

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

Инженерная школа новых производственных технологий
Научно-образовательный центр Н.М.Кижнера
Направление подготовки 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
Профиль Машины и аппараты химических и нефтехимических производств

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Установка получения композиционных материалов на основе ПЭВД с разработкой основного оборудования

УДК 620.22.419.8.002.5.027:236

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ61	Шипулин Артем Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Н.М. Кижнера	Семакина О.К.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Отделения социально- гуманитарных наук	Креницына З.В.	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор Отделения контроля и диагностики	Ахмеджанов Р. Р.	д.б.н.		

По разделу «Конструктивно-механический раздел»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
НОЦ Н.М. Кижнера				
Профессор	Краснокутская Е.А.	д.х.н., профессор		

Томск – 2018 г.

Запланированные результаты обучения по ООП 18.04.02 в 2018 г.

Код результата	Формулировка цели
P1	способность к абстрактному мышлению, анализу, синтезу
P2	готовность действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения
P3	готовность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала
P4	готовность к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач профессиональной деятельности
P5	готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
P6	способность к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов в соответствии с направлением и профилем подготовки
P7	готовность к использованию методов математического моделирования материалов и технологических процессов, к теоретическому анализу и экспериментальной проверке теоретических гипотез
P8	готовность к защите объектов интеллектуальной собственности и коммерциализации прав на объекты интеллектуальной собственности
P9	способность формулировать научно-исследовательские задачи в области реализации энерго- и ресурсосбережения и решать их
P10	способность организовать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу
P11	готовность к поиску, обработке, анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задачи
P12	способность использовать современные методики и методы, в проведении экспериментов и испытаний, анализировать их результаты и осуществлять их корректную интерпретацию;
P13	способность составлять научно-технические отчеты и готовить публикации по результатам выполненных исследований
P14	готовность разрабатывать математические модели и осуществлять их экспериментальную проверку
P15	готовность к разработке мероприятий по энерго- и ресурсосбережению, выбору оборудования и технологической оснастки
P16	готовность к разработке технических заданий на проектирование и изготовление нестандартного оборудования
P17	способность к анализу технологических процессов с целью повышения показателей энерго-и ресурсосбережения, к оценке экономической эффективности технологических процессов, их экологической безопасности
P18	способность оценивать инновационный и технологический риски при внедрении новых технологий
P19	способность разрабатывать мероприятия по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов
P20	способность создавать технологии утилизации отходов и системы обеспечения экологической безопасности производства
P21	способность оценивать экономические и экологические последствия принимаемых организационно-управленческих решений

Код результата	Формулировка цели
P22	готовность к организации работы коллектива исполнителей, принятию решений и определению приоритетности выполняемых работ
P23	способность находить оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности, стоимости и экологической безопасности производств
P24	способность использовать современные системы управления качеством в конкретных условиях производства на основе международных стандартов
P25	готовность разрабатывать информационные системы планирования и управления предприятием
P26	способность к проектной деятельности в профессиональной сфере на основе системного подхода и использования моделей для описания и прогнозирования ситуаций, осуществления качественного и количественного анализа процессов в целом и отдельных технологических стадий
P27	способность формулировать задания на разработку проектных решений
P28	готовность к проведению патентных исследований с целью обеспечения патентной чистоты новых проектных решений и определения показателей технического уровня проекта
P29	способность проводить технические и технологические расчеты по проектам, технико-экономической, функционально-стоимостной и эколого-экономической эффективности проекта
P30	готовность к оценке инновационного потенциала проекта
P31	способность использовать пакеты прикладных программ при выполнении проектных работ
P32	способность разрабатывать методические и нормативные документы, техническую документацию, а также предложения и мероприятия по реализации разработанных проектов и программ
P33	готовность к разработке учебно-методической документации для обеспечения учебного процесса
P34	готовность к постановке новых лабораторных работ и проведению практических занятий

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

Инженерная школа новых производственных технологий
Научно-образовательный центр Н.М. Кижнера
Направление подготовки 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
Профиль Машины и аппараты химических и нефтехимических производств

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель НОЦ Н.М. Кижнера

 Е.А. Краснокутская
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
4КМ61	Шипулин Артем Сергеевич

Тема работы:

Установка получения композиционных материалов на основе ПЭВД с разработкой основного оборудования	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	23.03.2018г. №2085/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><i>Кожухотрубный теплообменник для охлаждения воздуха водой:</i></p> <p>$P_{\text{вод}} = 0,6 \text{ МПа}$, $P_{\text{возд}} = 0,1 \text{ МПа}$, $t_{\text{возд}} = 105^\circ\text{C}$, $t_{\text{воды}} = 34^\circ\text{C}$ Объемный расход воздуха – $1500 \text{ м}^3/\text{ч}$; Массовый расход воды – $0,389 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$;</p> <p><i>Воздушный ресивер для очистки воздуха:</i></p> <p>Среда внутри аппарата – воздух Объемный расход - $1500 \text{ м}^3/\text{ч}$; $P_{\text{раб}} = 0,1 \text{ МПа}$; $t_{\text{внутр.аппарата}} = 150^\circ\text{C}$</p>
---	---

<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>	<p>Реферат Содержание Введение 1. Описание технологической схемы 2. Расчет кожухотрубного теплообменника 3. Расчет воздушного ресивера 4. Исследование угла естественного откоса порошкообразных материалов 5. Финансовый менеджмент 6. Безопасность и экологичность проекта Заключение Список литературы</p>
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>1. Технологическая схема (A1) 2. Кожухотрубный теплообменник. Чертеж общего вида. (A1) 3. Кожухотрубный теплообменник. Сборочные единицы. (A1) 4. Воздушный ресивер. Чертеж общего вида. (A1) 5. Воздушный ресивер. Сборочные единицы. (A2)</p>
<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>Креницына З.В.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Ахмеджанов Р. Р.</p>
<p>Конструктивно-механический раздел</p>	<p>Беляев В.М.</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>Раздел 4. Исследование угла естественного откоса порошкообразных материалов</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>12.03.18</p>
--	-----------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Семакина О.К.	к.т.н.		12.03.18

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ61	Шипулин Артем Сергеевич		12.03.18

Реферат

Магистерская диссертация состоит из пояснительной записки и 5 листов графического материала формата А1 и 1 листа формата А2.

Пояснительная записка содержит 134 с., 22 рис., 27 табл., 26 источников, **УСТАНОВКА ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПЭВД С РАЗРАБОТКОЙ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.**

Объектом исследования являются кожухотрубный теплообменник и воздушный ресивер.

В диссертации показана технико-экономическая целесообразность использования в качестве основного оборудования процесса транспортирования готового продукта полиэтилена различных марок. При использовании данного оборудования транспортировка готового продукта полиэтилена в пневмотранспорте позволяет сохранить его товарное качество.

Цель работы - расчет и подбор основного оборудования процесса транспортировки готового продукта полиэтилена с целью сохранения его товарного качества.

В процессе работы провели расчет материального и теплового балансов, технологический, конструктивный и прочностной расчет теплообменника и ресивера.

В экономической части приведены расчеты годовой производственной мощности, оплаты труда работающих, себестоимости полиэтилена и ее изменение, основные ТЭП, анализ амортизационных отчислений и точки безубыточности.

Abstract

Thesis ... with., ... Fig., ... Table, ... Sources, ... sheets of graphic material.

INSTALLATION OF OBTAINING COMPOSITE MATERIALS BASED ON LDPE WITH DEVELOPMENT OF MAIN EQUIPMENT.

The object of the study is a shell-and-tube heat exchanger and an air receiver, which are used in the production line for transportation of the finished product of polyethylene of various grades.

The thesis shows the technical and economic feasibility of using as the main equipment the process of transporting the finished product of polyethylene of various grades. With the use of this equipment, the transportation of the finished product of polyethylene in pneumotransport allows preserving its commercial quality.

The purpose of the work is the calculation and selection of the main equipment for the transportation of the finished product of polyethylene in order to preserve its commercial quality.

In the process of work, the calculation of material and heat balances, technological, constructive and strength calculation of the heat exchanger and receiver were carried out.

In the economic part, calculations are made of the annual production capacity, wages of workers, the cost of polyethylene and its change, the main TEP, the analysis of depreciation and the break-even point.

Содержание

Введение.....	9
1. Описание технологической схемы.....	10
2. Расчет кожухотрубного теплообменника.....	11
2.1 Технологический расчет.....	11
2.3 Прочностной расчет.....	16
2.3.1 Определение толщины стенок.....	16
2.3.2 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки при рабочем давлении и в условиях испытания.....	17
2.3.3 Расчет толщины стенки стандартной конической крышки при рабочем давлении и в условиях испытания.....	18
2.3.4 Расчет фланцевого соединения.....	20
2.3.5 Расчет укрепления отверстий цилиндрической обечайки.....	32
2.3.6 Расчет толщины трубной решетки.....	38
2.3.7 Расчет развальцовочного соединения.....	40
2.3.8 Подбор опор для аппарата.....	42
2.4 Гидравлический расчет.....	44
2.5 Определение толщины тепловой изоляции.....	47
3. Расчет воздушного ресивера.....	49
3.1 Прочностной расчет воздушного ресивера.....	49
3.1.2 Расчетные параметры.....	50
3.1.3 Расчет толщины стенок корпуса аппарата.....	51
3.1.4 Расчет толщины стенки эллиптической крышки.....	53
3.1.5 Расчет плоской крышки.....	54
3.1.6 Определение диаметров патрубков.....	55
3.1.7 Расчет фланцевого соединения.....	57
3.2 Расчет укреплений отверстий в цилиндрической обечайке.....	68
3.3 Подбор опор для аппарата.....	76
4. Исследование угла естественного откоса порошкообразных Материалов.....	77
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	84
6 Социальная ответственность.....	105
Заключение.....	125
Список научных трудов.....	126
Список использованной источников.....	127

Введение

В настоящее время полиэтилен является важнейшим исходным продуктом в промышленных областях разного направления. Это- радиотехническая, кабельная, химическая, медицина и другие виды производства, где используется этот продукт.

Сейчас в России и за рубежом наиболее удобным способом транспортирования готового продукта полиэтилена является процесс транспортировки полиэтилена с помощью пневмотранспорта с использованием следующего основного оборудования: воздуходувное оборудование, с помощью которого продукт перемещается по трубопроводу под действием большого потока воздуха и теплообменник, который охлаждает воздух, тем самым помогая сохранить товарное качество продукта.

В химической промышленности всё большее значение приобретает использование полиэтилена. Основными потребителями полиэтилена в настоящее время являются производства в химической области, радиотехнической, кабельной, легкой, медицине и др. А также - по изготовлению изделий общего назначения методом литья; по изготовлению изделий конструкционного назначения (в машиностроении) методами литья; по формированию нитей для изготовления волокон. В целом в стране баланс по полиэтилену складывается положительно.

С учётом намеченных вводов мощностей полиэтилена возрастает потребность в удержании его товарного качества на протяжении всего технологического процесса. Это вызывает необходимость в поддержании оптимальных технологических показателей оборудования.

Производство «Полиэтилен» на Томском нефтехимическом заводе построено с использованием основной массы импортного оборудования. В процессе работы происходит его старение, поэтому целесообразно подбирать, рассчитывать и осуществлять замены импортного оборудования на аналог отечественного.

В данной выпускной квалификационной работе проведен подбор и расчет кожухотрубного теплообменника и воздушного ресивера.

