) + \sqrt{\left(\frac{1}{3} + \theta_1 \cdot \theta_2\right)^2 + (1 - \theta_2^2) \cdot \theta_1^2}}$$

Предельное напряжение изгиба вычисляют по формуле, которая ограничивает местные напряжения изгиба в зависимости от местных мембранных напряжений и степени нагрузки общими мембранными напряжениями:

$$\sigma_{\text{изгиба}} := K_1 \cdot K_2 \cdot \sigma_d = 124.996$$

## Опорные лапы

Условия применения расчётных формул п. 6.2 ГОСТ 52857.5 - 2007

$$Us1\_5 := \begin{cases} \text{"условие 6.2.1 выполняется"} & \text{if } \frac{s' - c'}{D_p} \leq 0.5 \\ \text{"условие 6.2.1 НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1\_5 = "условие 6.2.1 выполняется"

$$Us1\_6 := \begin{cases} \text{"условие 6.2.2 выполняется"} & \text{if } 0.04 \leq \frac{b'_3}{D_p} \leq 0.5 \\ \text{"условие 6.2.2 НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1\_6 = "условие 6.2.2 выполняется"

$$Us1\_7 := \begin{cases} \text{"условие 6.2.3 выполняется"} & \text{if } g \geq 0.2h_1 \\ \text{"условие 6.2.3 НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1\_7 = "условие 6.2.3 выполняется"

$$Us1\_8 := \begin{cases} \text{"условие 6.2.4 Не выполняется"} & \text{if } 0.04 \leq \frac{h_1}{D_p} \leq 0.5 \\ \text{"условие 6.2.4 выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1\_8 = "условие 6.2.4 выполняется"

$$Us1\_9 := \begin{cases} \text{"условие 6.2.5 выполняется"} & \text{if } 0.04 \leq \frac{b'_3}{D_p} \leq 0.8 \\ \text{"условие 6.2.5 НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Us1\_9 = "условие 6.2.5 выполняется"

Us1\_10 :=  $\begin{cases} \text{"условие 6.2.6 выполняется"} & \text{if } b'_2 \geq 0.6b'_3 \\ \text{"условие 6.2.6 НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Us1\_10 = "условие 6.2.6 выполняется"

Us1\_11 :=  $\begin{cases} \text{"условие 6.2.7 выполняется"} & \text{if } b'_3 \leq 1.5h_1 \\ \text{"условие 6.2.7 НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Us1\_11 = "условие 6.2.7 выполняется"

Us1\_12 :=  $\begin{cases} \text{"условие 6.2.8 выполняется"} & \text{if } s'_2 \geq s' \\ \text{"условие 6.2.8 НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$

Us1\_12 = "условие 6.2.8 выполняется"

## Расчёт усилия.

Если неизвестно точное значение  $e'_1$  то принимают:

$$e'_1 := \frac{5}{6} \cdot l_1$$

Количество опорных лап

$n = 3$

$$F_{1'} := \begin{cases} F_{1'} \leftarrow \frac{G'}{2} + \frac{M}{D + 2(e'_1 + s' + s'_2)} & \text{if } n = 2 \\ F_{1'} \leftarrow \frac{G'}{3} + \frac{M}{0.75[D + 2(e'_1 + s' + s'_2)]} & \text{if } n = 3 \\ F_{1'} \leftarrow \frac{G'}{4} + \frac{M}{D + 2(e'_1 + s' + s'_2)} & \text{if } n = 4 \end{cases}$$

$$F_{1'} = 2.433 \times 10^4$$

## Проверка несущей обечайки.

Коэффициент  $K_7$  вычисляют по формулам в зависимости от типа конструкции:

Конструкция = "А или С"

## Определение коэффициентов

$$x'' := \ln \left[ \frac{D_p}{2 \cdot (s' - c')} \right]$$

$$y'' := \ln \left( \frac{h_1}{D_p} \right)$$

$$z'' := \ln \left( \frac{b_4}{D_p} \right)$$

$$y_1 := \ln \left( \frac{b'_3}{D_p} \right)$$

$$k_1 := -5.964 - 11.395x'' - 18.984y'' - 2.413x''^2 - 7.286x'' \cdot y''$$

$$k_2 := 2.042y''^2 + 0.132x''^3 + 0.4833x''^2 \cdot y'' + 0.8469x'' \cdot y''^2 + 1.428y''^3$$

$$k_3 := 0.2267x''^3 + 0.2831x''^2 \cdot y'' + 0.385x'' \cdot y''^2 + 1.370y''^3$$

$$k_4 := (-26.791 - 6.936x'' - 36.330y'' - 3.503x''^2 - 3.357x'' \cdot y'' + 2.786)$$

$$k_5 := -5.964 - 11.395x'' - 18.984y'' - 2.413x''^2 - 7.286x'' \cdot y'' - 2.042y''^2$$

$$k_6 := 0.132x''^3 + 0.4833x''^2 \cdot y'' + 0.8469x'' \cdot y''^2 + 1.428y''^3$$

$$k_7 := -29.532 - 45.958x'' - 91.752y'' - 1.80k''^2 - 12.06x'' \cdot z'' - 18.87z''^2$$

$$\begin{aligned}
K_7 &:= \begin{cases} K_7 \leftarrow \exp\left[(k1 - k2) \cdot 10^{-2}\right] & \text{if Тип} = 1 \\ K_7 \leftarrow \min\left[\exp\left[(k4 + k3) \cdot 10^{-2}\right], \exp\left[(k5 + k6) \cdot 10^{-2}\right]\right] & \text{if Тип} = 2 \\ K_7 \leftarrow \exp\left[\left(k7 + 0.155k^3 + 1.61k^2z' + 3.736z'^2 + 1.425z'^3\right) \cdot 10^{-2}\right] & \text{if Тип} = 3 \end{cases} \\
k8 &:= \left(-49.919 - 39.119x'' - 107.01y_1 - 1.693x''^2 - 11.920x''y_1 - 32.276\right) \cdot y_1^2 \\
k9 &:= -5.964 - 11.395x'' - 18.984y'' - 2.413x''^2 - 7.286x''y'' \\
k10 &:= 2.042y''^2 + 0.132x''^3 + 0.4833x''^2y'' + 0.8469x''y''^2 + 1.428y''^3 \\
K_8 &:= \min\left[\exp\left[\left(k8 + 0.237k^3 + 1.608x''^2 \cdot y_1 + 2.76k''y_1^2 - 3.854y_1^3\right) \cdot 10^{-2}\right], \exp\left[(k9 - k10) \cdot 10^{-2}\right]\right]
\end{aligned}$$

Значения коэффициентов:

$$K_7 = 0.297$$

и

$$K_8 = 0.297$$

$$F_{\text{доп}} := \begin{cases} F_{\text{доп}} \leftarrow \frac{\sigma_{\text{изгиба}} \cdot h_1 \cdot (s' - c)^2}{K_7 \cdot e'_1} & \text{if } p1 = 2 \\ F_{\text{доп}} \leftarrow \frac{\sigma_{\text{изгиба}} \cdot b_3 \cdot (s' - c)^2}{K_8 \cdot (e'_1 + s'_2)} & \text{if } p1 = 1 \end{cases}$$

$$F_{\text{доп}} = 2.242 \times 10^3$$

Несущая способность обечайки должна удовлетворять условию, согласно п. 6.4 ГОСТ 52857.5-2007, в зависимости от наличия или отсутствия подкладного листа.

**Опора = "с подкладным листом"**

$$\begin{aligned}
Usl_{15} &:= \begin{cases} \text{if } p1 = 1 \\ \left| \begin{cases} F'_{1'} \leftarrow F_{\text{доп}} \cdot \left(0.5 + \frac{g}{h_1}\right) & \text{if } \frac{g}{h_1} < 0.5 \\ F'_{1'} \leftarrow F_{\text{доп}} & \text{otherwise} \end{cases} \\ \text{if } p1 = 2 \\ \left| \begin{cases} F'_{1'} \leftarrow F_{\text{доп}} \cdot \left(0.4 + \frac{b'_2}{b'_3}\right) & \text{if } \frac{b'_2}{b'_3} < 0.6 \\ F'_{1'} \leftarrow F_{\text{доп}} & \text{otherwise} \end{cases} \\ \text{"условие 6.4 выполняется"} & \text{if } F'_{1'} \geq F_{1'} \\ \text{"условие 6.4 НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}
\end{aligned}$$

Usl<sub>15</sub> = "условие 6.4 выполняется"



## 5 Расчет барометрического конденсатора.

### 5.1 Расход охлаждающей воды.

Расход охлаждающей воды  $G_B$  определяют из теплового баланса конденсатора:[7]

$$G_B = \frac{\omega_3(I_{б.к} - c_B t_k)}{c_B(t_k - t_H)}$$

Где  $I_{б.к}$  энтальпия паров в барометрическом конденсаторе, Дж/кг;  $t_H$  начальная температура охлаждающей воды (примем равной  $20^\circ\text{C}$ ),  $^\circ\text{C}$ ;  $t_k$  конечная температура воды и конденсата,  $^\circ\text{C}$ .

Разность температур между паров и жидкостью на выходе из конденсатора должна быть 3-5 град.

$t_k$  примем на 3 град ниже температуры конденсации паров

$$t_k = t_{б.к.} - 3 = 84,42 - 3 = 81,42^\circ\text{C}$$
$$G_B = \frac{0,77(2653000 - 4,19 \cdot 10^3 \cdot 81,42)}{4,19 \cdot 10^3(81,42 - 20)} = 6,91 \text{ кг/с}$$

### 5.2 Диаметр конденсатора.

Диаметр барометрического конденсатора  $d_{бк}$  определяют из уравнения расхода:[7]

$$d_{бк} = \sqrt{\frac{4 \cdot \omega_3}{\rho \cdot \pi \cdot v}}$$

Где  $\rho=0,3531 \text{ кг/м}^3$ —плотность паров;  $v$ - скорость паров, м/с. При остаточном давлении в конденсаторе скорость паров  $v=15\text{-}25 \text{ м/с}$ . Тогда

$$d_{бк} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,77}{0,3531 \cdot 3,14 \cdot 20}} = 0,373 \text{ м}$$

Согласно данным [2] Приложение 4.6 стр.188 выбираем барометрический конденсатор диаметром

$$d_{бк} = 500 \text{ мм}$$

### 5.3 Высота барометрической трубы.

В соответствии с данными [3] внутренний диаметр барометрической трубы  $d_{бт}=125 \text{ мм}$ . Скорость воды в барометрической трубе:

$$v = \frac{4(G_B - \omega_3)}{\rho \cdot \pi \cdot d_{бт}^2} = \frac{4(6,91 + 0,77)}{1000 \cdot 3,14 \cdot 0,125^2} = 0,626 \text{ м/с}$$

Высота барометрической трубы

$$H_{бт} = \frac{B}{\rho_B} + \left(1 + \sum \xi + \lambda \frac{H_{бт}}{d_{бк}}\right) \cdot \frac{v_B^2}{2g} + 0,5$$

Где  $B$ - вакуум в барометрическом конденсаторе, Па;  $\sum \xi$  сумма коэффициентов местных сопротивлений;  $\lambda$  коэффициент трения в

барометрической трубе; 0,5 запас высоты на возможные изменения барометрического давления, м.

$$V = P_{\text{атм}} - P_{\text{бк}} = 9,8 \cdot 10^4 - 5,88 \cdot 10^4 = 3,92 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

$$\sum \xi = \xi_{\text{вх}} + \xi_{\text{вых}} = 0,5 + 1 = 1,5$$

Где  $\xi_{\text{вх}}$ ,  $\xi_{\text{вых}}$  коэффициенты местных сопротивлений на входе и выходе из трубы.

