

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

Институт Электронного обучения
Направление Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,
нефтехимии и биотехнологии
Кафедра Общей химии и химической технологии

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема проекта
Установка получения лития с разработкой выпарного аппарата

УДК 661.83.048.5

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К11	Виноградов Виктор Сергеевич		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечина А.А.	к.х.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чулков Н.А.	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

Томск – 2016 г.

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

Институт электронного обучения

Направление Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии нефтехимии и биотехнологии

Кафедра общей химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. зав. кафедрой

_____ Тихонов В.В.
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К11	Виноградов Виктор Сергеевич

Тема работы:

Установка получения лития с разработкой выпарного аппарата	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	<u>25.04.2016г. № 3106/с</u>

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.07.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	
<i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	<i>Выпарной аппарат с внутренней греющей камерой, с естественной циркуляцией. Используется для упаривания раствора хлорида лития. Производительность по растворенному веществу – 0,03 кг/с. Рабочая температура процесса – 119°С. Давление в сепараторе – атмосферное. Давление в межтрубном пространстве греющей камеры – 0,45МПа.</i>

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</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>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Введение: получение высокочистого металлического лития. 2) Технологическая схема производства лития. 3) Технологический режим работы аппаратов для оптимального режима работы. 4) Вопросы социальной ответственности и безопасной эксплуатации аппаратов. 5) Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение 6) Заключение (выводы).
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Общий вид выпарного аппарата (1 лист А1) 2) Выносные элементы выпарного аппарата (1 лист А1) 3) Технологическая схема производства лития (1 лист А1) 4) Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение (1 лист А1)
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p style="text-align: center;">Раздел</p>	<p style="text-align: center;">Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Доцент, кандидат химических наук Сечина Ася Александровна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Доцент, кандидат технических наук Чулков Николай Александрович</p>

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	04.04.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К11	Виноградов Виктор Сергеевич		

Реферат

Тема диплома: установка получения лития с разработкой выпарного аппарата.

В обзоре литературы рассмотрены свойства лития, способы очистки, а также методы получения металлического лития.

Произведен технологический, конструктивный и прочностной расчеты выпарного аппарата.

В прочностном разделе был произведен расчет: толщины стенки корпуса, днища и крышки; укрепления отверстий; фланцевых соединений; опор; развальцовочного соединения; толщины трубной решетки и теплоизоляции.

Описаны мероприятия по социальной ответственности и финансовый менеджмент в производстве литиевых продуктов.

Дипломный проект состоит из пояснительной записки, содержащий 115 стр., 13 рис., 32 таб., 1 прил., и 4 л. графического материала формата А1.

Ключевые слова: выпарной аппарат, греющая камера, фланец.

Abstract

Thesis: installation of reception with the development of lithium evaporator.

The literature review examined the properties of lithium, purification methods, as well as methods for producing lithium metal.

Produced technological, structural and strength analysis evaporator.

The strength section had been calculated: the wall thickness of the housing bottom and the lid; strengthening of holes; flanged connections; supports; flaring connections; the thickness of the tube sheet and heat insulation.

The measures on social responsibility and financial management in the production of lithium products.

The degree project consists of an explanatory note containing 115 p., 13 fig., 32 tab., 1 mgr., And 4 liters. A1 format graphic material.

Keywords: evaporator heating chamber, the flange.

Содержание

Выведение	8
1 Описание аппаратурно-технологической схемы	9
1.1 Выбор контрольно-измерительной аппаратуры	12
2 Расчет и конструирование оборудования	13
2.1 Аппарат выпарной	13
2.1.1 Данные для расчета	13
2.1.2 Материальный расчёт	15
2.1.3 Тепловой расчёт	16
2.1.3.1 Тепловой баланс	17
2.1.3.2 Определение поверхности теплообмена и коэффициента теплоотдачи	20
2.1.4 Конструктивный расчет	27
2.1.5 Прочностной расчёт	31
2.1.5.1 Выбор конструкционного материала	31
2.1.5.2 Расчет обечайка греющей камеры	33
2.1.5.3 Расчет толщины стенки днища	35
2.1.5.4 Расчет толщины стенки крышки	40
2.1.5.5 Подбор днища и крышки	43
2.1.5.6 Расчет укрепления отверстий	44
2.1.5.7 Расчет фланцевых соединений	45
2.1.5.8 Расчет опор для аппарата	58
2.1.5.9 Расчет развальцовочных соединений	65
2.1.5.10 Расчет толщины трубной решетки	67
2.1.6 Расчёт теплоизоляции	71
3 Оценка экономической эффективности инвестиционного проекта производства металлического литья	73
3.1 Расчёт производственной мощности оборудования цеха	73
3.2 Расчет капитальных затрат по проектируемому цеху	74
3.3 Расчет численности промышленно-производственного персонала	78
3.4 Расчет фонда заработной платы промышленно-производственного персонала и ремонтников	80
3.5 Расчет затрат на производство продукции	84
3.5.1 Расчет годовой потребности в сырье и материалах	84
3.5.2 Расчет годовой потребности в электроэнергии	85
3.5.3 Расчет амортизационных отчислений	86
3.5.4 Расчет сметы расходов по содержанию и эксплуатации оборудования	87
3.5.5 Расчет сметы цеховых расходов	88
3.5.6 Расчет общезаводских и внепроизводственных расходов	88

3.5.7 Проектные валовые затраты на производство продукции.....	88
3.6 Анализ экономической эффективности инвестиционного проекта	91
3.6.1 Инвестиционная деятельность при реализации проекта.....	91
3.6.2 Расчет отпускной цены продукта	91
3.6.3 Операционная деятельность	93
3.6.4 Финансовая деятельность	96
3.6.5 Показатели эффективности проекта	96
4. Социальная ответственность	100
4.1 Характеристика технологического процесса	100
4.2 Характеристика помещения	101
4.2.1 Метеоусловия	102
4.2.2 Система вентиляции	102
4.2.3 Освещение	103
4.3 Производственная безопасность.	104
4.3.1 Анализ вредных и опасных факторов. Мероприятия по защите.	104
4.4 Электробезопасность	107
4.5 Безопасность в ЧС.....	107
4.6 Экологическая безопасность.....	111
Заключение	113
Литература	114

Введение

В настоящее время актуальной задачей является получение высокочистого металлического лития и различных его солей, имеющих широкое использование в металлургической, энергетической, медицинской, химической, стекольной и других областях промышленности. На мировом рынке лития и его соединений существует постоянно растущий спрос на сверхчистые соли лития, такие как карбонат и фторид лития, и на литий металлический [21]. Фторид лития используют для синтеза солей-ионогенов (производство гексафторофосфата лития, гексафтороарсената лития, тетрафторобората лития и др.), которые добавляют в органические электролиты, применяемые в производстве литиевых химических источников тока. Монокристаллы фторида лития находят применение в термолюминесцентных детекторах ионизирующего излучения [22].

В последние годы российские предприятия также проявляют интерес к высокочистым солям лития с целью организации производства литий-ионных аккумуляторов, используемых в средствах мобильной связи, в пультах управления и др..

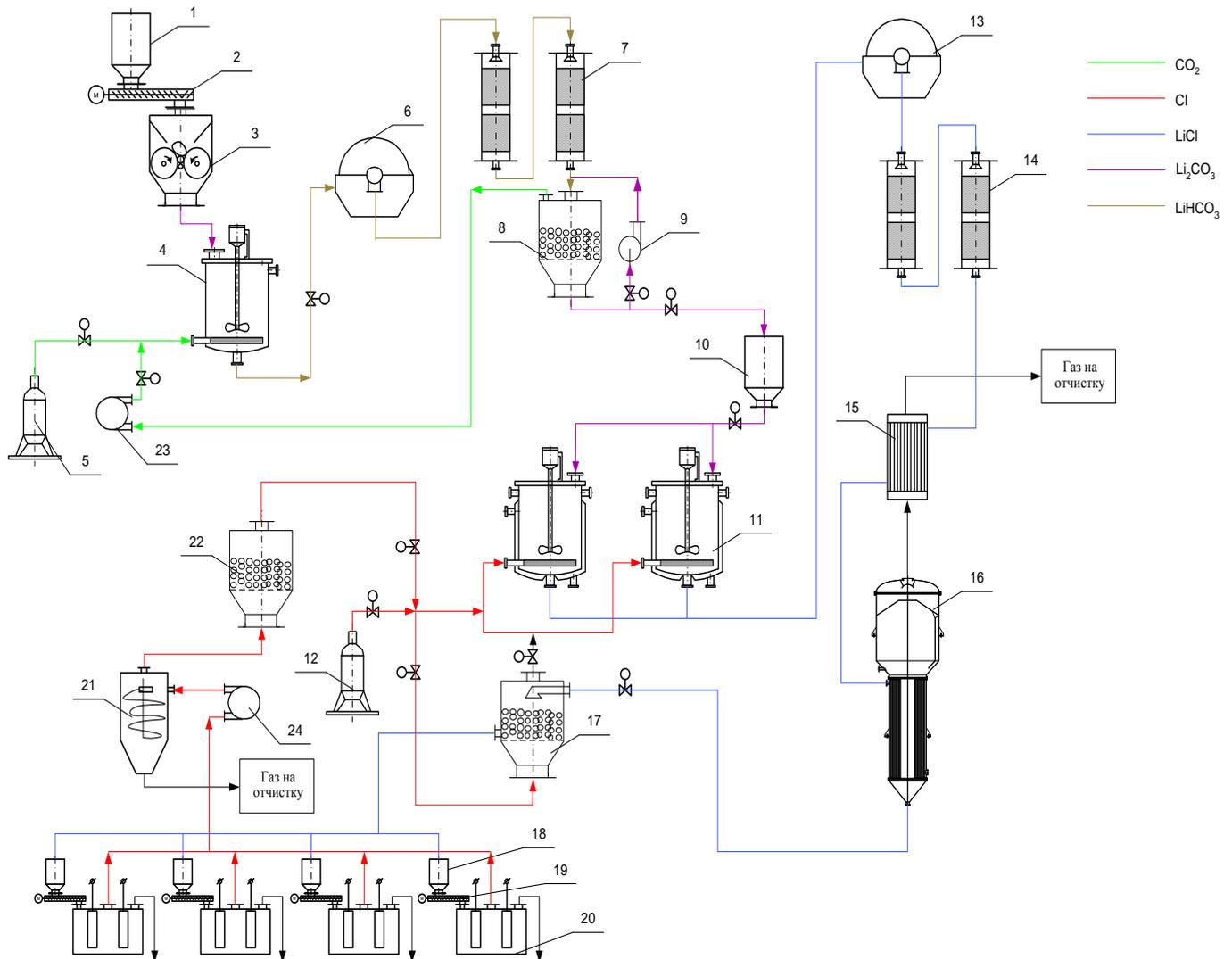
Производство металлического лития включает следующие основные технологические стадии:

- приготовление пульпы карбоната лития;
- хлорирование пульпы карбоната лития;
- фильтрация раствора хлорида лития;
- сорбционная очистка раствора хлорида лития;
- упаривание раствора хлорида лития;
- получение гранулированного хлорида лития в печи кипящего слоя;
- электролиз хлорида лития.

Данный дипломный проект посвящен разработке установки получения высокочистых солей лития и металлического лития.

1 Описание аппаратурно-технологической схемы

Аппаратурно-технологическая схема установки получения металлического лития приведена на рисунке 1.1.



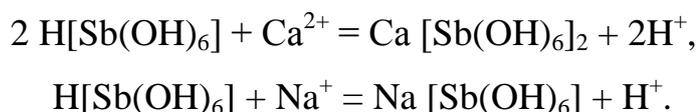
1 - бункер хранения технического карбоната лития; 2,19 - питающее шнеки; 3 - валковая мельница; 4 - реактор; 5 - баллон с углекислым газом; 6,13 - барабанные вакуум-фильтры; 7,14 - сорбционные колонны; 8,17,22 - аппараты кипящего слоя; 9 - насос; 10 - промежуточный бункер хранения очищенного карбоната лития; 11 - реакторы хлорирования; 12 - баллон с хлором; 15 - теплообменник; 16 - выпарной аппарат; 18 - промежуточные бункера хранения хлорида лития; 20 - электролизные ванны; 21 - циклон; 23, 24 - газодувки

Рисунок 1.1 – Технологическая схема получения металлического лития

Технический карбонат лития из бункера 1 с помощью шнека питателя 2 подают в валковую мельницу 3, где карбонат лития подвергают механоактивации с целью ускорения процесса его перевода в растворимую соль гидрокарбоната лития. После этого активированный карбонат лития засыпают в реактор 4, наливают дистиллированную воду и подают углекислый газ из баллона 5. При этом протекает следующая реакция:



После фильтрации в барабанном вакуум-фильтре 6 (отделение не растворившегося карбоната лития и примесей), полученный раствор гидрокарбоната лития пропускают через сорбционные колонны 7, в которых происходит очистка от примесей натрия и кальция. Нижний слой в сорбционной колонне состоит из НУМС-О, а верхний слой - из углерод-углеродного сорбента НУМС-Sb. Можно Процесс очистки литийсодержащих растворов протекает согласно следующим реакциям [22]:



После очистки от примесей раствор гидрокарбоната лития нагревают в аппарате кипящего слоя 8 до 100°C. При этом происходит осаждение очищенного карбоната лития по реакции:



Для улучшения процесса осаждения раствор циркулируют при помощи насоса 9.

Осажденный карбонат лития вместе с водой собирается в промежуточном бункере хранения очищенного карбоната лития 10. В процессе осаждения при помощи газодувки 23 осуществляется отсос углекислого газа из аппарата кипящего слоя 8 в реактор 4.

Далее карбонат лития из бункера 10 подают в реактор хлорирования 11 (при этом наливают дистиллированную воду и подают хлор из баллона 12), где происходит хлорирование карбоната лития. В результате чего получают 10% хлорид лития. Этот процесс протекает по следующей реакции:

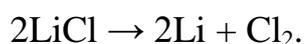


После фильтрации в барабанном вакуум-фильтре 13 полученный раствор хлорида лития пропускают через сорбционные колонны 14, заполненные углерод-углеродным сорбентом НУМС- Sb, в которых происходит очистка от примесей ионов натрия и кальция.

Далее раствор поступает в выпарной аппарат 16, в котором происходит упаривание 10% хлорида лития до 30%, предварительно подогреваемого в теплообменнике 15 до 105°C, где для экономичности в качестве горячего тела используется вторичный пар с выпарного аппарата.

После этого 30% раствор хлорида лития вместе с хлором поступает в аппарат кипящего слоя 17, где происходит гранулирование хлорида лития, который собирается в промежуточном бункере 18.

Затем хлорид лития с помощью питающего шнека 19 вместе с хлоридом калия подают в электролизные ванны 20, где происходит электролиз хлористого лития в результате чего получают металлический литий по реакции:



Также в процессе электролиза выделяется хлор, который при помощи газодувки 24 подают на циклон 21, где происходит очистка от пыли. Далее хлор поступает на сушку в аппарат кипящего слоя 22, заполненный гранулами из фторопласта. После чего хлор подают в аппарат кипящего слоя 17 и в реактор хлорирования 11.

1.1 Выбор контрольно-измерительной аппаратуры

Для контроля и регулирования технологического процесса получения металлического лития выбираем контрольно-измерительные приборы [21], наименование и обозначение которых приведем в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Выбор контрольно-измерительной аппаратуры

Обозначение прибора	Наименование прибора
<i>PIA</i>	Прибор для измерения давления МПТ-160
<i>TIRC</i>	Прибор для измерения температуры показывающий, регистрирующий, установленный на щите: электронный потенциометр КСП 3, ТХА 08606 (0...1000 °С), ТХК 803 (0...200 °С)
<i>LSA</i>	Прибор для измерения уровня сыпучих тел (сигнализация и блокировка): радиоизотопный сигнализатор уровня РРПВ-3: передающий преобразователь, вторичный прибор
<i>SIC</i>	Тахогенератор ТД-101
<i>LICA_L^H</i>	Прибор для измерения уровня ПВ 4.2Э, показывающий, с сигнальным устройством

2. Расчет и конструирование оборудования

2.1 Аппарат выпарной

2.1.1 Данные для расчета

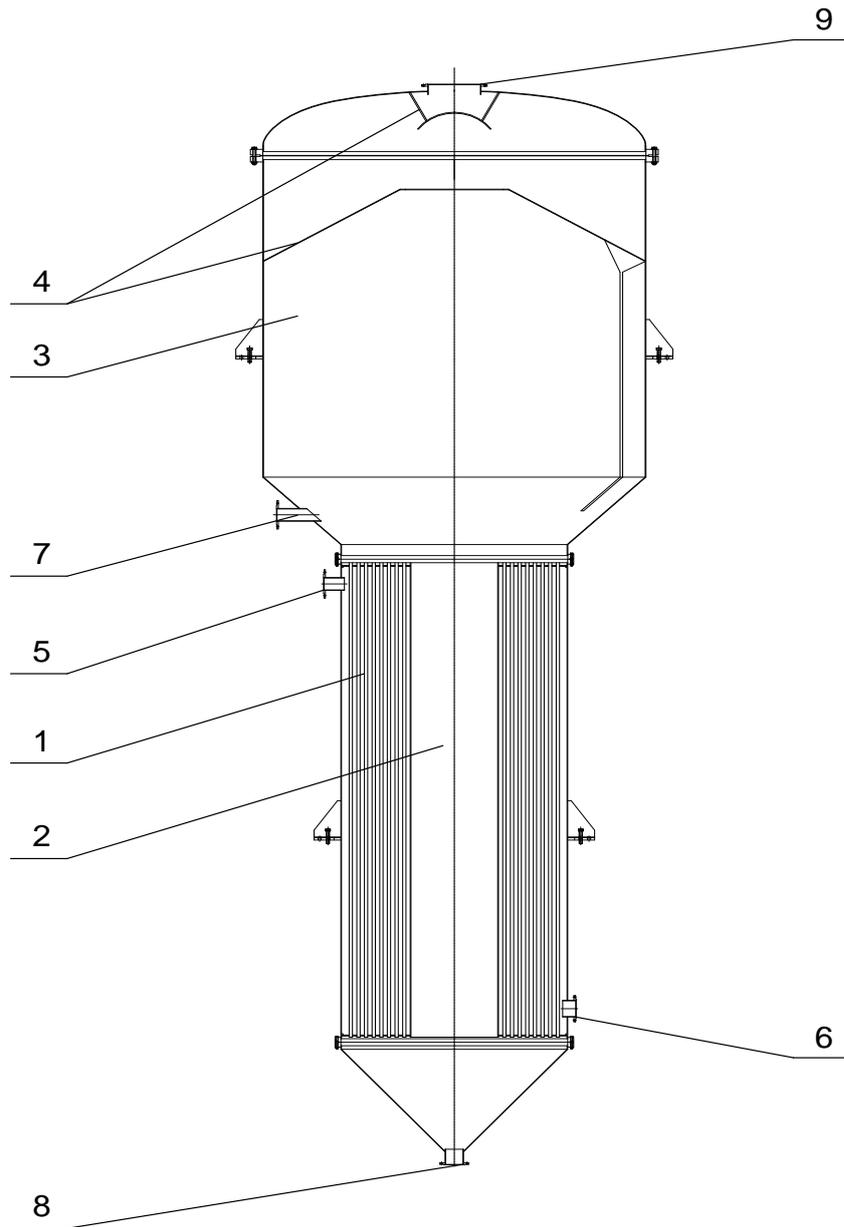
Данные расчёта и конструирования выпарного аппарата в таблице 2.2

Таблица 2.2 - Исходные данные

Упариваемый раствор	LiCl
Производительность по растворенному веществу, кг/с	0,03
Начальная концентрация, %	10
Конечная концентрация, %	30
Давление греющего пара, МПа	0,45
Давление вторичного пара, МПа	0,1
Начальная температура процесса, °С	105
Конечная температура процесса, °С	119

Примечание: Режим работы аппарата – непрерывный.

Схема выпарного аппарата представлена на рисунке 2.1.



- 1 – греющая камера; 2 – циркуляционная труба; 3 – паровое пространство;
4 – сепаратор; 5 – штуцер ввода греющего пара; 6 – штуцер ввода греющего пара;
7 – штуцер подачи исходного раствора; 8 – штуцер отвода упаренного раствора;
9 – штуцер удаления вторичного пара.

Рисунок 2.1 – Схема выпарного аппарата с внутренней греющей камерой

2.1.2 Материальный расчёт

Материальный расчёт сводится к составлению материального баланса процесса выпаривания.

Уравнение материального баланса процесса выпаривания по потокам имеет вид [14]:

$$G_H = G_k + W ,$$

где G_H - массовый расход начального (исходного) раствора, кг/с;

G_k - массовый расход конечного (упаренного) раствора, кг/с;

W - массовый расход выпариваемой воды (вторичного пара), кг/с.

Уравнение материального баланса по растворённому веществу:

$$G_H \cdot x_H = G_K \cdot x_K ,$$

где x_H - концентрация растворенного вещества в начальном (исходном) растворе, массовые доли;

x_k - концентрация растворенного вещества в конечном (упаренном) растворе, массовые доли.