1 Описание технологической схемы

Полиэтиленовые отходы определенной марки (пленка, гранулят, порошок, дробленый полиэтилен) подаются на конвейерную ленту КЛ в ручную или из контейнера К1. По конвейеру КЛ, продукт транспортируется в шредер Ш для измельчения и первичного подогрева до температуры 70-85 градусов. После, нагретый и измельченный полиэтилен попадает на шнек экструдера 2400, где происходит его плавление и перемешивание. Далее расплав полиэтилена выдавливается через фильеру Ф и нарезается ножами. Полученный гранулят вместе с водой ОВ попадает на вибросито ВС, где происходит отделение воды и мелких частиц. С вибросита ВС гранулы полиэтилена попадают в центрифугу Ц, где происходит дополнительное осушивание продукта и с помощью нагнетания воздуха двигателем, гранулят перемещается в промежуточный контейнер хранения К2. Из контейнера К2 гранулят сыпается в секторный питатель СП для равномерного дозирования в трубопровод пневмотранспорта. По пневмотранспорту гранулы полиэтилена перемещаются большим потоком воздуха, который нагнетается воздуходувкой ВД. Этот воздух проходит через воздушный ресивер ВР для его очистки от посторонних частиц (пыль, песок, вода, капли масла). Также воздух охлаждается на теплообменнике ТО со 150 до 50 градусов потоком воды в межтрубном пространстве. Готовый продукт перемещается в секцию товарного бункера ТБ, после чего уже попадает на фасовку.

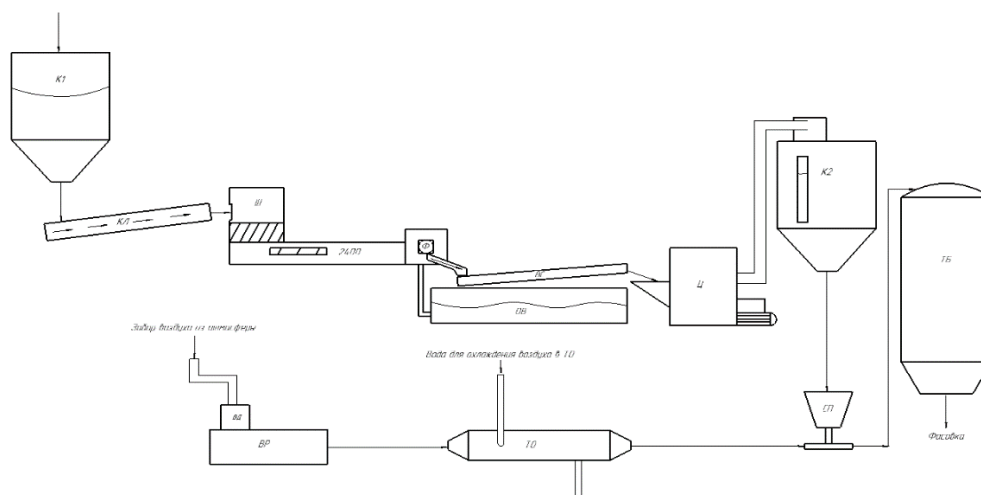


Рис. 1.1 – технологическая схема

2 Расчет кожухотрубного теплообменника

В дипломном проекте необходимо рассчитать кожухотрубный теплообменник (Рис. 2.1) для охлаждения воздуха водой.

2.1 Технологический расчет

Технологический расчет проводится с целью определения режима работы аппарата и его параметров.

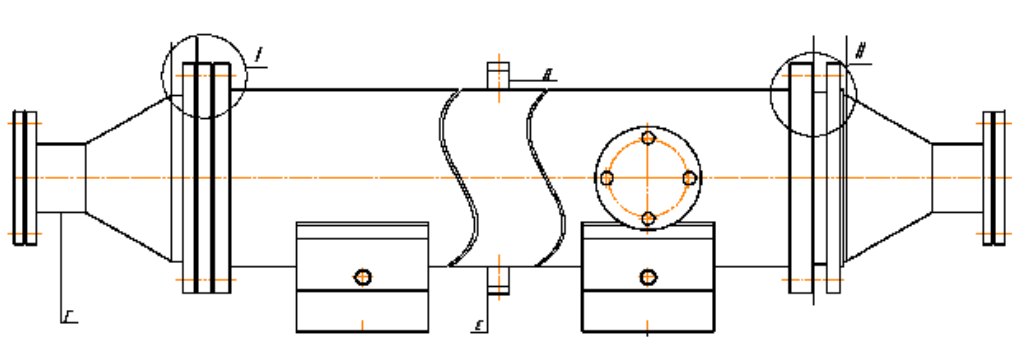


Рис. 2.1 Кожухотрубный теплообменник

Исходные данные:

Межтрубное пространство: Вода

В межтрубном пространстве вода для охлаждения воздуха:

Температура

$t_{1Н} := 28 \text{ } ^\circ\text{C}$ на входе в межтрубное пространство

$t_{1К} := 40 \text{ } ^\circ\text{C}$ на выходе из межтрубного пространства

Средняя температура воды:

$$t_{\text{ср}} := \frac{t_{1Н} + t_{1К}}{2} = 34 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Давление в межтрубном пространстве:

$P_{\text{раб}} := 0.6 \text{ МПа}$

Плотность воды при средней температуре:

$$\rho_{\text{воды}} := 994.4 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Вязкость воды при средней температуре:

$\mu_{\text{воды}} := 0.0007585 \text{ Па}\cdot\text{с}$

Трубное пространство - Воздух

Объемный расход воздуха равен $1500 \text{ м}^3/\text{ч}$

$$V_2 := 0.417 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

$P_{\text{возд}} := 0.1 \text{ МПа}$

$t_{2\text{H}} := 150 \text{ }^\circ\text{C}$ температура на входе в трубное пространство

$t_{2\text{K}} := 60 \text{ }^\circ\text{C}$ температура на выходе из трубного пространства

Средняя температура воздуха:

$$t_{1\text{cp}} := \frac{t_{2\text{K}} + t_{2\text{H}}}{2} = 105 \text{ }^\circ\text{C}$$

Плотность воздуха при средней температуре:

$$\rho_{\text{возд}} := 0.934 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Вязкость воздуха при средней температуре:

$$\mu_{\text{возд}} := 0.00002215 \text{ Па}\cdot\text{с}$$

Определяем среднюю разность температур между теплоносителями:

150 $^\circ\text{C}$ -----> 60 $^\circ\text{C}$ трубное пространство
40 $^\circ\text{C}$ <----- 28 $^\circ\text{C}$ межтрубное пространство

$$\Delta t_{\text{G}} := t_{2\text{H}} - t_{1\text{K}} = 110 \text{ }^\circ\text{C} \quad \Delta t_{\text{M}} := t_{2\text{K}} - t_{1\text{H}} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$$

Средняя разность температур:

$$\Delta t_{\text{cp}} := \frac{\Delta t_{\text{G}} - \Delta t_{\text{M}}}{2.3 \cdot \log\left(\frac{\Delta t_{\text{G}}}{\Delta t_{\text{M}}}\right)} = 63.242 \text{ }^\circ\text{C}$$

Коэффициент теплопроводности:

коэффициент теплопроводности воды

$$x := (28 \ 40)^T$$

$$y := (0.615 \ 0.635)^T$$

$$\lambda_{1\text{вход}} := \text{linterp}(x, y, t_{1\text{H}}) = 0.615 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$$

$$\lambda_{1\text{вых}} := \text{linterp}(x, y, t_{1\text{K}}) = 0.635 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$$

коэффициент теплопроводности воздуха

$$x := (60 \ 150)^T$$

$$y := (2.8 \ 3.57)^T$$

$$\lambda_{2\text{ВХОД}} := \text{linterp}(x, y, t_{2\text{Н}}) = 3.57 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$$

$$\lambda_{2\text{ВЫХ}} := \text{linterp}(x, y, t_{2\text{К}}) = 2.8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$$

Молярные массы компонентов воды и воздуха:

$$M_1 := 18 \quad \text{г/кмоль}$$

$$M_2 := 29 \quad \text{г/кмоль}$$

Теплоемкость:

теплоемкость воды

$$x := (28 \quad 40)^T$$

$$y := (4.170 \quad 4.174)^T$$

$$c_{1\text{ВХ}} := \text{linterp}(x, y, t_{1\text{Н}}) = 4.17 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$$

$$c_{1\text{ВЫХ}} := \text{linterp}(x, y, t_{1\text{К}}) = 4.174 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$$

$$c_1 := \frac{4.17 + 4.174}{2} = 4.172 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$$

теплоемкость воздуха

$$x := (60 \quad 150)^T$$

$$y := (1.005 \quad 1.015)^T$$

$$c_{2\text{ВЫХ}} := \text{linterp}(x, y, t_{2\text{К}}) = 1.005 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$$

$$c_{2\text{ВХ}} := \text{linterp}(x, y, t_{2\text{Н}}) = 1.015 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$$

$$c_2 := \frac{1.005 + 1.015}{2} = 1.01 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$$

$$c_2 := 1.01 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$$

Исходя из заданного объемного расхода, определим массовый расход воздуха:

$$G_2 := V_2 \cdot \rho_{\text{возд}} = 0.389 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Определяем тепловую нагрузку аппарата:

$$Q_{\text{Н}} := G_2 \cdot c_2 \cdot (t_{2\text{Н}} - t_{2\text{К}}) = 35.404 \quad \text{кВт}$$

Потери:

$$Q_{\text{П}} := 0.05 \cdot Q_{\text{Н}} = 1.77 \quad \text{кВт}$$

Тепловая нагрузка с учетом потерь:

$$Q := Q_H + Q_{II} = 37.174 \quad \text{кВт}$$

Определяем массовый расход воды:

$$G_1 := \frac{Q}{c_l \cdot (t_{1K} - t_{1H})} = 0.743 \quad \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Определяем объемный расход воды:

$$V_1 := \frac{G_1}{\rho_{\text{воды}}} = 7.467 \times 10^{-4} \quad \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Определим ориентировочную поверхность теплообмена:

$$K_{\text{min}} := 10 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad \text{- ориентировочное значение коэффициента теплопередачи от газа к жидкости}$$

$$K_{\text{max}} := 60 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

$$F_{\text{max}} := \frac{10^3 \cdot |Q|}{K_{\text{min}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = 58.78 \quad \text{м}^2$$

$$F_{\text{min}} := \frac{|Q| \cdot 10^3}{K_{\text{max}} \cdot \Delta t_{\text{ср}}} = 9.797 \quad \text{м}^2$$

Принимаем минимальную поверхность теплообмена - 9.7 м^2 , задавая значением - 10 м^2 . Значение $Re=15000$, соответствует турбулентному режиму.

Принимаем наружный диаметр трубок 16 мм с толщиной стенки 0,75 мм.

$$d_H := 16 \quad \text{мм}$$

2.2 Конструктивный расчет теплообменника [1]

Цель конструктивного расчета состоит в определении величины рабочей поверхности теплообменника,

Определим площадь проходного сечения трубок, приняв скорость движения воздуха из интервала 10-30 м/с:

$$\omega := 20 \quad \text{м/с}$$

$$f := \frac{G_2}{\rho_{\text{возд}} \cdot \omega} = 0.021 \quad \text{м}^2$$

$$d_B := 0.0145 \quad \text{м}$$

$$d_H := 0.016 \quad \text{м}$$

Отсюда вычисляем число трубок

$$n_{\text{расч}} := \frac{f}{0.785 \cdot d_B^2} = 126.328 \quad \text{шт}$$

Принимаем общее число трубок

$$n1 := 126$$

Расчетный диаметр принимаем равным d_B

$$d_p := 0.0145 \quad \text{м}$$

Определим расчетную длину одной трубки при одном ходе::

$$L := \frac{F_{\min}}{\pi \cdot d_p \cdot n1} = 1.707 \quad \text{м}$$

Определяем число ходов трубного пространства:

Принимаем длину трубок 1,5 метра

$$l := 1.5 \quad \text{м}$$

$$z_{\text{расч}} := \frac{L}{l} = 1.138$$

Принимаем число ходов $z=1$

$$z := 1$$

$$n := n1 \cdot z = 126$$

Количество труб a , расположенных на стороне наибольшего шестиугольника
Находим по уравнению:

$$3a \cdot (a - 1) + 1 = n$$

$$a := 7$$

Найдем количество труб, расположенных по диагонали наибольшего шестиугольника:

$$b := 2a - 1 = 13$$

Шаг между трубами:

$$t := 1.2 \cdot 16 + 2 = 21.2 \quad \text{мм}$$

Определяем диаметр для одноходового теплообменника:

$$D_{\text{BH}} := t \cdot (b - 1) + d_H = 254.416 \quad \text{м}$$

Принимаем одноходовый теплообменник с внутренним диаметром 0.257 м, с количеством труб 99, с длиной труб 1.5 м, с поверхностью теплообмена 10 м²

$$F := 10 \text{ м}^2$$

$$D_{\text{вн}} := 0.257 \text{ м}$$

Принимаем длину конических крышек 220 мм

$$h := 0.22 \text{ м}$$

Общая длина теплообменника равна:

$$H := 1 + 2 \cdot h = 1.94 \text{ м}$$

Запас поверхности теплообмена:

$$\Delta := \frac{F - F_{\text{min}}}{F} \cdot 100 = 2.033 \text{ \%}, \text{ запас поверхности теплообмена}$$

Определение диаметров патрубков

Диаметр патрубка для воды:

Принимаем скорость движения воды в патрубке:

$$\omega_1 := 0.6 \text{ м/с}$$

$$d_1 := \sqrt{\frac{4 \cdot V_1}{\pi \cdot \omega_1}} = 0.04 \text{ м}$$

Принимаем патрубок для воды с диаметром 50 мм

Диаметр патрубков для воздуха:

Задаемся скоростью движения воздуха:

$$\omega_2 := 50 \text{ м/с}$$

$$d_2 := \sqrt{\frac{4 \cdot V_2}{\pi \cdot \omega_2}} = 0.103 \text{ м}$$

Принимаем патрубок на входе и выходе воздуха диаметром 100 мм

2.3 Прочностной расчет

2.3.1 Определение толщины стенок [1], [2]

Целью прочностного расчета является анализ всех нагрузок, действующих на конструкцию, проведение конструкторского и поверочного расчетов для обоснования работоспособности элементов конструкции.

Выбираем для изготовления теплообменника марку стали 12X18H10T, так как это нержавеющая сталь высокого качества, что будет способствовать более продолжительной работе аппарата и среда внутри него будет менее загрязняться.

Расчет толщины стенок аппарата выполняем согласно ГОСТ Р 52857.2-2007. [2]

$$L_{об} := 1000l = 1.5 \times 10^3 \quad \text{мм, длина обечайки}$$

$$D := 1000 \cdot D_{вн} = 257 \quad \text{мм}$$

$$t_w := t_{1к} = 40 \quad ^\circ\text{C} \quad , \text{ температура среды}$$

$$P_{тр} := 0.1 \quad \text{МПа} \quad \text{давление в трубном пространстве}$$

$$P_{мтр} := 0.6 \quad \text{МПа} \quad \text{давление в межтрубном пространстве}$$

Допускаемое напряжение стали 12X18H10T, при рабочей температуре [с.9,прилож А., 2]:

$$\sigma_{t1к} := 181.5 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{t20} := 184 \quad \text{МПа} \quad \text{допускаемое напряжение материала при нормальных условиях}$$

$$\eta := 1 \quad \text{коэффициент запаса прочности}$$

$$R_{02} := 335 \quad \text{МПа} \quad \text{предел текучести при 20 градусах}$$

$$\eta_y := 2.4 \quad \text{коэффициент запаса устойчивости для рабочих условий}$$

$$\eta_t := 1.2 \quad \text{коэффициент запаса по пределу текучести для пневматических условий}$$

Для условий испытания сосудов из углеродистых, низколегированных, ферритных, аустенитно-ферритных мартенситных сталей и сплавов на железоникелевой основе допускаемое напряжение вычисляют по формуле [с.5,2]:

$$\sigma_{н} := \frac{R_{02}}{\eta_t} = 279.167 \quad \text{МПа}$$

Пробное давление для условий испытаний в межтрубном пространстве:

$$P_{н} := 1.25(P_{мтр}) \cdot \frac{\sigma_{t20}}{\sigma_{t1к}} = 0.76 \quad \text{МПа}$$

2.3.2 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки при рабочем давлении и в условиях испытания

$$s \geq s_p + c$$

ϕ - коэффициент прочности продольного сварного шва

Так как сварной шов стыковой и выполняется вручную с одной стороны, а длина контролируемого шва составляет 100% от общей длины, то

$$\phi_p := 0.9 \quad [\text{с.22,2}]$$

$$s_{p1} := \max \left[\frac{P_H \cdot D}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_H - P_H}, \frac{(P_{MTP}) \cdot D}{2 \cdot \sigma_{t1K} \cdot \phi_p - (P_{MTP})} \right] = 0.473 \text{ мм}$$

$$s_p := \text{ceil}(s_{p1}) = 1 \text{ мм} \quad \text{расчетная толщина стенки}$$

$$c := 2 \text{ мм} \quad \text{прибавка на коррозию и эрозию}$$

$$s_{пр} := s_p + c = 3 \text{ мм}$$

Принимаем толщину стенки до 8 мм

$$s := 8 \text{ мм}$$

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } \frac{s - c}{D} < 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{sl} = \text{"Условие применения формул выполняется"}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление: - при рабочих условиях

$$P_d := \frac{2 \cdot \sigma_{t1K} \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} \quad P_d = 7.453 \text{ МПа}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление: - при условиях испытаний

$$P_{дисп} := \frac{2 \cdot \sigma_H \cdot \phi_p \cdot (s - c)}{D + (s - c)} \quad P_{дисп} = 11.464 \text{ МПа}$$

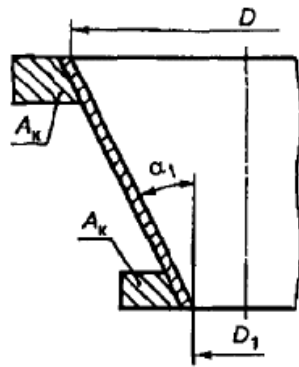
Проверка на условие прочности

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } (P_{MTP}) \leq P_d \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{sl} = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

2.3.3 Расчет толщины стенки стандартной конической крышки при рабочем давлении и в условиях испытания

Расчет конической крышки (рис.2.2) производится по ГОСТ Р 52857.2-2007 [2]



Допускаемое напряжение материала аппарата при
 $t=40\text{ }^{\circ}\text{C}$
 $\sigma_{\text{д}} := 181.5\text{ МПа}$

Рис. 2.2

Толщины стенок переходной части цилиндрической обечайки и конической крышки должны быть не менее рассчитанной толщины стенки цилиндрической обечайки

$\alpha_1 := 70 \cdot \text{deg} = 1.222\text{ рад}$ половина угла при вершине конической крышки

$s_1 := 25\text{ мм}$ толщина стенки переходной части конической крышки

$s_2 := 10\text{ мм}$ толщина стенки переходной части цилиндрической обечайки

Определяем расчетные длины переходных частей

$$a_{1p} := 0.7 \cdot \sqrt{\frac{D}{\cos(\alpha_1)} \cdot (s_1 - c)} = 92.024\text{ мм}$$

$$a_{2p} := 0.7 \cdot \sqrt{D \cdot (s_2 - c)} = 31.74\text{ мм}$$

$$D_k := D - 1.4 \cdot a_{1p} \cdot \sin(\alpha_1) = 135.936\text{ мм}$$

Условие применения формул:

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие применения формул выполняется"} & \text{if } 0.001 \leq \frac{s_1 \cdot \cos(\alpha_1)}{D} \leq 0.05 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{sl} = \text{"Условие применения формул выполняется"}$

Проверим коническую обечайку, при нагружении внутренним давлением

$D_1 := 100\text{ мм}$ диаметр меньшего основания конической крышки

Модуль продольной упругости при рабочей температуре:

$$E := 1.67 \cdot 10^5\text{ МПа}$$

Пробное давление для условий испытаний в трубном пространстве:

$$P_{\text{и.тр}} := 1.25(P_{\text{тр}}) \cdot \frac{\sigma_{t20}}{\sigma_{t1k}} = 0.127\text{ МПа}$$

Расчетная толщина стенки конической крышки:

$$s_{k.p.} := \max \left(\frac{P_{\text{тр}} \cdot D_k \cdot 1}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_d - P_{\text{тр}} \cdot \cos(\alpha_1)}, \frac{P_{\text{н.тр}} \cdot D_k \cdot 1}{2 \cdot \phi_p \cdot \sigma_d - P_{\text{н.тр}} \cdot \cos(\alpha_1)} \right) = 0.053 \text{ мм}$$

Толщина стенки конической крышки с учетом прибавки на коррозию:

$$s_k := \text{ceil}(s_{k.p.} + c) = 3 \text{ мм}$$

Принимаем исполнительную толщину стенки конической крышки 8 мм

$$s_k := 8 \text{ мм}$$

Допускаемое давление из условия прочности: - при рабочих условиях

$$P_n := \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot \phi_p \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos(\alpha_1)} + (s_k - c)} = 4.859 \text{ МПа}$$

Допускаемое давление из условия прочности: - при условиях испытаний

$$P_{\text{исл}} := \frac{2 \cdot \sigma_{\text{н}} \cdot \phi_p \cdot (s_k - c)}{\frac{D_k}{\cos(\alpha_1)} + (s_k - c)} = 7.473 \text{ МПа}$$

Проверка на условие прочности:

$$Usl := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } (P_{\text{тр}}) \leq P_n \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Usl = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

2.3.4 Расчет фланцевого соединения [6], [8]

Так как среда в теплообменнике неагрессивная, выбираем фланцы с гладкой уплотнительной поверхностью, для условных давлений среды до 1.6 МПа (Рис.2.3)

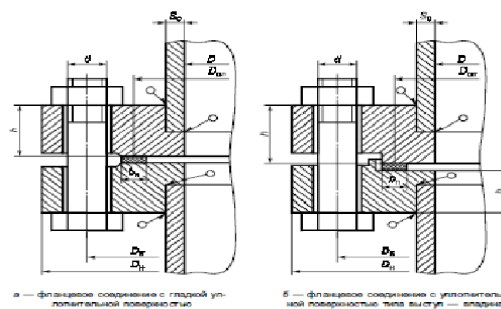


Рис. 2.3 - Плоский фланец

Исходные данные:

$$\begin{array}{lll} D := 257 \text{ мм} & h := 20 \text{ мм} & P := 0.76 \text{ МПа} \\ D_H := 370 \text{ мм} & h_{\Pi} := 2 \text{ мм} & M := 0.05 \cdot 10^7 \text{ Н*мм} \\ D_{\phi} := 335 \text{ мм} & S_0 := 8 \text{ мм} & F := 0.1 \cdot 10^6 \text{ Н} \\ D_{\text{СП}} := 294 \text{ мм} & d := 16 \text{ мм} & c_0 := 1.2 \text{ мм} \\ b_{\Pi} := 16 \text{ мм} & n := 12 & t := 150 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{array}$$

Фланцевое соединение рассчитывается на прочность и герметичность. Также рассчитывается угол поворота фланца, нагрузка на крепежные элементы и др.

Материал шпилек - сталь 35Х

Материал прокладки - паронит ПОН.