Коэффициент трения  $\lambda$  зависит от режима течения жидкости

$$Re = \frac{v_{\text{в}} \cdot d_{\text{бк}} \cdot \rho_{\text{в}}}{\mu_{\text{в}}} = \frac{0,626 \cdot 0,125 \cdot 1000}{0,54 \cdot 10^{-3}} = 144900$$

Для гладких труб при  $Re=144900$  коэффициент трения

$$\lambda = 0,316 / Re^{0,25} = 0,016 \text{ [4]}$$

$$H_{\text{бт}} = \frac{3,92 \cdot 10^4}{1000 \cdot 9,8} + \left( 1 + 1,5 + 0,016 \frac{H_{\text{бт}}}{0,125} \right) \cdot \frac{0,626^2}{2 \cdot 9,8} + 0,5$$

Отсюда  $H_{\text{бт}} = 4,5 \text{ м}$

## 5.4 Расчет производительность вакуум-насоса

Производительность вакуум-насоса  $G_{\text{возд}}$  определяется количеством воздуха, который необходимо удалять из барометрического конденсатора:

$$G_{\text{возд}} = 2,5 \cdot 10^{-5} (\omega_3 + G_{\text{в}}) + 0,01 \omega_3$$

Где  $2,5 \cdot 10^{-5}$  количество газа, выделяющего из 1 кг воды; 0,01 количество газа, подсосываемого в конденсатор через неплотности, на 1 кг паров.

$$G_{\text{возд}} = 2,5 \cdot 10^{-5} (0,77 + 6,91) + 0,01 \cdot 0,77 = 7,892 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$$

Объемная производительность вакуум-насоса равна:

$$V_{\text{возд}} = \frac{R(273 + t_{\text{возд}})G_{\text{возд}}}{M_{\text{возд}} \cdot P_{\text{возд}}}$$

Где  $R$  газовая постоянная, Дж/(кмоль·К);  $M_{\text{возд}}$  молекулярная масса воздуха, кг/кмоль;  $P_{\text{возд}}$  парциальное давление сухого воздуха в барометрическом конденсаторе, Па.

Температура воздуха рассчитывают по уравнению

$$t_{\text{возд}} = t_{\text{н}} + 4 + 0,1(t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) = 20 + 4 + 0,1(81,42 - 20) = 30,14 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Давление воздуха равно:

$$P_{\text{возд}} = P_{\text{бк}} - P_{\text{п}} = 0,6 \cdot 9,8 \cdot 10^4 - 0,0433 \cdot 9,8 \cdot 10^4 = 5,456 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

Тогда

$$V_{\text{возд}} = \frac{8310(273 + 30,14)7,892 \cdot 10^{-3}}{29 \cdot 5,456 \cdot 10^4} = 0,78 \text{ м}^3/\text{мин}$$

По полученным значениям выбираем вакуум-насос типа ВВН-1,2 мощностью на валу  $N=2,1 \text{ кВт}$  [2] Приложение 4.6 стр.188

## 6 Расчет вспомогательного оборудования.

### 6.1 Подбор подогревателя исходной смеси.

Выбираем греющий пар с давлением и температурой:

$$P_{г.п.}=8 \text{ атa} \quad t_{г.п.}=169,6 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_k=150,69 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad t_H=20^{\circ}\text{C}$$

Количество тепла отдаваемое паром раствору:

$$Q_{п} = G_H \cdot c_p \cdot (t_k - t_H)$$

Где  $c_p$  теплоемкость раствора, равная 4000 Дж/кг·К

Тогда:

$$Q_{п} = 0,77 \cdot 4000 \cdot (150,69 - 20) = 402525,2 \text{ Вт}$$

Средняя разность температур:

$$\begin{aligned} \Delta t_{\delta} &= t_{г.п.} - t_H = 169,6 - 20 = 149,6 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ \Delta t_M &= t_{г.п.} - t_k = 169,6 - 150,69 = 18,91 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ \Delta t_{cp} &= \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_M}{\ln\left(\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_M}\right)} = \frac{149,6 - 18,91}{\ln\left(\frac{149,6}{18,91}\right)} = 63,19 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Найдем поверхность теплообмена, коэффициент теплопередачи при вынужденном движении теплоносителя(раствора) от конденсирующегося пара к водному раствору (или воде) принимаем равный  $K=800 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$

Тогда:

$$F = \frac{Q_{п}}{K \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{402525,2}{800 \cdot 63,19} = 7,96 \text{ м}^2$$

Выбираем теплообменник кожухотрубчатый, двухходовой ТН  $d_b=325 \text{ мм}$ , трубы 25x2, длина труб 2000 мм, поверхность теплообмена  $F=8,8 \text{ м}^2$

### 6.2 Подбор центробежного насоса.

Насос предназначен для подачи раствора из емкости исходной смеси, через подогреватель исходной смеси, в первый корпус выпарной установки. Для всасывающего и нагнетательного трубопровода примем одинаковую скорость течения раствора  $w=2 \text{ м/с}$

Плотность раствора при исходной концентрации и  $X_H=6\%$  и начальной температуре  $t_H=20^{\circ}\text{C}$  равна  $\rho_{20}=1042 \text{ кг/м}^3$

Вход исходной смеси:

$$d_y = \sqrt{\frac{G_H}{0,785 \cdot 2 \cdot \rho_{20}}} = \sqrt{\frac{0,77}{0,785 \cdot 2 \cdot 1042}} = 0,022 \text{ м}$$

Примем  $d_y = 28 \times 3 \text{ мм}$ . Примем так же, что трубопровод стальной, коррозия незначительная.

Вязкость раствора  $\mu_{20}=0,001081 \text{ Па}\cdot\text{с}$

Тогда критерий Рейнольдса:

$$Re_{20} = \frac{w \cdot d_y \cdot \rho_{20}}{\mu_{20}} = \frac{2 \cdot 0,028 \cdot 1042}{0,001081} = 53979$$

Режим турбулентный. При турбулентном течении жидкости относительную шероховатость можно не учитывать, а коэффициент трения  $\lambda$  рассчитывают по формуле Блазиуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} = \frac{0,3164}{53979^{0,25}} = 0,037$$

Определим сумму коэффициентов местных сопротивлений отдельно для всасывающей и нагнетательной линии трубопровода:

Всасывающая линия: Вход в трубу  $\xi_1=0,5$ ; Прямоточные вентили  $\xi_2=0,85$ ; Отводы  $\xi_3=0,09$

Тогда сумма коэффициентов местных сопротивлений:

$$\sum \xi = \xi_1 + 2 \cdot \xi_2 + 2 \cdot \xi_3 = 0,5 + 2 \cdot 0,85 + 2 \cdot 0,09 = 2,38$$

Длина трубопровода  $L_{вс}=1$  м;  $L_{наг}=5$  м

Потери напора:

$$h_{тр.вс} = \lambda \cdot \frac{L}{d_y} \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g} = 0,037 \cdot \frac{1}{0,028} \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 0,269 \text{ м}$$

$$h_{м.с.вс} = \sum \xi \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g} = 2,38 \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 0,485 \text{ м}$$

$$h_{потерь вс} = h_{тр.вс} + h_{м.с.вс} = 0,754 \text{ м}$$

Линия нагнетания: Выход в трубу  $\xi_1=1$ ; Прямоточные вентили  $\xi_2=0,85$ ; Отводы  $\xi_3=0,09$ ; Выход в трубу  $\xi_4=0,5$

Тогда сумма коэффициентов местных сопротивлений:

$$\sum \xi = 2 \cdot \xi_1 + 4 \cdot \xi_2 + 7 \cdot \xi_3 + \xi_4 = 2 \cdot 1 + 4 \cdot 0,85 + 7 \cdot 0,09 + 0,5 = 6,53$$

Потери напора:

$$h_{тр.наг} = \lambda \cdot \frac{L}{d_y} \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g} = 0,037 \cdot \frac{5}{0,028} \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 1,347 \text{ м}$$

$$h_{м.с.наг} = \sum \xi \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g} = 6,53 \cdot \frac{2^2}{2 \cdot 9,81} = 1,331 \text{ м}$$

$$h_{потерь нагн} = h_{тр.вс} + h_{м.с.вс} = 2,678 \text{ м}$$

Потери напора в подогревателе исходной смеси: Входная и выходная камера

$\xi_1=1,5$ ; Поворот между ходами  $\xi_2=2,5$ ; Вход в трубы и выход из них  $\xi_3=1$

Скорость раствора в трубах: Длина труб  $l=2$  м;  $S_{тр}=1,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$ ;  $\rho_{ср}=1004,36$

Тогда скорость потока

$$w_{тр} = \frac{G_H}{\rho_{ср} \cdot S_{тр}} = \frac{0,77}{1004,36 \cdot 0,017} = 0,045 \text{ м/с}$$

Сумма коэффициентов местных сопротивлений:

$$\sum \xi = \xi_1 + \xi_2 + 2 \cdot \xi_3 = 1,5 + 2,5 + 2 \cdot 1 = 6$$

Найдем критерий Рейнольдса

Вязкость  $\mu_{тр}=0,00033$  Па·с; Число труб  $n=56$ ; число ходов  $z=2$

$$Re_{тр} = \frac{4 \cdot G_H}{\pi \cdot d \cdot \left(\frac{n}{z}\right) \cdot \mu_{тр}} = \frac{4 \cdot 0,77}{3,14 \cdot 0,021 \cdot \left(\frac{56}{2}\right) \cdot 0,00033} = 5502$$

Режим переходный.

Тогда коэффициент трения  $\lambda$  рассчитывают по формуле

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,5}} = \frac{0,3164}{5502^{0,5}} = 0,0043$$

$$h_{\text{тр.тр}} = \lambda \cdot \frac{L \cdot z}{d_y} \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g} = 0,0043 \cdot \frac{2 \cdot 2}{0,021} \cdot \frac{0,045^2}{2 \cdot 9,81} = 8,453 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$h_{\text{м.с.тр}} = \sum \xi \cdot \frac{w^2}{2 \cdot g} = 6 \cdot \frac{0,045^2}{2 \cdot 9,81} = 6,193 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$h_{\text{потерь тр}} = h_{\text{тр.тр}} + h_{\text{м.с.тр}} = 7,038 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Общие потери напора составили:

$$h_{\Pi} = h_{\text{потерь вс}} + h_{\text{потерь нагн}} + h_{\text{потерь тр}} = 0,754 + 2,678 + 7,038 \cdot 10^{-4} = 3,433 \text{ м}$$

Напор насоса с учетом избыточного давления выпарного аппарата:

$H_{\Gamma}$  – геометрическая высота подачи равна 6 м

Напор  $H$ , создаваемый насосом, при работе на данную сеть рассчитывают по формуле:

$$H = H_{\Gamma} + \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + h_{\Pi}$$

Где  $P_2=4,19$  ата давление в выпарном аппарате;  $P_1=1$  ата давление в ёмкости

$$H = 6 + \frac{(4,19 - 1) \cdot 9,8 \cdot 10^4}{1042 \cdot 9,81} + 3,433 = 40 \text{ м}$$

Мощность  $N_{\text{дв}}$  двигателя равна:

$$N_{\text{дв}} = \frac{g \cdot H \cdot G_{\text{н}}}{1000 \cdot \eta_{\text{н.у.}}} = \frac{9,81 \cdot 40 \cdot 2772}{1000 \cdot 0,55 \cdot 3600} = 0,549 \text{ кВт}$$

Где в соответствии с условиями работы центробежного насоса примем в среднем коэффициент полезного действия насосной установки  $\eta_{\text{н.у.}} = 0,55$

Таким образом, для перекачивания жидкости нужен насос, который снабжен электродвигателем мощностью не менее 0,55 кВт, обеспечивающий расход 2772 кг/ч и создающий напор 40 м. По этим данным выбираем насос марки 2 ХО-4 с диаметром рабочего колеса  $D=190$  мм.