На основании уравнений материального баланса и исходных данных определяем массовые расходы начального, конечного растворов, выпаренной воды:

$$G_H = \frac{G_{LiCl}}{x_H}$$

или

$$G_H = V_H \cdot \rho_H = \frac{G_{LiCl}}{x_H} \cdot \rho_H ,$$

где V_H - объёмный расход начального раствора, м³/с;

ρ_H - начальная плотность раствора, кг/ м³;

G_{LiCl} - производительность по LiCl, кг/ч.

$$G_H = \frac{0,03}{0,1} = 0,3 \text{ кг/с.}$$

Определяем массовый расход конечного раствора:

$$G_K = G_H \cdot \frac{x_H}{x_K},$$

$$G_K = \frac{0,03 \cdot 0,1}{0,30} = 0,1 \text{ кг/с},$$

Тогда массовый расход упаренной воды будет равен:

$$W = G_H - G_K,$$

$$W = 0,3 - 0,1 = 0,2 \text{ кг/с}.$$

Составим таблицу материального баланса:

Таблица 2.3 - Материальный баланс

Приход			Расход		
Статьи прихода	кг/с	%	Статьи расхода	кг/с	%
1 Исходный раствор	0,3	100	1 Упаренный раствор	0,1	33,3
			2 Вторичный пар	0,2	66,7
Итого:	0,3	100	Итого:	0,3	100

2.1.3 Тепловой расчёт

Тепловой расчёт сводится к составлению теплового баланса процесса выпаривания, определению тепловой нагрузки аппарата, расхода греющего пара, истинного значения удельной тепловой нагрузки, истинного значения коэффициента теплопередачи и поверхности теплообмена.

По данным таблицы 2.1 для выпариваемого раствора и греющего пара определяем все необходимые физические величины, используя таблицы и графики [17]. Все данные сносим в таблицу 2.4

Таблица 2.4 – данные для расчёта

Теплоёмкость начального раствора, Дж/кг·К	3771
Теплоёмкость конечного раствора, Дж/кг·К	3784
Температура конденсации греющего пара, °С	132
Температура кипения раствора, °С	119
Температура исходного раствора, °С	105
Удельная энтальпия греющего пара, Дж/кг·К	2754
Удельная энтальпия вторичного пара, Дж/кг·К	2728
Удельная энтальпия конденсата греющего пара, Дж/кг·К	637,7
Высота кипяtilьных трубок, м	1,5
Толщина стенки трубок, м	0,002
Толщина слоя накипи, м	0,005
Удельная теплота парообразования, Дж/кг	$2171 \cdot 10^3$
Термическое загрязнение загрязнённых трубок, м ² ·К/Вт	0,0025
Коэффициент теплопроводности стали, Вт/м ² ·К	17
Коэффициент теплопроводности накипи, Вт/м ² ·К	2
Плотность упариваемого раствора, кг/м ³	1252
Поверхностное натяжение раствора, Н·м	0,073
Плотность вторичного пара, кг/м ³	0,678

2.1.3.1 Тепловой баланс

Уравнение теплового баланса процесса выпаривания записывается в виде:

$$Q'_H + Q'_{cp.n} = Q'_K + Q'_W + Q'_{кою.} + Q'_{ном.},$$

где $Q'_H = G_H \cdot c_H \cdot t_H$ - количество тепла, поступающего в выпарной аппарат с начальным раствором, Вт;

$c_H = 3771$ - удельная теплоёмкость начального раствора, Дж/(кг · К) [8];

$t_H = 105^\circ\text{C}$ - температура начального раствора при входе в выпарной аппарат, $^\circ\text{C}$ [7];

$$Q'_H = 0,3 \cdot 3,771 \cdot 105 = 108,12 \text{ кДж/с},$$

$Q'_{ep.n} = D \cdot i_{ep.n}$ - количество тепла, поступающего в выпарной аппарат с греющим паром, Вт;

где D – расход греющего пара, кг/с;

$i_{ep.n} = 2754$ - удельная энтальпия греющего пара, кДж/кг [8];

$Q'_K = G_K \cdot c_K \cdot t_K$ - количество тепла, уходящего из выпарного аппарата с конечным (упаренным) раствором, кДж/с.

$c_K = 3784$ - удельная теплоёмкость конечного (упаренного) раствора, Дж/(кг · К) [7];

$t_K = 119^\circ\text{C}$ - температура конечного раствора при выходе из выпарного аппарата, равная температуре кипения конечного раствора, $^\circ\text{C}$ [8];

$$Q'_K = 0,016 \cdot 3,784 \cdot 119 = 45,03 \text{ кДж/с}.$$

$Q'_W = W \cdot i_W$ - количество тепла, уходящего из аппарата с вторичным паром, кДж/с.;

где $i_W = 2728$ - удельная энтальпия вторичного пара, Дж/кг [8];

$$Q'_W = 0,2 \cdot 2728 = 545,6 \text{ кДж/с}.$$

$Q'_{конд.} = D \cdot i_{конд.}$ - количество тепла, уходящего из выпарного аппарата с конденсатом греющего пара, Вт;

где $i_{конд.} = 637,7$ - удельная энтальпия конденсата греющего пара, кДж/кг [15];

$Q'_{конц} = G_B \cdot (q_K - q_H)$ - расход тепла на концентрирование (тепловой эффект), Вт;

$q_K = 110$ – удельная интегральная теплота растворения конечного раствора, отнесенная к растворенному веществу, кДж/кг [8];

$q_H = 75$ – удельная интегральная теплота растворения начального раствора, отнесенная к растворенному веществу, кДж/кг [8];

$$Q'_{\text{конц}} = G_6 \cdot (t_k - q_n) = 0,03 \cdot (10 - 75) = 10,5 \text{ кДж/с.}$$

$$Q'_{\text{пот}} = 0,05 \cdot Q' = 0,05 \cdot D \cdot (t_{\text{р.п}} - i_{\text{конд}}) - \text{расход тепла на компенсацию потерь}$$

в окружающую среду, принимаемый 5 % от количества переданного тепла в выпарном аппарате – тепловой нагрузки аппарата, кДж/с [8].

$$Q' = D \cdot (t_{\text{р.п}} - i_{\text{конд}}) - \text{расход тепла в выпарном аппарате – тепловая нагрузка аппарата, кДж/с.}$$

Из уравнения теплового баланса определяем расход греющего пара

$$D = \frac{Q'_k - Q'_n + Q'_w + Q'_{\text{конц}}}{0,95 \div 0,97 \cdot (t_{\text{р.п}} - i_{\text{конд}})}$$

$$D = \frac{45,03 - 118,76 + 545,6 + 10,5}{0,95 \cdot (754 - 637,7)} = 0,24 \text{ кг/с.}$$

И вышеперечисленные статьи теплового баланса выпарного аппарата:

$$Q'_{\text{р.п}} = D \cdot i_{\text{р.п}} = 0,24 \cdot 2754 = 660,96 \text{ кДж/с,}$$

$$Q'_{\text{конд}} = D \cdot i_{\text{конд}} = 0,24 \cdot 637,7 = 153,05 \text{ кДж/с,}$$

$$Q' = D \cdot (t_{\text{р.п}} - i_{\text{конд}}) = 0,24 \cdot (754 - 637,7) = 507,91 \text{ кДж/с,}$$

$$Q'_{\text{пот}} = 0,05 \cdot Q' = 0,05 \cdot 507,91 = 25,4 \text{ кДж/с.}$$

Результаты составления теплового баланса сведены в таблицу теплового баланса.

Таблица 2.5 - Тепловой баланс

Приход			Расход		
Статьи	кВт	%	Статьи расхода	кВт	% %
1 Начальный раствор	108,12	14,06	1 Упаренный раствор	45,03	5,85
2 Греющий пар	660,96	85,94	2 Вторичный пар	545,6	70,94
			3 Конденсат греющего пара	153,05	19,90
			4 Потеря в окружающую среду	25,4	3,31
Итого:	769,08	100	Итого:	769,08	100

2.1.3.2 Определение поверхности теплообмена и коэффициента

теплоотдачи

Для осуществления процесса выпаривания к упариваемому раствору необходимо подвести определённое количество тепла, определяемое основным уравнением теплопередачи:

$$Q' = k \cdot \Delta t_{\text{пол}} \cdot F = q \cdot F, \quad (2.1)$$

где Q' - расход тепла в выпарном аппарате - тепловая нагрузка аппарата, Вт;

k - коэффициент теплопередачи, Вт/(м²К);

$\Delta t_{\text{пол}}$ - полезная разность температур в выпарном аппарате, равная разности между температурой конденсации греющего пара и температурой кипения раствора;

$$\Delta t_{\text{пол}} = t_{\text{гр.п}} - t_{\text{кип.к.р}} = 147 - 119 = 28^\circ \text{C},$$

где F - поверхность теплообмена, м²;

$q = k \cdot \Delta t_{\text{пол}}$ - удельная тепловая нагрузка, Вт/м².

Удельная тепловая нагрузка. Для определения удельной тепловой нагрузки воспользуемся графическим методом, то есть построим зависимость удельной нагрузки от температуры стенки со стороны греющего теплоносителя t_{cm1} .

Задаемся рядом значений t_{cm1} от $t_{\text{кипения раствора}}$. до $t_{\text{греющего пара}}$, то есть от температуры 119 °С до 147 °С:

$$t_{\text{cm1}}^I = 146^\circ \text{C}; \quad t_{\text{cm1}}^{II} = 145^\circ \text{C}; \quad t_{\text{cm1}}^{III} = 144^\circ \text{C};$$

$$t_{\text{cm1}}^{IV} = 143^\circ \text{C}; \quad t_{\text{cm1}}^V = 142^\circ \text{C}; \quad t_{\text{cm1}}^VI = 141^\circ \text{C}.$$

Рассчитываем для каждой t_{cm1} коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося пара к стенке по формуле [22]:

$$\alpha_1 = 1,15 \cdot \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \cdot \rho^2 \cdot r \cdot g}{\mu \cdot H \cdot (t_{\text{конд}} - t_{\text{cm1}})}} \quad (2.2)$$

где λ - коэффициент теплопроводности конденсата, Вт/(мК);

ρ – плотность конденсата, кг/м³;

r – удельная теплота конденсации, Дж/кг;

g – ускорение свободного падения, $g=9,81\text{ м/с}^2$;

μ – динамический коэффициент вязкости конденсата, Па·с;

H – высота труб принимаем ориентировочно, $H=1,5\text{ м}$;

t_{cm1} – температура стенки, °С.

λ, ρ, μ берутся при средней температуре пленки конденсата:

$$t_n = \frac{t_{конд} + t_{cm1}}{2};$$

$$t_n^I = 146,5^\circ\text{ C}; \quad t_n^{II} = 146^\circ\text{ C};$$

$$t_n^{III} = 145,5^\circ\text{ C}; \quad t_n^{IV} = 145^\circ\text{ C};$$

$$t_n^V = 144,5^\circ\text{ C}; \quad t_n^{VI} = 144^\circ\text{ C}.$$

По [8] находим значения λ, ρ, μ при средней температуре пленки конденсата:

$$\lambda_{конд}^I = 0,6835\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}; \quad \lambda_{конд}^{II} = 0,6840\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)};$$

$$\lambda_{конд}^{III} = 0,6845\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}; \quad \lambda_{конд}^{IV} = 0,6848\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}; \quad \lambda_{конд}^V = 0,6855\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)};$$

$$\lambda_{конд}^{VI} = 0,686\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)};$$

$$\rho_{конд}^I = 920\text{ кг/м}^3; \quad \rho_{конд}^{II} = 921\text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{конд}^{III} = 922\text{ кг/м}^3; \quad \rho_{конд}^{IV} = 923\text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{конд}^V = 925\text{ кг/м}^3; \quad \rho_{конд}^{VI} = 926\text{ кг/м}^3;$$

$$\mu_{конд}^I = 189 \cdot 10^{-6}\text{ Па}\cdot\text{с}; \quad \mu_{конд}^{II} = 190 \cdot 10^{-6}\text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu_{конд}^{III} = 192 \cdot 10^{-6}\text{ Па}\cdot\text{с}; \quad \mu_{конд}^{IV} = 194 \cdot 10^{-6}\text{ Па}\cdot\text{с};$$

$$\mu_{конд}^V = 195 \cdot 10^{-6}\text{ Па}\cdot\text{с}; \quad \mu_{конд}^{VI} = 196 \cdot 10^{-6}\text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Тогда, по формуле (4.6) для разных температур определим:

$$\alpha_I^I = 1,15 \cdot \sqrt[4]{\frac{(8,4 \cdot 10^{-2})^3 \cdot 920^2 \cdot 2129 \cdot 10^3 \cdot 9,81}{189 \cdot 10^{-6} \cdot 1,5 \cdot (47 - 146)}} = 13660,56 \frac{Bm}{m^2 \cdot K};$$

$$\alpha_{II}^I = 1,15 \cdot \sqrt[4]{\frac{(8,4 \cdot 10^{-2})^3 \cdot 921^2 \cdot 2129 \cdot 10^3 \cdot 9,81}{190 \cdot 10^{-6} \cdot 1,5 \cdot (47 - 145)}} = 11484,50 \frac{Bm}{m^2 \cdot K};$$

$$\alpha_I^{III} = 1,15 \cdot \sqrt[4]{\frac{(8,45 \cdot 10^{-2})^3 \cdot 922^2 \cdot 2129 \cdot 10^3 \cdot 9,81}{192 \cdot 10^{-6} \cdot 1,5 \cdot (47 - 144)}} = 10361,58 \frac{Bm}{m^2 \cdot K};$$

$$\alpha_I^{IV} = 1,15 \cdot \sqrt[4]{\frac{(8,48 \cdot 10^{-2})^3 \cdot 923^2 \cdot 2129 \cdot 10^3 \cdot 9,81}{194 \cdot 10^{-6} \cdot 1,5 \cdot (47 - 143)}} = 9632,18 \frac{Bm}{m^2 \cdot K};$$

$$\alpha_I^V = 1,15 \cdot \sqrt[4]{\frac{(8,6 \cdot 10^{-2})^3 \cdot 925^2 \cdot 2129 \cdot 10^3 \cdot 9,81}{195 \cdot 10^{-6} \cdot 1,5 \cdot (47 - 142)}} = 9108,81 \frac{Bm}{m^2 \cdot K};$$

$$\alpha_I^{VI} = 1,15 \cdot \sqrt[4]{\frac{(8,6 \cdot 10^{-2})^3 \cdot 926^2 \cdot 2129 \cdot 10^3 \cdot 9,81}{196 \cdot 10^{-6} \cdot 1,5 \cdot (47 - 141)}} = 8701,28 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}.$$

Определим удельный тепловой поток из уравнения теплоотдачи по формуле:

$$q_I = \alpha_I \cdot (t_{конд} - t_{cm1}) \frac{Bm}{m^2} \quad (2.3)$$

$$q_I^I = 13660,56 \cdot (47 - 146) \frac{Bm}{m^2};$$

$$q_{II}^I = 11484,50 \cdot (47 - 145) \frac{Bm}{m^2};$$

$$q_I^{III} = 10361,58 \cdot (47 - 144) \frac{Bm}{m^2}$$

$$q_I^{IV} = 9632,18 \cdot (47 - 143) \frac{Bm}{m^2};$$

$$q_I^V = 9108,81 \cdot (47 - 142) \frac{Bm}{m^2};$$

$$q_I^{VI} = 8701,28 \cdot (47 - 141) \frac{Bm}{m^2}.$$

Определим ряд значений температуры стенки со стороны нагреваемой жидкости по формуле [15]:

$$t_{cm2} = t_{cm1} - q_I \cdot \left(\frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \Sigma r_{загр} \right), \quad (2.4)$$

где δ_{cm} – толщина стенки трубок, $\delta_{cm}=0,002м$;

λ_{cm} – коэффициент теплопроводности материала трубок,
 $\lambda_{cm} = 46,5 \text{ Вт}/(м \cdot K)$;

$\Sigma r_{загр}$ - сумма термических сопротивлений загрязнения поверхности теплообмена, $\Sigma r_{загр} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 K/\text{Вт}$.

$$t_{cm2}^I = 146 - 13660,56 \cdot \left(\frac{0,002}{46,5} + 2,5 \cdot 10^{-4} \right) = 142,00^\circ \text{ C};$$

$$t_{cm2}^{II} = 145 - 22969,00 \cdot \left(\frac{0,002}{46,5} + 2,5 \cdot 10^{-4} \right) = 138,27^\circ \text{ C};$$

$$t_{cm2}^{III} = 144 - 31084,75 \cdot \left(\frac{0,002}{46,5} + 2,5 \cdot 10^{-4} \right) = 134,89^\circ \text{ C};$$

$$t_{cm2}^{IV} = 143 - 38528,72 \cdot \left(\frac{0,002}{46,5} + 2,5 \cdot 10^{-4} \right) = 131,71^\circ \text{ C};$$

$$t_{cm2}^V = 142 - 45544,03 \cdot \left(\frac{0,002}{46,5} + 2,5 \cdot 10^{-4} \right) = 128,66^\circ \text{ C};$$

$$t_{cm2}^{VI} = 141 - 52207,66 \cdot \left(\frac{0,002}{46,5} + 2,5 \cdot 10^{-4} \right) = 125,70^\circ \text{ C}.$$

Рассчитаем коэффициент теплоотдачи от стенки к жидкости по [15]:

$$\alpha_{II} = b^3 \cdot \left(\frac{\lambda_2^2 \cdot \rho_2}{\mu_2 \cdot \sigma_2 \cdot T_{кин2}} \right) \cdot (t_{cm2} - t_{кин}), \quad (2.5)$$

где σ_2 - коэффициент поверхностного натяжения упариваемого раствора;

λ_2 - коэффициент теплопроводности упариваемого раствора;

ρ_2 - плотность упариваемого раствора;

μ_2 - динамический коэффициент вязкости, $Па \cdot с$;

$T_{кин2}$ - температура кипения раствора, K ;

b – безразмерный коэффициент, определяемый по [9]:

$$b_I = 0,083; b_{II} = 0,0825; b_{III} = 0,080;$$

$$b_{IV} = 0,078; b_V = 0,0775; b_{VI} = 0,077.$$

Из справочной литературы [8]:

$$\lambda^I = 0,555 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{град}), \lambda^{II} = 0,554 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{град}),$$

$$\lambda^{III} = 0,553 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{град}), \lambda^{IV} = 0,552 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{град}), \lambda^V = 0,551 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{град}),$$

$$\lambda^{VI} = 0,550 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{град}).$$

$$\rho^I = 1245 \text{ кг}/\text{м}^3, \rho^{II} = 1252 \text{ кг}/\text{м}^3, \rho^{III} = 1260 \text{ кг}/\text{м}^3,$$

$$\rho^{IV} = 1267 \text{ кг}/\text{м}^3, \rho^V = 1274 \text{ кг}/\text{м}^3, \rho^{VI} = 1281 \text{ кг}/\text{м}^3.$$

$$\mu^I = 292 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}, \mu^{II} = 320 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с},$$

$$\mu^{III} = 347 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}, \mu^{IV} = 375 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с},$$

$$\mu^V = 402 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}, \mu^{VI} = 430 \cdot 10^{-6} \text{ Па}.$$

$$\sigma^I = \sigma^{II} = \sigma^{III} = \sigma^{IV} = \sigma^V = \sigma^{VI} = 150 \cdot 10^{-3} \text{ Н}/\text{м}.$$

По формуле (4.5) получим:

$$\alpha_{II}^I = 0,083^3 \cdot \left(\frac{0,555^2 \cdot 1245}{292 \cdot 10^{-6} \cdot 150 \cdot 10^{-3} \cdot 392} \right) \cdot \langle 42,00 - 119 \rangle = 6754,35 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

$$\alpha_{II}^{II} = 0,0825^3 \cdot \left(\frac{0,554^2 \cdot 1252}{320 \cdot 10^{-6} \cdot 150 \cdot 10^{-3} \cdot 392} \right) \cdot \langle 38,27 - 119 \rangle = 4264,75 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

$$\alpha_{II}^{III} = 0,080^3 \cdot \left(\frac{0,553^2 \cdot 1260}{347 \cdot 10^{-6} \cdot 150 \cdot 10^{-3} \cdot 392} \right) \cdot \langle 34,89 - 119 \rangle = 2441,92 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

$$\alpha_{II}^{IV} = 0,078^3 \cdot \left(\frac{0,552^2 \cdot 1267}{375 \cdot 10^{-6} \cdot 150 \cdot 10^{-3} \cdot 392} \right) \cdot \langle 31,71 - 119 \rangle = 1344,15 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}};$$

$$\alpha_{II}^V = 0,0775^3 \cdot \left(\frac{0,551^2 \cdot 1274}{402 \cdot 10^{-6} \cdot 150 \cdot 10^{-3} \cdot 392} \right) \cdot (28,66 - 119) = 710,05 \frac{Bm}{m^2 \cdot K};$$

$$\alpha_{II}^{VI} = 0,077^3 \cdot \left(\frac{0,550^2 \cdot 1281}{430 \cdot 10^{-6} \cdot 150 \cdot 10^{-3} \cdot 392} \right) \cdot (25,70 - 119) = 314,70 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}.$$

Определим удельный тепловой поток из уравнения теплоотдачи по формуле:

$$q_{II} = \alpha_{II} \cdot (t_{cm2} - t_{II}) \frac{Bm}{m^2};$$

$$q_{II}^I = 6754,35 \cdot (42,00 - 119) = 155331,83 \frac{Bm}{m^2};$$

$$q_{II}^{II} = 4264,75 \cdot (38,27 - 119) = 82181,01 \frac{Bm}{m^2};$$

$$q_{II}^{III} = 2441,92 \cdot (34,89 - 119) = 38806,64 \frac{Bm}{m^2};$$

$$q_{II}^{IV} = 1344,15 \cdot (31,71 - 119) = 17084,99 \frac{Bm}{m^2};$$

$$q_{II}^V = 710,05 \cdot (28,66 - 119) = 6855,60 \frac{Bm}{m^2};$$

$$q_{II}^{VI} = 314,70 \cdot (25,70 - 119) = 2109,28 \frac{Bm}{m^2}.$$

Определим истинное значение удельного теплового потока. Для этого построим график зависимости удельных тепловых потоков q_I и q_{II} от температуры стенки t_{cm1} .