Выбор крепежных элементов:

$$b_s := 2$$

Определение расчетных параметров

Расчетные температуры

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

$$t_{\phi} := 0.96 \cdot t \quad t_{\phi} = 144$$

расчетная температура шпилек

$$t_{\phi} := 0.85 \cdot t \quad t_{\phi} = 127.5$$

Допускаемые напряжения для шпилек из стали 35Х

В рабочем состоянии:

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 230 \\ 225 \end{pmatrix}$$

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

$$\sigma_{\text{д.}\phi} = 228.5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для шпилек при рабочей температуре

$$E_{\phi} := 2.14 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

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

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

Модуль упругости для шпилек при температуре испытания 20 °С

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

Коэффициент линейного расширения стали 35Х при $t = 20-100$ °С

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

Допускаемые напряжения для фланцев и обечаек стали 12Х18Н10Т

$$t := \begin{pmatrix} 150 \\ 200 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 168 \\ 160 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\phi}), 0.5) \quad \sigma = 168.5 \text{ МПа}$$

Так как фланцы изготавливается из листового проката

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{\text{д.}\phi} := \eta \cdot \sigma \quad \sigma_{\text{д.}\phi} = 168.5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали 12Х18Н10Т при рабочей температуре:

$$E := 1.94 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали 12Х18Н10Т при $t = 20$ °С

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

Модуль упругости для стали 12Х18Н10Т при температуре испытания 20 °С

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

Коэффициент линейного расширения стали 12Х18Н10Т при $t = 20 - 100$ °С

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

Эффективная ширина плоской прокладки:

$$b_{\Pi} := 12 \text{ мм}$$

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

$$b_0 = 12 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки [8]

$$m := 2.5$$

$$q_{\text{обж}} := 20 \text{ МПа}$$

$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{обж}} := 0.9$$

$$E_{\Pi} := 200 \text{ МПа}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке

$$P_{\text{обж}} := 0.5 \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P| \quad P_{\text{обж}} = 1.053 \times 10^4 \text{ Н}$$

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

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

$$R_{\Pi} = 2.106 \times 10^4 \text{ Н}$$

Площадь поперечного сечений шпилек:

$$f_{\zeta} := 225 \text{ мм}^2$$

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

$$A_{\zeta} := n \cdot f_{\zeta} \quad A_{\zeta} = 2.7 \times 10^5 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления

$$Q_d := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{сп}})^2 \cdot P \quad Q_d = 5.159 \times 10^4 \text{ Н}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента

$$Q_{\text{FM}} := \max \left(\left| F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \right|, \left| F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \right| \right) \quad Q_{\text{FM}} = 1.068 \times 10^5 \text{ Н}$$

Податливость прокладки:

$$y_{\Pi} := \frac{h_{\Pi} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\Pi}} \quad y_{\Pi} = 8.12 \times 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

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

$$L_{60} := 62 \text{ мм}$$

Эффективная длина шпильки при определении податливости

$$L_6 := \begin{cases} L_{60} + 0.28 \cdot d & \text{if } bs = 1 \\ L_{60} + 0.56 \cdot d & \text{if } bs = 2 \end{cases} \quad L_6 = 70.96 \text{ мм}$$

Податливость шпилек:

$$y_6 := \frac{L_6}{E_{206} \cdot A_6} \quad y_6 = 1.206 \times 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

Расчетные параметры фланцев

параметр длины обечайки:

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} \quad l_0 = 45.343 \text{ мм}$$

отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру:

$$K := \frac{D_H}{D} \quad K = 1.44$$

коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца:

$$\beta_T := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} \quad \beta_T = 1.735$$

$$\beta_U := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} \quad \beta_U = 6.045$$

$$\beta_Y := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] \quad \beta_Y = 5.548$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \quad \beta_Z = 2.864$$

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

$$\beta_F := 0.91 \quad \beta_V := 0.55 \quad f_{\text{www}} := 1$$

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad \lambda = 1.058$$

Угловая податливость фланцев:

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_\Phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad y_\Phi = 8.231 \times 10^{-10}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\Phi H} := \left(\frac{\pi}{4}\right)^3 \cdot \frac{D_\delta}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H} \quad y_{\Phi H} = 2.769 \times 10^{-10}$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками:

$$C_F := \max \left[1, \sqrt{\frac{\pi \cdot D_\delta}{n \cdot \left(2 \cdot d + \frac{6 \cdot h}{m + 0.5} \right)}} \right] \quad C_F = 1.104$$

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

Плечо действия усилий в шпильках для приварных встык и плоских фланцев

$$b := 0.5 \cdot (D_\delta - D_{сп}) \quad b = 20.5$$

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

$$e := 0.5 \cdot (D_{сп} - D - S_0) \quad e = 14.5$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев:

$$S_\gamma := S_0$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев:

$$\gamma := \frac{1}{y_\Pi + y_\delta \cdot \frac{E_{206}}{E_\delta} + 2 \cdot b^2 \cdot y_\Phi \cdot \frac{E_{20}}{E}} \quad \gamma = 6.094 \times 10^5$$

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

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\Pi} - 2 \cdot e \cdot y_{\Phi} \cdot b}{y_{\Pi} + y_{\delta} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\Phi}} \quad \alpha = 0.801$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$\alpha_M := \frac{y_{\delta} + 2 \cdot y_{\Phi H} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{СП}}} \right)}{y_{\delta} + y_{\Pi} \cdot \left(\frac{D_{\delta}}{D_{\text{СП}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\Phi H} \cdot b^2} \quad \alpha_M = 0.362$$

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

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_{\Phi} \cdot h \cdot (t_{\Phi} - 20) - 2\alpha_{\delta} \cdot h \cdot (t_{\delta} - 20)] \quad Q_t = 1.506 \times 10^4 \text{ Н}$$

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

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

$$P_{\delta 1} = 1.45 \times 10^5 \text{ Н}$$

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

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

$$P_{\text{обж}} = 1.053 \times 10^4 \text{ Н} \quad P_{\delta 2} = 2.484 \times 10^5 \text{ Н}$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений при затяжке фланцевого соединения:

$$P_{\bar{\sigma}_M} := \max(P_{\bar{\sigma}_1}, P_{\bar{\sigma}_2}) \quad P_{\bar{\sigma}_M} = 2.484 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Расчетная нагрузка на шпильки фланцевых соединений в рабочих условиях:

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

$$P_{\bar{\sigma}_p} = 2.979 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Проверка прочности шпилек и прокладки

Расчетные напряжения в шпильках:

- при затяжке

$$\sigma_{\bar{\sigma}_1} := \frac{P_{\bar{\sigma}_M}}{A_{\bar{\sigma}}} \quad \sigma_{\bar{\sigma}_1} = 92 \quad \text{МПа}$$

- в рабочих условиях

$$\sigma_{\bar{\sigma}_2} := \frac{P_{\bar{\sigma}_p}}{A_{\bar{\sigma}}} \quad \sigma_{\bar{\sigma}_2} = 110.34 \quad \text{МПа}$$

Проверка условий прочности шпилек при затяжке и в рабочих условиях:

$$\text{Usl}_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности в при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\bar{\sigma}_1} > \sigma_{206} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях выполняются"} & \text{if } \sigma_{\bar{\sigma}_2} > \sigma_{\text{д.б}} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

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

$$\sigma_{\bar{\sigma}_1} = 92 \quad \text{МПа} \quad \sigma_{206} = 230 \quad \text{МПа} \quad \sigma_{\bar{\sigma}_2} = 110.34 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{\text{д.б}} = 228.5 \quad \text{МПа}$$

Удельное давление на прокладку:

$$q := \frac{\max(P_{\bar{\sigma}_M}, P_{\bar{\sigma}_p})}{\pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\text{п}}} \quad q = 26.879 \quad \text{МПа}$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок):

$$U_{sl_2} := \begin{cases} \text{"Условие прочности прокладки НЕ выполняется"} & \text{if } q > q_d \\ \text{"Условие прочности прокладки выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$U_{sl_2} = \text{"Условие прочности прокладки выполняется"}$$

$$q = 26.879 \text{ МПа} \quad q_d = 130 \text{ МПа}$$

Расчет фланцев на статическую прочность

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

$$M_M := C_F \cdot P_{бМ} \cdot b \quad M_M = 5.62 \times 10^6 \text{ Н*мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях:

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

$$M_p = 9.275 \times 10^6 \text{ Н*мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

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

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} \quad \sigma_{0M} = 446.868 \text{ МПа}$$

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

- радиальное напряжение

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M \quad \sigma_{RM} = 79.235 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} \quad \sigma_{TM} = 76.328 \text{ МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

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

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_0 - c_o)^2 \cdot D_{пр}} \quad \sigma_{0p} = 737.502 \quad \text{МПа}$$

максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца

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

$$\sigma_{0mp} = 27.98 \quad \text{МПа}$$

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

- радиальное напряжение

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p \quad \sigma_{Rp} = 130.768 \quad \text{МПа}$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} \quad \sigma_{Tp} = 125.97 \quad \text{МПа}$$

Проверка условий статической прочности фланцев:

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

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

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

PR_3 := "Условия статической прочности выполняются"

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

$$K_T := 1$$

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

Usl_3 = "Условия статической прочности выполняются"

$$\sigma_{3max} = 526.103 \quad \text{МПа} \quad K_T \cdot \sigma_{20} = 184 \quad \text{МПа}$$

$$\sigma_{Pmax} = 840.291 \quad \text{МПа} \quad K_T \cdot \sigma_{д.ф} = 168.5 \text{ МПа}$$

Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца:

$$\Theta := M_p \cdot y_{ф} \cdot \frac{E_{20}}{E} \quad \Theta = 7.792 \times 10^{-3}$$

Допустимый угол поворота плоского фланца: $\Theta_{д} := 0.013$

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

Usl_P = "Условие поворота плоского фланца выполняется"

В расчете фланцевого соединения все условия выполняются, что говорит о верном расчете и выборе правильной конструкции соединения.

Определение температурных деформаций

$\sigma_{t1к} = 181.5 \quad \text{МПа}$ допускаемое напряжение материала корпуса 12X18H10T

$\sigma_{\text{доп}}$:= 179 МПа допускаемое напряжение для материала трубок 12X18H10T

$L_{\text{об}}$:= 1000l = 1.5×10^3 мм длина труб в межтрубном пространстве

$t_t := 105 \quad ^\circ\text{C}$ температура стенки труб

$t_k := 34 \quad ^\circ\text{C}$ температура стенки корпуса

$E_t := 1.52 \cdot 10^5 \quad \text{МПа}$, модуль продольной упругости материала трубок

$$x := (60 \quad 150)^T$$

$$y := (1.95 \cdot 10^5 \quad 1.86 \cdot 10^5)^T$$

$E_k := \text{linterp}(x, y, t_k) = 1.976 \times 10^5$ МПа, модуль продольной упругости материала корпуса

$\alpha_t := 17 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ Коэффициент линейного расширения для материала трубок

$\alpha_k := 16.6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ Коэффициент линейного расширения для материала корпуса

$F_t := 0.0035 \text{ м}^2$ Площадь поперечного сечения всех труб

$F_k := 0.0066 \text{ м}^2$ Площадь поперечного сечения корпуса

Температурное усилие в конструкции:

$$Q_t := \frac{(\alpha_t \cdot t_t - \alpha_k \cdot t_k) \cdot E_t \cdot F_t \cdot E_k \cdot F_k}{E_t \cdot F_t + E_k \cdot F_k} = 0.461 \text{ МН}$$

Далее определим температурные напряжения в трубах и корпусе:

$$\sigma_t := \frac{Q_t}{F_t} = 131.776 \text{ МПа}$$

$$\sigma_k := \frac{Q_t}{F_k} = 69.881 \text{ МПа}$$

Удлинение материала:

$$\delta_t := \frac{Q_t \cdot L}{E_t \cdot F_t} = 1.48 \times 10^{-3} \text{ м} \quad \delta_k := \frac{(Q_t \cdot L)}{(E_k \cdot F_k)} = 6.036 \times 10^{-4} \text{ м}$$

$$\delta := 1000(\delta_t + \delta_k) = 2.083 \text{ мм} \quad \sigma_{t1k} = 181.5 \text{ МПа}$$

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_k \leq \sigma_{t1k} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{sl} = \text{"Условие прочности выполняется"}$

$$U_{sl} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_t \leq \sigma_d \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$U_{sl} = \text{"Условие прочности выполняется"}$

Таким образом, выбираем кожухотрубчатый теплообменник с сальниковым уплотнением, для удобства чистки внутренней поверхности корпуса и для ремонта трубного пучка.

2.3.5 Расчет укрепления отверстий цилиндрической обечайки [3]

Расчет укреплений отверстий в цилиндрической и эллиптической оболочках, нагруженных внутренним давлением, по ГОСТ Р 52857.3—2007 .