### 6.3 Подбор емкости.

Емкость рассчитываем из условия 3 часовой непрерывной работы.

Коэффициент заполнения емкости принимаем равной  $\eta=0.8$   $\tau=3$  ч  $\rho=966$  кг/м<sup>3</sup>

$$\text{Емкость исходного раствора: } V_{\text{исх}} = \frac{G \cdot \tau}{\rho_p \cdot \eta} = \frac{11000 \cdot 3}{966 \cdot 0.8} = 42.7 \text{ м}^3$$

Емкость упаренного раствора:  $\rho=1106$  кг/м<sup>3</sup>

$$V_{\text{исх}} = \frac{(G-W) \cdot \tau}{\rho_p \cdot \eta} = \frac{(11000-7700) \cdot 3}{1106 \cdot 0.8} = 11.1 \text{ м}^3$$

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-2К22	Гуляндин Евгений Сергеевич

<b>Институт</b>	<b>Институт электронного обучения</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Общей химии и химической технологии</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>бакалавр</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>Энерго-ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии</b>

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

<p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p>	<p><i>Рабочее место расположено в цехе. Месторождение находится в Иркутской области.г.Усолье-Сибирское При ремонте оборудования могут иметь место вредные и опасные проявления факторов производственной среды для человека. Оказывается негативное воздействие на природу(атмосферу, гидросферу) Возможно возникновение чрезвычайных ситуаций техногенного, стихийного, экологического и социального характера</i></p>
---	---

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

<p><b>1. Производственная безопасность</b></p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</li> </ul>	<p><i>Вредные факторы</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.Превышение уровня шума</li> <li>2.Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны</li> <li>3.Климатические условия</li> <li>4.Недостаточная освещенность рабочей зоны</li> <li>5.Ионизирующее излучение</li> </ol> <p><i>Опасные факторы</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования (в т.ч. грузоподъемные)</li> <li>2.Электрическая дуга и искры при сварке</li> <li>3.Повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов</li> <li>4. Взрывоопасность и пожаро опасность</li> <li>5.Электрический ток</li> </ol>
<p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> </ul>	<p><i>При ремонте МГ воздействия оказывают как производственные процессы, так и объекты постоянного и временного назначения. Ремонт трубопровода сопровождается:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- загрязнением атмосферного воздуха;</li> <li>- нарушением гидрогеологического режима;</li> <li>- загрязнением поверхностных водных</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p><i>источников и подземных вод;</i></p> <p><i>- повреждением почвенно-растительного покрова;</i></p> <p><i>изъятием</i></p>
<p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>	<p><i>Чрезвычайные ситуации в цехе могут возникнуть в результате внезапной остановки вентиляционных систем, пожара.</i></p>
<p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<p><i>№117-ФЗ«О безопасности гидротехнических сооружений»;</i></p> <p><i>№22-ФЗ«О ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ»;</i></p>

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романцов И.И.	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К22	Гуляндин Е.С.		

## **7 Социальная ответственность**

### **7.1 Характеристика работы оборудования**

Данная дипломная работа посвящена разработке установки получения хлорид натрия. В этом разделе будут рассмотрены вопросы безопасности по отношению к перерабатываемому комплексу.

Данный перерабатывающий комплекс обслуживает ряд рабочих: аппаратчики, монтажные работники, слесари и т. д. Они выполняют все необходимые работы, обеспечивающие нормальное функционирование всех аппаратов и установок, такие как ремонт оборудования, контроль за функционированием оборудования и т. д.

Используемое в данном технологическом процессе оборудование очень простое в обслуживании и не требует дополнительных усилий в ремонте и обслуживании. Для безопасной и безаварийной эксплуатации все оборудование должно подвергаться технологическому обслуживанию и ремонту. Для обеспечения нормальной работы оборудования и выявления его дефектов производится капитальный, текущий ремонт и технический осмотр оборудования в соответствии с системой ППР. Служба КИП ежемесячно проводит проверку всех приборов. Два раза в год проводится проверка токоведущих частей и заземления. Все приведенные выше меры позволяют добиться максимальной безопасности.

### **7.2 Характеристика помещения**

Согласно санитарным нормам проектирования промышленных предприятий СН 275-71, минимальный допустимый объем производственных помещений на одного работающего человека должен быть не менее  $15 \text{ м}^3$ , при этом высота производственных помещений должна быть не менее 3,2 м, а площадь не менее  $4,5 \text{ м}^2$ .

Так как рассматриваемое производство сопровождается минимальным количеством выделения пыли, то его располагаем в двухэтажном здании. Профиль кровли, ширину и высоту этого здания следует выбрать таким образом, чтобы обеспечить наиболее эффективное и экономичное удаление



вредных веществ естественным путем. Стены и потолки помещений должны иметь покрытия, которые легко поддаются мойке и чистке (нержавеющая сталь, пластикат, лакокрасочные материалы и др.). Используемое помещение соответствует всем выше перечисленным требованиям.

### 7.3 Метеоусловия

Метеорологические условия в производственных помещениях предприятия согласно СанПиН 2.2.4.548 - 96 должны соответствовать данным, приведенным в таблице 9.

Таблица 9 — Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах в помещениях предприятия

Период года	Температура воздуха, С	Температура поверхности, °С	Относительная влажность	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	19. ..21	18. ..22	40. ..60	0,2
Теплый	20... 22	19. ..23	40... 60	0,2

### 7.4 Система вентиляции

Задачей вентиляции является обеспечение чистоты воздуха и заданных метеорологических условий в производственных помещениях. Для эффективной работы вентиляции нужно, чтобы:

- 1) количество приточного воздуха соответствовало количеству удаляемого;
- 2) приточные и вытяжные системы в помещении были правильно размещены, т. е. свежий воздух необходимо подавать в те части помещений, где количество вредных веществ превышает ПДК;
- 3) система вентиляции не создавала шум на рабочих местах больше чем допустимый уровень звука (75 дБ А) согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96;
- 4) система вентиляции не вызывала переохлаждения или перегрева рабочего персонала;
- 5) система вентиляции была электро -, пожаро- и взрывобезопасной;

Для борьбы с загазованностью и запыленностью производственных помещений используют различные виды вентиляции. В большинстве случаев, для ответственных производств, кратность воздухообмена в помещении согласно СН 245-71 должна быть не менее  $8 \text{ ч}^{-1}$ .

Независимо от фактической концентрации вредных веществ и наличия вентиляционных устройств, в каждом производственном помещении предусматривают специальные открывающиеся устройства в окнах (фрамуги).

Система вентиляции, используемая в помещении для извлечения хлора, соответствует всем выше перечисленным требованиям.

Вентиляционная система выбирается по кратности воздухообмена. Кратность воздухообмена зависит от количества выделяющихся паров, газов, тепла, а также от предельно допустимой концентрации данного вещества в объеме помещения.

## **7.5 Освещение**

Рациональное производственное освещение должно обеспечивать психологический комфорт, предупреждать зрительную и общую утомляемость и профессиональные заболевания глаз человека.

В производственных помещениях в зависимости от источника света применяют следующие виды освещения: естественное, искусственное и совмещенное. Для данного помещения применяется совмещенное освещение, которое должно создавать минимальную освещенность 200 лк согласно СНиП 23-05-95 для V-го разряда длительных работ (минимальный размер объекта различения от 1 до 5 мм).

Естественное освещение более благоприятно для зрения и более экономично, оно осуществляется через окна или световые фонари в кровле. Для искусственного освещения применяют лампы накаливания и газоразрядные лампы.

Для общего освещения рабочих мест применяют люминесцентные лампы.

В производственных помещениях данного комплекса устраивается

аварийное освещение на тот случай, если внезапно прекратится действие рабочего освещения. По своему назначению аварийное освещение разделяется на два вида: для эвакуации людей из помещения и для временного продолжения работ.

Аварийное освещение для эвакуации людей должно обеспечивать освещенность на полу по линии основных проходов не менее 0,5 лк.

Аварийное освещение для продолжения работы делается для того, чтобы из-за наступившей темноты, не произошли ошибочные действия обслуживающего персонала, вызывающие нарушение технологического процесса, возможность взрывов, пожаров, несчастных случаев. Аварийное освещение должно обеспечивать на рабочих поверхностях освещенность не менее 5 % от рабочего.

#### **7.6 Производственная безопасность. Анализ вредных и опасных факторов. Мероприятия по защите.**

Установка получения и хлорид натрия является источником опасных и вредных факторов.

Опасными факторами являются:

- электрический ток (электрофильтры, электролизная ванна);
- движущиеся части оборудования (шнек подачи хлорид натрия);
- нагретые поверхности (трубопроводы, выпарной аппарат, теплообменник, электролизная ванна).

Производственное помещение установки получения хлорид натрия по опасности электропоражений в соответствии с ПУЭ относятся к классу особо опасных помещений (два и более признаков повышенной опасности одновременно), так как присутствуют токопроводящие полы, высокая температура.

Причинами электропоражений могут быть: случайное прикосновение или приближение на опасное расстояние к токоведущим частям оборудования, находящегося под напряжением.

Движущиеся и вращающиеся части оборудования несут опасность

физического контакта с организмом человека, поэтому они снабжены защитными кожухами.

Вредными факторами являются:

- микроклимат, отличающийся от норм;
- химические вещества;
- недостаточная освещенность.

**Влияние хлора на организм человека.** Хлор относится к веществам с преимущественным действием на центр дыхания. Поэтому ниже в основном рассматривается возможность острой дыхательной недостаточности при поражении хлором. Вторично может развиваться сердечная недостаточность. Для диагностики и лечения в клинической практике принято выделять четыре степени тяжести острого отравления хлором, характеризующиеся следующими симптомокомплексами: легкая степень поражения (0.002 - 0.012 г/м<sup>3</sup>; слабовыраженная рефлекторная реакция на интоксикацию, исчезающая при лечении за 24 – 48 часов); поражение средней тяжести (0.013 - 0.090 г/м<sup>3</sup>; выраженная рефлекторная реакция на интоксикацию, характерный “хлорный” кашель, рассеянные сухие хрипы в легких свидетельствуют о наличии поражения легочной функции). При своевременном лечении симптомы исчезают за 7 – 15 дней. Поражение тяжелой степени (0.091 - 0.15 г/м<sup>3</sup>; после периода ремиссии возникает токсический отек легких, нарастают влажные и сухие хрипы, развивается тахикардия). Крайне тяжелое поражение (0.51 - 1.2 г/м<sup>3</sup>; пострадавший погибает в течение нескольких минут в результате рефлекторной остановки дыхания и сердечной деятельности).