Таблица 2.6 – Зависимость удельных тепловых потоков q_I и q_{II} от температуры стенки t_{cm1}

$t_{cm1}, ^\circ C$	146	145	144	143	142	141
q_I Bm/m^2	13660,56	22969,00	31084,75	38528,72	45544,03	52207,66
q_{II} Bm/m^2	155331,83	82181,01	38806,64	17084,99	6855,60	2109,28

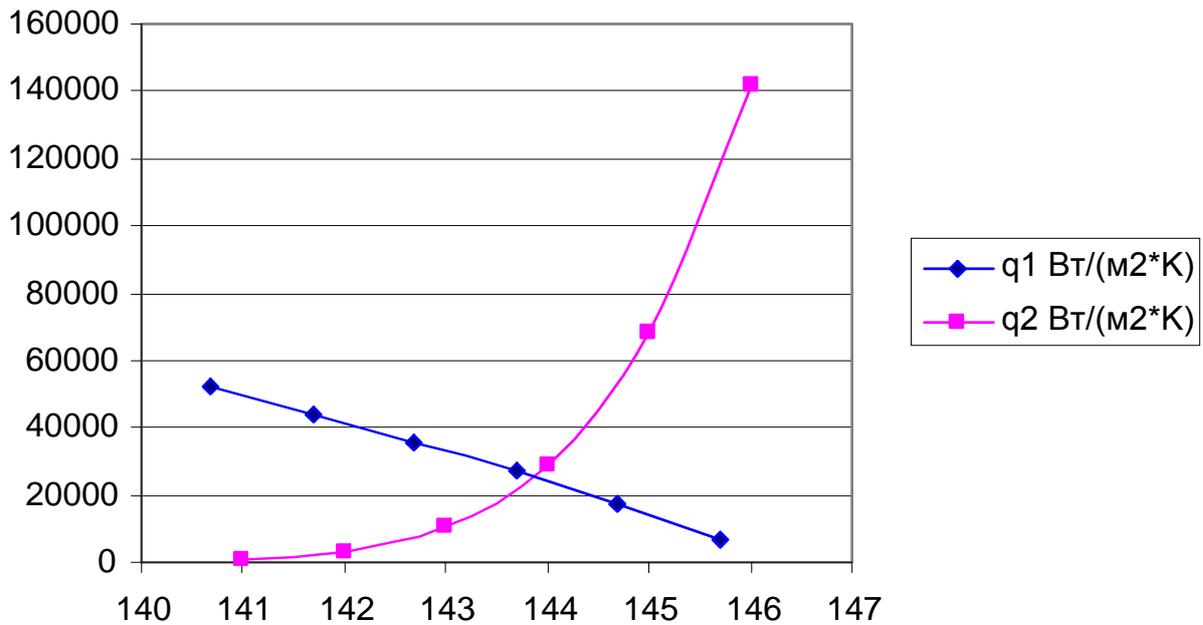


Рисунок 2.2 – График зависимости q_I и q_{II} от t_{cm1}

Ордината точки пересечения кривых соответствует истинному значению теплового потока, а абсцисса – истинному значению температуры стенки:

$$q_{ucm} = 28000 \frac{Bm}{M^2}; \quad t_{cm1,ucm} = 143,80^{\circ} C.$$

Коэффициент теплопередачи и поверхности теплообмена. По найденному значению удельной тепловой нагрузки выпарного аппарата рассчитываем коэффициент теплопередачи:

$$q = k \cdot \Delta t_{нол} = \alpha_{I_{ucm}} \cdot (t_{код} - t_{cm1}); \quad (2.6)$$

Тогда коэффициент теплоотдачи из выражения (4.6) будет равен:

$$k = \frac{q}{\Delta t_{нол}};$$

$$k = \frac{28000}{28} = 1000 Bm / (M^2 \cdot K). \quad (2.7)$$

А поверхность теплообмена:

$$F = \frac{Q'}{q} = \frac{507910}{28000} = 20 M^2.$$

2.1.4 Конструктивный расчет

В конструктивном расчете выпарного аппарата с циркуляционными трубами определим число кипяtilьных трубок, размер циркуляционной трубы, диаметр корпуса, размеры парового пространства, диаметры патрубков.

Число кипяtilьных трубок n определяем из поверхности теплообмена F , полученной в тепловом расчете:

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot l}, \quad (2.8)$$

где d – расчетный диаметр трубок принимаем, м, $d = 0,025$ м;

$l = 1,5$ – длина трубок, м.

$$n = \frac{20}{3,14 \cdot 0,025 \cdot 1,5} \approx 170.$$

Размещение трубок в трубном пространстве выполняем по вершинам равностороннего треугольника (правильного шестиугольника), при этом шаг между трубами принимаем равным

$$t = (1,3 \dots 1,6) \cdot d = (1,2 \dots 1,6) \cdot 0,025 = 0,03 \dots 0,04.$$

$$t = 0,032 \text{ м.}$$

Площадь сечения циркуляционной трубы принимаем около 90% от площади сечения всех кипяtilьных трубок. Диаметр циркуляционной трубы равен:

$$d_u = \sqrt{\frac{n \cdot d^2}{0,9}} = \sqrt{\frac{170 \cdot 0,025^2}{0,9}} = 0,35$$

Принимаем $d_u = 0,4$ м [10].

Объем межтрубного пространства:

$$V_{\text{зр.к.}} = \frac{H \cdot \pi}{4} (d_u^2 - n \cdot d_{\text{мп}}^2) = \frac{1,5 \cdot 3,14}{4} (0,4^2 - 230 \cdot 0,025^2) = 0,06 \text{ м}^3.$$

Внутренний диаметр греющей камеры в выпарном аппарате с внутренней циркуляционной трубой определяется по формуле

$$D_{\text{зр.к.}} = t \cdot (b - 1) + 4d_n,$$

где $D_{гр.к.}$ - диаметр греющей камеры, м;

b – число труб на диагонали наибольшего шестиугольника при разбивке труб в трубной решетке, [17].

$$D_{гр.к.} = 0,04 \cdot (17 - 1) + 4 \cdot 0,025 = 0,74 \text{ м.}$$

Принимаем $D_{гр.к.} = 0,8 \text{ м.}$

Необходимый объем парового пространства V_n определяется по формуле:

$$V_n = \frac{W}{R_V}, \quad (2.9)$$

где W – количество вторичного пара, кг/с;

R_V – предельное массовое напряжение парового пространства, кг/(м³·с):

$$(2.10)$$

$$R_V = k_1 \cdot k_2 \cdot R_{V_{атм}},$$

где k_1 – коэффициент влияния давления в выпарном аппарате на предельное массовое напряжение парового пространства;

k_2 – коэффициент, учитывающий влияние уровня раствора над точкой ввода парожидкостной смеси в паровое пространство;

$R_{V_{атм}}$ – предельное массовое напряжение парового пространства при атмосферным давлением, равное $0,13 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{с.}$

Значение коэффициентов k_1 и k_2 выбираем из справочной литературы [17]

$$k_1 = 2,3;$$

$$k_2 = 0,65 .$$

Тогда по формуле (2.10) получим:

$$R_V = 2,3 \cdot 0,65 \cdot 0,13 = 0,18 \text{ кг/(м}^3 \cdot \text{с).}$$

По формуле (9) вычислим объем парового пространства:

$$V_n = \frac{0,2}{0,18} = 1,2 \text{ м}^3.$$

Высоту парового пространства H_{II} принимаем равной 2 м.

Диаметр корпуса парового пространства аппарата рассчитываем по формуле:

$$D_{II} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{II}}{\pi \cdot H_{II}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,2}{3,14 \cdot 0,8}} = 1,42 \text{ м}. \quad (2.11)$$

Принимаем $D_{II} = 1,5 \text{ м}$

Диаметры патрубков для подачи исходного раствора, удаления упаренного раствора, подачи греющего пара, отвода конденсата, отвода вторичного пара d рассчитываются на основании уравнения расхода по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot w}}, \quad (2.12)$$

где V – объемный расход жидкости или пара, $\text{м}^3/\text{с}$;

w – скорость потока, $\text{м}/\text{с}$.

Определяем диаметр патрубка для подачи исходного раствора:

$$d_{\text{исх.р.}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{II}}{\pi \cdot w \cdot \rho_{II}}},$$
$$d_{\text{исх.р.}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,3}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 1070}} = 0,026 \text{ м}.$$

Принимаем по ГОСТ $d_{\text{исх.р.}} = 40 \text{ мм}$.

Определяем диаметр патрубка для подачи греющего пара:

$$d_{\text{гр.п.}} = \sqrt{\frac{4 \cdot D}{\pi \cdot w \cdot \rho_{\text{гр.п.}}}},$$

$$d_{\text{сп.пара}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,24}{3,14 \cdot 20 \cdot 0,597}} = 0,16 \text{ м.}$$

Принимаем $d_{\text{сп.п.}} = 200 \text{ мм.}$

Определяем диаметр патрубка для выхода упаренного раствора:

$$d_{\text{ун.р.}} = \sqrt{\frac{4 \cdot G_{\kappa}}{\pi \cdot w \cdot \rho_{\kappa}}},$$

$$d_{\text{ун.р.}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,1}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 1252}} = 0,015 \text{ м.}$$

Принимаем $d_{\text{ун.р.}} = 40 \text{ мм.}$

Определяем диаметр патрубка для отвода конденсата:

$$d_{\text{конд}} = \sqrt{\frac{4 \cdot D}{\pi \cdot w \cdot \rho_{\text{конд}}}},$$

$$d_{\text{конд.}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,1}{3,14 \cdot 1 \cdot 930}} = 0,011 \text{ м.}$$

Принимаем $d_{\text{конд}} = 40 \text{ мм.}$

Определяем диаметр патрубка для отвода вторичного пара:

$$d_{\text{вт.п.}} = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{\pi \cdot w \cdot \rho}},$$

$$d_{\text{вт.п.}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,2}{3,14 \cdot 20 \cdot 0,678}} = 0,14 \text{ м}$$

Принимаем $d_{\text{вт.п.}} = 200 \text{ мм.}$

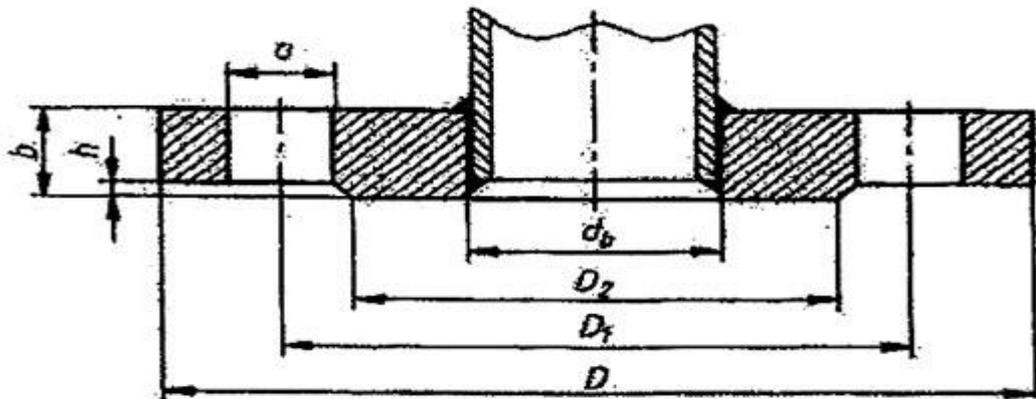


Рисунок 4.3 - Фланец ГОСТ 12820-80

Dy,	Фланец						Болт		Масса
	D _b	D	D ₁	D ₂	d	h	b	Кол-во отверсти й	
мм								шт	кг
40	46	130	100	80	14	3	16	4	1,21
200	222	315	280	258	18	3	22	8	5,89

Таблица 2.7 Фланцы ГОСТ 12820-80

2.1.5 Прочностной расчёт

2.1.5.1 Выбор конструкционного материала

Выбор конструкционного материала осуществляем с учётом температур, агрессивности сред и их концентраций. Выбираем высоколегированную коррозионно-стойкую сталь 12Х18Н10Т с характеристиками, сведёнными в таблицу 2.8.

Таблица 2.8 – Характеристики стали [7]

Марка стали	Скорость коррозии П, мм/год.
12Х18Н10Т	0,5

Коэффициенты запаса прочности материала выбираем по [7]. Результаты подбора сведены в таблицу 2.9.

Таблица 2.9 – Коэффициенты запаса прочности

Условия нагружения	<i>Коэффициенты запаса прочности</i>			
	n_T	$n_B = n_Y$	n_D	n_{II}
Рабочие условия	1,5	2,4	1,5	1,0

Где n_T - коэффициент запаса прочности по пределу текучести;

n_B - коэффициент запаса прочности по временному сопротивлению;

n_D - коэффициент запаса прочности по пределу длительной прочности;

n_{II} - коэффициент запаса прочности по пределу длительной ползучести;

n_U - коэффициент запаса устойчивости.

Модуля продольной упругости выбираем по [7]. Для стали 12Х18Н10Т при температуре 100 °С принимаем $E = 2 \cdot 10^5$ МПа.

Коэффициенты прочности сварных швов выбираем согласно [7]:

1) продольный шов обечайки, стыковой с двухсторонним сплошным проваром: $\varphi_p = 1,0$;

2) кольцевой шов обечаек, в тавр, с конструкционным зазором свариваемых деталей: $\varphi_T = 1,0$.

Допускаемые напряжения σ^- для стали 12Х18Н10Т определяем по [9]. Принимаем $\sigma^- = 180$ МПа при 20°С и рабочей температуре.

Определение прибавок к расчётным толщинам элементов

Для компенсации коррозии, эрозии и утонения стенки элемента аппарата вводится прибавка к расчётной толщине стенок аппарата. Она определяется по формуле [7]:

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

где C_1 – прибавка, учитывающая влияние коррозии и эрозии, мм;

C_2 – прибавка для компенсации минусового допуска, мм;

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

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

где P – скорость коррозии, мм/год;

τ - срок службы аппарата, лет.

$C_1 = 2$ мм. $C_2 = 0$ и $C_3 = 0$, так как сумма $(C_2 + C_3)$ не превышает 5% толщины листа. Тогда прибавка $C = C_1 = 2$ мм

2.1.5.2 Расчет обечайки греющей камеры

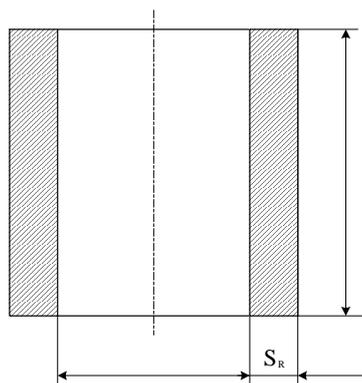


Рисунок 2.4 - Обечайка греющей камеры

Расчётную толщину обечайки, работающей под избыточным внутренним давлением, определяем по формуле [7]:

$$S_R = \frac{p \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - p} ;$$

где $p = 0,12$ – расчётное давление, МПа

$D = 0,8$ – внутренний диаметр обечайки, м.

$$S_R = \frac{0,12 \cdot 800}{2 \cdot 152 \cdot 1 - 0,5} = 1,3 \text{ мм};$$

$$S_l \geq S_R + c ;$$

$$S_l = (1,3 + 2) = 3,3 \text{ мм}.$$

Принимаем толщину стенки обечайки равную 6 мм.

Допускаемое избыточное внутреннее давление определяем по формуле:

$$p = \frac{2 \cdot \varphi_p \cdot (S - c)}{D + (S - c)};$$

$$p = \frac{2 \cdot 152 \cdot 0,9 \cdot (6 - 2)}{0,8 + (6 - 2)} = 2,42 \text{ МПа.}$$

Так как $p > p$, то условие прочности выполняется.

Напряжение, возникающее при пробном гидравлическом испытании, определяем по формуле:

$$\sigma_{\text{проб}} = \frac{p_u \cdot (D + (S - c))}{2 \cdot \varphi \cdot (S - c)},$$

где p_u – пробное гидравлическое давление, определяется по формуле:

$$P_u = 1,25 \cdot \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]_{105}};$$

$$p_u = 1,25 \cdot \frac{184}{173,4} = 1,33 \text{ МПа,}$$

$$\sigma_{\text{проб}} = \frac{1,33 \cdot (0,8 + (0,006 - 0,002))}{2 \cdot 0,9 \cdot (0,006 - 0,002)} = 99,26 \text{ МПа.}$$

Расчетное давление находим по формуле:

$$P_{\text{расч.}} = P_{\text{раб.}} + P_{\text{гидр.ст.ж.}}$$

где $P_{\text{раб.}} = 0,1$ МПа

$P_{\text{гидр.ст.ж.}}$ определяется по формуле:

$$\rho_{\text{воды}} = 1000 \text{ кг/м}^3$$

$$P_{\text{г.}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H \cdot \rho_{\text{воды}}$$

$$P_{\text{г.}} = \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} \cdot 4 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 19714 \text{ Н}$$

$$P_{\text{г.}} = 0,02 \text{ МПа}$$

$$P_{\text{расч.}} = 0,1 + 0,02 = 0,12 \text{ МПа}$$

Определяем по формуле давление при испытании:

$$P_{\text{исп.}} = 1,25 \cdot P_{\text{расч.}}$$

$$P_{\text{исп.}} = 1,25 \cdot 0,12 = 0,15 \text{ МПа}$$

Условие прочности при пробном испытании определяем по формуле:

$$\sigma_{\text{проб}} \leq \frac{\sigma_m}{n_t},$$

где $\sigma_m = 240$ МПа – предел текучести при температуре 293 K (20°C [10]);

$n_t = 1,1$ – коэффициент запаса прочности текучести для условий испытания:

$$99,26 < \frac{240}{1,1};$$

$$99,26 < 218,2 \text{ МПа}.$$

Условие прочности при пробном испытании выполняется.

2.1.5.3 Расчет толщины стенки днища

Исходные данные:

Внутренний диаметр аппарата, мм	$D := 800$
Диаметр нижнего штуцера, мм	$D_0 := 200$
Высота корпуса аппарата под рубашкой, мм	$H_p := 4000$
Максимальная температура среды, $^\circ\text{C}$	$t_c := 115$
Плотность среды в аппарате, кг/м^3	$\rho_c := 1250$
Давление среды в аппарате, МПа	$P := 0.15$
Плотность среды в аппарате, кг/м^3	$\rho_{\text{руб}} := 1250$
Давление среды в аппарате, МПа	$P_{\text{руб}} := 0.15$
Атмосферное давление, МПа	$P_a := 0.1$
Прибавка к расчетной толщине стенки, мм	$\xi_{\text{кл}} := 2$
Марка стали 12X18H10T	
Коэффициент прочности сварных швов	$\phi := 1$
Половина угла при вершине конуса	$\alpha := 45 \text{ deg}$
Модуль продольной упругости, МПа	$E := \left(\left 2.15 \cdot 10^5 \right \right)$

Решение:

Расчетную температуру корпуса аппарата принимаем $t=t_c=120^{\circ}\text{C}$

Допускаемые напряжения для рабочего состояния:

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 150 \end{pmatrix} \quad R := \begin{pmatrix} 146.5 \\ 146 \end{pmatrix} \quad tp := 120$$

$$R_p := \text{Floor}(\text{linterp}(t, R, tp), 0.5)$$

$$R_p = 146 \quad \text{МПа}$$

$\eta := 1$ - коэффициент, учитывающий вид заготовки (для листового проката=1)

$\sigma := 173.4$ МПа, нормативное допускаемое напряжение для стали 12X18H10T при $t=120^{\circ}\text{C}$

$\sigma_{20} := 184$ МПа, нормативное допускаемое напряжение для стали 12X18H10T при $t=20^{\circ}\text{C}$

тогда:

$\sigma_d := \eta \cdot \sigma$ допускаемое напряжение при $t=119^{\circ}\text{C}$ $\sigma_{d119} := 172$ МПа

$\sigma_{d20} := \eta \cdot \sigma_{20}$ допускаемое напряжение при $t=20^{\circ}\text{C}$ $\sigma_{d20} = 184$ МПа

Допускаемое напряжение при гидравлических испытаниях:

$\sigma_{T20} := 184$ МПа - минимальный предел текучести для стали 12X18H10T при температуре $t=20^{\circ}\text{C}$

$$\sigma_{и} := \frac{\sigma_{T20}}{1.1} \quad \sigma_{и} = 167.273 \text{ МПа}$$

Для определения расчетного наружного давления определим гидростатическое давление в аппарате:

$$P_{\Gamma} := \rho_{\text{руб}} \cdot H_p \cdot 9.810^{-9}$$

которое составляет

$$\left(\frac{P_{\Gamma}}{P_{\text{руб}}} \right) \cdot 100 = 32.719 \quad \% \text{ от } P, \text{ т.е. } > 5\%,$$

а значит:

$$P_{\text{р.р}} := P_{\text{руб}} + P_{\Gamma} \quad P_{\text{р.р}} = 0.199 \text{ МПа}$$