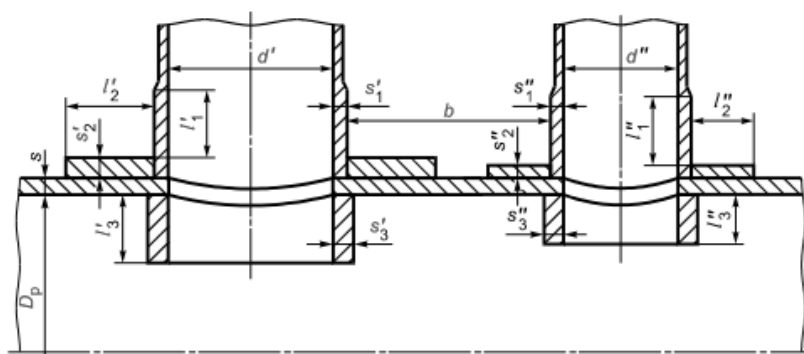


Рис. 2.4

Исходные данные:

Внутренний диаметр оболочки, мм: $D := 257$ мм

Внутреннее расчетное давление, МПа: $P_T := 0.6$ МПа

Расчётная температура, C^0 : $t_R := 40$ C^0

Исполнительная толщина стенки оболочки, мм: $s := 8$ мм

Расстояние от центра укрепления отверстия до оси, мм: $x := 0$

Диаметр отверстия, мм: $d1 := 50$ мм

Диаметр отверстия, мм: $d2 := 50$ мм

Толщина стенки (внутренней) штуцера, мм: $s_1 := 0$ мм

Толщина стенки (внешней) штуцера, мм: $s_3 := 6$ мм

Длина внешней части штуцера, мм: $l_1 := 105$ мм

Длина внутренней части штуцера, мм: $l_3 := 6$ мм

- длина внутренней принимается равной толщине стенки штуцера для избежания ослабления при сварке [3]

Ширина накладного кольца, мм: $l_2 := 0.5d1$

Ширина накладного кольца, мм: $l_{21} := 0.5d2$

Толщина накладного кольца, мм: $s_2 := s$

Прибавка расчетной толщины стенки, мм: $c := 2.8$

Коэффициент прочности сварных швов: $\phi := 0.9$

Допускаемое напряжение для материала при расчётной температуре, МПа:

$\sigma_d := 181.5$

Допускаемое напряжение для материала накладного кольца при расчетной температуре, МПа:

$$\sigma_{d1} := \sigma_d$$

Допускаемое напряжение для материала внешней части штуцера при расчетной температуре, МПа:

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

Допускаемое напряжение для материала внутренней части штуцера при расчетной температуре, МПа:

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

Высота , мм: $\underset{\text{mm}}{h} := 0.25 \cdot D$

Расчёт укрепления отверстия в оболочке:

Выбор типа оболочки:

$$n := \begin{cases} \text{цилиндрическая} & n = 1 \\ \text{эллиптическая} & \end{cases}$$

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

Расчётный диаметр оболочки:

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

$D_p = 257 \quad \text{мм}$

Тип = "цилиндрическая оболочка"

Расчётный диаметр 1-го отверстия в стенке обечайки, мм:

$$d1_p := \begin{cases} d1_p \leftarrow d1 + 2 \cdot c & \text{if } n = 1 \\ d1_p \leftarrow \frac{(d1 + 2 \cdot c)}{\sqrt{1 - \left(2 \cdot \frac{x}{D_p}\right)^2}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$d1_p = 55.6$

Проверка условия применения формул для расчёта укрепления отверстий:

Для первого отверстия:

```

Usl := if n = 1
      | "отношение диаметров НЕ выполняется" if  $\frac{(d1_p - 2 \cdot c)}{D} > 1$ 
      | "отношение толщины к диаметру НЕ выполняется" if  $\frac{(s - c)}{D} > 0.1$ 
      | "условия применения формул выполняются" otherwise
      if n = 2
      | "отношение диаметров НЕ выполняется" if  $\frac{(d1_p - 2 \cdot c)}{D} > 0.6$ 
      | "отношение толщины к диаметру НЕ выполняется" if  $\frac{(s - c)}{D} > 0.1$ 
      | "условия применения формул выполняется" otherwise

```

Tip = "цилиндрическая оболочка"

Usl = "условия применения формул выполняются"

Расчётный диаметр 2-го отверстия в стенке обечайки, мм:

```

d2_p := d2_p ← d2 + 2 · c if n = 1
      | d2_p ←  $\frac{(d2 + 2 \cdot c)}{\sqrt{1 - \left(2 \cdot \frac{x}{D_p}\right)^2}}$  otherwise

```

d2_p = 55.6 мм

Для второго отверстия

```

Usl := if n = 1
      | "отношение диаметров НЕ выполняется" if  $\frac{(d2_p - 2 \cdot c)}{D} > 1$ 
      | "отношение толщины к диаметру НЕ выполняется" if  $\frac{(s - c)}{D} > 0.1$ 
      | "условия применения формул выполняются" otherwise
      if n = 2
      | "отношение диаметров НЕ выполняется" if  $\frac{(d2_p - 2 \cdot c)}{D} > 0.6$ 
      | "отношение толщины к диаметру НЕ выполняется" if  $\frac{(s - c)}{D} > 0.1$ 
      | "условия применения формул выполняется" otherwise

```

Tip = "цилиндрическая оболочка"

Usl = "условия применения формул выполняются"

Расчётная толщина стенки оболочки:

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

$$s_p = 0.473 \quad \text{мм}$$

**Расчётная толщина стенки штуцера:
для 1-го отверстия**

$$s'_{1p} := \frac{P_r \cdot (d1 + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_{d1} \cdot \phi - P_r} = 0.102 \quad \text{мм}$$

Расчётные длины штуцеров:

$$l_{11p} := \min \left[l_1, \sqrt{(d1 + 2 \cdot c) \cdot (s - c)} \right] \quad l_{11p} = 17.004 \quad \text{мм}$$

$$l_{31p} := \min \left[l_3, 0.5 \cdot \sqrt{(d1 + 2 \cdot c) \cdot (s_3 - 2 \cdot c)} \right] \quad l_{31p} = 2.358 \quad \text{мм}$$

Расчётная ширина накладного кольца:

$$l_{21p} := \min \left[l_2, \sqrt{D_p \cdot (s_2 + s - c)} \right] \quad l_{21p} = 25 \quad \text{мм}$$

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

$$l_{1p} := \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 36.557 \quad \text{мм}$$

Отношения допускаемых напряжений: для внешней части штуцера:

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

для накладного кольца:

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

для внутренней части штуцера:

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

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d1_{op} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 14.623 \text{ мм}$$

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

$$d1_o := 2 \cdot \left[\left(\frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 745.531 \text{ мм}$$

Проверка необходимости укрепления отверстия:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"Необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d1_o < d1 \\ \text{"Укрепление не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Tip = "цилиндрическая оболочка"

Prov = "Укрепление не требуется"

Проверка условия укрепления одиночного отверстия:

$$A_{11} := l_{1p} \cdot (s_1 - s_{1p} - c) \cdot \chi_1 = -49.349 \text{ мм}$$

$$A_{21} := l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 = 200 \text{ мм}$$

$$A_{31} := l_{3p} \cdot (s_3 - c - c) \cdot \chi_3 = 0.943 \text{ мм}$$

$$A_{1p.c} := l_{1p} \cdot (s - s_p - c) = 172.809 \text{ мм}$$

$$A_{1p} := 0.5 \cdot (d1_p - d1_{op}) \cdot s_p = 9.688 \text{ мм}$$

$$\text{Summa1} := A_{11} \cdot \chi_1 + A_{21} \cdot \chi_2 + A_{31} \cdot \chi_3 + A_{1p.c} = 324.403$$

$$\text{Prov}' := \begin{cases} \text{"условие укрепления выполняется"} & \text{if } \text{Summa1} \geq A_{1p} \\ \text{"условие укрепления НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Tip = "цилиндрическая оболочка"

Prov' = "условие укрепления выполняется"

Расчётный диаметр 2-го отверстия в стенке обечайки:

$$d2_p := \begin{cases} d2_p \leftarrow d2 + 2 \cdot c & \text{if } n = 1 \\ d2_p \leftarrow \frac{(d2 + 2 \cdot c)}{\sqrt{1 - \left(2 \cdot \frac{x}{D_p} \right)^2}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d2_p = 55.6 \text{ мм}$$

Для второго отверстия:

```

Usl := if n = 1
      | "отношение диаметров НЕ выполняется" if  $\frac{(d_{2p} - 2 \cdot c)}{D} > 1$ 
      | "отношение толщины к диаметру НЕ выполняется" if  $\frac{(s - c)}{D} > 0.1$ 
      | "условия применения формул выполняются" otherwise
      if n = 2
      | "отношение диаметров НЕ выполняется" if  $\frac{(d_{2p} - 2 \cdot c)}{D} > 0.6$ 
      | "отношение толщины к диаметру НЕ выполняется" if  $\frac{(s - c)}{D} > 0.1$ 
      | "условия применения формул выполняется" otherwise
      Tip = "цилиндрическая оболочка"
      Usl = "условия применения формул выполняются"

```

для 2-го отверстия:

$$s_{2p}' := \frac{P_r \cdot (d_2 + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_{d1} \cdot \phi - P_r} = 0.102$$

Расчётные длины штуцеров:

$$l_{12p} := \min\left[l_1, \sqrt{(d_2 + 2 \cdot c) \cdot (s - c)}\right] \quad l_{12p} = 17.004$$

$$l_{32p} := \min\left[l_3, 0.5 \cdot \sqrt{(d_2 + 2 \cdot c) \cdot (s_3 - 2 \cdot c)}\right] \quad l_{32p} = 2.358$$

Расчётная ширина накладного кольца:

$$l_{22p} := \min\left[l_2, \sqrt{D_p \cdot (s_2 + s - c)}\right] \quad l_{22p} = 25$$

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

$$l_{2p} := \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 36.557$$

Отношения допускаемых напряжений: для внешней части штуцера

$$\chi_{11} := \min\left(1, \frac{\sigma_{d1}}{\sigma_d}\right) \quad \chi_{11} = 1$$

для накладного кольца

$$\chi_{12} := \min\left(1, \frac{\sigma_{d2}}{\sigma_d}\right) \quad \chi_{12} = 1$$

для внутренней части штуцера

$$\chi_{13} := \min\left(1, \frac{\sigma_{d3}}{\sigma_d}\right) \quad \chi_{13} = 1$$

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d_{2op} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 14.623 \quad \text{мм}$$

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

$$d_{2o} := 2 \cdot \left[\left(\frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 745.531$$

Проверка необходимости укрепления отверстия

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"Необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d_{2o} < d_2 \\ \text{"Укрепление не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Tip = "цилиндрическая оболочка"

Prov = "Укрепление не требуется"

Проверка условия укрепления одиночного отверстия:

$$A_{12} := l_{2p} \cdot (s_1 - s_{2p} - c) \cdot \chi_1 = -49.349 \quad \text{мм}$$

$$A_{22} := l_{2p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 = 200 \quad \text{мм}$$

$$A_{32} := l_{32p} \cdot (s_3 - c - c) \cdot \chi_3 = 0.943 \quad \text{мм}$$

$$A_{2p,c} := l_{2p} \cdot (s - s_p - c) = 172.809 \quad \text{мм}$$

$$A_{2p} := 0.5 \cdot (d_{2p} - d_{2op}) \cdot s_p = 9.688 \quad \text{мм}$$

$$\text{Summa2} := A_{12} \cdot \chi_1 + A_{22} \cdot \chi_2 + A_{32} \cdot \chi_3 + A_{2p,c} = 324.403$$

$$\text{Prov1}' := \begin{cases} \text{"условие укрепления выполняется"} & \text{if } \text{Summa2} \geq A_{2p} \\ \text{"условие укрепления НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Tip = "цилиндрическая оболочка"

Prov1' = "условие укрепления выполняется"

2.3.6 Расчет толщины трубной решетки

Расчет трубной решетки

$$N_{\text{общ}} := 10$$

$$F = 1 \times 10^5 \quad \text{м}^2$$

$$L_t := l = 1.5 \quad \text{м}$$

$$D_t := \frac{D}{1000} = 0.257 \quad \text{м}$$

Согласно параметрам выбранного теплообменника, подбираем параметры трубной решетки. Трубки располагаются по равностороннему треугольнику (Рис. 2.5).