При отравлении хлором необходим абсолютный покой; полезно вдыхать кислород, или аммиак (нюхая нашатырный спирт), или пары спирта с эфиром. По существующим санитарным нормам содержание хлора в воздухе производственных помещений не должно превышать 0,001 мг/л, т.е. 0,00003%

Хлор особенно важен для образования желудочного сока,

формирования плазмы крови, является активатором ряда ферментов. Этот элемент в организме человека участвует в тех же механизмах обменных реакций, что и натрий.

Потребность человека в хлоре - около 2 г/сут. Безвредная доза до 5 - 7 г. Потребность в хлоре с избытком удовлетворяется обычным рационом, содержащим в среднем 7-10 г хлора, из них 3,7 г мы получаем с хлебом и 4,6 г при подсаливании пищи поваренной солью. Естественное содержание хлора в пищевых продуктах колеблется в пределах 2-160 мг. Рацион питания без добавления поваренной соли содержал бы около 1,6 г хлора. Основное его количество (до 90%) взрослые получают с поваренной солью.

Много хлора в красной свекле. Присутствует во многих овощах, фруктах, злаках, бобовых.

**Меры первой помощи.** При поражении хлором пострадавшего немедленно выносят на свежий воздух, тепло укрывают, чтобы смягчить раздражение дыхательных путей, следует дать вдыхать аэрозоль 0,5%-го раствора питьевой соды. Полезно также вдыхать кислород. Кожу и слизистые промывать 2%-м содовым раствором не менее 15 мин. Из-за удушающего действия хлора пострадавшему передвигаться самостоятельно нельзя. Транспортируют его только в лежачем положении. Если человек перестал дышать, надо немедленно сделать искусственное дыхание методом “Изо рта в рот”.

При интенсивной утечке хлора используют распыленный раствор кальцинированной соды или воду, чтобы осадить газ. Место разлива заливают аммиачной водой, известковым молоком, раствором кальцинированной соды или каустика с концентрацией 60 – 80% и более (примерный расход – 2 л раствора на 1 кг хлора).

Для защиты от небольших концентраций хлора в бытовых условиях можно использовать ватно-марлевую повязку, смоченную водой, а лучше 2%-м раствором питьевой соды.

## 7.7 Электробезопасность

Для предотвращения случайного поражения персонала электрическим током необходимо применение заземления токоприемников, а также основных защитных средств: диэлектрических перчаток, указателей напряжения, изолирующих штанг; дополнительных защитных средств: диэлектрических калош, изолирующих ковриков и подставок.

Выполнение всех пунктов правил техники безопасности обеспечивает безаварийную работу всего персонала.

### Расчет защитного заземления

На практике были получены хорошие результаты при применении трубчатого заземлителя  $l = 2,5$  м,  $d = 6 \cdot 10^{-2}$  м, глубина заложения  $t = 0,8$  м для меньшего влияния температурного колебания верхних слоев Земли на сопротивление. Расстояние между электродами 2,5 м.

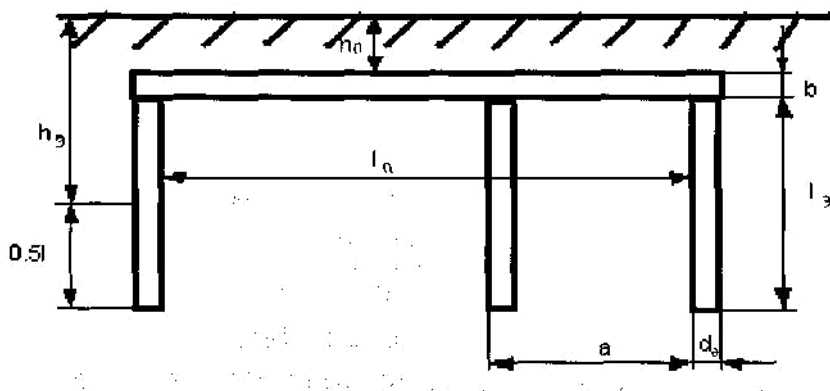


Рисунок 8 - Схема заземления

Согласно методике сопротивление одиночного трубчатого заземлителя, вертикально установленного в землю, определяется по формуле:

$$r_{\text{тр}} = \frac{0,366}{l} \cdot \frac{2l}{d} \cdot \frac{1}{\lg \frac{4t}{d}}$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление грунта, Ом • м;

$l$  - длина заземлителя, м;

d - диаметр трубы, м;

t - глубина заложения трубы от поверхности Земли до середины  
трубы, м.

Получим

$$r_{\text{тр}} = \frac{0,366}{250} \cdot 4 \cdot 10^3 \cdot \lg \frac{2 \cdot 250}{6} \cdot \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4 \cdot 80 \cdot 250}{4 \cdot 80 \cdot 250},$$

$$r_{\text{тр}} = 13,8 \text{ Ом.}$$

Если сопротивление одиночного заземлителя будет превышать нормируемое значение, вместо одиночного, применяют группу из нескольких параллельно соединенных заземлителей, расположенных на расстоянии 2 - 5 м друг от друга.

Количество заземлителей определяют по формуле

$$n = \frac{r}{r_{\text{з}} + r_{\text{тр}}}$$

где  $r_{\text{з}} = 4 \text{ Ом}$  - сопротивление заземляющего устройства по нормам, так как данная сеть с глухозаземленной нейтралью источника питания при фазном напряжении 220 В;

$r_{\text{тр}} = 0,65$  - коэффициент использования трубчатых заземлителей.

$$n = \frac{13,8}{4 + 0,65} = 5,3,$$

Окончательно принимаем  $n = 6$ .

Параллельное соединение заземлителей осуществляется стальными полосами прямоугольного сечения, которые, находясь в земле, в тоже время сами являются заземлителями. Сопротивление соединительных полос определяется по следующей эмпирической формуле

$$r_n = \frac{4000}{2 \cdot l_0} \ln \frac{2l_0}{t \cdot b},$$

где  $l_0 = a \cdot (n - 1) = 2,5 \cdot 5 = 12,5 \text{ м}$  - суммарная длина полос,  $b = 40 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  - ширина полосы.

$$r_n = \frac{4000}{2 \cdot 3,14 \cdot 12,50} \ln \frac{2 \cdot 12,50}{804} = 6 \text{ Ом,}$$

Тогда сопротивление прямоугольного контурного заземления состоящего из труб и соединительных полос определяется по формуле

$$r_k = \frac{r_{тр} r_n}{r_{тр} n r_n r_{тр} n},$$

$\eta_n$  - коэффициент использования полосы.

$$r_k = \frac{12,16}{12,1 \cdot 0,4866 \cdot 0,65} = 2,5 \text{ Ом.}$$

Так как  $r_k < r_3$ , то требования электробезопасности выполняются.

## 7.8 Безопасность в ЧС

Производственное помещение установки получения хлорид натрия относится в соответствии с НПБ 105 - 03 к категории В (пожароопасные), так как присутствуют в обращении горючие и трудно горючие вещества и материалы. По ПУЭ помещение относится к классу П-Па —пожароопасное .

Причинами загорания в помещении категории В могут быть: аварии и нарушения технологического режима; самовоспламенение горючих веществ при высоких температурах их нагрева внутренними и наружными источниками тепла, в результате химической реакции и т.д.; воспламенение - в результате действия открытого огня, разрядов статического электричества.

Мероприятия по предупреждению пожаров взрывов классифицируется на организационные, технические, режимные и эксплуатационные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию аппаратов и внутрицехового транспорта, противопожарный инструктаж рабочих и служащих.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

Режимные предприятия - это запрещение курения в неустановленных местах, производства сварочных и других работ без оформления специального допуска.

Эксплуатационные мероприятия - это своевременные профилактические осмотры, ремонты и испытания технологического оборудования.

На предприятиях химической промышленности организованы пожарные части. На эти части возлагается проведение мероприятий по предупреждению пожаров, а также тушению возникающих пожаров и загораний.



В качестве первичных средств пожаротушения применяются порошковые огнетушители типа ОП — 5, ОП — 10 и углекислотные типа ОУ — 8. Дополнительно предусмотрен пожарный кран с расходом воды  $Q = 20$  л/с. Краны устанавливаются во всех помещениях кроме электролизного участка и участка механической обработки лития.

На случаи пожара предусматриваются пути эвакуации людей и материальных ценностей.

Все сварочные работы проводятся с разрешения представителя пожарной охраны.

Все перечисленные мероприятия обеспечивают необходимую безопасность обслуживающего персонала и сохранность оборудования и материалов.

### **7.9 Экологическая безопасность**

В технологии получения хлорида натрия основную опасность для атмосферы несут выделяющиеся газы.

Газы выходящие в атмосферу не наносят вреда окружающей среде, так как уровень содержания вредных веществ в выбросах ниже уровня ПДВ.

Для избежания попадания в атмосферу этих веществ на предприятии имеется система газоочистки, состоящая из местной (цеховая) и общей (объектовая). В системе газоочистки применяется следующее оборудование: электрофильтры, циклоны, абсорберы, фильтры ФПП и скрубберы.

В соответствии с санитарными нормами СН 245-71 предприятие, на котором производят хлорид натрия, относится к первому классу санитарной классификации производств (санитарно-защитная зона - 1000м).

Предприятие разделено на функциональные зоны: предзаводская, производственная, подсобная, складская, сырьевая, товарных емкостей, что повышает безопасность как производственную, так и экологическую.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
3-2К22	Гуляндин Евгений Сергеевич

<b>Институт</b>	<b>Институт электронного обучения</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Общей химии и химической технологии</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавр</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>Энерго - и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии</b>

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
<i>1. Стоимость ресурсов проекта: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<i>1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала проекта</i>	<i>Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта</i>
<i>2. Разработка устава научно-технического проекта</i>	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i>
<i>3. Планирование процесса управления проектом: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Определение производственной мощности. Расчет сырья, материалов, оборудования, фонда оплаты труда. Расчет себестоимости готового продукта. Расчет точки безубыточности.</i>
<i>4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Определение ресурсоэффективности проекта</i>
<b>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):</b>	
<i>1. Расчет точки безубыточности графическим и математическим методами.</i>	
<i>2. Расчет технико-экономических показателей</i>	

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

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
3-2К22	Гуляндин Евгений Сергеевич		

## 8 Экономический раздел

### 8.1 Потенциальные потребители

Целевой рынок – Пищевая промышленность.