Расчетное наружное давление в аппарате:

$$P_{\text{н.р}} := 0.12$$

Расчетное наружное давление в аппарате:

$$P_{\text{н.р}} := P_{\text{р.р}}$$

$$P_{\text{н.р}} = 0.199 \text{ МПа}$$

Давление при испытании принимаем по максимальному наружному давлению в аппарате:

$$P_{и} := 1.25 P_{н.р} \cdot \frac{\sigma_{д20}}{\sigma_{д}} \quad P_{и} = 0.266 \quad \text{МПа}$$

Коэффициенты запаса устойчивости:

для рабочих условий $n_p := 2.4$

для условий испытания $n_{и} := 1.8$

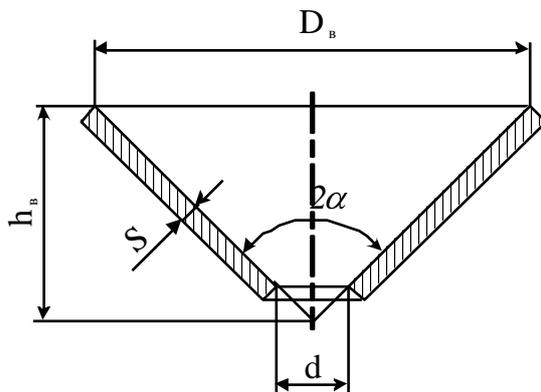
толщина стенки цилиндрической обечайки:

$$s_{ц} := 6 \quad \text{мм}$$

Осевое сжимающее усилие:

$$F_{и} := 0.25\pi \cdot (D + 2 \cdot s_{ц})^2 \cdot P_{и} \quad F_{и} = 1.379 \times 10^5 \quad \text{МН}$$

Коническое днище с углом конуса 90°



Коническое днище

Т.к. $\alpha = 45^\circ$, то все приведенные формулы применимы для расчета конической обечайки

Определяем толщину стенки из условий прочности:

$$s_{p2} := \max \left[\begin{array}{l} P_{н.р} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{д} - 0.5 P_{н.р} \cdot \cos(\alpha)} \\ P_{и} \cdot \frac{D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{и} - 0.5 P_{и} \cdot \cos(\alpha)} \end{array} \right] \quad s_{p2} = 0.901 \quad \text{мм}$$

$$s_2 := s_{p2} + c \quad s_2 = 2.901 \text{ мм с учетом проверки по условию устойчивости} \quad s_k := 6 \text{ мм}$$

Эффективная длина и диаметр конической обечайки:

$$l_E := \frac{D - D_0}{2 \cdot \sin(\alpha)} \quad l_E = 424.264 \text{ мм}$$

$$D_E := \max \left[\frac{D + D_0}{2 \cdot \cos(\alpha)}, \left(\frac{D}{\cos(\alpha)} \right) - 0.31 \cdot |D + D_0| \cdot \tan(\alpha) \cdot \sqrt{\frac{D + D_0}{100 \cdot |s_k - c|}} \right]$$

$$D_E = 707.107 \text{ мм}$$

а) при рабочих условиях

Допускаемое давление из условия прочности

$$P_{д.п2} := \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot |s_k - c|}{|s_k - c| + \frac{D}{\cos(\alpha)}} \quad P_{д.п2} = 1.212 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление из условий устойчивости в пределах упругости:

т.к.

$$8.15 D_E \sqrt{\frac{D_E}{100 \cdot |s_k - c|}} = 7.662 \times 10^3 \text{ мм} > l_E \text{ то:} \quad \text{МПа}$$

$$P_{д.у2} := \frac{18 \cdot 10^{-6} \cdot E \cdot D_E \cdot \left[\frac{100 \cdot |s_k - c|}{D_E} \right]^2 \cdot \sqrt{\frac{100 \cdot |s_k - c|}{D_E}}}{n_p \cdot l_E} \quad P_{д.у2} = 0.647$$

Допускаемое наружное давление:

$$P_{д2} := \frac{P_{д.п2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{P_{д.п2}}{P_{д.у2}} \right)^2}} \quad P_{д2} = 0.571 \text{ МПа}$$

Эффективный диаметр конической обечайки при осевом сжатии:

$$D_F := \frac{|0.9D + 0.1D_0|}{\cos(\alpha)} \quad D_F = 1.047 \times 10^3 \text{ мм}$$

Допускаемая осевая сила из условия прочности:

$$F_{д.п2} := \pi \cdot D_F \cdot |s_k - c| \cdot \cos(\alpha) \cdot \sigma_d \quad F_{д.п2} = 1.599 \times 10^6$$

Допускаемая осевая сила из условия устойчивости в пределах упругости:

$$F_{д.у2} := \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_p} \cdot D_F^2 \cdot \left[\frac{100 |s_k - c|}{D_F} \right]^2 \cdot \sqrt{\frac{100 |s_k - c|}{D_F}} \cdot \cos(\alpha) \text{ МН}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$F_{д2} := \frac{F_{д.п2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{д.п2}}{F_{д.у2}} \right)^2}} \quad F_{д2} = 1.042 \times 10^6 \text{ МН} \quad F_{д.у2} = 1.374 \times 10^6 \text{ МН}$$

Осевое сжимающее усилие:

$$F := 0.25 \pi \cdot (D + 2 \cdot s_k)^2 \cdot P_{н.р} \quad F = 1.031 \times 10^5 \text{ МН}$$

Условие устойчивости:

$$\frac{F}{F_{д2}} + \frac{P_{н.р}}{P_{д2}} = 0.448 < 1 - \text{условие устойчивости выполняется}$$

б) в условиях испытания

Допускаемое давление из условия прочности

$$P_{и.п2} := \frac{2 \cdot \sigma_{и} \cdot |s_k - c|}{|s_k - c| + \frac{D}{\cos(\alpha)}} \quad P_{и.п2} = 1.179 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление из условий устойчивости в пределах упругости:

т.к.

$$8.15 D_E \sqrt{\frac{D_E}{100 |s_k - c|}} = 7.662 \times 10^3 \text{ мм} > l_E \text{ то:}$$

$$P_{и.у2} := \frac{18 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_{и}} \cdot \frac{D_E}{l_E} \cdot \left[\frac{100 |s_k - c|}{D_E} \right]^2 \cdot \sqrt{\frac{100 |s_k - c|}{D_E}} \quad P_{и.у2} = 0.862 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление:

$$P_{и.д2} := \frac{P_{и.п2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{P_{и.п2}}{P_{и.у2}} \right)^2}} \quad P_{и.д2} = 0.696 \text{ МПа}$$

Допускаемая осевая сила из условия прочности:

$$F_{и.п2} := \pi \cdot D_F \cdot |s_k - c| \cdot \cos(\alpha) \cdot \sigma_{и} \quad F_{и.п2} = 1.555 \times 10^6 \text{ МН}$$

Допускаемая осевая сила из условия устойчивости в пределах упругости:

$$F_{и.у2} := \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_{и}} \cdot D_F^2 \cdot \left[\frac{100 |s_k - c|}{D_F} \right]^2 \cdot \sqrt{\frac{100 |s_k - c|}{D_F}} \cdot \cos(\alpha)^2 \quad F_{и.у2} = 1.831 \times 10^6 \text{ МН}$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:

$$F_{и.2} := \frac{F_{и.п2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{F_{и.п2}}{F_{и.у2}} \right)^2}} \quad F_{и.2} = 1.186 \times 10^6 \text{ МН}$$

Условие устойчивости:

$$\frac{F_{и}}{F_{и.2}} + \frac{P_{и}}{P_{и.д2}} = 0.499 < 1 \text{ - условие устойчивости выполняется}$$

2.1.5.4 Расчет толщины стенки крышки

Упариваемый раствор LiCl
Производительность $G=0.03$ кг/с

Давление греющего пара 0.45 Мпа

Давление вторичного пара 0.1 Мпа

Начальная температура 105 °С

Конечная температура 119 °С

Начальная концентрация 10%

Конечная концентрация 30%

Дано:

$$G := 0.0 \text{ кг/с}$$

$$P_1 := 0.4 \text{ Мпа}$$

$$P_2 := 0.1 \text{ Мпа}$$

$$x_1 := 10 \text{ \%}$$

$$x_2 := 30 \text{ \%}$$

$$T_n := 100 \text{ температура LiCl на входе в аппарат}$$

$$T_k := 110 \text{ температура LiCl на выходе из аппарата}$$

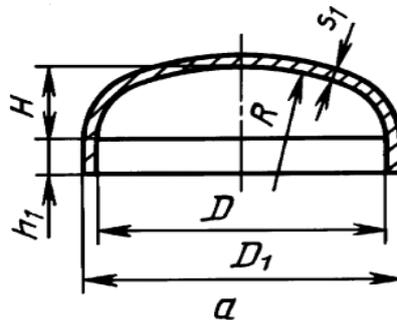


Рис.4.8.Эскиз крышки (днища) эллиптическое отбортованное стальное
Основные конструктивные параметры эллиптической крышки определяем согласно :

Диаметр крышки:

$$D_{\text{дн}} := 1400 \text{ мм.}$$

Высота отбортованной части крышки:

$$h_1 := 60 \text{ мм.}$$

ГОСТР52857.1

Высота крышки:

$$H_{\text{д}} := 400 + h_1 = 460 \text{ мм.}$$

Принимаем $\phi_p := 0.9$

$$c := 2$$

$$\sigma_{t1} := 171$$

$$P_{и1} := 0.15$$

$$P_{рас1} := 0.5$$

$$\sigma_{Д20} := 184$$

Радиус кривизны в вершине крышки равен: (для эллиптических оболочек)

$$D := 1200 \text{ мм}$$

$$R := D = 1.2 \times 10^3 \text{ мм.}$$

Расчет толщины стенки крышки (днища) под действием внутреннего давления:

$$s_{p3} := \max \left(\left(\frac{P_{pac1} \cdot R}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{t1} - 0.5 P_{pac1}} \right), \left(\frac{P_{и1} \cdot R}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_{Д20} - 0.5 P_{и1}} \right) \right) = 1.17 \quad \text{мм.}$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$s_{и3} := s_{p3} + c = 3.17 \quad \text{мм.}$$

Принимаем исполнительную толщину крышки (днища) ГОСТ 19903-74 :

$$s_3 := \epsilon \quad \text{мм.}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров}_5 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмоментной теории выполняются"} & \text{if } \left| \begin{array}{l} 0.002 \leq \frac{s_3 - c}{D} \leq 0.1 \\ 0.2 \leq \frac{H_D}{D} \leq 0.5 \end{array} \right. \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₅ = "Условия применения формул безмоментной теории выполняются"

Расчет допускаемого внутреннего избыточного давления:

$$P_{д3} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д20} \cdot \phi_p \cdot |s_3 - c|}{R + |s_3 - c|} = 1.1 \quad \text{МПа.}$$

Проверка условия прочности стенки крышки (днища):

$$\text{Пров}_6 := \begin{cases} \text{"Условие прочности стенки днища (крышки) выполняется"} & \text{if } P_{д3} > P_{и1} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{if } P_{д3} < P_{и1} \end{cases}$$

Пров₆ = "Условие прочности стенки днища (крышки) выполняется"

2.1.5.5 Подбор днищ и крышек

Выбираем коническое неотбортованное стальное днище с внутренним базовым диаметром, угол при вершине $2\alpha = 90^\circ$ [7].

Таблица 2.10- Размеры конических неотбортованных днищ с внутреннем базовым диаметром по ГОСТ-52857.2-2007– 78, мм

Наименование	D_B	S	h_B	F, мм ²	V, м ³
Для сепаратора	1400	6	700	2,2	0,36
Для гр. камеры	800	6	400	0,71	0,07

Схема конического неотбортованного стального днища представлена на рисунке 2.5.

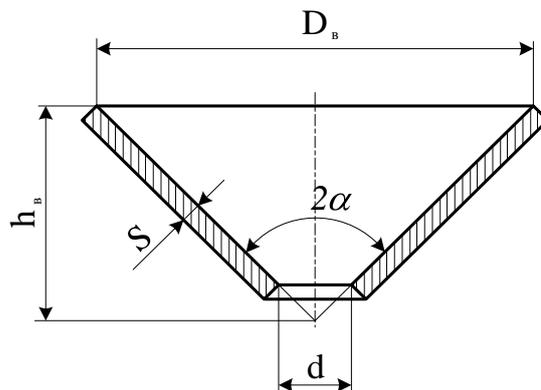


Рисунок 2.5 - Коническое неотбортованное стальное днище

Для выпарного пространства выбираем эллиптическую отбортованную крышку по ГОСТ-52857.2-2007 [3].

Таблица 2.11 - Размеры эллиптической крышки с внутренним базовым диаметром, мм

Наименование	D_B	S	h_1	h_B	F, м ²	V, дм ³
Для сепаратора	1400	6	60	400	2	425,4

Схема эллиптической крышки представлена на рисунке 2.6.

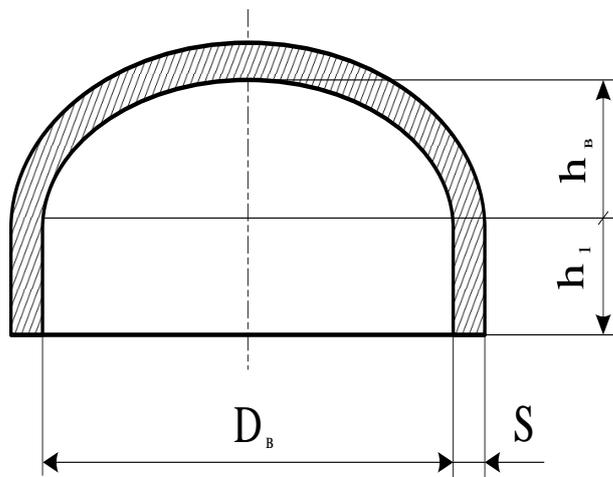


Рисунок 2.6- Эллиптическая отбортованная крышка

2.1.5.6 Расчёт укрепления отверстий

Наибольший допускаемый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления, определяем по формуле:

$$d_o = 2 \cdot \left[K_1 \cdot \left(\frac{S - c}{S_R} - K_2 \right) \cdot \sqrt{D_R \cdot \overbrace{S - c}^c} - c \right],$$

где $K_1 = 1,0$; $K_2 = 0,8$; $K_3 = 0,5$;

$S_R = 0,0013$ - расчётная толщина стенки без прибавки на коррозию.

$$d_o = 2 \cdot \left[1 \cdot \left(\frac{0,008 - 0,002}{0,0013} - 0,8 \right) \cdot \sqrt{1,0 \cdot \overbrace{0,008 - 0,002}^c} - 0,002 \right] = 0,576 \text{ м.}$$

На обечайке имеются 5 отверстий $\varnothing 40$, $\varnothing 200$, $\varnothing 40$, $\varnothing 200$, $\varnothing 40$ мм. Все отверстия меньше $\varnothing 576$ мм - отверстия не нужно укреплять.

2.1.5.7 Расчет фланцевого соединения

Расчет проведен по программе разработанной на кафедре ОХТ НИ ТПУ по ГОСТ Р 52857.4-2007

Исходные данные для расчета:

Материал обечаек и фланцев - сталь 12Х18Н10Т

Материал болтов - сталь 35Х

Материал прокладки - паронит

Рабочая температура горячего теплоносителя: $t_{гор} := 115$ градус:

$$P_{и1} := 0.15 \text{ МПа}$$

$D := 200$ мм; Внутренний диаметр фланца

$D_n := 315$ мм; Наружный диаметр фланца

$t := 115$ °С. Рабочая температура

Расчетная температура фланцевого соединения (не изолированного):

$$t_{\text{рв}} := t_{гор} \cdot 0.96 = 114.24 \text{ °С}$$

материал для болтов: Сталь 35Х

допускаемое напряжение материала при рабочей температуре для болта:

$$\sigma_b := 230 \text{ МПа};$$

$h_n := 3$ мм; Толщина прокладки

$d := 14$ мм; Диаметр болта (рекомендуемый)

$b_n := 17$ мм; Ширина прокладки

$S_0 := 6$ мм; Толщина втулки фланцев

$h := 3$ мм; Толщина тарелки фланца

$D_b := 100$ мм; Диаметр окружности расположения болтов

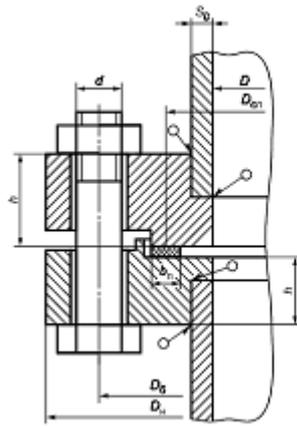
$D_{сп} := 80$ мм; Расчетный диаметр прокладки

$F := 1.18 \times 10^6$ Н; Внешняя осевая сила

$M := 0$ Н*мм; Внешний изгибающий момент

$c_o := 2$ мм; Прибавка на коррозию

$n := 8$ Количество болтов

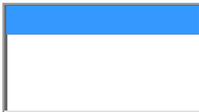


[2]

Рис.2.7. "Фланцевые соединения с уплотнительной поверхностью типа выступ-впадина "

Выбор крепежных элементов:

bs :=



bs = 1

Определение расчетных параметров.

Определение Расчетной температуры

Расчетная температура неизолированных приваренных в стык фланцев фланцев $t_{\phi} = 0,96 t$:

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

$$t_{\phi} = 109.67$$

[2]

Расчетная температура болтов (шпилек):

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

$$t_{\phi} = 97.104$$

[2]

Допускаемые напряжения для болтов из стали 35Х [5]

:

В рабочем состоянии:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 105 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 230 \\ 230 \end{pmatrix} \text{ МПа.}$$

[2]

$$\sigma_{д.б} := \text{Floor} \left(\text{Interp} \left(\sigma, t_{\phi} \right), 0.5 \right)$$

$$\sigma_{д.б} = 230 \text{ МПа.}$$

Модуль продольной упругости материала болтов при расчетной температуре [5] : [9]

$$E_6 := 2.12 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

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

$$\sigma_{206} := 230 \text{ МПа.} \quad [9]$$

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

$$E_{206} := 2.14 \cdot 10^5 \text{ МПа.} \quad [9]$$

Коэффициент линейного расширения стали при $t = 20\text{-}105 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$\alpha_6 := 13.4 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К.} \quad [9]$$

Допускаемые напряжения для фланцев и обечаек стали 35Х:

$$t := \begin{pmatrix} 20 \\ 105 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 230 \\ 230 \end{pmatrix} \quad [9]$$

$$\sigma := \text{Floor} \left(\text{Interp} \left(t, \sigma, t_{\text{ф}}, 0.5 \right) \right) \quad \sigma = 230 \text{ МПа.}$$

Так как фланцы изготавливается из листового проката

$$\eta := 1 \quad [9]$$

$$\sigma_{\text{д.ф}} := \eta \cdot \sigma \quad \sigma_{\text{д.ф}} = 230 \text{ МПа.}$$

Модуль упругости для стали 10Х17Н13М2Т при рабочей температуре:

$$E := 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Допускаемое напряжение для стали 35Х при $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$\sigma_{20} := 230 \text{ МПа} \quad \sigma_{\text{д}20} := \eta \cdot \sigma_{20} \quad \sigma_{\text{д}20} = 230 \text{ МПа.} \quad [9]$$

Модуль упругости для стали 35Х при температуре испытания $20 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$E_{20} := 2.14 \cdot 10^5 \text{ МПа} \quad [9]$$

Коэффициент линейного расширения стали 35Х при $t = 20\text{-}200 \text{ }^\circ\text{C}$:

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

Определение эффективной ширины плоской прокладки

$$b_n := 17 \text{ мм.}$$

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

[2]

$$b_0 = 16 \text{ мм.}$$

Таблица 2.12, характеристики основных типов прокладок.