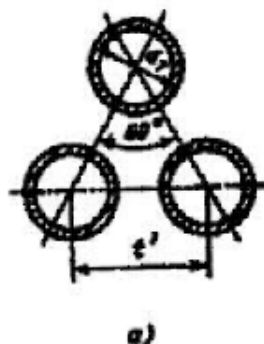


Рис. 2.5 - Схема расположение трубок в трубной решетке

$z_d := 11$ число труб на диаметре

$c := 0.001$ м, прибавка на коррозию

Материал трубной решетки 12X18H10T Допускаемое напряжение при изгибе при статической нагрузке:

$\sigma_{ид} := 173.4$ МПа

$D_B := D_t = 0.257$ м

Определяем коэффициент ослабления решетки:

$dot{b} := 16.4$ мм

$t_{шаг} := 22$ мм

$$\phi_0 := \frac{t_{шаг} - dot{b}}{dot{b}} = 0.341$$

Определяем номинальную расчетную высоту решетки

$K := 0.47$ $D_{B,к} := D_t = 0.257$ м

$p := 0.6$ МПа

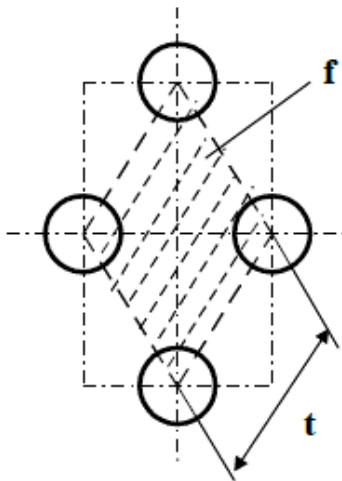
$$h_p := \frac{D_B}{4.2} \cdot \left(\sqrt{\frac{p}{\phi_0 \cdot \sigma_{ид}}} + 0.001 \right) = 6.221 \times 10^{-3}$$

Принимаем высоту решетки 40 мм

$h_{р,к} := 40$ мм

Принимаем толщину плавающей решетки 22 мм

2.3.7 Расчет развальцовочного соединения [2]



При расположении труб по вершинам правильных треугольников:

$$f_p = 0.866 \cdot t^2 - \frac{\pi \cdot d_H^2}{4}$$

Шаг определяется:

$$t := 1.2 \cdot d_H \cdot 1000 + 2 = 21.2 \quad \text{мм [с.19, 6]}$$

$$t := 22$$

Рис. 2.6 - Схема к расчету развальцовочного соединения

$$f_p := 0.866 \cdot \left(\frac{t}{1000} \right)^2 - \frac{\pi \cdot d_H^2}{4} = 2.181 \times 10^{-4} \quad \text{м}^2$$

Так как трубы нагреты больше, чем корпус, то в них возникают сжимающие напряжения, и они подвергаются продольному изгибу, поэтому развальцовка работает на вырывание труб из решетки.

Определим площадь поперечного сечения стенки трубы:

$$f_t := \frac{\pi}{4} \cdot (d_H^2 - d_B^2) = 3.593 \times 10^{-5} \quad \text{м}^2$$

$$\sigma_t = 131.776 \quad \text{МН} \quad \text{температурное напряжение в трубках}$$

$$P_{\text{мтр}} := 0.6 \quad \text{МПа} \quad \text{давление в межтрубном пространстве}$$

$$P_{\text{гр}} := 0.1 \quad \text{МПа} \quad \text{давление в трубном пространстве}$$

Температурное усилие, приходящееся на одну трубу:

$$Q_t := \sigma_t \cdot f_t = 4.735 \times 10^{-3} \quad \text{МН}$$

Определение осевого усилия:

$$Q_k := P_{\text{мтр}} \cdot \frac{3.14}{4} \cdot (D_{\text{вн}}^2 - n \cdot d_H^2) + P_{\text{гр}} \cdot n \cdot \frac{3.14}{4} \cdot d_B^2 = 0.031 \quad \text{МН}$$

Усилие, действующее на 1 трубку от давления:

$$Q := \frac{Q_k}{99} = 3.132 \times 10^{-4} \quad \text{МН}$$

Суммарное усилие:

$$q_c := |q - q_t| = 4.422 \times 10^{-3} \text{ МН, со знаком минус, так как трубки нагреты больше корпуса}$$

Удельная нагрузка от давления на единицу длины окружности развальцовки:

$$\sigma_0 := \frac{q}{\pi \cdot d_H} = 6.231 \times 10^{-3} \frac{\text{МН}}{\text{м}}$$

$$\sigma_{0Д} := 0.04 \frac{\text{МН}}{\text{м}} \text{ Допускаемая удельная нагрузка в отверстиях без канавок}$$

Условие выполнения прочности развальцовки удельной нагрузки от давления:

$$\underline{Usl} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_0 \leq \sigma_{0Д} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$Usl = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

Удельная нагрузка на развальцовку от действия суммарного усилия с учетом давления и температурных напряжений:

$$\sigma_c := \frac{q_c}{\pi \cdot d_H} = 0.088 \frac{\text{МН}}{\text{м}}$$

$$\sigma_{cД} := 0.9 \frac{\text{МН}}{\text{м}} \text{ допускаемая удельная нагрузка на развальцовку в отверстиях без канавок}$$

$$\underline{Usl} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_c \leq \sigma_{cД} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$Usl = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

Проверка труб на вырывание из гнезда можно вести с учетом глубины развальцовки по удельной нагрузке:

$$h_p := 0.024 \text{ м} \quad \text{глубина развальцовки}$$

$$\sigma_I := \frac{q_c}{d_H \cdot h_p} = 11.515 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{ID} := 12 \text{ МПа} \quad \text{в отверстиях без канавками}$$

$$\underline{Usl} := \begin{cases} \text{"Условие прочности выполняется"} & \text{if } \sigma_I \leq \sigma_{ID} \\ \text{"Условия прочности НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$Usl = \text{"Условие прочности выполняется"}$$

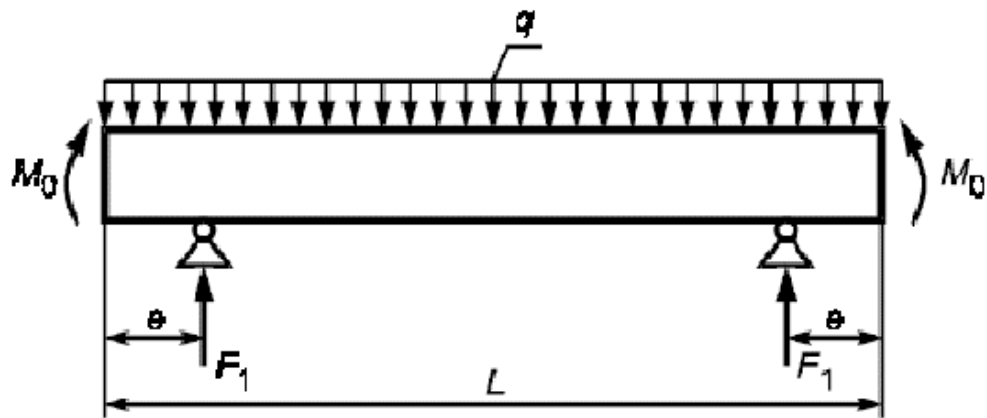


Рис. 2.7

$$D_{\text{наруж}} := 273 \text{ мм}$$

$$L_{\text{оп}} := 290 \text{ мм}$$

$$B_{\text{оп}} := 200 \text{ мм}$$

$$H_{\text{оп}} := 120 \text{ мм}$$

$$H_{1\text{оп}} := 90 \text{ мм}$$

$$h_{\text{оп}} := 90 \text{ мм}$$

$$R_{\text{оп}} := 141 \text{ мм}$$

$$s_{\text{оп}} := 10 \text{ мм}$$

$$M_1 := 12.6 \text{ кг}$$

$$G_{\text{оп}} = 2.819 \times 10^3 \text{ Н}$$

$$H_{\text{к.м.п}} := 220 \text{ мм}$$

$$L := 310 \text{ мм}$$

$$q := \frac{G_{\text{оп}}}{L + H_{\text{к.м.п}} \cdot \frac{4}{3}} = 4.672 \text{ Н}$$

Изгибающий момент:

$$M_0 := q \cdot \frac{D_{\text{наруж}}^2}{16} = 2.176 \times 10^4 \text{ Н}$$

Нагрузка на одну опору:

$$F_1 := \frac{G_{\text{оп}}}{2} = 1.409 \times 10^3$$

Определение изгибающих моментов и поперечных усилий:

$$e := 2.1 \quad a := 1.8$$

$$M_1 := \left| \left(\frac{q \cdot e^2}{2} - M_0 \right) \right|$$

$$M_1 = 2.175 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$M_2 := M_1 = 2.175 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$M_{12} := M_0 + F_1 \cdot \left(\frac{L}{2} - a \right) - \frac{q}{2} \cdot \left[\frac{L}{2} + \frac{2}{3} \cdot (H_{\text{к.м.п}}) \right]^2 = 2.51 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$Q_1 := \frac{L - 2 \cdot a}{L + \frac{4}{3} \cdot (H_{\text{к.м.п}})} \cdot F_1 = 715.751 \quad \text{Н}$$

Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами

$$\text{Пров}_{\text{нес.сп.}} := \begin{cases} \text{"Выполняется"} & \text{if } M_{12} > M_1 \\ \text{"Не выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Пров}_{\text{нес.сп.}} = \text{"Выполняется"}$$

Таким образом, подбираем седловую опору типа 1 для сосудов и аппаратов диаметром от 159 до 273 мм, 2-го исполнения (нагрузки от 2 до 20 кН) согласно ОСТ 26-2091-93

2.4 Гидравлический расчет

Для трубного пространства:

ζ коэффициенты местного сопротивления;

Для воздуха:

$$\zeta_1 := 1.5 \quad \text{входная камера}$$

$$\zeta_3 := 2 \quad \text{вход в трубы и выход из них}$$

$$\zeta_4 := 1.5 \quad \text{выходная камера}$$

$$\Sigma \zeta := \zeta_1 + \zeta_3 + \zeta_4 = 5$$

$$d_{\text{воз}} := 0.0145 \quad \text{м}$$

Площадь поперечного сечения всех труб:

$$S := \pi \cdot \frac{d_{\text{воз}}^2}{4} \cdot 99 = 0.016 \quad \text{м}^2$$

Скорость воздуха

$$\omega_{\text{воз}} := \frac{V_2}{S} = 25.508 \quad \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Критерий Рейнольдса:

$$Re := \frac{\omega_{\text{воз}} \cdot d_{\text{воз}} \cdot \rho_{\text{возд}}}{\mu_{\text{возд}}} = 1.56 \times 10^4$$

Коэффициент сопротивления трения при турбулентном режиме:

$$\lambda := \frac{0.316}{Re^{0.25}} = 0.028$$

Гидравлическое сопротивление аппарата складывается из потерь давления на преодоления сопротивления трения $\Delta p_{\text{тр}}$ и на преодоления местных сопротивлений $\Delta p_{\text{мс}}$:

$$\Delta p := \left(\lambda \cdot \frac{L}{d_{\text{воз}}} + \sum \zeta \right) \cdot \frac{\omega_{\text{воз}}^2 \cdot \rho_{\text{возд}}}{2} = 1.852 \times 10^5 \quad \text{Па}$$

где

λ коэффициент сопротивления трения

L длина трубки, м

$d_{\text{воз}}$ диаметр трубки, м

ζ коэффициент местного сопротивления;

$\omega_{\text{воз}}$ скорость движения воздуха, м/с;

$\rho_{\text{возд}}$ плотность воздуха, кг/м³

Гидравлический расчет теплообменника необходим для определения мощности на валах насосов и вентиляторов, а также для установления оптимального режима работы аппарата. Мощность, необходимую для перемещения теплоносителя через аппарат, определяют по формуле:

$$\eta := 0.95 \quad \text{кпд насоса}$$

$$N_{\text{воз}} := \frac{V_2 \cdot \Delta p}{\eta} = 8.13 \times 10^4 \text{ Вт}$$

V_2 - объемный расход воздуха м³/с;

Δp - перепад давления в аппарате, Па

η -КПД насоса или вентилятора

По мощности выбираем электродвигатель АИРЕ 80 В2 Россия с характеристиками 1.5 кВт мощности, 3000 об/мин.