### 8.2 SWOT-анализ

Анализ факторов макросреды представлен в Таблице 10

Таблица 10

Анализ факторов макросреды (факторы внешней среды дальнего действия)

<b>Группа факторов</b>	<b>Факторы</b>	<b>Характер влияния на организацию</b> «+», «-»	<b>Действия организации</b>
Экономический	1. Снижение покупательской способности потребителя	«-» уменьшение выручки от продажи	Повышение конкурентоспособности. Увеличение объема продаж за счет выхода на новые региональные и/или на международный рынок
	2. Рост темпов инфляции	«-» снижение покупательской способности потребителей	
	3. Увеличение налоговых ставок	«-» увеличение издержек производства, снижение чистой прибыли	Проведение оптимальной налоговой политики. Снижение себестоимости продукции, в частности за счет увеличения производительности оборудования, контроль за расходами сырья и материалов (с целью уменьшения потерь), стимулирования персонала с целью увеличения производительности

			труда
	4. Ухудшение условий транспортировки	«-» снижение чистой прибыли	Адаптация к изменениям во внешней среде, поиск новых поставщиков, поиск новых путей перевозки продукции
	5. Нестабильность экономики в стране	«-» проблемы финансирования, увеличение налоговой нагрузки, снижение спроса	Адаптация к изменениям во внешней среде
Научно-технический	1. Появление современных технологий (оборудования)	«+» увеличение чистого денежного потока (повышение стоимости предприятия), увеличение объемов производства, а соответственно и выручки от продаж	<p>Внедрение новых технологий (модернизация оборудования) с целью наработки конкурентных преимуществ продукта.</p> <p>Увеличение производительности уже имеющегося оборудования.</p> <p>Осуществление постоянного контроля за техническим состоянием имеющегося оборудования, организация своевременных ремонтных работ</p>
		«-» сокращение чистого денежного потока в случае внедрения НТП конкурентами	-//-

Социо-технические	<p>1.Повышение уровня образования</p> <p>2. Повышение квалификации персонала предприятия и обмен опытом</p>	<p>1. «+» появление на рынке труда квалифицированных кадров</p> <p>2. «+» повышение работоспособности персонала</p>	<p>Прием на работу персонала высокой квалификации.</p> <p>Разработка эффективной программы мотивации и стимулирования для работников.</p> <p>Обеспечение постоянного повышения квалификации персонала предприятия.</p>
-------------------	---	---	--

Таблица 11

Анализ факторов микроокружения

Группа факторов	Факторы	Характер влияния на организацию «+», «-»	Действия организации
Потребители	Увеличение покупательской способности	«+» возможность увеличения объемов производимой продукции, увеличение прибыли	Модернизация производства, увеличение производительности оборудования, снижение себестоимости
	Снижение покупательской способности	«-» снижение объемов производимой продукции	Увеличение производительности оборудования. Поиск путей снижения себестоимости продукции
	Привлечение новых потребителей	«+» возможность увеличения объемов производимой продукции,	Привлечение новых потребителей путем строительства новых путепроводов, выхода на международные и

		увеличение прибыли	региональные рынки.
	Улучшение деловой репутации среди потребителей	«+» возможность увеличения объемов реализации, увеличение прибыли, привлечение новых потребителей	Удержание позиций предприятия: наработка и укрепление конкурентных преимуществ
	Ухудшение деловой репутации среди потребителей	«-» снижение объемов реализации, уменьшение чистой прибыли компании	Контроль качества производимой продукции, эффективная маркетинговая
Поставщи ки	Увеличение стоимости сырья, комплектующих	«-» перебои в поставках «-» увеличение себестоимости продукции «-» снижение конкурентоспособности	Рассмотрение новых форм сотрудничества, заключение долгосрочных договоров Поиск новых, более выгодных поставщиков. Расширение ассортимента, разработка товаров-заменителей.
	Несоблюдение сроков и условий поставки	«-» сбои в работе предприятия	Введение штрафных санкций за несоблюдение обязательств Смена поставщика
	Предоставление скидок в зависимости от объемов партии сырья	«+» возможность снижения себестоимости (цены) ГП, увеличение выручки от продаж	Разработка эффективной программы продвижения продукта Увеличение доли рынка Повышение стоимости предприятия
Конкуренты	Ужесточение конкуренции	«-» угроза снижения доли рынка, снижения объемов производства и	Удержание позиций предприятия: наработка

		реализации, уменьшение прибыли	и укрепление конкурентных преимуществ, разработка программы продвижения продукта предприятия
	Улучшение репутации компании	«+»повышение конкурентоспособности предприятия, привлечение новых потребителей, вытеснение конкурентов и захват их ниш на рынке	

Таблица 12

Анализ внутренней среды предприятия

<b>Факторы среды</b>	<b>Сильные стороны</b>	<b>Слабые стороны</b>
Маркетинг	1. Наличие постоянных потребителей 2. Достаточная доля рынка	1. Неэффективная программа продвижения продукции
Менеджмент	1. Наличие четкой стратегии развития предприятия 2. Четко поставленные цели и задачи 3. Наличие высококвалифицированных управленческих кадров, постоянное повышение квалификации	1. Высокий уровень текучести кадров 2. Отсутствие кадрового резерва
Кадры	1. Высокий уровень профессионализма кадров 2. Высокая рентабельность персонала 3. Высокая производительность персонала	1. Неэффективная система мотивации и стимулирования персонала 2. Высокий уровень текучести кадров. 3. Отсутствие кадрового резерва
Производство	1. Наличие современной технологии 2. Наличие современного оборудования 3. Конкурентоспособная позиция	1. Отсутствие научно-технических разработок 2. Недозагрузка производственных мощностей



	4. Обеспечение бесперебойной поставки необходимого материала и сырья 5. Снижение себестоимости продукции	
Корпоративная культура	1. Хорошая репутация у потребителей	1. Низкий уровень корпоративной культуры

Таблица 13

Матрица SWOT-анализа

	<p><b>Возможности</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Рост спроса на рынке</li> <li>2. Повышение покупательской способности потребителя</li> <li>3. Выход на новые рынки или сегменты рынка</li> <li>4. Увеличение объемов реализации</li> <li>5. Снижение себестоимости продукции</li> </ol>	<p><b>Угрозы</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ужесточение конкуренции</li> <li>2. Повышение налогов</li> <li>3. Рост темпов инфляции</li> <li>4. Ухудшение условий транспортировки</li> <li>5. Нестабильность экономики в стране</li> <li>6. Снижение покупательской способности потребителя</li> <li>7. Ухудшение деловой репутации среди потребителей</li> </ol>
<p><b>Сильные стороны</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Конкурентоспособная позиция</li> <li>2. Хорошая репутация у потребителей</li> <li>3. Наличие дополнительных разведанных месторождений</li> <li>4. Высокий уровень профессионализма кадров</li> <li>5. Наличие современного оборудования</li> </ol>	<p><b>Поле СиВ – рекомендации</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Привлечение новых потребителей путем освоения новых месторождений</li> <li>2. Вытеснение конкурентов и захват их ниш на рынке</li> <li>3. Увеличение объема продаж за счет выхода на новые региональные и/или международный рынок</li> </ol>	<p><b>Поле СЛиУ – рекомендации</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Понижение конкурентного давления более низкими ценами</li> <li>2. Адаптация к изменениям во внешней среде</li> <li>3. Новые технологии</li> <li>4. Удержание позиций предприятия: наработка и укрепление конкурентных преимуществ</li> </ol>

<p><b>Слабые стороны</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Зависимость от нестабильности экономики страны</li> <li>2. Проблемы финансирования</li> <li>3. Неплатежеспособность потребителей</li> <li>4. Сокращение легко добываемой ресурсной базы</li> <li>5. Высокий уровень текучести кадров.</li> </ol>	<p><b>Поле СиВ – рекомендации</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повышение цен продукцию на внутреннем рынке</li> <li>2. Совершенствование системы налогообложения</li> <li>3. Адаптация к изменениям во внешней среде</li> </ol>	<p><b>Поле СЛиУ – рекомендации</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Техническое переоснащение отрасли</li> <li>2. Извлечение урана из месторождений с малыми запасами</li> <li>3. Увеличение производительности оборудования</li> </ol>
---	--	--

### 8.3 Оценка экономической эффективности инвестиционного проекта производства хлорид натрия

#### Расчёт производственной мощности оборудования цеха

Для расчёта производственной мощности предварительно устанавливаем:

- А) режим работы отделения;
- Б) эффективный фонд времени оборудования.

Режим работы отделения характеризуется непрерывной рабочей неделей, так как по характеру протекания технологического процесса останов оборудования не допустима; четырьмя сменами в сутки по 6 часов работы.

Календарный фонд времени оборудования  $T$  равен 360 дням или 8640 часам.

Номинальный фонд времени  $T$  при работе по непрерывной неделе без останова производства в праздничные дни является максимальным и совпадает с календарным, равным 360 дням.

Эффективный фонд рабочего времени оборудования равен номинальному времени за вычетом останова на ремонты  $T_{\text{рем}}$ , производимые в рабочее время в соответствии с установленной системой планово-предупредительного ремонта (ППР) и определяется по формуле:

$$T_{\text{эф}} = T_{\text{ном}} - T_{\text{рем}}.$$

Продолжительность простоя оборудования в ремонтах  $T_{\text{рем}}$  определяем по формуле:

$$T_{\text{рем}} = 2\% \cdot T_{\text{ном}};$$
$$T_{\text{рем}} = 0,02 \cdot 8640 = 173 \text{ час.}$$

Эффективный фонд времени оборудования составляет по формуле:

$$T_{\text{эф}} = 8640 - 173 = 8467 \text{ часов.}$$

На основе расчетов составляем баланс времени работы оборудования (таблица 14).

Таблица 14 – Баланс рабочего времени оборудования

Показатели	Количество часов
Календарный фонд времени	8640
Режимные потери рабочего времени	-
Номинальный фонд рабочего времени	8640
Простой оборудования в ремонтах	173
Эффективное время работы оборудования за год	8467

Производственную мощность цеха рассчитываем по формуле:

$$M = N \cdot N \cdot T_{\text{эф}},$$

где  $N = 13,34$  кг/ч – массовая производительность оборудования по конечному продукту (NaCl).

$$M = 1 \cdot 13,34 \cdot 8467 = 116268,6 \text{ кг/год} = 116,3 \text{ т/год}.$$

Для характеристики использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен

$$K_{\text{экс}} = T_{\text{эф}}/T_{\text{н}};$$

$$K_{\text{экс}} = 8467/8640 = 0,95$$

Коэффициент интенсивного использования оборудования равен

$$K_{\text{инт}} = Q_{\text{пп}}/Q_{\text{max}},$$

где  $Q_{\text{пп}} = 13,32$  кг/ч – производительность единицы оборудования в единицу времени;

$Q_{\text{max}} = 13,32$  кг/ч – максимальная производительность в единицу времени;

$$K_{\text{инт}} = 13,32/13,32 = 1.$$

Интегральный коэффициент использования мощности:

$$K_{\text{и.м.}} = K_{\text{экс}} \cdot K_{\text{инт}};$$

$$K_{\text{и.м.}} = 0,95 \cdot 1 = 0,95.$$

Производственная программа цеха:

$$\text{ПП} = K_{\text{и.м.}} \cdot M;$$

$$\text{ПП} = 0,95 \cdot 116268,6 = 110524,83 \text{ кг} = 110,5 \text{ т}.$$

## **Расчет капитальных затрат по проектируемому цеху**

### **Стоимость строительства зданий**

Капитальные затраты на строительство зданий определяем по приближенной формуле:

$$Z_k = V \cdot C_v,$$

где –  $V = 11250 \text{ м}^3$  – общий объем здания;

$C_v = 3 \text{ тыс. руб/м}^3$  – стоимость  $1 \text{ м}^3$  промышленного и административно-хозяйственного здания и бытовых помещений с учетом стоимости внутренних санитарно-технических и электротехнических работ.

$$Z_k = 11250 \cdot 3 = 33750 \text{ тыс. руб.}$$

### **Определение стоимости оборудования**

Расчет стоимости оборудования производим исходя из массы аппарата и стоимости материала:

$$Ц = С \cdot Ц_0,$$

где  $C$  – масса аппарата, кг;

$Ц_0$  – стоимость материала, руб/кг.

Расчет стоимости оборудования сведен в таблицу 2.