Тип и материал прокладки	Прокладочный коэффициент m	Удельное давление обжатия прокладки $q_{обж}$, МПа	Допускаемое удельное давление $[q]$, МПа	Коэффициент обжатия $K_{обж}$	Условный модуль сжатия прокладки $E_n \cdot 10^{-5}$, МПа	
Плоская неметаллическая прокладка из:						
	резины по ГОСТ 7338 с твердостью по Шору А до 65 единиц	0,5	2,0	18,0	0,4	$0,3 \cdot 10^{-4} \left(1 + \frac{b_n}{2h_n} \right)$
	резины по ГОСТ 7338 с твердостью по Шору А более 65 единиц	1,0	4,0	20,0	0,09	$0,4 \cdot 10^{-4} \left(1 + \frac{b_n}{2h_n} \right)$
паронита по ГОСТ 481 при толщине не более 2—3 мм	2,5	20,0 ¹⁾	130,0	0,90	0,02	

По таблице 2.12, выбираем характеристики прокладки изготовленной из стали паронита:

$$m := 2.4 \quad \text{Прокладочный коэффициент}$$

$$q_{обж} := 20 \text{ МПа;} \quad \text{Удельный коэффициент обжатия прокладки}$$

$$q_d := 130 \text{ МПа;} \quad \text{Допускаемое удельное давление}$$

[2]

$$K_{обж} := 0.9 \quad \text{Коэффициент обжатия}$$

$$E_n := 0.02 \cdot 10^5 \text{ МПа.} \quad \text{Условный модуль сжатия прокладки}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

[2]

$$P_{обж} := 0.5\pi \cdot D_{сп} \cdot b_0 \cdot q_{обж} \quad P_{обж} = 4.021 \times 10^4 \text{ Н;}$$

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

[2]

$$R_n := \begin{cases} \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot P_{\text{ит}} & \text{if } P_{\text{ит}} \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$R_n = 1.508 \times 10^3 \quad \text{Н};$$

Площадь поперечного сечений болтов (шпилек):

$$f_b := 510 \quad \text{мм}^2$$

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

$$A_b := n \cdot f_b \quad A_b = 4.08 \times 10^3 \quad \text{мм}^2. \quad [2]$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot D_{\text{сп}}^2 \cdot P_{\text{ит}} \quad Q_d = 753.982 \quad \text{Н}.$$

Уклон втулки (принимаем):

$$i := \frac{1}{3}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента:

$$Q_{\text{FM}} := \max \left(\left| F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \right|, \left| F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \right| \right) \quad [2]$$

$$Q_{\text{FM}} = 1.18 \times 10^6 \quad \text{Н}.$$

Определение податливости прокладки

$$y_n := \frac{h_n \cdot K_{\text{обж}}}{E_n \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_n} \quad y_n = 3.16 \times 10^{-7} \quad \text{мм/Н}. \quad [2]$$

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

$$L_{b0} := 130 \quad \text{мм}.$$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости:

$$L_6 := \begin{cases} L_{60} + 0.28 \cdot d & \text{if } bs = 1 \\ L_{60} + 0.56 \cdot d & \text{if } bs = 2 \end{cases} \quad L_6 = 133.92 \text{ мм.} \quad [2]$$

Податливость болтов:

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6} \quad y_6 = 1.534 \times 10^{-7} \text{ мм/Н.} \quad [2]$$

Определение расчетных параметров фланцев

параметр длины обечайки:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} \quad l_0 = 34.641 \text{ мм.} \quad [2]$$

Отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K := \frac{D_H}{D} \quad K = 1.575 \quad [2]$$

Коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца:

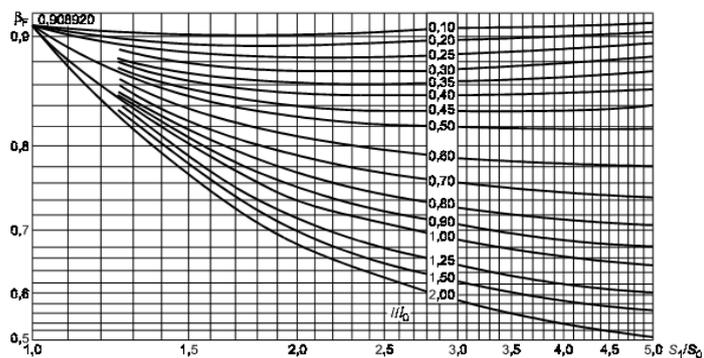
$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.05 + 1.945 \cdot K^2 \cdot (K - 1)} \quad \beta_T = 1.677 \quad [2]$$

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

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

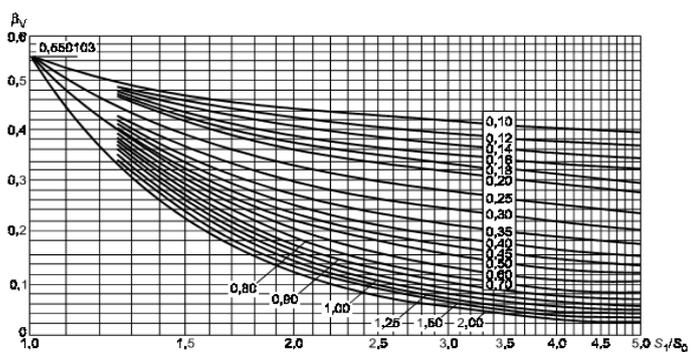
$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \quad \beta_Z = 2.351$$

Коэффициенты для фланцевых соединений



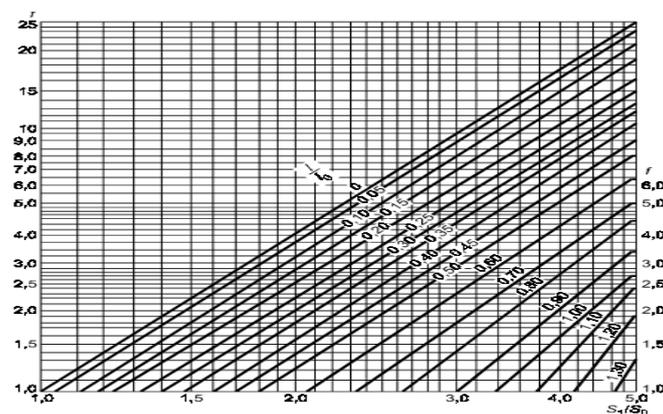
[2]

Рис.2.8. К определению коэффициента β_F .



[2]

Рис.2.9. К определению коэффициента β_V .



[2]

Рис.2.10. Поправочный коэффициент для напряжений во втулке фланца .

Из рисунка 2.8,2.9 ,2.10 определяем коэффициенты β_F и β_V и поправочный коэффициент f :

$$\beta_F := 0.8\epsilon \quad \beta_V := 0.2\epsilon \quad f := 1.\epsilon \quad [2]$$

1.28. Коэффициент λ :

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot |S_0|^2} \quad \lambda = 0.642 \quad [2]$$

Определение угловой податливости фланцев

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_\Phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot |S_0|^2} \quad [2]$$

$$y_\Phi = 1.328 \times 10^{-9} \quad 1/H^*mm.$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\Phi H} := \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_6}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H} \quad [2]$$

$$y_{\Phi H} = 2.662 \times 10^{-8} \quad 1/H^*mm.$$

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

$$C_F := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_6}{n \cdot \left(2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5} \right)}} \right] \quad C_F = 1.075 \quad [2]$$

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

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

$$b := 0.5 |D_6 - D_{сп}|$$

$$b = 10$$

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

$$e := 0.5 \cdot |D_{\text{сп}} - D - S_0| \quad [2]$$

$$e = -63 \text{ мм.}$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев:

$$S_3 := S_0 \quad [2]$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык фланцев:

$$\gamma := \frac{1}{y_n + y_b \cdot \frac{E_{206}}{E_b} + 2 \cdot b^2 \cdot y_f \cdot \frac{E_{20}}{E}} \quad [2]$$

$$\gamma = 1.36 \times 10^6$$

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

$$\alpha := 1 - \frac{y_n - 2 \cdot e \cdot y_f \cdot b}{y_n + y_b + 2 \cdot b^2 \cdot y_f} \quad [2]$$

$$\alpha = -1.707$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_M := \frac{y_b + 2 \cdot y_{fn} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сп}}} \right)}{y_b + y_n \cdot \left(\frac{D_b}{D_{\text{сп}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{fn} \cdot b^2} \quad [2]$$

$$\alpha_M = -9.123$$

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

$$Q_t := \gamma \cdot \left[2\alpha_f \cdot h \cdot |t_f - 20| - 2\alpha_b \cdot h \cdot |t_b - 20| \right] \quad [2]$$

$$Q_t = 1.374 \times 10^3 \text{ Н.}$$

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

$$P_{\text{б1}} := \max \left[\begin{array}{l} \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{М}} \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \\ \alpha \cdot (Q_{\text{д}} + F) + R_{\text{п}} + \frac{4 \cdot \alpha_{\text{М}} \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} - Q_{\text{т}} \end{array} \right] \quad [2]$$

$$P_{\text{б1}} = 2.014 \times 10^6 \quad \text{Н.}$$

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

$$P_{\text{обж}} = 4.021 \times 10^4 \quad \text{Н}; \quad [2]$$

$$P_{\text{б2}} := \max \{ P_{\text{обж}}, 0.4 \cdot A_{\text{б}} \cdot \sigma_{206} \} \quad [2]$$

$$P_{\text{б2}} = 3.754 \times 10^5 \quad \text{Н.}$$

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

$$P_{\text{бм}} := \max \{ P_{\text{б1}}, P_{\text{б2}} \} \quad [2]$$

$$P_{\text{бм}} = 3.754 \times 10^5 \quad \text{Н.}$$

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

$$P_{\text{бр}} := P_{\text{бм}} + (1 - \alpha) \cdot (Q_{\text{д}} + F) + Q_{\text{т}} + \frac{4 \cdot (1 - \alpha_{\text{М}}) \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \quad [2]$$

$$P_{\text{бр}} = 3.573 \times 10^6 \quad \text{Н.}$$

Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки

Расчетные напряжения в болтах (шпильках):

при затяжке:

$$\sigma_{\text{б1}} := \frac{P_{\text{бм}}}{A_{\text{б}}} \quad \sigma_{\text{б1}} = 92 \quad \text{МПа.} \quad [2]$$

в рабочих условиях:

$$\sigma_{62} := \frac{P_{бр}}{A_6} \quad \sigma_{62} = 875.687 \quad \text{МПа.} \quad [2]$$

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

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности в при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{61} > \sigma_{206} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{62} > \sigma_{д.б} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad [2]$$

Usl_1 = "Условия прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"

$$\sigma_{61} = 92 \quad \text{МПа;} \quad \sigma_{д.б} = 230 \quad \text{МПа;}$$

$$\sigma_{206} = 230 \quad \text{МПа;} \quad \sigma_{62} = 875.687 \quad \text{МПа.}$$

Удельное давление на прокладку:

$$q := \frac{\max(P_{бм}, P_{бр})}{\pi \cdot D_{сп} \cdot b_{п}} \quad q = 836.22 \quad \text{МПа.} \quad [2]$$

Расчет фланцев на статическую прочность

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

$$M_M := C_F \cdot P_{бм} \cdot b \quad M_M = 4.034 \times 10^6 \quad \text{Н*мм.}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях:

$$M_p := C_F \cdot \max(P_{бр} \cdot b + |Q_d + Q_{FM}| \cdot e, |Q_d + Q_{FM}| \cdot e) \quad [2]$$

$$M_p = -4.155 \times 10^7 \quad \text{Н*мм.}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке: [2]

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

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

$$\sigma_{0M} = 1.964 \times 10^3 \quad \text{МПа.} \quad [2]$$

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

радиальное напряжение:

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M \quad \sigma_{RM} = 3.838 \times 10^3 \quad \text{МПа.} \quad [2]$$

окружное напряжение:

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} \quad \sigma_{TM} = 1.037 \times 10^3 \quad \text{МПа.} \quad [2]$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

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

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} \quad \sigma_{0p} = -2.023 \times 10^4 \quad \text{МПа.} \quad [2]$$

Максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца:

$$\sigma_{0mp} := \max \left[\frac{Q_d + F + \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)}, \frac{Q_d + F - \frac{4|M|}{D_{сп}}}{\pi \cdot (D + S_0) \cdot (S_0 - c_0)} \right] \quad [2]$$

$$\sigma_{0mp} = 456.123 \quad \text{МПа.}$$

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

радиальное напряжение:

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p \quad \sigma_{Rp} = -3.952 \times 10^4 \quad \text{МПа} \quad [2]$$

окружное напряжение:

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} \quad \sigma_{Tp} = -1.068 \times 10^4 \text{ МПа.} \quad [2]$$

Проверка условий статической прочности фланцев:

PR_1 := "Условия статической прочности в при затяжке НЕ выполняются"

PR_2 := "Условия статической прочности в рабочих условиях НЕ выполняются"

PR_3 := "Условия статической прочности выполняются"

$K_T = 200.3$ при расчете с учетом стесненности температурных деформаций. При расчете без учета стесненности температурных деформаций $K_T = 1$.

$K_T := 200.3$

$$Usl_3 := \begin{cases} PR_1 & \text{if } \max(|\sigma_{0M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{TM}|) > K_T \cdot 3 \cdot \sigma_{20} \\ PR_2 & \text{if } \max \left(\begin{array}{l} |\sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Tp}| \\ |\sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Rp}| \\ |\sigma_{0p} + \sigma_{0mp}| \end{array} \right) > K_T \cdot 3 \cdot \sigma_{д.ф} \\ PR_3 & \text{otherwise} \end{cases} \quad [2]$$

Usl_3 = "Условия статической прочности выполняются"

$$\max(|\sigma_{0M} + \sigma_{RM}|, |\sigma_{0M} + \sigma_{TM}|) = 5.802 \times 10^3 \text{ МПа;} \quad K_T \cdot \sigma_{20} = 4.607 \times 10^4 \text{ МПа;}$$

$$\text{МПа;} \quad K_T \cdot \sigma_{д.ф} = 4.607 \times 10^4 \text{ МПа.}$$

$$\max \left(\begin{array}{l} |\sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Tp}| \\ |\sigma_{0p} - \sigma_{0mp} + \sigma_{Rp}| \\ |\sigma_{0p} + \sigma_{0mp}| \end{array} \right) = 6.021 \times 10^4$$

Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца:

$$\Theta_d := 0.01; \quad \text{допускаемый угол поворота приварного встык фланца} \quad [2]$$

$$\Theta := M_p \cdot y_f \cdot \frac{E_{20}}{E} \quad \Theta = -0.055 \quad [2]$$

Допустимый угол поворота фланца

Где,

Допускаемый угол поворота приварного встык фланца принимаем $\Theta_d := 0.01$ рад;

Коэффициент $K_{\text{op}} := 1$ - в рабочих условиях, $K_{\text{опи}} := 1.3$ - в условиях испытания.

$$\text{Usl_P} := \begin{cases} \text{"Условие при испытаниях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > 1.3 \cdot \Theta_d \\ \text{"Условие в рабочих условиях НЕ выполняется"} & \text{if } \Theta > \Theta_d \\ \text{"Условие поворота плоского фланца выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad [2]$$

Usl_P = "Условие поворота плоского фланца выполняется"

2.1.5.8 Расчет опор для аппарата

Рассчитаем массу аппарата:

Масса сепарационного пространства:

$$m_{\text{ап}} = m_{\text{корп}} + m_{\text{крышки}} + m_{\text{днища}}$$

Масса корпуса:

$$m_{\text{корп}} = \frac{\pi \cdot H}{4} \cdot (D_n^2 - D_s^2) \cdot \rho_{\text{стали}} = \frac{3,14 \cdot 1,5 \cdot (412^2 - 14^2)}{4} \cdot 7850 = 312 \text{ кг.}$$

Масса крышки:

$$m_{\text{крыш.}} = m_{\text{полусферы}} + m_{\text{фл}} = \left[\frac{4}{6} \pi (R_n^3 - R_e^3) + \frac{\pi h_\phi}{4} (D_n^2 - D_e^2) \right] \cdot \rho_{\text{стали}} =$$

$$\left[\frac{4 \cdot 3,14}{6} \cdot (0,906^3 - 0,9^3) + \frac{3,14 \cdot 20}{4} \cdot (1,412^2 - 1,4^2) \right] \cdot 7850 = 22,79 \text{ кг.}$$

Масса днища:

$$m_{\text{днища}} = m_{\text{конус}} + m_{\text{фл}} = \left[\frac{\pi h_e}{3} (R_{n1}^2 - R_{e1}^2) + (R_{n2}^2 - R_{e2}^2) + (R_{n1}^2 - R_{e1}^2) \cdot (R_{n2}^2 - R_{e2}^2) + \frac{\pi h_\phi}{4} (D_n^2 - D_e^2) \right] \cdot \rho =$$

$$= \left(\frac{3,14 \cdot 0,325^2}{4} \cdot (0,906^2 - 0,9^2) + (0,404 - 0,4) + (0,906 - 0,9) \cdot (0,404 - 0,4) + \frac{3,14 \cdot 0,036 \cdot (0,812^2 - 0,8^2)}{4} \right) \cdot 7850 = 22,15 \text{ кг.}$$

Масса пустого аппарата:

$$m_{\text{анн}} = 312 + 22,79 + 22,15 = 357 \text{ кг.}$$

Масса заполненного аппарата:

$$m_{\text{запол.анн.}} = m_{\text{анн}} + m_{\text{р-ра}}$$

Масса раствора:

$$m_{\text{р-ра}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot M \cdot \rho_{\text{кон}} = \frac{3,14 \cdot 1,4^2}{4} \cdot 10 \cdot 1230 = 18925 \text{ кг.}$$

Масса заполненного аппарата:

$$m_{\text{зан.анн.}} = 357 + 18925 = 19282 \text{ кг.}$$

$$P = m_{\text{з.ап}} \cdot g$$

$$P = 19282 \cdot 9,81 = 190 \text{ кН}$$

Расчет опор:

Для сепарационного пространства принимаем две лапы, тогда усилие, приходящееся на одну опору, равняется 95кН.

Определяем основные размеры опоры (лапы) для вертикального цилиндрического аппарата, подвешенного на двух лапах, по следующим данным: нагрузка, воспринимаемая одной лапой, $G = 0,16$ МН; материал корпуса аппарата и лап — сталь 12Х18Н10Т ($\sigma_{ид} = \sigma_{сд} = 170$ МН/м²); число ребер в лапе $z = 2$; вылет опоры $l = 0,25$ м, лапы опираются на деревянные подкладки ($q_d = 2$ МН/м²); толщина стенки цилиндрического корпуса аппарата $s = 6$ мм ($C_k = 0,6$ мм), диаметр корпуса $D_k = 1,4$ м.

Принимаем отношение вылета лапы к высоте ребра $\frac{l}{h} = 0,5$. Тогда [11];

$$h = \frac{l}{0,5} = \frac{0,25}{0,5} = 0,5 \text{ м.}$$

Расчетную толщину ребра лапы при $k = 0,6$ определяем по формуле (29.1):

$$S' = \frac{2,24G}{kz \cdot \sigma_{ид} l} = \frac{2,24 \cdot 0,16}{0,6 \cdot 2 \cdot 170 \cdot 0,25} = 4,4 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 4,4 \text{ мм}$$

Отношение $\frac{l}{13} = \frac{0,25}{13} = 0,019 > s' = 0,0044$, поэтому уменьшаем значение k до 0,2. По графику рис. 29.2 $\frac{l}{s} = 25$. Пересчитываем S' :

$$s' = 0,0044 \cdot \frac{0,6}{0,2} = 0,0132 \text{ м} > \frac{0,25}{25} = 0,01 \text{ м.}$$

Принимаем с учетом прибавки на коррозию толщину ребра $s = 16$ мм. Выбираем длину опорной плиты лапы $l_1 = 0,23$ м, а толщину ее $s = 16$ мм. Расчетная ширина опорной плиты лапы

$$b' = \frac{G}{l_1 q_d} = \frac{0,16}{0,23 \cdot 2} = 0,34 \text{ м.}$$

Принимаем $b = 0,4$ м.

Ребра привариваются к корпусу сплошным круговым швом с катетом $h_{ш} = 8$ мм. Общая длина сварного шва

$$L_{ш} = 4(h + s) = 4(0,5 + 0,016) = 2,06 \text{ м.}$$

Прочность сварного шва при $\tau_{сд} = 80$ МН/м² проверяем по формуле (29.2):
 $G = 0,1 \text{ МН} < 0,7 l_{ш} h_{ш} \tau_{сд} = 0,7 \cdot 2,06 \cdot 0,008 \cdot 80 = 0,925 \text{ МН}$ (92 500 кгс), т. е. прочность обеспечена [10];

$$\beta_1 = \frac{B}{D} = \frac{0,4}{1,4} = 0,29; \quad \beta_2 = \frac{H}{D} = \frac{0,5}{1,4} = 0,35;$$

$$\frac{D}{2(s - c_k)} = \frac{1,4}{2 \cdot (0,006 - 0,0006)} = 129,6; \quad \frac{B}{H} = \frac{0,4}{0,5} = 0,8.$$

Момент от реакции опоры, действующий на лапу при расчетном плече $l' = 0,15$ м,
 $M_u = GL' = 0,16 \cdot 0,15 = 0,024$ МН·м (240 000 кгс·см).