Для межтрубного пространства:

ζ коэффициенты местного сопротивления;

Для воды:

$\zeta_5 := 3$ входная и выходная камера

$\zeta_6 := 1.5$ вход в межтрубное пространство

$\zeta_7 := 10 \cdot 2.5 = 25$ поворот на 180⁰ между ходами и секциями

$$\Sigma \zeta_{\text{вода}} := \zeta_5 + \zeta_6 + \zeta_7 = 29.5$$

$$F_{\text{гидр}} := \frac{\pi \cdot D_{\text{вн}}^2}{4} - 99 \frac{\pi \cdot d_{\text{воз}}^2}{4} = 0.036 \text{ м}^2$$

$$\Pi := \pi \cdot D_{\text{вн}} + 99 \cdot \pi \cdot d_{\text{воз}} = 5.317$$

$$d_{\text{экв}} := \frac{4 \cdot F_{\text{гидр}}}{\Pi} = 0.027 \text{ м}$$

Скорость движения воды:

$$\omega_{\text{воды}} := \frac{V_1}{F_{\text{гидр}}} = 0.021 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Критерий Рейнольдса:

$$Re_{\text{воды}} := \frac{\omega_{\text{воды}} \cdot d_{\text{экв}} \cdot \rho_{\text{воды}}}{\mu_{\text{воды}}} = 736.438$$

Коэффициент сопротивления трения при турбулентном режиме:

$$\lambda_{\text{воды}} := \frac{64}{Re_{\text{воды}}} = 0.087$$

Гидравлическое сопротивление аппарата складывается из потерь давления на преодоления сопротивления трения $\Delta p_{\text{тр}}$ и на преодоления местных сопротивлений $\Delta p_{\text{мс}}$:

$$\Delta p_{\text{воды}} := \left(\lambda_{\text{воды}} \cdot \frac{L_t}{d_{\text{экв}}} + \sum \zeta_{\text{вода}} \right) \cdot \frac{\omega_{\text{воды}}^2 \cdot \rho_{\text{воды}}}{2} = 7.551 \quad \text{Па}$$

где

- λ коэффициент сопротивления трения
- L длина цилл-ой части аппарата, м
- $d_{\text{экв}}$ эквивалентный диаметр аппарата, м
- ζ коэффициент местного сопротивления;
- $\omega_{\text{воды}}$ скорость движения воды, м/с;
- $\rho_{\text{воды}}$ плотность воды кг/м³

Гидравлический расчет теплообменника необходим для определения мощности на валах насосов и вентиляторов, а также для установления оптимального режима работы аппарата. Мощность, необходимую для перемещения теплоносителя через аппарат, определяют по формуле:

$$\eta := 0.95 \quad \text{кпд насоса}$$

$$N_{\text{воз}} := \frac{V_1 \cdot \Delta p_{\text{воды}}}{\eta} = 5.935 \times 10^{-3} \text{ Вт}$$

V_1 - объемный расход воды м³/с;

Δp - перепад давления в аппарате, Па

η -КПД насоса или вентилятора

По мощности выбираем центробежный насос ESPA Delta 755M с мощностью 0,8 кВт

2.5 Определение толщины тепловой изоляции [26]

Толщину тепловой изоляции находят из равенства удельных тепловых потоков через слой изоляции от поверхности изоляции в окружающую среду:

$t_{\text{ст2}} := 40 \text{ } ^\circ\text{C}$ температура изоляции со стороны окружающей среды, для аппаратов, работающих в помещении выбирают в интервале 35-45 градусов

$t_{cT1} := t_{1H} = 28 \text{ } ^\circ\text{C}$ - температура изоляции со стороны аппарата

$t_B := 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ - температура окружающей среды

$\lambda_H := 0.098 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ - коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала, в качестве материала для тепловой изоляции выберем совелит

$\alpha_B := 9.3 + 0.058 \cdot t_{cT2} = 11.62 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ - коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности изоляционного материала в окружающую среду

$$\delta_H := \frac{\lambda_H \cdot (t_{cT2} - t_{cT1})}{\alpha_B \cdot (t_{cT2} - t_B)} = 5.06 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Примем толщину тепловой изоляции 40 мм

3 Расчет воздушного ресивера

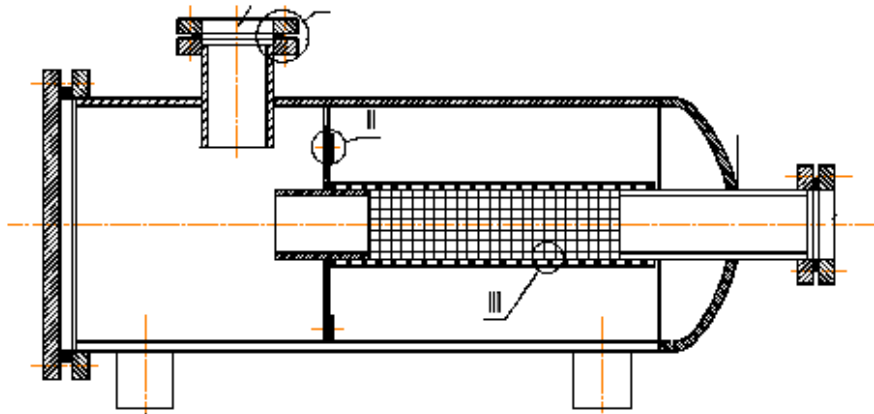


Рис.3.1 - Воздушный ресивер

В проекте необходимо рассчитать воздушный ресивер для очистки воздуха от частиц (пыль, песок, капли масла или воды и пр.)

Объемный расход воздуха равен $1500 \text{ м}^3/\text{ч}$

Рабочее давление в аппарате равно $0,1 \text{ МПа}$

Температура в аппарате при рабочих условиях равна $150 \text{ }^\circ\text{C}$

$$V_2 := 0.417 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

3.1 Прочностной расчёт воздушного ресивера [1], [2]

Целью прочностного расчета является анализ всех нагрузок, действующих на конструкцию, проведение конструкторского и поверочного расчетов для обоснования работоспособности элементов конструкции.

Выбираем материал аппарата Ст.3, исходя из неагрессивности среды

Исходные данные и расчётные параметры

Внутренний диаметр аппарата: $D := 450 \text{ мм}$

Длина цилиндрической обечайки: $l := 1000 \text{ мм}$

Диаметр крышки:

$$D_{\text{кр}} := 450 \text{ мм}$$

Высота отбортованной части крышки: $h_2 := 25 \text{ мм}$

$$\text{Высота крышки: } H_{\text{к}} := 112 + h_2 = 137 \text{ мм}$$

$$\text{Длина аппарата: } L := 1150 \text{ мм}$$

Диаметр входного и выходного патрубка для воздуха:

$$d_{\text{возд}} := 125 \text{ мм}$$

3.1.2 Расчётные параметры

Расчётное напряжение

Основные характеристики стали определяем согласно [2] ГОСТ Р 52857.1-2007: допускаемое напряжение, предел текучести, модуль упругости

Рабочая температура в аппарате:

$$t_{\text{вн}} := 150 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допускаемое напряжение материала Ст3 при температуре 20 градусов:

$$\sigma_{\text{Д20}} := 143.5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение материала Ст3 при рабочей температуре:

$$\sigma_{\text{Д150}} := 135.8 \text{ МПа}$$

Плотность рабочей среды:

$$\rho_{\text{ср}} := 1.2041 \text{ кг/м}^3$$

Давление рабочее в аппарате:

$$P_{\text{ап}} := 0.1 \text{ МПа}$$

Сварка аппарата полуавтоматическая, сварной шов стыковой односторонний, контролируемая длина сварных швов 100%

$$\phi := 0.9$$

Коэффициент запаса устойчивости:

$$\text{Для рабочих условий: } n_y := 2.4$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

Прибавку к расчетным толщинам согласно [7]

Скорость коррозии материала от действия заданной среды:

$$П := 0.1 \text{ мм/год}$$

Срок эксплуатации аппарата:

$$\tau := 20 \text{ лет}$$

Прибавка для компенсации коррозии и эрозии:

$$c_1 := \Pi \cdot \tau = 2 \text{ мм}$$

Прибавка для компенсации минусового допуска;

$$c_2 := 0 \text{ мм}$$

Технологическая прибавка;

$$c_3 := 0 \text{ мм}$$

Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов:

$$c := c_1 + c_2 + c_3 = 2 \text{ мм}$$

Расчет давлений

Давление внутри аппарата:

Расчетное давление в аппарате:

$$P_{\text{рас}} := 0.104 \text{ МПа}$$

Давление при гидравлических испытаниях:

$$P_{\text{и}} := 1.25 \cdot P_{\text{рас}} \cdot \left(\frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{Д150}}} \right) = 0.137 \text{ МПа}$$

Условное давление:

$$P_{\text{усл1}} := P_{\text{рас}} \cdot \frac{\sigma_{\text{Д20}}}{\sigma_{\text{Д150}}} = 0.11 \text{ МПа}$$

3.1.3 Расчет толщины стенок корпуса аппарата [1], [2]

Согласно [2] ГОСТР52857.2-2007, определяем толщины стенок обечайки, крышек, проводим проверку на прочность стенок корпуса аппарата.

Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки:

Расчетная толщина стенки цилиндрической обечайки при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{p1} := \max\left(\frac{P_{рас} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д150} - P_{рас}}, \frac{P_{и} \cdot D}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{Д20} - P_{и}}\right) = 0.239 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина стенки аппарата:

$$s_{и1} := s_{p1} + c = 2.239 \text{ мм}$$

Принимаем исполнительную толщину стенки с учётом ряда стандартных толщин:

$$s_1 := 8 \text{ мм}$$

Проверка условий применимости формул безмоментной теории:

$$\text{Пров}_1 := \begin{cases} \text{"Условия применения формул безмоментной теории выполняются"} & \text{if } \frac{s_1 - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"Условия применения формул НЕ выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₁ = "Условия применения формул безмоментной теории выполняются"

Допускаемого внутреннего избыточного давления: - при рабочих условиях

$$P_{д1} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д150} \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 3.216 \text{ МПа}$$

Допускаемого внутреннего избыточного давления: - при условиях испытаний

$$P_{д1.исп} := \frac{2 \cdot \sigma_{Д20} \cdot \phi \cdot (s_1 - c)}{D + (s_1 - c)} = 3.399 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности стенок, цилиндрической обечайки от действия внутреннего давления:

$$\text{Пров}_2 := \begin{cases} \text{"Условие прочности для цилиндрической обечайки выполняется"} & \text{if } P_{д1} > P_{и} \\ \text{"Условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₂ = "Условие прочности для цилиндрической обечайки выполняется"

3.1.4 Расчёт толщины стенки эллиптической крышки, нагруженной внутренним избыточным давлением [2]