Расчетной стоимости аппарата учитываем стоимость изготовления – от 100 % до 500 % от стоимости израсходованного материала и сложности изготовления аппарата.

Транспортно-заготовительные и складские работы составят 10 % от сметной стоимости оборудования. Монтаж оборудования равен 15 % от суммы сметной стоимости оборудования и транспортно-заготовительных и складских работ. Трубопроводы равны 25 % от суммы сметной стоимости оборудования и транспортно-заготовительных и складских работ. КИПиА равен 20 % от суммы сметной стоимости оборудования и транспортно-заготовительных и складских работ. Спецработы равны 10 % от суммы сметной стоимости оборудования и транспортно-заготовительных и складских работ. Для вычисления нормы амортизации примем равномерный способ

начисления, для аппаратов загрязненных радиоактивными продуктами используем следующие сроки использования оборудования:

5 лет – агитатор-барботер, экстракционная колонна, отстойник, аппарат КС, электролизная ванна,

3 года – выпарной аппарат, теплообменник..

1 год – нуч – фильтр, газодувка.

Тогда норма амортизации найдем по формуле:

$$N_A = \frac{1}{n} \cdot 100\% ,$$

где n-срок полезного использования в годах

Таблица 15 – Расчет стоимости оборудования

Наименование оборудования	Материал	Цена, руб/кг	Масса, кг	Стоимость оборудования тыс. руб	Стоимость изготовления в % от стоимости оборудования	Сметная стоимость оборудования тыс.руб	Транспортнозаготовительные работы, тыс.руб	Монтаж Оборудования, тыс.руб	Трубопроводы тыс. руб	КИПиА и их монтаж, тыс.руб	Спец работы, тыс.руб	Полная стоимость, тыс.руб	Амортизационные отчисления	
													Норма, %	Сумма, тыс. руб
Агитатор – барботер	12X18H10T	120	962	115,44	150	288,6	28,86	47,619	79,365	63,492	31,746	539,682	20	107,9364
Нуч-фильтр барабанный	12X18H10T	120	500	60	200	180	18	29,7	49,5	39,6	19,8	336,6	100	338,844
	Материал фильтрующий	30	20	0,6	100	1,2	0,12	0,198	0,33	0,264	0,132	2,244		
Отстойник	12X18H10T	120	1000	120	150	300	30	49,5	82,5	66	33	561	20	112,2
Экстракционная колонна	12X18H10T	120	1600	192	250	672	67,2	110,88	184,8	147,84	73,92	1256,64	20	258,808
	НУМС-Sb	50	200	10	100	20	2	3,3	5,5	4,4	2,2	37,4		
Теплообмен	12X18H1	120	120	144	200	432	43,2	71,28	118,8	95,04	47,52	807,84	33,333	269,28

ник	0Т		0										333	
Выпарной аппарат	12Х18Н10Т	120	5000	600	350	2700	270	445,5	742,5	594	297	5049	33,333333	1683
Аппарат КС	12Х18Н10Т	120	1000	120	200	360	36	59,4	99	79,2	39,6	673,2	20	134,64
Электролизная ванна	12Х18Н10Т	120	5128	615,36	300	2461,44	246,144	406,1376	676,896	541,5168	270,7584	4602,8928	20	920,57856
Газодувка	12Х18Н10Т	120	90	10,8	100	21,6	2,16	3,564	5,94	4,752	2,376	40,392	100	40,392
Неучтенное оборудование				298,23		298,23	29,823	49,20795	82,01325	65,6106	32,8053	557,6901	20	111,53802
Итого				2286,43		7735,07	773,507	1276,2866	2127,1443	1701,7154	850,8577	14464,581		3977,217



## Расчет численности промышленно-производственного персонала

Расчет численности промышленно-производственного персонала производим по следующим основным категориям:

- рабочие: аппаратчик, дежурный электрик, дежурный слесарь;
- ИТР: мастер, начальник цеха, технолог;
- служащие: прочие специалисты.

Для определения численности работающих необходимо установить годовой фонд работы одного среднесписочного рабочего. Он зависит от принятого режима работы цеха и продолжительности рабочего дня. Примерный баланс рабочего времени одного среднесписочного рабочего приведен в таблице 16.

Таблица 16 - Примерный баланс рабочего времени одного среднесписочного рабочего

Наименование затрат рабочего времени	Количество дней
Календарное время	365
Выходные дни	73
Праздничные дни	-
Номинальный фонд рабочего времени	292
Планируемые невыходы на работу:	
- очередной отпуск	28
- болезни	7,5
- выполнение государственных и общественных обязанностей	1
- прочие невыходы по разрешению работодателя	0,5
Годовой фонд рабочего времени	255
Годовой фонд рабочего времени в часах	1530

При расчете численности рабочих определяем сменный состав рабочих, явочную, штатную и списочную численность рабочих.

Сменный состав для аппаратурных процессов определяем по формуле:

$$Ч_{см} = n / H_{обс},$$

где  $n = 12$  – количество обслуживаемых аппаратов;

$N_{\text{обс}} = 3$  – число аппаратов, обслуживаемых одним рабочим (норма обслуживания).

$$Ч_{\text{см}} = 12/3 \approx 4 \text{ чел.}$$

Явочное число рабочих определяем по формуле:

$$Ч_{\text{яв}} = Ч_{\text{см}} \cdot S ,$$

где  $S = 4$  – число смен работы в сутках;

Тогда

$$Ч_{\text{яв}} = 4 \cdot 4 = 16 \text{ чел.}$$

Штатная численность:

$$Ч_{\text{шт}} = Ч_{\text{яв}} \cdot T_{\text{кал}} / T_{\text{ном}};$$

$$Ч_{\text{шт}} = 16 \cdot 365 / 292 = 20 \text{ чел.}$$

Списочная численность:

$$Ч_{\text{сп}} = Ч_{\text{яв}} \cdot T_{\text{эф.обор}} / T_{\text{эф.раб}} ,$$

где  $T_{\text{эф.обор}}$  – эффективный фонд времени работы оборудования ( $T_{\text{эф.обор}} = 8467 \text{ ч} = 353$  дней);

$T_{\text{эф.раб}}$  – эффективный фонд времени рабочего дня.

$$Ч_{\text{сп}} = 16 \cdot 353 / 255 = 23 \text{ чел.}$$

Разница между списочным числом рабочих составляет дополнительное количество рабочих для подмены, а также замены невыходов в связи с болезнями, отпусками и другими планируемыми целодневными потерями рабочего времени

$$Ч_{\text{доп}} = Ч_{\text{сп}} - Ч_{\text{яв}} = 23 - 16 = 7 \text{ чел.}$$

Коэффициент подмены определяем по формуле:

$$K_{\text{под}} = T_{\text{эф.обор}} / T_{\text{эф.раб}} ;$$

$$K_{\text{под}} = 353 / 255 \approx 1,4.$$

Расчет численности основных производственных рабочих представлен в таблице 17.

Таблица 17 – Численность основных производственных рабочих

Наименование профессии	Тарифный разряд	Численность рабочих в смену	Кол-во смен в сутках	Явочная численность рабочих	Коэффициент подмены	Списочная численность рабочих
Аппаратчик	6	5	4	16	1,4	23
Дежурный-электрик	5	1	4	4	1,4	6
Дежурный-слесарь	6	1	4	4	1,4	6
Дежурный-приборист	5	1	4	4	1,4	6

Численность ИТР, служащих и МОП устанавливаем по штатному расписанию. Расчет численности представлен в таблице 18.

Таблица 18 – Численность ИТР, служащих и МОП

Наименование должности	Категория	Тарифный разряд	Число штатных единиц	Количество смен в сутках	Штатная численность
Начальник цеха	ИТР	14	1/3	1/3	1/3
Мастер	ИТР	10	4	4	4
Технолог	ИТР	13	1/3	1/3	1/3
Начальник отделения	ИТР	11	1/3	1/3	1/3

### **Расчет фонда заработной платы промышленно-производственного персонала и ремонтников**

Расчет заработной платы производственных рабочих и ремонтников представлены в таблице 19, а ИТР в таблице 20.

Фонд заработной платы рассчитываем исходя из действующих тарифных условий, запроектированной численности основных и вспомогательных рабочих и их фонда рабочего времени.

Общий фонд заработной платы рабочих за год:

$$Z_{\text{год}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}},$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основной фонд заработной платы рабочих, тыс. руб;

$Z_{\text{доп}}$  - дополнительный фонд заработной платы рабочих, тыс. руб.

Основной фонд заработной платы для рабочих повременников:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{тар}} + \text{Пр} + D_{\text{н.вр}} + D_{\text{пр.дни}} + D_{\text{бриг}},$$

где  $Z_{\text{тар}}$  – тарифный фонд заработной платы, тыс. руб;

Пр – оплата премий, тыс. руб;

$D_{\text{н.вр}}$  – доплата за работу в ночное время, тыс. руб;

$D_{\text{пр.дни}}$  – доплата за работу в праздничные дни, тыс. руб;

$D_{\text{бриг}}$  – доплата не освобожденным бригадирам, тыс. руб.

Тарифный фонд заработной платы:

$$Z_{\text{тар}} = \sum \text{Ч}_{\text{сп}} \cdot T_{\text{ст}} \cdot T_{\text{эф.раб}},$$

где  $\text{Ч}_{\text{сп}}$  – списочная численность рабочих данного разряда, человек;

$T_{\text{сп}}$  – дневная тарифная ставка данного разряда, тыс. руб.

Размер премий принимаем равным 15 % от тарифного фонда заработной платы.

Доплата за работу в ночное время:

$$D_{\text{н.вр}} = 0,4 \cdot Z_{\text{тар}},$$

По отношению к тарифному фонду заработной платы доплата за праздничные дни составит 3,0 %.

Фонд дополнительной заработной платы принимаем равным 10 % от фонда основной заработной платы. Здесь также учитываем доплату по районному коэффициенту  $K = 1,5$ .

Расчет заработной платы ИТР производим по схеме должностных окладов, установленных в зависимости от сложности производства и занимаемой должности. Для работающих посменно учитываем доплату за работу в ночное время и праздничные дни. Премию ИТР принимаем равной 20 % от фонда заработной платы по должностным окладам. Так как в экономическом обосновании эффективности инвестиционного проекта рассматривается отделение цеха, то заработные платы начальника цеха, технолога и начальника отделения в дальнейших расчетах необходимо взять в размере 30% от расчетной. Для расчета

заработной платы труда прочих специалистов необходимо взять 5% от заработной платы производственных рабочих.