По графикам на рис. 29.7 определяем значение коэффициентов K : для $\frac{B}{H} = 0,8$ и

$$\frac{D}{2(s - c_k)} = 129,6 \quad K_M \approx 0,8 \text{ и } K_K \approx 0,9.$$

Параметр β для нахождения моментов, действующих на корпус, определяем по формуле (29.3):

для определения меридиональных моментов

$$\beta \approx K_M \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2} = 0,8 \sqrt[3]{0,29 \cdot 0,35^2} = 0,263$$

$$\beta = K_K \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2} = 0,9 \sqrt[3]{0,29 \cdot 0,35^2} = 0,296$$

По графику на рис. 29.3 при $\beta_2 = 0,263$ и $\frac{D}{2(s - c_k)} = 129,6$ определяем параметр

$$\frac{M_M}{M_u / (0,5 \beta_2 D)} = 0,01, \text{ откуда}$$

$$M_M = \frac{0,01 M_u}{0,5 \beta_2 D} = \frac{0,01 \cdot 0,024}{0,5 \cdot 0,263 \cdot 1,4} = 0,0013 \text{ МН} \cdot \text{м/м}$$

По графику на рис. 29.4 при $\beta_1 = 0,296$ и $\frac{D}{2(s - c_k)} = 129,6$ определяем параметр

$$\frac{M_K}{M_u / (0,5 \beta_1 D)} \approx 0,01, \text{ откуда}$$

$$M_K = \frac{0,01 M_u}{0,5 \beta_1 D} = \frac{0,01 \cdot 0,024}{0,5 \cdot 0,296 \cdot 1,4} = 0,0011 \text{ МН} \cdot \text{м/м}$$

Параметр β для нахождения сил, действующих на корпус, определяем по формуле (29.4):

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1 \beta_2^2} = \sqrt[3]{0,29 \cdot 0,35^2} = 0,3$$

По графику на рис. 29.8 определяем значение коэффициентов K : для $\frac{B}{H} = 0,8$ и $\frac{D}{2(s-C_k)} = 129,6$ $K_M \approx 0,6$ и $K_K \approx 0,9$. [10];

Для $\beta = 0,3$ и $\frac{D}{2(s-C_k)} = 129,6$ находим по графику на рис. 29.5

$\frac{P_M}{M_u/(0,25\beta D^2)} \approx 1$; по графику на рис. 29.6 $\frac{P_K}{M_u/(0,25\beta D^2)} \approx 2$ откуда значения P_M и P_K будут равны:

$$P_M = K_M \frac{1M_u}{0,25 \beta D^2} \approx 0,6 \cdot \frac{1 \cdot 0,024}{0,25 \cdot 0,23 \cdot 1,4^2} = 0,21 \text{ МН} \cdot \frac{\text{м}}{\text{м}}$$

$$P_K = K_K \frac{2M_u}{0,25 \beta D^2} \approx 0,9 \cdot \frac{2 \cdot 0,024}{0,25 \cdot 0,23 \cdot 1,4^2} = 0,42 \text{ МН} \cdot \text{м/м}$$

Суммарные напряжения сжатия в корпусе аппарата при толщине стенки $s = C_k = 0,0054$ м в месте присоединения лапы (сверху) определяем: в меридиональном направлении по формуле (29.5)

$$\sigma_{c1} = \frac{P_M}{s - C_k} + \frac{6M_M}{(s - C_k)^2} = \frac{0,21}{0,0054} + \frac{6 \cdot 0,0013}{(0,0054)^2} = 307 \text{ МН/м}^2$$

$$\sigma_{c2} = \frac{P_K}{s - C_k} + \frac{6M_K}{(s - C_k)^2} = \frac{0,42}{0,0054} + \frac{6 \cdot 0,0011}{(0,0054)^2} = 305 \text{ МН/м}^2$$

Как видно, оба напряжения больше допускаемого, и, следовательно, лапа должна быть применена с накладкой. Толщину подкладного листа принимаем равным 6 мм, тогда оба напряжения будут равны: [11];

$$\sigma_{c1} = \frac{P_M}{s - C_k} + \frac{6M_M}{(s - C_k)^2} = \frac{0,21}{0,0114} + \frac{6 \cdot 0,0013}{(0,0114)^2} = 62 \text{ МН/м}^2$$

$$\sigma_{c2} = \frac{P_K}{s - C_k} + \frac{6M_K}{(s - C_k)^2} = \frac{0,42}{0,0114} + \frac{6 \cdot 0,0011}{(0,0114)^2} = 54,5 \text{ МН/м}^2,$$

что меньше допускаемого напряжения, значит, условие прочности выполняется.

Выбираем опорные лапы для греющей камеры по ГОСТ 26296-84 «Лапы опорные подвесных вертикальных сосудов и аппаратов. Основные размеры» [11].

Рассчитаем массу греющей камеры.

Масса греющей камеры:

$$m_{гр.к.} = m_{корп} + m_{днища} + m_{трубок},$$

$$m = V \cdot \rho_{ст};$$

$$\rho_{ст} = 7850 \text{ кг/м}^3;$$

$$m_{корп.} = \frac{\pi \cdot H}{4} \cdot (D_n^2 - D_e^2) \cdot \rho_{стали} = \frac{3,14 \cdot 1,5 \cdot (372^2 - 1,36^2)}{4} \cdot 7850 = 312 \text{ кг.}$$

$$m_{днища} = m_{конус} + m_{фл} = \left[\frac{\pi h_e}{3} (R_{n1}^2 - R_{e1}^2) + (R_{n2}^2 - R_{e2}^2) + (R_{n1}^2 - R_{e1}^2) \cdot (R_{n2}^2 - R_{e2}^2) + \frac{\pi h_\phi}{4} (D_n^2 - D_e^2) \right] \cdot \rho =$$

$$= \left[\frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} \cdot (0,906^2 - 0,9^2) + (0,404 - 0,4) + (0,906 - 0,9) \cdot (0,404 - 0,4) + \frac{3,14 \cdot 0,025 \cdot (812^2 - 0,8^2)}{4} \right] \cdot 7850 = 30,15 \text{ кг.}$$

$$m_{трубок} = \frac{\pi \cdot H}{4} \cdot n \cdot (d_{н.тр}^2 - d_{вн.тр}^2) \cdot \rho_{стали} = \frac{3,14 \cdot 1,5}{4} \cdot 170 \cdot (0,038^2 - 0,034^2) \cdot 7850 = 452,5 \text{ кг.}$$

$$m_{гр.к.} = 312 + 30,15 + 452,5 = 794,6 \text{ кг}$$

Масса раствора

$$m_{р-ра} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot M \cdot \rho_{кон} = \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} \cdot 10 \cdot 1100 = 4582 \text{ кг.}$$

$$m_{зан.анн} = 4582 + 794,6 = 5376,6 \cdot 9,81 = 52,73 \text{ кН}$$

Выбираем опорные лапы по ОСТ 26-665-79 «Лапы опорные подвесных вертикальных сосудов и аппаратов. Основные размеры» [11].

Таблица 2.14 – Конструктивные размеры лап, мм

Q,кН	a	a ₁	b	b ₁	c	c ₁	h ₁	S ₁	K	K ₁	h _{max}	d	d _б
100	250	325	250	360	40	160	30	18	20	180	660	42	M36

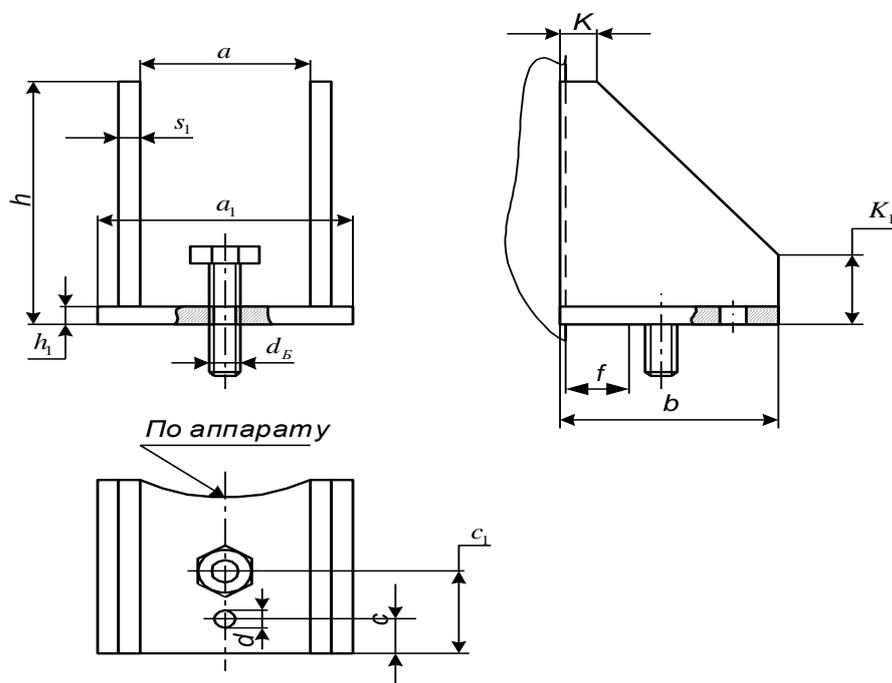


Рисунок 2.11 – Лапа тип 8

Основные размеры стоек ОСТ 26-665-79 [11] приведены в таблице.

Таблица 2.15 – Размеры стоек, мм

Q,кН	a	a ₁	b	b ₁	c	c ₁	h ₁	S ₁	K	K ₁	h _{max}	d	d _б
63	185	245	210	280	40	120	24	14	15	150	515	35	M30

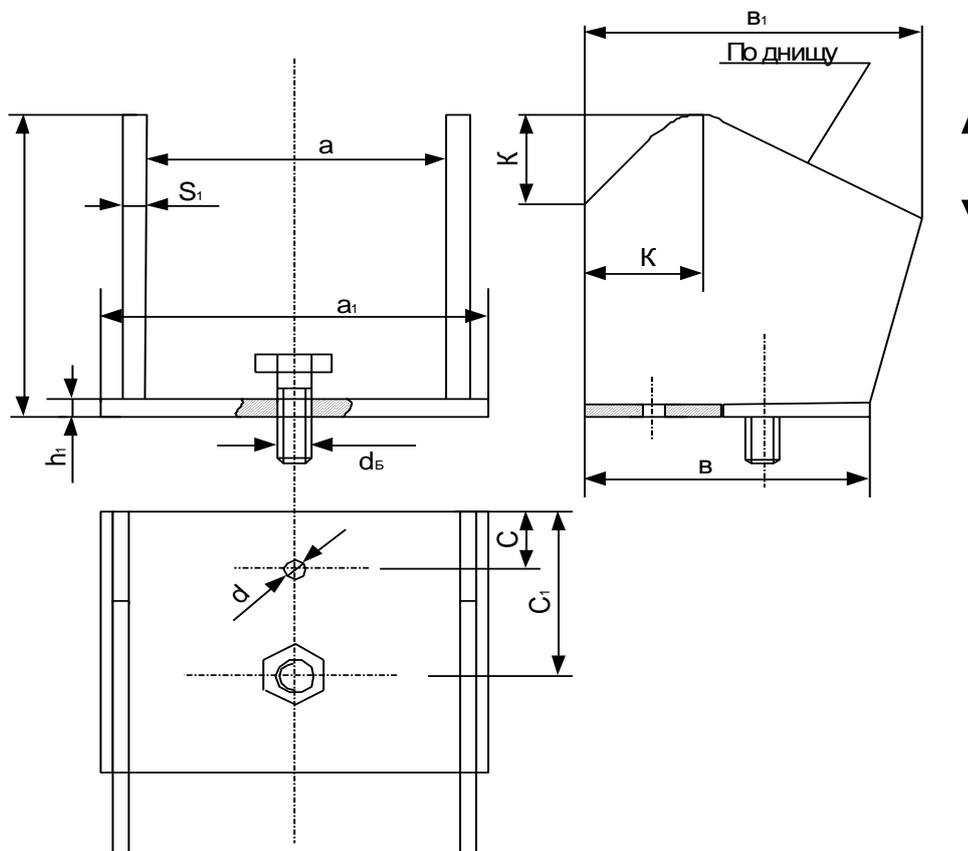


Рисунок 2.12 - Стойка

2.1.5.9 Расчет развальцовочного соединения.

Осевое усилие, растягивающее трубы и корпус, будет равно:

$$Q = P_K \frac{\pi}{4} (D^2 - nd_H^2) + P_T \cdot n \frac{\pi}{4} \cdot d_B^2 ;$$

$$Q = 0,45 \cdot \frac{3,14}{4} (0,8^2 - 170 \cdot 0,038^2) + 0,1 \cdot 170 \frac{3,14}{4} \cdot 0,034^2 = 155 \text{ МН}$$

При расчете развальцовочного соединения проводят проверку труб на вырывание. Если давление в трубах P_T незначительно по сравнению с давлением в корпусе P_K , можно считать, что воспринимаемая трубой нагрузка q от давления на площадь f трубной решетки, заключенной между четырьмя трубами, определится как $q = P_K f$.

При расположении труб по вершинам правильных треугольников

$$f = 0,866t^2 - \frac{\pi \cdot d_H^2}{4} \text{ МН};$$

Находим t ;

$$t = 1,2 \cdot d_n + 2 \text{ мм}$$

$$t = 1,2 \cdot 38 + 2 = 48 \text{ мм}$$

$$f = 0,866 \cdot 0,048^2 - \frac{3,14 \cdot 0,038^2}{4} = 0,87 \text{ м}^2$$

В общем случае необходимо учитывать действие давлений P_K и P_T . Если не учитывать, что часть осевой нагрузки от давления воспринимает корпус, и считать, что вся нагрузка приходится на трубы, то усилие на одну трубу, при условии равномерного распределения нагрузки на трубы.

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

$$q = \frac{155}{170} = 0,92 \text{ МН};$$

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

Температурное усилие, приходящее на одну трубу.

$$q_m = 0 ;$$

Где σ_m – температурные напряжения в трубе, МПа;
Суммарное усилие

$$q_c = q \pm q_m ; \text{ МН}$$

$$q_c = q = 0,92 \text{ МН};$$

При этом в формуле принимают q_m со знаком плюс, когда корпус нагрет больше, чем трубы, и со знаком минус, если трубы нагреты больше, чем корпус.

Удельная нагрузка от давления на единицу длины окружности развальцовки

$$\sigma_o = \frac{q}{\pi \cdot d_n} ; \text{ МН/м}$$

$$\sigma_o = \frac{0,92}{3,14 \cdot 0,038} = 0,007 ; \text{ МН/м}$$

Для обеспечения прочности развальцовки удельная нагрузка от давления $\sigma_o \leq [\sigma_o] = 0,04 \text{ МН/м}$ – при развальцовке труб в отверстиях без

канавок. Получаем, что $0,007 \leq 0,04 \text{ МН/м}$ значит прочность обеспечивается.

2.1.5.10 Расчет толщины трубной решетки

Принимаем длину труб аппарата равной 1.5 метрам согласно
Поскольку в исходных данных не были указаны параметры для расчета конструктивных размеров аппарата, а именно длины труб, площади поперечного сечения, число труб в аппарате. Задаемся сами этими параметрами, исходя из конструктивных соображений.

$$l_{\text{труб}} := 1500 \text{ мм.}$$

Число труб:

$$n_{\text{тр}} := 170 \text{ труб}$$

Для трубной решетки используем материал Сталь 12Х18Н10Т

Допускаемое напряжение трубной решетки:

$$\sigma_{\text{реш}} := 184 \text{ МПа.}$$

Модуль упругости:

[4]

$$E_{\text{реш}} := 2.15 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

Для труб используется материал: Сталь 12Х18Н10Т

$$t_{\text{хол}} := 115 \text{ температура начальная}$$

[4]

$$P_{\text{и2}} := 0.1 \text{ давление при гидроиспытании}$$

$$c := 2 \text{ прибавка}$$

$$E_{\text{тр120}} := 2.05 \cdot 10^5 \text{ модуль упругости}$$

$$s_1 := 8 \text{ толщина стенки аппарата}$$

$$D_{\text{н}} := 130 \quad t_{\text{гор}} := 115$$

Допускаемое напряжение трубного пучка:

[4]

$$t_{\text{таб1}} := \begin{pmatrix} 20 \\ 105 \end{pmatrix} \text{ градусов} \quad \sigma_{\text{таб1}} := \begin{pmatrix} 184 \\ 174 \end{pmatrix} \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\text{тр105}} := \text{Floor} \left(\text{linterp} \left(t_{\text{таб1}}, \sigma_{\text{таб1}}, t_{\text{хол}}, 0.5 \right) \right) = 172 \text{ МПа}$$

[4]

Модуль упругости:

$$E_{\text{тр105}} := 1.01 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Внутренний диаметр аппарата: $D := 800 \text{ мм};$

Диаметр трубы внутренний: $d_{\text{тр}} := 34 \text{ мм};$

Толщина стенки трубы: $s_{\text{тр}} := 2 \text{ мм};$

Диаметр трубы наружный: $d_{\text{нр}} := 38 \text{ мм};$

Внутренний радиус кожуха:

$$a := \frac{D}{2} = 400 \text{ мм.}$$

Расстояние от оси кожуха до оси наиболее удаленной трубы [14]:

$$a_1 := 370$$

Расчет трубной решетки: согласно [15]

[15]

Относительную характеристику беструбного края трубной решетки:

$$m_n := \frac{a}{a_1} = 1.081$$

Шаг расположения труб, располагаются по равностороннему треугольнику:

[15]

$$t := 1.2d_{\text{нр}} + 2 = 47.6 \text{ мм.}$$

Коэффициент прочности решетки:

[15]

$$\phi_p := \frac{t - 21}{t} = 0.559$$

Толщина трубной решетки:

[15]

$$s_p := \frac{D}{4.7} \cdot \sqrt{\frac{P_{и2}}{\sigma_{\text{реш}} \cdot \phi_p}} + c = 8.501 \text{ мм.}$$

Принимаем толщину трубной решетки:

$$s_{\text{пр}} := 35 \text{ мм.}$$

Коэффициенты влияния давления на трубную решетку вычисляются по формулам:
- со стороны межтрубного пространства:

$$\eta_M := 1 - \frac{n_{\text{тр}} \cdot d_{\text{нр}}^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.552$$

[15]

- со стороны трубного пространства:

$$\eta_T := 1 - \frac{n_{\text{тр}} \cdot (d_{\text{нр}} - 2 \cdot s_{\text{тр}})^2}{4 \cdot a_1^2} = 0.641 \quad [15]$$

Основные характеристики жесткости элементов выпарного аппарата.

Модуль упругости основания (системы труб) вычисляют по формуле

$$K_y := \frac{E_{\text{тр}} \cdot 120 \cdot |\eta_T - \eta_M|}{l_{\text{труб}}} = 12.219 \quad \frac{\text{Н}}{\text{мм}^3} \quad [15]$$

Модуль упругости кожуха при температуре 105 градусов:

$$E_{\text{кож}} := 2.15 \cdot 10^5 \quad \text{МПа.} \quad [4]$$

Приведенное отношение жесткости труб к жесткости кожуха вычисляют по формуле

$$\rho := \frac{K_y \cdot a_1 \cdot l_{\text{труб}}}{E_{\text{кож}} \cdot s_1} = 3.943 \quad [15]$$

Коэффициенты изменения жесткости системы трубы — кожух

Коэффициенты изменения жесткости системы трубы — кожух вычисляют по формулам:

Для аппаратов с неподвижными трубными решетками $K_{p1} = K_{q1} = 0$

$$K_{q1} := 0 \quad K_{p1} := 0 \quad [15]$$

K_q - коэффициент изменения жесткости системы трубы - кожух при действии осевой силы;

$$K_q := 1 + K_{p1} = 1 \quad [15]$$

K_p - коэффициент изменения жесткости системы трубы - кожух при действии давления:

$$K_p := 1 + K_{q1} = 1 \quad [15]$$

Коэффициент системы решетка — трубы вычисляют по формуле:

$$s_p := 30 \quad \text{толщина трубной решетки, мм.}$$

Коэффициент жесткости перфорированной плиты ψ_0

$$\eta_T = 0.641$$

Таблица 2.16 Коэффициент жесткости перфорированной плиты ψ_0

η_T	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85
ψ_0	0,12	0,15	0,2	0,25	0,3	0,37	0,44	0,51	0,59	0,68

$$\eta_{T_таб} := \begin{pmatrix} 0.6 \\ 0.65 \end{pmatrix} \quad \psi_{0_таб} := \begin{pmatrix} 0.3 \\ 0.37 \end{pmatrix} \quad [15]$$

Коэффициент прочности перфорированной трубы

$$\psi_0 := \text{Floor}[\text{Interp}[\eta_{T_таб}, \psi_{0_таб}, \eta_T], 0.005] = 0.355$$

$$E_p := 2 \cdot 10^5 \quad \text{модуль продольной упругости материала трубной решетки, МПа}$$

Коэффициент системы решетка - трубы:

$$\beta := \frac{1.82}{s_p} \cdot \sqrt[4]{\frac{K_y \cdot s_p}{\psi_0 \cdot E_{реш}}} = 0.014 \quad [15]$$

Безразмерный параметр системы решетка — трубы вычисляются по формуле:

$$\omega := \beta \cdot a_1 = 5.264 \quad [15]$$

2.1.6 Расчёт теплоизоляции

Толщину стенки теплоизоляции можно определить из уравнения теплового баланса при передаче тепла от среды в аппарате в окружающую среду

$$q = \alpha_I \cdot (t_{cm1} - t_{cm2}) = \frac{\lambda_{cm}}{\delta_{cm}} \cdot (t_{cm1} - t_{cm2}) = \frac{\lambda_{из}}{\delta_{из}} \cdot (t_{cm2} - t_n) = \alpha_{\Sigma} \cdot (t_{cm1} - t_{возд})$$

Суммарный коэффициент теплоотдачи определим по формуле Линчевского [22]:

$$\alpha_{\Sigma} = 9,74 + 0,07 \cdot (t_{cm1} - t_{возд})$$

Зная, что

$$t_{cm1} = t_{пара} = t_{конд} = 147^{\circ}C,$$

а температура наружной поверхности изоляции $40^{\circ}C$, то средняя температура материала будет равна:

$$t = \frac{t_{конд} + t_{из}}{2},$$

$$t = \frac{147 + 40}{2} = 93,5^{\circ}C.$$

$$\Delta t = t_{конд} - t_{возд},$$

$$\Delta t = 147 - 20 = 127^{\circ}C$$

Определяем материал изоляции асбестовая ткань A_m

ГОСТ 6102 – 78 [10]:

- допускаемая рабочая температура $t = 200^{\circ}C$;
- плотность $\rho = 550 \text{ кг/м}^3$;
- $A = 0,12$, $B = 2,2 \cdot 10^{-6}$;
- удельная теплоёмкость $0,83 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$.

$$\lambda_{из} = A + B \cdot t = 0,124 + 2,2 \cdot 10^{-6} \cdot 91,45 = 0,126 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}.$$

$$\alpha_{\Sigma} = 9,74 + 0,07 \cdot (147 - 20) = 18,63 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}.$$

Отсюда толщина изоляции рассчитывается по формулы

$$\delta = \frac{\lambda \cdot (t_{\text{конд}} - t_{\text{из}})}{\alpha_{\Sigma} \cdot (t_{\text{из}} - t_{\text{возд}})},$$
$$\delta = \frac{0,126 \cdot (47 - 40)}{19,33 \cdot (40 - 20)} = 0,036 \text{ м.}$$

Принимаем толщину изоляции аппарата $\delta = 40 \text{ мм}$.

3 Оценка экономической эффективности инвестиционного проекта производства металлического литья

3.1 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 12 часов работы.

Календарный фонд времени оборудования T равен 365 дням или 8760 часам.

Номинальный фонд времени T при работе по непрерывной неделе без останова производства в праздничные дни является максимальным и совпадает с календарным, равным 365 дням.

Эффективный фонд рабочего времени оборудования равен номинальному времени за вычетом останова на ремонты T , производимые в рабочее время в соответствии с установленной системой планово-предупредительного ремонта (ППР) и определяется по формуле:

$$T_{\text{эф}} = T_{\text{ном}} - T_{\text{рем}} \quad (3.1)$$

Продолжительность простоя оборудования в ремонтах $T_{\text{рем}}$ определяем по формуле:

$$T_{\text{рем}} = 2\% \cdot T_{\text{ном}};$$
$$T_{\text{рем}} = 0,02 \cdot 8760 = 175 \text{ час.}$$

Эффективный фонд времени оборудования составляет по формуле (3.1):

$$T_{\text{эф}} = 8760 - 175 = 8585 \text{ часов.}$$

На основе расчетов составляем баланс времени работы оборудования (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Баланс рабочего времени оборудования

№ п/п	Показатели	Дни	Часы
1	Календарный фонд рабочего времени	365	8760
2	Нерабочие дни <ul style="list-style-type: none"> • выходные • праздничные 	-	-
3	Номинальный фонд рабочего времени	365	8760
4	Планируемые невыходы <ul style="list-style-type: none"> • очередные и дополнительные отпуска • невыходы по болезни • декретные отпуска • отпуск в связи с учебой без отрыва от производства • выполнение госуд. обязанностей 	44	1056 - -
5	Эффективный фонд рабочего времени	321	7704

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 (Li).

$$M = 1 \cdot 13,34 \cdot 7704 = 102771,36 \text{ кг/год} = 102,8 \text{ т/год.}$$

Для характеристики использования оборудования рассчитываем экстенсивный и интенсивный коэффициенты.

Коэффициент экстенсивного использования оборудования равен

$$K_{\text{экс}} = T_{\text{эф}} / T_{\text{н}} ;$$

$$K_{\text{экс}} = 7704 / 8760 = 0,88$$

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:

$$K_{\text{и.м.}} = K_{\text{экс}} \cdot K_{\text{инт}};$$

$$K_{\text{и.м.}} = 0,88 \cdot 1 = 0,88.$$

Производственная программа цеха:

$$\text{ПП} = K_{\text{и.м.}} \cdot M;$$

$$\text{ПП} = 0,88 \cdot 102771,36 = 90438,8 \text{ кг} = 90,5 \text{ т.}$$

3.2 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;

$C_v = 15$ тыс. руб/м³ – стоимость 1м³ промышленного и административно-хозяйственного здания и бытовых помещений с учетом стоимости внутренних санитарно-технических и электротехнических работ.

$$Z_k = 11250 \cdot 15 = 168750 \text{ руб.}$$

Определение стоимости оборудования

Расчет стоимости оборудования производим исходя из массы аппарата и стоимости материала:

$$Ц = C \cdot Ц_0,$$

где C – масса аппарата, кг;

$Ц_0$ – стоимость материала, руб/кг.

Расчет стоимости оборудования сведен в таблицу 3.2.

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 3.2 – 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	12X18N10T	240	962	230,88	300	577,2	57,72	95,238	158,73	126,984	63,492	1079,364	20	215,8728
Нуч-фильтр барабанный	12X18N10T	240	500	120	400	360	36	59,4	99	79,2	39,6	773,2	100	677,688
	Материал фильтрующий	60	20	1,2	200	2,4	0,24	0,396	0,66	0,528	0,264	4,488		
Отстойник	12X18N10T	240	1000	240	300	600	60	99	165	132	66	1122	20	224,4
Экстракционная колонна	12X18N10T	240	1600	384	500	1344	134,4	221,176	369,6	295,68	147,84	2513,28	20	517,616
	НУМС-Sb	100	200	20	200	40	4	6,6	22	8,8	4,4	76,8		
Теплообменник	12X18N10T	240	1200	288	400	864	86,4	142,56	237,6	190,08	95,04	1615,68	33,333333	538,56
Выпарной аппарат	12X18N10T	240	5000	1200	700	5400	540	891	1485	1188	594	1098	33,333333	3366
Аппарат КС	12X18N10T	240	1000	240	400	720	72	118,8	198	158,4	79,2	1346,4	20	269,28
Электролизная ванна	12X18N10T	240	5128	1230,72	600	4922,88	492,288	812,2752	1353,792	1083,0336	541,5168	9205,7856	20	1841,15712
Газодувка	12X18N10T	240	90	21,6	200	43,2	4,32	7,128	11,88	9,504	4,752	80,784	100	80,784
Неучтенное оборудование				596,46		596,46	59,646	98,4159	164,0265	131,2212	65,6106	1115,3814	20	223,07604
Итого				4572,86		15470,14	1547,014	2552,5732	4254,2886	3403,4308	1701,7154	28929,162		7954,434

3.3 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 3.3.

Таблица 3.3 - Примерный баланс рабочего времени одного среднесписочного рабочего

Наименование затрат рабочего времени	Количество дней
Календарное время	365
Выходные дни	180
Праздничные дни	-
Номинальный фонд рабочего времени	185
Планируемые невыходы на работу:	
- очередной отпуск	44
- болезни	-
- выполнение государственных и общественных обязанностей	-
- прочие невыходы по разрешению работодателя	-
Годовой фонд рабочего времени	185
Годовой фонд рабочего времени в часах	4440

При расчете численности рабочих определяем сменный состав рабочих, явочную, штатную и списочную численность рабочих.

Сменный состав для аппаратурных процессов определяем по формуле:

$$Ч_{см} = n / N_{обс},$$

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 $S = 2$ – число смен работы в сутках;

Тогда

$$Ч_{\text{яв}} = 4 \cdot 2 = 8 \text{ чел.}$$

Штатная численность:

$$Ч_{\text{шт}} = Ч_{\text{яв}} \cdot T_{\text{кал}} / T_{\text{ном}};$$

$$Ч_{\text{шт}} = 8 \cdot 365 / 185 = 16 \text{ чел.}$$

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 ($T_{\text{эф.обор}} = 8467 \text{ ч} = 353 \text{ дней}$);

$T_{\text{эф.раб}}$ – эффективный фонд времени рабочего дня.

$$Ч_{\text{сп}} = 8 \cdot 353 / 185 = 16 \text{ чел.}$$

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 [18].

$$Ч_{\text{доп}} = Ч_{\text{сп}} - Ч_{\text{яв}} = 16 - 16 = 0 \text{ чел.}$$

Коэффициент подмены определяем по формуле:

$$K_{\text{под}} = T_{\text{эф.обор}} / T_{\text{эф.раб}};$$

$$K_{\text{под}} = 353 / 185 \approx 1,9.$$

Расчет численности основных производственных рабочих представлен в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Численность основных производственных рабочих

Наименование профессии	Тарифный разряд	Численность рабочих в смену	Кол-во смен в сутках	Явочная численность рабочих	Кoeffициент подмены	Списочная численность рабочих
Аппаратчик	6	1	2	2	1,9	4
Дежурный-электрик	5	1	2	2	1,9	4
Дежурный-слесарь	6	4	2	8	1,9	16

Численность ИТР, служащих и МОП устанавливаем по штатному расписанию. Расчет численности представлен в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Численность ИТР, служащих и МОП

Наименование должности	Категория	Тарифный разряд	Число штатных единиц	Количество смен в сутках	Штатная численность
Начальник цеха	ИТР	14	1	1	1
Мастер	ИТР	10	3	1	3
Технолог	ИТР	13	1	1	1
Начальник отделения	ИТР	11	1	1	1

3.4 Расчет фонда заработной платы промышленно-производственного персонала и ремонтников

Расчет заработной платы производственных рабочих и ремонтников представлены в таблице 3.6, а ИТР в таблице 3.7.

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 100 %.

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[18].

Таблица 3.6 – Расчет фонда заработной платы производственных рабочих

Наименование профессии	Списочная численность	Тарифный разряд	Номинальный фонд рабочего времени, час	Тарифная ставка, руб	Основной фонд заработной платы					З _{доп} , тыс. руб	Общий годовой фонд заработной платы	Общий годовой фонд заработной платы с учетом районного коэффициента, тыс. руб
					З _{тар} , тыс. руб	Премия, тыс. руб	Д _{н.вр.} , тыс. руб	Д _{пр.дн} , тыс. руб	Итого			
Аппаратчик	4	6	2220	144	1278720	16000	511488	288	1806496	180649,6	1987145,6	2185859,6
Дежурный-электрик	4	5	2220	130	1154400	12000	461760	260	1628420	162842,0	1791262	1970388
Дежурный-слесарь	16	6	2220	144	5114880	64000	2045952	288	7224832	722483,2	7947315,2	8742046,2
Итого	-	-	-	-	7548000	92000	3019200	836	10659748	1065974,8	11721382,4	12898292,2

Таблица 3.7 – 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 _{доп} , 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 _{пр.дн.} , тыс. руб	Д _{н.вр.} , тыс. руб	Итого						
Мастер	3	10	14550	10,8	628,6	252	18,86	900	67,5	967,5	148,5	1113,75	222,75	1336,5
Начальник цеха	1	14	22940		82,6	-	-	82,6	8,26	90,8	18,2	136,2	27,3	163,5
Технолог	1	13	20400		73,46	-	-	73,46	7,144	80,8	16,2	120,4	24,3	36,7
Начальник отделения	1	11	16260		58,6	-	-	58,6	5,86	64	12,8	96	19,2	115,2
МОП					242	-	-	242	24,2	266	53,2	399	79,8	478,8
Итого					843,24	252	18,86	1114	88,9	1469,1	248,9	1866,15	373,35	2132,5

3.5 Расчет затрат на производство продукции

3.5.1 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:

- карбоната лития (Li_2CO_3)

$$K_{\text{расх}} = 166/13,32 = 12,46 \text{ кг/ч};$$

- технической воды

$$K_{\text{расх}} = 1324/13,32 = 99,42 \text{ кг/ч};$$

- хлор (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 $P_{\text{сут}}$ – среднее суточное потребление Li_2CO_3 , 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[18].

Расчет годовой потребности в материалах приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – 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
Li ₂ CO ₃	12,46	1377139	10	124,6	13771390
H ₂ O	99,42	10988378	0,00045	0,044739	4944,7701
Cl ₂	11,11	1227930	1,5	16,665	1841895
Итого	-	-	-	141,30974	15618230

3.5.2 Расчет годовой потребности в электроэнергии

На промышленном предприятии стоимость 1 кВт*ч электроэнергии определяется по двухставочному 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 3.9);

$K_c = 0,8$ – 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:

$$P_{дв} = Q_{дв} \cdot K_c / \eta_{сети} \cdot \eta_{дв},$$

где $Q_{дв}$ – суммарная годовая потребность электроэнергии на двигательные цели (таблица 3.9), кВт*ч;

$\eta_{дв} = 0,85$ – коэффициент полезного действия двигателя;

$$P_{дв} = 262477 \cdot 0,8 / 0,98 \cdot 0,85 = 182126 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Суммарный удельный расход электроэнергии на технологические и двигательные цели определяем по формуле:

$$I_{общ} = P_{тех} + P_{дв} / ПП;$$

$$I_{общ} = (7732962 + 182126) / 110524,83 = 71,62 \text{ кВт/кг}.$$

Таблица 3.9 – 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

$$P_{уд} = I_{общ} \cdot C_{эл.эн},$$

где $C_{эл.эн} = 3,2$ руб/кВт*ч - цена 1 кВт*ч электроэнергии,

$$P_{уд} = 71,62 \cdot 3,2 = 229,2 \text{ руб/кг}.$$

- общая

$$P_{общ} = (P_{тех} + P_{дв}) \cdot C_{э};$$

$$P_{общ} = (7732962 + 182126) \cdot 3,2 = 25328281,6 \text{ руб}.$$

3.5.3 Расчет амортизационных отчислений

Для расчета амортизационных отчислений необходимо учесть:

- полную стоимость зданий;
- полную стоимость оборудования;

- нормы амортизационных отчислений.

Расчет амортизационных отчислений представлен в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Расчет амортизационных отчислений

Наименование основных фондов	Стоимость, тыс. руб	Норма амортизационных отчислений %	Сумма амортизационных отчислений, тыс. руб
Здания	33750	3	11250
Оборудование	14464,581	27,5	3977,217
Итого		-	15227,2

3.5.4 Расчет сметы расходов по содержанию и эксплуатации оборудования

Смету составляем по следующим укрупненным показателям (таблица 3.11).

Таблица 3.11 – Смета расходов по содержанию и эксплуатации оборудования

Статьи расхода	Сумма, тыс. руб	Пояснения к расчету
1 Текущий ремонт оборудования: а) зарплата ремонтников б) страховые выплаты в) стоимость запчастей и услуг РМЦ	41400 12420 723,22	22% — отчисления в ПФР, страховая и накопительная части; 2,9% — отчисления в ФСС по временной нетрудоспособности и в связи с материнством; 5,1% — отчисления в ФФОМС (в ТФОМС — 0%).
Итого	13143,22	
2 Амортизация производственного оборудования	3977,217	из таблицы 3.10
Итого по статьям 1-2	17940,03	
3 Прочие расходы	479,7	10 % от ст. (1-2)
Всего по смете	18419,73	

3.5.5 Расчет сметы цеховых расходов

Расчет сметы цеховых расходов представлены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Смета цеховых расходов

Статьи расходов	Сумма тыс.руб	Пояснения к расчету
1 Заработная плата цехового персонала	2578	из таблицы 3.7
2 страховые выплаты	12420	26% 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 3.10
6 Расходы по охране труда	2075	10 % от ст. (1-5)
Итого	34908	
7 прочие расходы, включающие износ малоценного и быстроизнашивающегося инвентаря	3490,8	10 % от ст. (1-6)
Итого цеховых расходов	38398,8	

3.5.6 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.

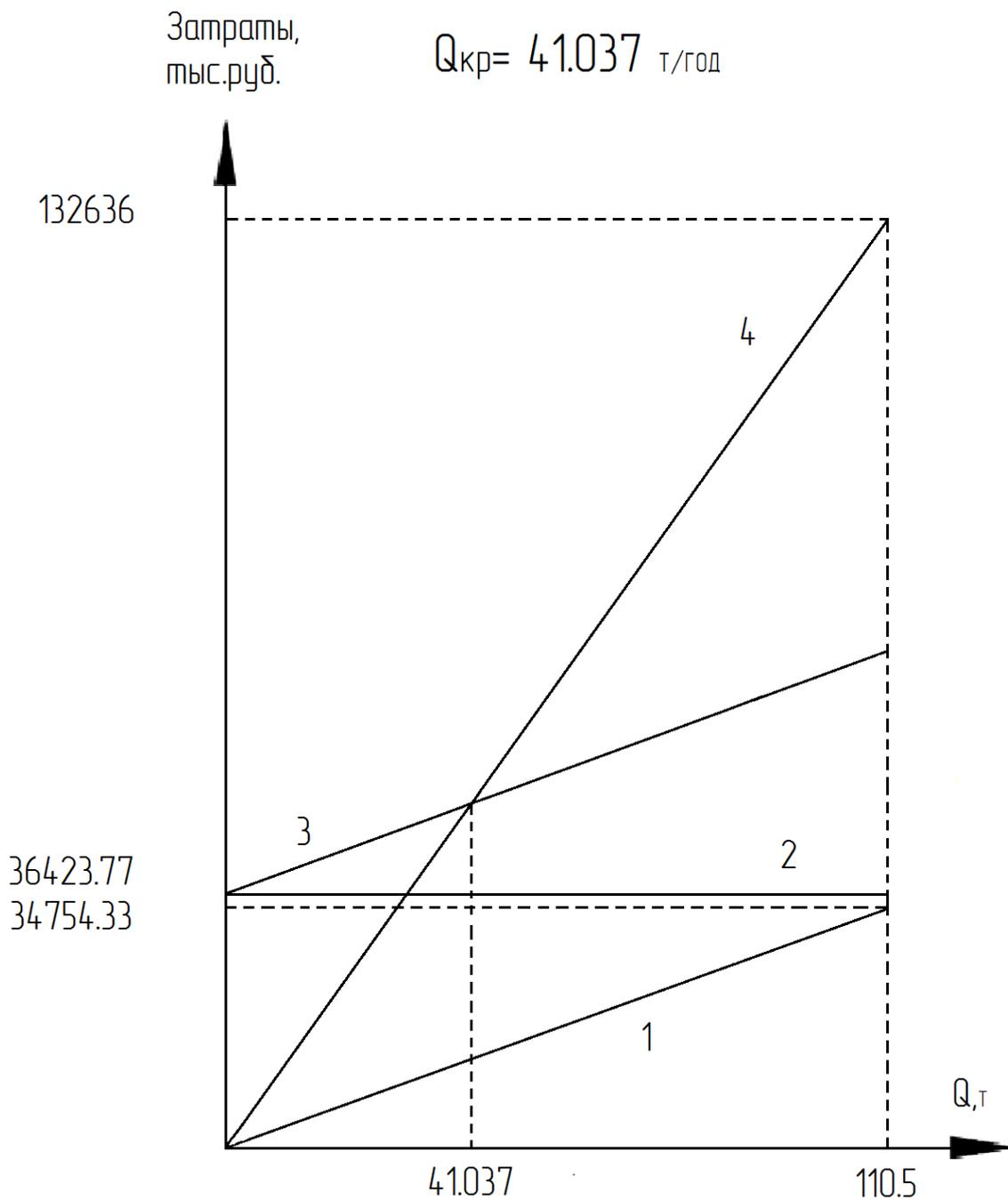
3.5.7 Проектные валовые затраты на производство продукции

Исчисление проектных валовых затрат производим на основе проведенных ранее расчетов и сводим в таблицу 3.13.

Таблица 3.13 - Калькуляция валовых затрат на производство Li при годовом выпуске Q = 110,5 т.

Статьи калькуляции	Единица измерения	Цена единицы, руб	Затраты на годовой выпуск		Затраты на выпуск 1кг продукции	
			Количество	Сумма тыс. руб	Норма расхода	Сумма, руб
1 Сырье и материалы						
а) Карбонат лития	кг	10	1377139	13771,39	12,46	124,599965
б) Техническая вода		0,00045	10988378	4,9447701	99,42	0,044739
в) Хлор		1,5	1227930	1841,895	11,11	16,6649883
Итого	-	-	-	15618,22	-	141,3
2 Энергия на технологические цели:						
а) электроэнергия	кВт	3,2	7915088,8	9498,11	71,61	85,94
3 Заработная плата производственных рабочих	-	-	-	41400	-	69,21
4 страховые выплаты	-	-	-	18419	-	17,99
Итого переменных затрат	-	-	-	34754,33	-	314,45
5 Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	-	-	-	5276,5	-	47,74
6 Цеховые расходы	-	-	-	25106,00	-	227,15
Итого цеховая себестоимость	-	-	-	65136,83	-	589,34
7 Общезаводские расходы	-	-	-	4951,86	-	44,80
8 Прочие производственные расходы	-	-	-	1089,41	-	9,86
Итого общезаводская себестоимость	-	-	-	71178,10	-	644,00
9 внепроизводственные расходы	-	-	-	148,56	-	1,34
Итого постоянных затрат	-	-	-	36423,77	-	329,55
Итого валовых затрат	-	-	-	71326,65	-	645,35

Итак, по результатам расчета стоимость передела сырья составляет $P_{пр} = 645,35$ руб/кг.



1 – переменные затраты ; 2 – постоянные затраты ;
3 – общие затраты ; 4 – выручка

Рисунок 3.1 – График безубыточности

3.6 Анализ экономической эффективности инвестиционного проекта

3.6.1 Инвестиционная деятельность при реализации проекта

Приобретение оборудования, сырья и материалов, строительство зданий в прединвестиционный период принимаем равной 300 тысяч рублей.

Прединвестиционный период

- а) расходы на регистрацию деятельности;
- б) расходы на технико-экономическое обоснование проекта;
- в) расходы на разработку бизнес-плана.

Приобретение оборудования, строительство производственных и административн-складских помещений, затраты на прединвестиционный период предусматриваем за счет собственных средств, что составляет:

$$P_{\text{собс}} = 33750 + 14464,58 + 300 = 48514,58 \text{ тыс. руб.}$$

3.6.2 Расчет отпускной цены продукта

Цена безубыточности равна:

$$Ц = 1662,15 \text{ руб/кг.}$$

Отпускную цену продукта (целевую цену) определяем по формуле:

$$Ц = VC + \frac{FC}{Q} + \frac{r \cdot K}{Q},$$

где VC – переменные затраты на единицу продукции;

FC – постоянные затраты;

r = 15 % - процент доходности;

K – инвестиционный капитал (валовые затраты, таблица 13);

Q – объем продаж (объем производства);

Тогда

$$Ц = 314,45 + \frac{36423,77}{110,52483} + \frac{0,15 \cdot 71326,65}{110,52483} = 740,81 \text{ руб / кг.}$$

В нашем случае под отпускной ценой продукта, мы понимаем цену, в которую не входят затраты на сырье (цена предела).