Таблица 19 – Расчет фонда заработной платы производственных рабочих

Наименование профессии	Списочная численность	Тарифный разряд	Номинальный фонд рабочего времени, дн	Тарифная ставка, руб	Основной фонд заработной платы					З <sub>доп</sub> , тыс. руб	Общий годовой фонд заработной платы	Общий годовой фонд заработной платы с учетом районного коэффициента, тыс. руб
					З <sub>тар</sub> , тыс. руб	Премия, тыс. руб	Д <sub>н.вр.</sub> , тыс. руб	Д <sub>пр.дн</sub> , тыс. руб	Итого			
Аппаратчик	23	6	5865	288,55	1693	253,95	677,2	50,79	2674,94	267,494	2942,4	4413,6
Дежурный-электрик	6	5	1530	261,95	400	60	160	12	632	63,2	695,2	1042,8
Дежурный-слесарь	6	6	1530	288,55	441	66,15	176,4	13,23	696,8	69,68	766,5	1150
Дежурный-приборист	6	5	1530	261,95	400	60	160	12	632	63,2	695,2	1042,8
Итого	-	-	-	-	2934	440,1	1173,6	88,02	4635,74	463,574	5099,3	7649,2

Таблица 20 – Расчет фонда заработной платы ИТР и МОП

Наименование должности	Списочная численность	Тарифный разряд	Оклад руб	Эффективный фонд рабочего времени, мес	Основной фонд заработной платы				З <sub>доп</sub> , тыс. руб	Общий фонд заработной платы, тыс. руб	Премия, тыс. руб	Общий фонд заработной платы с учетом районного коэффициента, тыс. руб	Премия с учетом районного коэффициента, тыс. руб	Годовой фонд заработной платы с премией, тыс. руб
					За отработанное время, тыс.руб	Д <sub>пр.</sub> дн, тыс. руб	Д <sub>н.в.</sub> р, тыс. руб	Итого						
Мастер	4	10	7275	10,8	314,3	126	9,43	450	45	495	99	742,5	148,5	891
Начальник цеха	1/3	14	11470		41,3	-	-	41,3	4,13	45,4	9,1	68,1	13,65	81,75
Технолог	1/3	13	10200		36,72	-	-	36,72	3,672	40,4	8,1	60,2	12,15	18,35
Начальник отделения	1/3	11	8130		29,3	-	-	29,3	2,93	32	6,4	48	9,6	57,6
МОП					121	-	-	121	12,1	133	26,6	199,5	39,9	239,4
Итого					421,62	126	9,43	557	55,7	745,8	149,2	1118,7	223,8	1288

## Расчет затрат на производство продукции

### Расчет годовой потребности в сырье и материалах

Определение затрат на сырье и материалы производим исходя из принятого объема производства, удельных норм расхода сырья и материалов и планово-заготовительных цен.

Удельные нормы расхода сырья и материалов определяем по формуле:

$$K_{\text{расх}} = M_{\text{ч}}/B_{\text{ч}},$$

где  $M_{\text{ч}}$  – часовой расход сырья и материалов, кг/ч;

$B_{\text{ч}}$  – часовая производительность по готовому продукту, кг/ч.

Удельная норма расхода:

- хлорид натрия (NaCl)

$$K_{\text{расх}} = 166/13,32 = 12,46 \text{ кг/ч};$$

- технической воды

$$K_{\text{расх}} = 1324/13,32 = 99,42 \text{ кг/ч};$$

- хлор ( $\text{Cl}_2$ )

$$K_{\text{расх}} = 148/13,32 = 11,11 \text{ кг/ч}.$$

Норма запаса дней:

$$N_{\text{зап.дн}} = T_{\text{тек.}} + T_{\text{страх}} + T_{\text{тех}} + T_{\text{з.в.}}$$

где  $T_{\text{тех}}$  – технологический запас, примем  $T_{\text{тех}} = 2$  дней;

$T_{\text{з.в.}}$  – запас на загрузку выгрузку, примем  $T_{\text{з.в.}} = 0,25$  дней;

$T_{\text{тек.}}$  – текущий запас, рассчитывают по формуле:

$$T_{\text{тек.}} = \text{технологический цикл}/2 = 1,5/2 = 0,75 \text{ дней};$$

$T_{\text{страх}}$  – страховой запас, рассчитывают по формуле:

$$T_{\text{страх}} = T_{\text{тек.}}/2 = 0,375 \text{ дней}.$$

$$N_{\text{зап.дн}} = 0,75 + 0,375 + 2 + 0,25 = 3,375 \text{ дней}.$$

Норма запаса в рублях:

$$N_{\text{руб}} = N_{\text{зап.дн}} \cdot P_{\text{сут}}$$

где  $P_{\text{сут}}$  – средне суточное потребление NaCl, руб.



$$N_{\text{руб}} = 3,375 \cdot 3987,2 = 13456,8 \text{ руб.}$$

Следует отметить, что под валовыми затратами на производство продукции, ввиду специфики проектируемого цеха, понимаем только стоимость переработки сырья в конечный продукт, и затраты на сырье не учитываются.

Расчет годовой потребности в материалах приведены в таблице 21.

Таблица 21 – Расчет годовой потребности в материалах

Наименование материала	Расход, кг		Цена за 1 кг, руб	Сумма затрат, руб	
	На единицу продукта	На весь объем продукции		На единицу продукта	На весь объем продукции
NaCl	12,46	1377139	10	124,6	13771390
H <sub>2</sub> O	99,42	10988378	0,00045	0,044739	4944,7701
Cl <sub>2</sub>	11,11	1227930	1,5	16,665	1841895
Итого	-	-	-	141,30974	15618230

### Расчет годовой потребности в электроэнергии

На промышленном предприятии стоимость 1 кВт\*ч электроэнергии определяется по двух ставочному тарифу. Тариф складывается из годовой платы за 1 кВт\*ч, заявленной предприятием максимальной нагрузки и платы за каждый потребленный кВт\*ч активной электроэнергии.

Действительно потребляемую электроэнергию на технологические цели определяем как:

$$P_{\text{тех}} = Q_{\text{уст}} \cdot K_c / \eta_{\text{сети}},$$

где  $Q_{\text{уст}}$  – суммарная годовая потребность электроэнергии на технологические цели, кВт\*ч (таблица 22);

$K_c = 0,8$  – коэффициент спроса электроэнергии, учитывающий максимальное электропотребление;

$\eta_{\text{сети}} = 0,98$  – коэффициент полезного действия сети;

$$P_{\text{тех}} = 9472879,6 \cdot 0,8 / 0,98 = 7732962 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Расход электроэнергии на двигательные цели определяем по формуле:

$$P_{\text{дв}} = Q_{\text{дв}} \cdot K_c / \eta_{\text{сети}} \cdot \eta_{\text{дв}},$$

где  $Q_{\text{дв}}$  – суммарная годовая потребность электроэнергии на двигательные цели (таблица 6.9), кВт\*ч;

$\eta_{\text{дв}} = 0,85$  – коэффициент полезного действия двигателя;

$$P_{\text{дв}} = 262477 \cdot 0,8 / 0,98 \cdot 0,85 = 182126 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

Суммарный удельный расход электроэнергии на технологические и двигательные цели определяем по формуле:

$$I_{\text{общ}} = P_{\text{тех}} + P_{\text{дв}} / \text{ПП};$$

$$I_{\text{общ}} = (7732962 + 182126) / 110524,83 = 71,62 \text{ кВт/кг.}$$

Таблица 22 – Расчет потребности электроэнергии

Наименование электрооборудования	Мощность, кВт	Количество	Эффективный фонд времени оборудования	Суммарно-потребляемая электроэнергия, кВт*ч
Насос	3	3	8467	76203
Двигатели (суммарная мощность)	22	-	8467	186274
Электролизная ванна	279,7	4	8467	9472879,6

Сумма расходов на электроэнергию за год:

- удельная

$$P_{\text{уд}} = I_{\text{общ}} \cdot C_{\text{эл.эн}},$$

где  $C_{\text{эл.эн}} = 1,2$  руб/кВт\*ч - цена 1 кВт\*ч электроэнергии,

$$P_{\text{уд}} = 71,62 \cdot 1,2 = 85,94 \text{ руб/кг.}$$

- общая

$$P_{\text{общ}} = (P_{\text{тех}} + P_{\text{дв}}) \cdot C_{\text{э}},$$

$$P_{\text{общ}} = (7732962 + 182126) \cdot 1,2 = 9498105,6 \text{ руб.}$$

## Расчет амортизационных отчислений

Для расчета амортизационных отчислений необходимо учесть:

- полную стоимость зданий;
- полную стоимость оборудования;
- нормы амортизационных отчислений.

Расчет амортизационных отчислений представлен в таблице 10.

Таблица 23 – Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных фондов	Стоимость, тыс. руб	Норма амортизационных отчислений %	Сумма амортизационных отчислений, тыс. руб
Здания	33750	3	11250
Оборудование	14464,581	10	3977,217
Итого		-	15227,2

## Расчет сметы расходов по содержанию и эксплуатации оборудования

Смету составляем по следующим укрупненным показателям (таблица 24).

Таблица 24 – Смета расходов по содержанию и эксплуатации оборудования

Статьи расхода	Сумма, тыс. руб	Пояснения к расчету
1 Текущий ремонт оборудования:		
а) зарплата ремонтников	76,49	1% от основн. Раб.
б) Ед. соц. налог	19,88	30% от ст. 1 а
в) стоимость запчастей и услуг РМЦ	723,22	5 % от стоимости оборудования
Итого	819,6	
2 Амортизация производственного оборудования	3977,217	из таблицы 6.10
Итого по статьям 1-2	4796,81	
3 Прочие расходы	479,7	10 % от ст. (1-2)
Всего по смете	5276,5	

### **Расчет сметы цеховых расходов**

Расчет сметы цеховых расходов представлены в таблице 25.

Таблица 25 – Смета цеховых расходов

Статьи расходов	Сумма тыс.руб	Пояснения к расчету
1 Заработная плата цехового персонала	1288	из таблицы 6.7
2 отчисления на соц. нужды	335	30% от ст. 1
3 Содержание производственных зданий и сооружений	5625	5 % от стоимости
4 Текущий ремонт производственных зданий	2250	2% от стоимости
5 Амортизация производственных зданий	11250	из таблицы 6.10
6 Расходы по охране труда	2075	10 % от ст. (1-5)
Итого	22823	
7 прочие расходы, включающие износ малоценного и быстроизнашивающегося инвентаря	2282,3	10 % от ст. (1-6)
Итого цеховых расходов	25106	

### **Расчет общезаводских и внепроизводственных расходов**

Общезаводские расходы принимаем в размере 10 % от стоимости переработки сырья, то есть цеховой себестоимости за вычетом стоимости основных материалов.

Внепроизводственные расходы принимаем в размере 3 % от общезаводских расходов, а прочие производственные расходы – 22 % от общезаводских расходов.

### **Проектные валовые затраты на производство продукции**

Исчисление проектных валовых затрат производим на основе проведенных ранее расчетов и сводим в таблицу 26.

Таблица 26 - Калькуляция себестоимости на производство NaCl при годовом выпуске Q = 110,5 т.

Статьи калькуляции	Единица измерения	Цена единицы, руб	Затраты на выпуск продукции	
			Затраты на единицу готовой продукции	Затраты на весь объем
1 Сырье и материалы				
а) хлорид натрия		10	12,46	1376,83
б) Техническая вода	кг	0,00045	99,42	10985,91
в) Хлор		1,5	11,11	1227,655
Итого	-	-	122,99	13590,395
2 Энергия на технологические цели:				
а) электроэнергия	кВт	1,2		
3 Заработная плата производственных рабочих	- тыс. руб	-	85,955	9498,1056
4 Ед соц. налог		-	692,3	7649,2
Итого переменных затрат	-	-	-	2849,432
			303,955	33587,1326
6 Цеховые расходы	тыс. руб	-	227,203	25106,00
Итого производственная себестоимость	-	-	531,158	58692,959
Итого условно-постоянных затрат	-	-	227,203	25106,00
Итого условно-переменных затрат	-	-	303,955	33587,1326

Итак, по результатам расчета стоимость передела сырья составляет

$$P_{\text{пр}} = 531,158 \text{ тыс. руб.}$$

## Определение цены готовой продукции по действующему производству

Цену продукта определяем по формуле:  $C = C \cdot (1 + P/100)$ , (17)

где  $C$  – полная себестоимость единицы готовой продукции;

$P$  – рентабельность продукции (%).