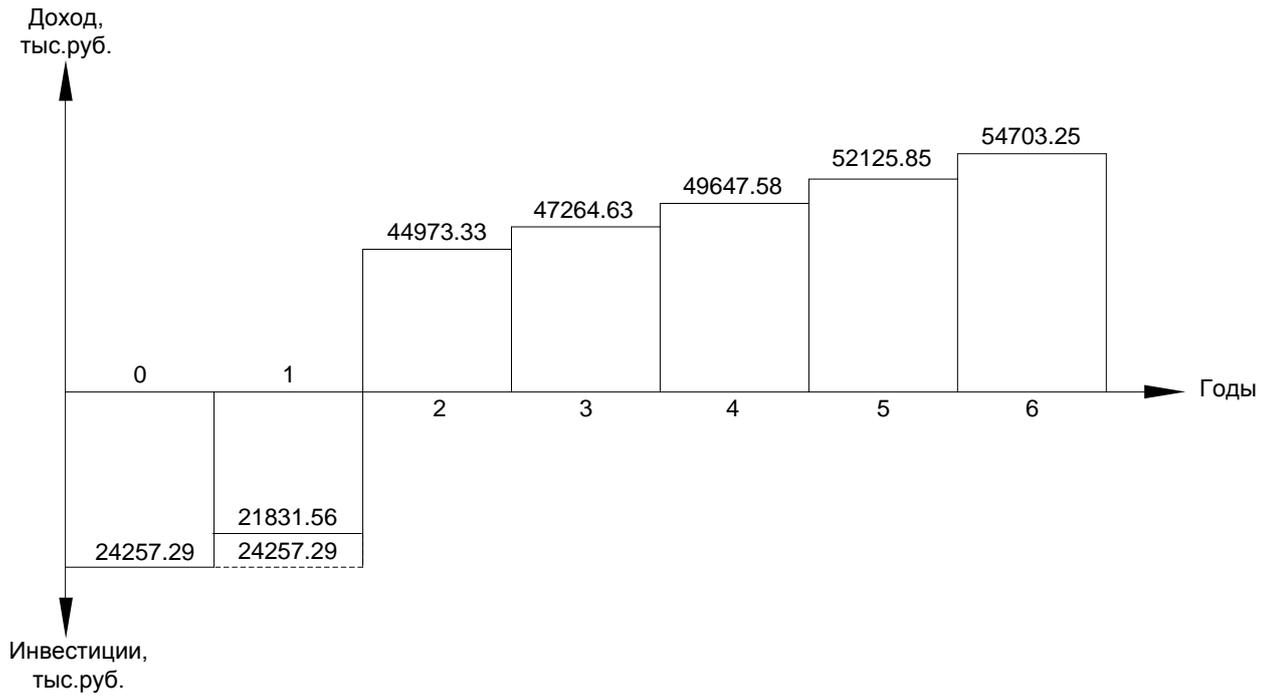
Рыночная стоимость продукта составляет порядка 1200 рублей за килограмм, поэтому в дальнейших расчетах будем использовать цену 1200 рублей за килограмм.

3.6.3 Операционная деятельность

Таблица 3.14 –Операционная деятельность

Наименование показателя	Значение по годам				
	1	2	3	4	5
1 Объем продаж кг	110524,83	110524,83	110524,8	110524,83	110524,83
2 Цена продаж руб	1000	1040	1081,6	1124,864	1169,85856
3 Выручка тыс.руб	110524,83	114945,823	119543,7	124325,402	129298,418
5 Переменные затраты тыс.руб	34754,33	36144,5016	37590,28	39093,8929	40657,6486
6 Постоянные затраты тыс.руб (Без амортизации)	36423,77	36423,77	36423,77	36423,77	36423,77
7 Прибыль до вычета налогов тыс.руб	39346,73	42377,55	45529,61	48807,74	52217,00
8 Налог на прибыль тыс.руб	9600,60274	10340,1228	11109,22	11909,0887	12740,9482
9 Проектируемый чистый доход тыс.руб	29746,13	32037,43	34420,38	36898,65	39476,05
10 Амортизация тыс.руб	15227,2	15227,2	15227,2	15227,2	15227,2
11 Чистый поток от операций тыс.руб	44973,33	47264,63	49647,58	52125,85	54703,25

Налог на прибыль рассчитываем в размере 24,4 % от прибыли до вычета налогов. Инфляция составляет 4% в год. Она будет влиять на текущий уровень цен и на переменные затраты.



----- Без вложений в банк,

Рисунок 3.2 – График потока реальных денег

Таблица 3.15 – Показатели эффективности проекта

Наименование показателя	Значения по годам						
	0	1	2	3	4	5	6
Вложения	(24257,29)	(24257,29)	-	-	-	-	-
Эффект от операционной деятельности	-	-	44973,33	47264,63	49647,58	52125,85	54703,25
Поток реальных денег	-24257,29	-24257,29	44973,33	47264,63	49647,58	52125,85	54703,25
Ставка дисконтирования	30%						
Дисконтированный поток реальных денег	-24257,29	-18659,45	26611,4	21513,259	17383	14039,007	11333,213
Чистый дисконтированный доход (NPV)	47963,17119						
Ставка дисконтирования	67,763%						
Дисконтированный поток реальных денег	-24257,29	-14470,73	16004,8	10034,16	6287,69	3938,1698	2465,4868
Чистый дисконтированный доход (NPV)	0						
Ставка дисконтирования	69%						
Дисконтированный поток реальных денег	-24257,29	-14353,43	15746,4	9792,1069	6086,271	3781,1129	2347,972
Чистый дисконтированный доход (NPV)	-856,8404163						

Денежные вложения распределим равномерно на два года инвестиций по 24257,29 тыс.руб. Деньги второго инвестиционного года вложим в банк (24,4 % в год), следовательно сумма набравших процентов компенсирует часть затрат второго инвестиционного года 21831,56 тыс.руб

3.6.4 Финансовая деятельность

Финансовая деятельность представлена в таблице 3.14, а также на графике, построенном по результатам расчетов (рисунок 3.2).

3.6.5 Показатели эффективности проекта

Расчет показателей эффективности проекта представлены в таблице 3.15. По результатам таблицы строим график окупаемости проекта. При $IRR = 67,763\%$ проект полностью окупается за 5 лет (рисунок 3.3).

Результатами расчета данного раздела является технико-экономические показатели цеха по производству (переработки сырья в продукт). Они приведены в таблице 3.16.

Таблица 3.16 – Показатели эффективности проекта

Показатель	Значение
Годовой объем производства в натуральном выражении, кг	110524.83
Валовые затраты:	71326.65
- постоянные затраты, тыс. руб	36423.77
- переменные затраты, тыс. руб	34754.33
Затраты на единицу продукции, руб/кг	645.35
Инвестиции: тыс.руб	48514.58
Выручка продаж, тыс.руб, при: $P_1 = 1200$ руб/кг $P_2 = 740,81$ руб/кг	132636 81796.2
Прибыль от продаж, тыс.руб, при: $P_1 = 1200$ руб/кг $P_2 = 740,81$ руб/кг	61309.35 10469.63
Порог рентабельности, т, при: $P_1 = 1200$ руб/кг $P_2 = 740,81$ руб/кг	41.037 58.126
Срок окупаемости, месяцев, при: $P_1 = 1200$ руб/кг $P_2 = 740,81$ руб/кг	4.45 6.3
рентабельность при: $P_1 = 1200$ руб/кг $P_2 = 740,81$ руб/кг	0,859 0,14
Норма запаса, тыс.руб, при $N_{дн} = 3,375$ дней	13.4568
Индекс доходности IRR , %	67.763

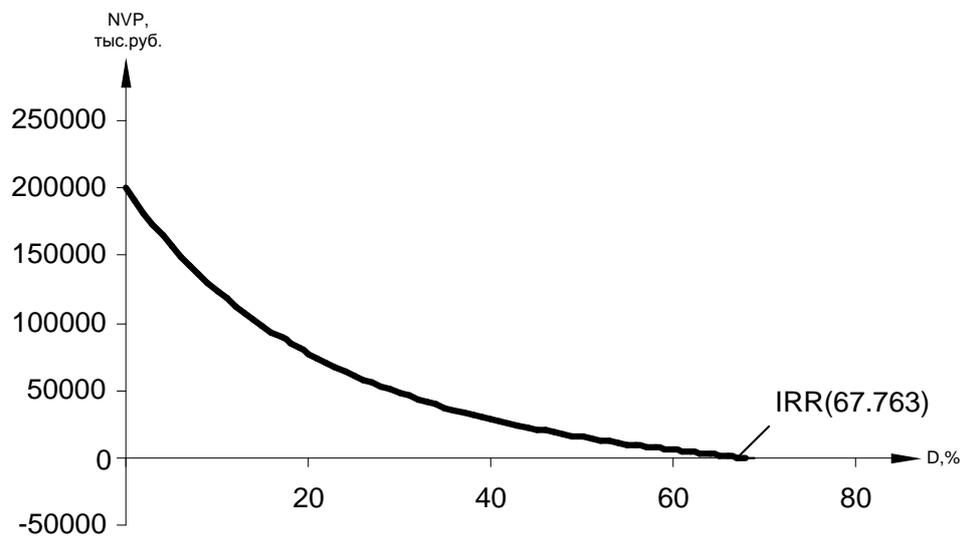


Рисунок 3.3 – График зависимости чистого приведенного дохода от ставки дисконтирования.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
3-2К11	Виноградов Виктор Сергеевич

Институт	Институт электронного обучения	Кафедра	Общей химии и химической технологии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии нефтехимии и биотехнологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика выпарного аппарата (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения с учетом проектируемых решений.	<i>Выпарной аппарат с внутренней греющей камерой, с естественной циркуляцией. Используется для упаривания раствора хлорида лития. Производительность по растворенному веществу – 0,03 кг/с. Рабочая температура процесса – 119°С. Давление в сепараторе – атмосферное. Давление в межтрубном пространстве греющей камеры – 0,45МПа.</i>
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации выпарного аппарата в следующей последовательности:</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p>	<p>- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</p> <p>- действие фактора на организм человека;</p> <p>- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</p> <p>- предлагаемые средства защиты;</p> <p>- (сначала коллективной защиты, затем индивидуальные защитные средства).</p> <p>- механические опасности (источники, средства защиты);</p> <p>- термические опасности (источники, средства защиты);</p> <p>- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</p> <p>- пожаро-взрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p>	<p>- защита селитебной зоны;</p> <p>- анализ воздействия выпарного аппарата на атмосферу;</p> <p>- анализ воздействия выпарного аппарата на гидросферу (сбросы);</p>

	<ul style="list-style-type: none"> - анализ воздействия выпарного аппарата на литосферу (отходы); - разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> - перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<ul style="list-style-type: none"> - специальные (характерные при эксплуатации выпарного аппарата) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Чулков Н.А.	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-2К11	Виноградов Виктор Сергеевич		

Социальная ответственность

4.1 Характеристика технологического процесса

Стороны ставят в числе приоритетных целей Соглашения создание условий, содействующих формированию структурно развитой, обеспечивающей нужды страны и населения, конкурентоспособной экономики на базе рабочих мест, позволяющих использовать материальные и человеческие ресурсы эффективно с точки зрения интересов всех субъектов экономики; обеспечение нового, более высокого уровня жизни граждан Российской Федерации, прежде всего за счет кардинального повышения эффективности государственного управления и социальной ответственности всех субъектов экономики, внедрения принципов достойного труда на основе подходов Международной организации труда.

Данный дипломный проект посвящен разработке установки получения металлического лития. 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.

Основным оборудованием является выпарной аппарат, закрытого типа(так, как в процессе выпаривания происходит выделение вредных паров).

Производственная деятельность на этой установки связана с образованием отходов, находящихся в различных агрегатных состояниях и имеющих загрязнение в виде вредных химических веществ (ВХВ).

Два раза в год проводится проверка токоведущих частей и заземления. Все приведенные выше меры позволяют добиться максимальной безопасности.

Работа установки может сопровождаться воздействием на атмосферу, гидросферу и почвенный покров.

4.2 Характеристика помещения

Согласно "Гигиеническим требованиям к проектированию вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий. СП 2.2.1.1312-03" Проектирование производственных зданий, помещений и сооружений должно осуществляться так, чтобы персонал, не занятый обслуживанием технологических процессов и оборудования, не подвергался воздействию вредных факторов выше нормируемых параметров. В противном случае, независимо от специальности и выполняемой работы, указанные лица рассматриваются как работающие с вредными факторами и обеспечиваются всеми видами социальной защиты, предусмотренными для таковых.

Объем, планировка и строительные решения производственных зданий должны обеспечивать возможность выполнения мероприятий, необходимых для соблюдения допустимых уровней вредных факторов в рабочей зоне производственных помещений и атмосферном воздухе населенных мест.

Объем производственных помещений на одного работающего должен составлять:

не менее 15 м^3 - при выполнении легкой физической работы с категорией энергозатрат Ia -Iб,

Указанные требования не распространяются на проектирование камер наблюдения за технологическим процессом, а также на объекты, для которых величины свободной площади оговариваются специальными требованиями.

Площадь помещений для одного работающего должна составлять не менее $4,5\text{ м}^2$, высота помещений - не менее 3,25 м.

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.

4.2.1 Метеоусловия

Метеорологические условия в производственных помещениях предприятия согласно СанПиН 2.2.4.548 - 96 должны соответствовать данным, приведенным в таблице 4.1.

Таблица 4.1 — 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

4.2.2 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 гигиеническим требованиям к проектированию вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий. СП 2.2.1.1312-03 должна быть не менее 8 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.

4.2.3 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 СП 52.13330.2011 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.

4.3 Производственная безопасность.

4.3.1 Анализ вредных и опасных факторов. Мероприятия по защите.

Установка получения и металлического литья является источником опасных и вредных факторов.

Опасными факторами являются:

- электрический ток (электрофильтры, реактор хлорирования, электролизная ванна);
- движущиеся части оборудования (шнек подачи карбоната и хлорида литья);

- нагретые поверхности (трубопроводы, выпарной аппарат, теплообменник, электролизная ванна).

Производственное помещение установки получения металлического лития по опасности электропоражений в соответствии с ПУЭ относится 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/м³; слабовыраженная рефлекторная реакция на интоксикацию, исчезающая при лечении за 24 – 48 часов); поражение средней тяжести (0.013 - 0.090 г/м³; 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/м³; после периода ремиссии возникает токсический отек легких, нарастают влажные и сухие хрипы, развивается тахикардия). Крайне тяжелое поражение (0.51 - 1.2 г/м³; 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[26].

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.

4.4 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.

4.5 Безопасность в ЧС

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – состояние, при котором в результате возникновения источника чрезвычайной ситуации на объекте, определенной территории или акватории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и окружающей природной среде.

Под источником чрезвычайной ситуации понимают опасное природное явление, аварию или опасное техногенное происшествие, широкораспространенную инфекционную болезнь людей, сельскохозяйственных животных и растений, а также применение современных

средств поражения, в результате чего произошла или может возникнуть чрезвычайная ситуация (ГОСТ 22.0.02–94).

Чрезвычайные ситуации могут быть классифицированы по значительному числу признаков. Так, по происхождению ЧС можно подразделять на ситуации техногенного, антропогенного и природного характера. ЧС можно классифицировать по типам и видам событий, лежащих в основе этих ситуаций, по масштабу распространения, по сложности обстановки (например пожары), тяжести последствий [5].

Производственные помещения установки экстракционной очистки урана по пожарной опасности относятся в соответствии с НПБ 105–03 к категории В (пожароопасные), так как присутствуют в обращении горючие и трудногорючие вещества и материалы.

К возможным причинам пожаров и взрывов на предприятии относятся: нарушение технологического режима загрузки исходных реагентов, неисправность электрооборудования, износ и коррозия оборудования, искры при электро- и газосварочных работах.

Мероприятия по предупреждению пожаров и взрывов классифицируются на: организационные, технические, режимные и эксплуатационные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию машин и внутризаводского транспорта, содержание зданий, территории, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, организацию добровольных пожарных дружин, пожарно-технических комиссий.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электроприводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

Режимные мероприятия – это запрещение курения в неустановленных местах, производства сварочных и других работ в пожароопасных помещениях.

Эксплуатационные мероприятия – это своевременные профилактические осмотры, ремонты и испытания технологического оборудования.

К основным видам техники, предназначенной для защиты различных объектов от пожаров, относятся средства сигнализации и пожаротушения.

Пожарная сигнализация должна быстро и точно сообщать о пожаре с указанием места его возникновения. Наиболее надежной системой пожарной сигнализации является электрическая пожарная сигнализация. Наиболее совершенные виды такой сигнализации дополнительно обеспечивают автоматический ввод в действие предусмотренных на объекте средств пожаротушения.

Надежность электрической системы сигнализации обеспечивается тем, что все ее элементы и связи между ними постоянно находятся под напряжением. Этим обеспечивается осуществление постоянного контроля за исправностью установки.

Комплекс мероприятий, направленных на устранение причин возникновения пожара и создание условий, при которых продолжение горения будет невозможным, называется пожаротушением.

Для ликвидации процесса горения необходимо прекратить подачу в зону горения либо горючего, либо окислителя, или уменьшить подвод теплового потока в зону реакции [5].

Вода является наиболее широко применяемым средством тушения.

В качестве первичных средств пожаротушения применяются порошковые огнетушители, марок ОП-5 и ОП-10, а также хладоновые огнетушители ОАХ.

Таким образом, в качестве технических мер обеспечения безопасности труда и промсанитарии при проектировании предусматривается:

- применение приточно-вытяжной вентиляции, с кратностью обмена воздуха не менее 6;
- применение конструкционных материалов для изготовления оборудования, устойчивых в среде фтора, гексафторида вольфрама и фтористого водорода;
- теплоизоляция аппаратов и трубопроводов, нагреваемых выше 45 0С и охлаждаемых ниже 0 0С;

- применение местных отсосов от оборудования, периодически перекрываемых;
- заземление электрооборудования;
- непрерывный контроль воздуха помещений;
- периодический планированный контроль воздуха рабочей зоны;
- наличие обмывочного пункта для экстренной санитарной обмывки трех человек;
- наличие отдельного санпропускника с душевыми, умывальниками, шкафчиками для личных вещей и спецодежды согласно требованиям СанПиН 2.6.1.012-03;
- применение подъемно-транспортных средств (талей, электрокары, тележек) для перемещения оборудования, емкостей с продуктами, обрабатываемыми в производстве.

Производственное помещение установки получения металлического лития 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 устанавливают 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.

4.6 Экологическая безопасность

В технологии получения металлического лития 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 металлический литий, 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.

Заключение

В ходе разработки дипломного проекта произведен обзор методов получения металлического литья. Подобрано стандартное оборудование и средства контроля, измерения и регулирования параметров процесса.

Разработан выпарной аппарат. Произведены материальный, тепловой, конструктивный и прочностной расчеты данного аппарата.

Рассмотрены вопросы социальной ответственности и экологичности в производстве литейных продуктов.

Произведен расчет технико-экономической эффективности инвестиционного проекта производства металлического литья.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 52857.1-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования.
2. ГОСТ Р 52857.2-2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.
3. ГОСТР52857.2 - 2007 "Сосуды и аппараты". Нормы и методы расчета. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек.
4. ГОСТ Р 52857.1 - 2007 Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочности. Общие требования.
5. ГОСТ 14249-89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность.
6. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов. / Под ред. С.В. Белова. – 2-е изд., испр. и дополн.– М.: «Высшая школа», 1999.– 448с.: ил.
7. Доманский И.В., Исаков В.П., Островский Г.М. и др. Машины и аппараты химических производств/ Под ред. В.П. Соколова.- Л.: Машиностроение, 1982.-384 с.
8. Краткий справочник физико-химических величин. Издание десятое, испр. И дополн. / Под ред. А.А. Равделя и А.М. Пономаревой – СПб.: «Иван Федоров», 2002. – 240с.
9. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – Учебник для вузов. 10-е издание, стереотипное, доработанное. Перепечатка с издания 1973г.
10. Лащинский А. А. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1981. – 382 с, ил.
11. Лащинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры.- М.: Альянс,. 2008.
12. Миронов В.М. , Беляев В.М. "Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли. Часть2" 2003. –112 с
13. Михалев М.Ф. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи. 1984 г. Изд-во Ленинград. "Машиностроение".
14. Плющев В.Е., Степин Б.Д. Химия и технология соединений лития, рубидия и цезия. - М.: Химия, 1970. - 410 с., ил.

15. Пищулин В.П., Зарипова Л.Ф. Расчет выпарного аппарата: Руководство для студентов.-Томск: Отделение № 1 ТПУ, 1992.-70с.
16. Пряников В. И. Техника безопасности в химической промышленности. – М.: Химия, 1989.
17. Суботин В.И. Литий. – М., «Машиностроение», 1999
18. Чарнко Д.В. Основы выбора технологического процесса механической обработки. - М.: Машгиз, 1963.
19. Шемякина И. В. Сорбционная очистка литийсодержащих растворов углеродными сорбентами, модифицированными гидролизованнми соединениями сурьмы (V). Диссертация на соискание ученой степени х.т.н..-Новосибирский., «ВНИПИЭТ» 2004.
20. Экономика и управление производством. Методические указания к курсовой работе для студентов ХТФ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 32 с.
21. <http://dqa.paideia.ru> – свойства солей лития
22. <http://www.ebn.ru> - свойства солей лития