Рентабельность продукции можно принять от 10% до 25%.

$$C = 531,158 \cdot (1 + 10/100) = 584,27 \text{ руб./т}$$

$$\text{Вреал.} = 584,27 \cdot 110,5 = 64\,561,835 \text{ руб.}$$

## Анализ безубыточности по действующему производству

Цель анализа - определение точки безубыточности, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков. В точке безубыточности выручка от продажи продукции ( $V_{пр}$ ) равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

$$V_{пр} = \text{Изд. пост} + \text{Изд. пер}$$

$$V_{пр} = 58\,692,959 \text{ руб./т}$$

Определение точки безубыточности:

1. Аналитическим способом:

$$Q_{кр.} = \frac{\text{Изд. пост}}{C_{гп} - \text{Изд. пер гп}}, \text{ тыс. тонн,}$$

где  $C_{гп}$  – цена единицы готовой продукции (1 тонны);

$\text{Изд. пер гп}$  - удельные переменные издержки (переменные издержки на единицу готовой продукции – 1 тонну).

$$Q_{кр.} = 25106,00 / (584,27 - 303,955) = 89,56 \text{ т/год.}$$

2. График безубыточности при объеме производства 110,5 т/год:

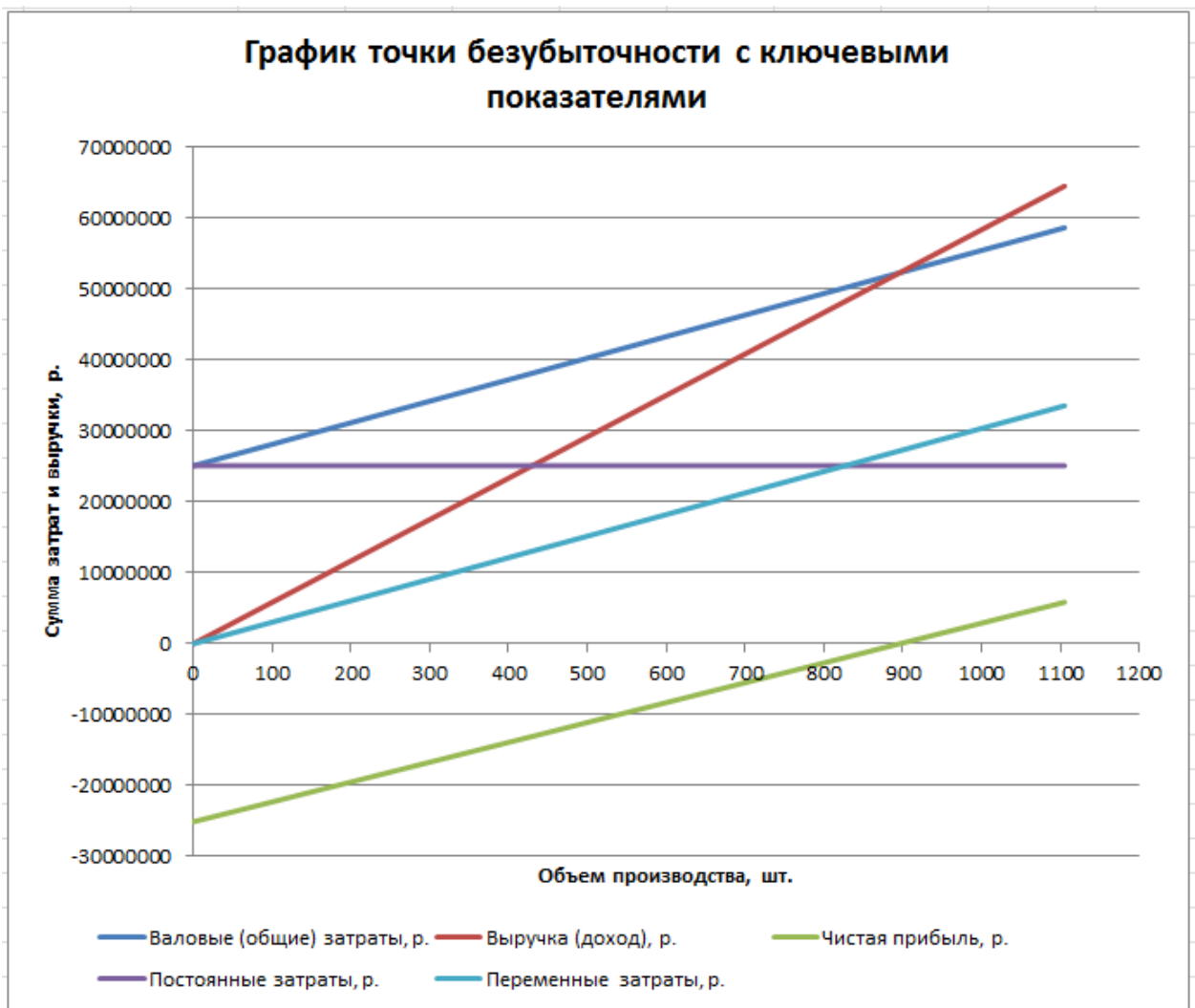


Рисунок 9 – График безубыточности.

## Определение технико-экономических показателей

Таблица 27– Технико-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Отчетный год
1. Объем производства	тыс. т	110,52
2. Объем продаж	тыс. т	110,52
3. Цена 1 тонны	тыс. руб.	584,27
4. Выручка от продажи (2*3)	тыс. руб.	64 561,835
5. Суммарные издержки	тыс. руб.	58 692,959
5.1.Издержки переменные	тыс. руб.	33 587,1326
5.2.Издержки постоянные	тыс. руб.	25 106,00
6. Операционная прибыль (4–5)	тыс. руб.	5 868,876
7. Налог на прибыль (6*20%)	тыс. руб.	1 173,77
8. Чистая прибыль (6–7)	тыс. руб.	4 695,1
9. Себестоимость 1 тонны	тыс. руб.	531,158
10. Стоимость основных средств	тыс. руб.	48 214,58
11. Численность основных рабочих	чел.	23,00
12. Фондовооруженность (10/11)	тыс. руб./чел.	2 096,29
13. Фондоотдача (4/10)	руб./руб.	1,62
14. Фондоемкость (10/4)	руб./руб.	0,62



15. Производительность труда (4/11)	тыс. руб./чел.	3 401,52
16. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	8
17. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	7
18. Критический объем продаж (Q <sub>кр.</sub> )	тыс. т	89,56
19. Критический объем продаж (Q <sub>кр.</sub> )	тыс. руб.	65 532,75

### Вывод

В результате проектирования производства был получен готовый продукт:

1. Себестоимость – 531,158 тыс. руб.
2. Рентабельность производства – 8%
3. Рентабельность продаж – 7%
4. Фондоотдача – 1,62 руб./руб.
5. Критическая точка безубыточности - 89,56 тыс. т
6. Выручки от продаж - 64 561,835 тыс. руб.
7. Чистая прибыль - 4 695,1 тыс. руб.
8. Выплаты по налогам - 1 173,77 тыс. руб.
9. Производительность труда - 3 401,52 тыс. руб./чел.

## **Вывод**

В ходе разработки дипломного проекта произведен обзор методов получения хлорид натрия. Путем выпаривания 6% раствора хлорид натрия, получили 20% раствор хлорида натрия.

Разработана аппаратурно-технологическая схема установки получения хлорид натрия. Подобрано стандартное оборудование и средства контроля, измерения и регулирования параметров процесса.

В экспериментальной части описаны цели хлорида натрия.

Спроектирован выпарной аппарат с выносной греющей камерой. Произведены материальный, тепловой, конструктивный и прочностной расчеты данных аппаратов. При их проектировании по возможности использованы стандартные элементы (фланцы, штуцера и т. д.), повышающие ремонтпригодность оборудования и снижающие затраты на их обслуживание.

Рассмотрены вопросы безопасности жизнедеятельности и экологичности в производстве литиевых продуктов.

Произведен расчет технико-экономической эффективности инвестиционного проекта производства хлорид натрия.

## Список литературы

1. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Хлорид\\_натрия#](https://ru.wikipedia.org/wiki/Хлорид_натрия#)
2. Гусев В.П., Гусева Ж.А. Проектирование выпарных установок. Часть 2. Тепловой расчет вакуумной прямооточной 3-х корпусной выпарной установки. Методические указания к курсовому проектированию для студентов химико-технологического и заочного энерго-механического факультетов.- Томск: Изд. ТПУ, 2009.- 12с.
3. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию/ Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. Под ред. Ю.И. Дытнерского, 3-е изд., стереотипное. М.: ООО ИД «Альянс», 2007 – 496 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. Под ред. чл.-корр. АН России П.Г.Романкова. – 11-е изд., стереотипное. Перепечатка с изд. 1987г, 2007 – 552с.
5. Машины и аппараты химических, нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств: учебное пособие / О.К. Семакина; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 164 с
6. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры : справочник / А. А. Лацинский, А. Р. Толчинский. - 3-е изд., стер. - Москва : Альянс, 2008. - 752 с.
7. Гусев В.П., Гусева Ж.А. Проектирование выпарных установок. Часть 1. Конструктивное оформление процесса выпаривания. Теоретические основы расчета. Методические указания к курсовому проектированию для студентов химико-технологического и заочно энерго-механического факультетов. Томск: Изд. ТПУ, 2009. -18с. 15.
8. Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли. Ч. I. Тонкостенные сосуды и аппараты химических производств: учебное пособие /сост. В.М.Беляев, В.М.Миронов; Томский политехнический университет. – 3-е изд., доп. и испр. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 314с.
9. ГОСТ Р 52857.1—2007 общие требования.
10. ГОСТ Р 52857.2—2007 расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.
11. Машины и Аппараты химических производств. Часть I учебное пособие /сост. О.К.Семакина, Томск 2003.
12. Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли. Ч. I. Тонкостенные сосуды и аппараты химических производств: учебное пособие /сост. В.М.Беляев, В.М.Миронов; Томский политехнический университет. – 3-е изд., доп. и испр. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 314с.

13. ГОСТ Р 528572—2007 «Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек».
14. ГОСТ Р 528573—2007 «Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер».
15. ГОСТ Р 52857.4-2007 «Расчет фланцевых соединений».
16. ГОСТ Р 52857.3-2007 «Укрепление отверстий».
17. ГОСТ Р 52857.5-2007 «Обечайки и днища от воздействия опорных нагрузок».
18. Техника чтения схем автоматического управления и технологического контроля / А.С. Ключев, Б.В. Глазов, М.Б. Ключева. - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 432 с.: ил.
- 19 Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов. Часть 1, 2. Массообменные процессы и аппараты. М.: Химия, 1995. – 400 с.
- 20 Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1971. – 784 с.
- 21 Галкин Н. П., Тихомиров В. Б. Основные процессы и аппараты технологии урана. – М.: Госатомиздат, 1961. – 220 с.
- 22 Липшина И. И. Уранил и его соединения. – М.: Изд. АН СССР, 1959.
- 23 Аналитическая химия урана. Под ред. Д.И. Рябчикова. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1962. – 432 с.
- 24 Марков В.К., Верный Е.А. Уран. Методы его определения. – М.: Атомиздат, 1964. – 503 с.