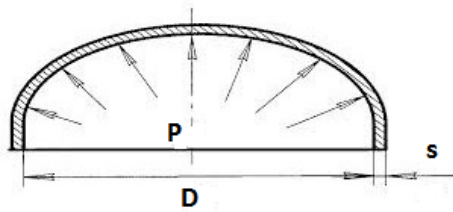


Рисунок 3.2 - Расчетная схема эллиптической крышки

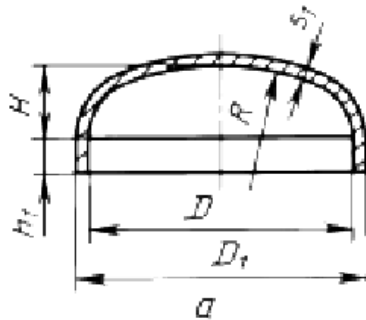


Рисунок 3.3 - Основные размеры эллиптической крышки

Радиус кривизны в вершине днища:

$$R := D \quad \text{для эллиптических днищ с} \quad H := 0.25D \quad H = 112.5 \quad \text{мм}$$

$$S_{p2} := \max \left(\frac{P_{\text{рас}} \cdot R}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{Д150}} - 0.5 P_{\text{рас}}}, \frac{P_{\text{И}} \cdot R}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{Д150}} - 0.5 P_{\text{И}}} \right) = 0.25 \text{ мм}$$

$$s_{\text{Э.К}} := \text{ceil}(S_{p2} + c) = 3 \quad \text{мм}$$

$$\text{Принимаем } s_2 := 8 \quad \text{мм}$$

Проверка условия применения формул для эллиптической крышки:

$$\text{Пров}_3 := \begin{cases} \text{"условие применения формул выполняется"} & \text{if } 0.002 \leq \frac{s_{\text{Э.К}} - c}{D} \leq 0.1 \\ \text{"условие применения формул НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₃ = "условие применения формул выполняется"

Допускаемое внутреннее избыточное давление: - при рабочих условиях

$$P_{\text{доп.с}} := \frac{2 \cdot (s_2 - c) \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{Д150}}}{R + 0.5 \cdot (s_2 - c)} = 3.238 \text{ МПа}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление: - при условиях испытаний

$$P_{\text{доп.с.исп}} := \frac{2 \cdot (s_2 - c) \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{Д20}}}{R + 0.5 \cdot (s_2 - c)} = 3.421 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности:

$$\text{Пров}_4 := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{\text{И}} \leq P_{\text{доп.с}} \\ \text{"условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₄ = "условие прочности выполняется"

3.1.5 Расчет плоской крышки

Расчет плоской крышки (Рис.3) проводим по ГОСТ 52857.2-2007 [2]

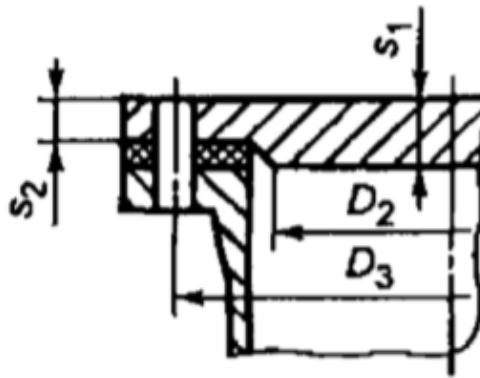


Рис. 3.4

$$D_3 := 550 \text{ мм}$$

$$D_p := 550 \text{ мм}$$

$k := 0.4$ коэффициент конструкции плоских крышек

$K_0 := 1.0$ коэффициент ослабления плоских крышек отверстием

Расчетная толщина плоской крышки:

$$S_1 := \max \left(k \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{рас}}}{\phi \cdot \sigma_{\text{Д150}}}}, k \cdot K_0 \cdot D_p \cdot \sqrt{\frac{P_{\text{И}}}{\phi \cdot \sigma_{\text{Д20}}}} \right) = 7.175 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина плоской крышки:

$$S_{\text{исп}} := S_1 + c = 9.1 \text{ мм}$$

Округляем до ближайшего стандартного значения

$$S_{\text{плкр}} := 20 \text{ мм}$$

Допускаемое давление для плоской крышки:

$$P_{\text{.д}} := \left(\frac{S_{\text{плкр}} - c}{k \cdot K_0 \cdot D_p} \right)^2 \cdot \sigma_{\text{Д20}} \cdot \phi = 0.865 \text{ МПа}$$

Проверка условия прочности:

$$\text{Пров}_4 := \begin{cases} \text{"условие прочности выполняется"} & \text{if } P_{\text{н}} \leq P_{\text{.д}} \\ \text{"условие прочности НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров₄ = "условие прочности выполняется"

3.1.6 Определение диаметров патрубков [3], [4]

Диаметр патрубков для воздуха

Задаемся скоростью движения воздуха:

$$\omega_2 := 50 \text{ м/с}$$

$$d_2 := \sqrt{\frac{4 \cdot V_2}{\pi \cdot \omega_2}} = 0.103 \text{ м}$$

Принимаем патрубок на входе и выходе воздуха диаметром 125 мм

Принимаем толщину патрубка:

$$s_{\text{штуц. Ду125}} := 6 \text{ мм}$$

Диаметр входного и выходного патрубка для холодного теплоносителя:

$$d_{\text{вхвых}} := 125 \text{ мм}$$

Укрепление отверстий патрубков

Расчетный диаметр укрепляемых элементов:

Для цилиндрической оболочки:

$$D_{\text{р}} := D = 450 \text{ мм}$$

Расчетный диаметр отверстий в стенках обечайки, ось которого совпадает с нормалью к поверхности:

$$d_{\text{возд.}} := d_{\text{вхвых}} + 2 \cdot c = 129 \text{ мм}$$

Расчетные длины внешней части круглого штуцера, участвующие в укреплении отверстий и учитываемые при расчете, определяют по формулам:

Расчетная длина внешней части штуцеров:

$$l_{1\text{хол}} := 1.25 \sqrt{(d_{\text{вхвых}} + 2 \cdot c) \cdot (s_{\text{штуц. Ду125}} - c)} = 28.395 \text{ мм}$$

Укрепление отверстий штуцеров.

Укрепление отверстий производим с помощью накладного кольца, толщина которого равняется толщине обечайки

-для цилиндрической обечайки:

$$s_{2.\text{цилиндр.обеч}} := s_1 = 8 \text{ мм} - \text{толщина накладного кольца}$$

Расчетные длины штуцеров:

Расчетные длины внешней и внутренней части круглого штуцера, участвующие в укреплении отверстий:

$$l_1 := 110 \text{ мм} - \text{принимаем исполнительную длину внешней части штуцера}$$

$$l_2 := 20 \text{ мм} - \text{принимаем исполнительную длину внутренней части штуцера;}$$

-для штуцера Ду125:

$$l_{1\text{р.штуц. Ду125}} := \min[l_1, 1.25 \cdot \sqrt{(d_{\text{возд}} + 2c_1) \cdot (s_{\text{штуц. Ду125}} - c_1)}] = 28.831 \text{ мм}$$

$$l_{2\text{р.штуц. Ду125}} := \min[l_2, 0.5 \cdot \sqrt{(d_{\text{возд}} + 2c_1) \cdot (s_{\text{штуц. Ду125}} - c_1)}] = 11.533 \text{ мм}$$

Принимаем:

$$l_{1.\text{штуц. Ду125}} := \text{ceil}(\max(l_{1\text{р.штуц. Ду125}}, l_1)) = 110 \text{ мм}$$

$$l_{3.\text{штуц. Ду125}} := \text{ceil}(\max(l_{2\text{р.штуц. Ду125}}, l_2)) = 20 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки патрубка при внутреннем избыточном давлении:

$$s_{\text{р4}} := \max\left(\frac{P_{\text{рас}} \cdot d_{\text{вхвых}}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{Д150}} - P_{\text{рас}}}, \frac{P_{\text{и}} \cdot d_{\text{вхвых}}}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_{\text{Д20}} - P_{\text{и}}}\right) = 0.067 \text{ мм}$$

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

$$d_{0\text{возд}} := 2 \cdot \left(\frac{s_{\text{штуц. Ду125}} - c}{s_{p4}} - 0.8 \right) \cdot \sqrt{D_p \cdot (s_{\text{штуц. Ду125}} - c)} = 5.035 \times 10^3 \text{ мм}$$

Проверка необходимости проведения расчета на укрепления отверстий для штуцеров:

$$\text{Пров5} := \begin{cases} \text{"Расчет укрепления отверстия штуцера не требуется"} & \text{if } d_{\text{возд}} < d_{0\text{возд}} \\ \text{"Необходимо укрепления отверстия штуцера"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Пров5 = "Расчет укрепления отверстия штуцера не требуется"

3.1.7 Расчет фланцевого соединения [6], [8]

Фланцевое соединение рассчитывается на прочность и герметичность. Также рассчитывается угол поворота фланца, нагрузка на крепежные элементы и др.

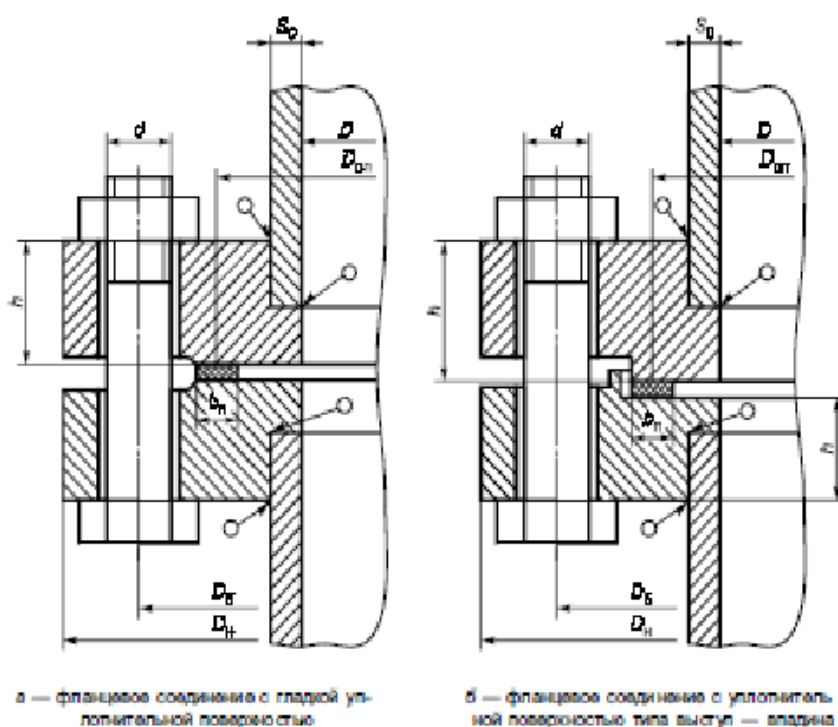


Рис. 3.5 - фланцевое соединение

Исходные данные:

$D := 450$ мм	$h := 25$ мм	$P := 0.1$ МПа
$D_{\text{н}} := 490$ мм	$h_{\text{п}} := 2$ мм	$M := 0.05 \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{мм}$
$D_{\text{б}} := 170$ мм	$S_0 := 10$ мм	$F := 0.1 \cdot 10^6 \text{ Н}$

$$D_{\text{сП}} := 138 \text{ мм} \quad d := 16 \text{ мм} \quad c_o := 1.2 \text{ мм}$$

$$b_{\text{П}} := 8 \text{ мм} \quad n := 8 \quad t := 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Материал болтов - сталь 35Х
 Материал прокладки - паронит ПОН

Так как среда в ресивере неагрессивная, выбираем фланцы с гладкой уплотнительной поверхностью, для условных давлений среды до 1.6 МПа (Рис. 3.5)

Выбор крепежных элементов:

$$b_s := 1 \text{ болты}$$

Определение расчетных параметров

Расчетные температуры:

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

$$t_{\phi} := 0.96 \cdot t \quad t_{\phi} = 144$$

расчетная температура болтов:

$$t_{\sigma} := 0.85 \cdot t \quad t_{\sigma} = 127.5$$

Допускаемые напряжения для болтов из стали 35Х

В рабочем состоянии:

$$t := \begin{pmatrix} 100 \\ 200 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 230 \\ 225 \end{pmatrix}$$

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

$$\sigma_{\text{д.б}} = 228.5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для болтов при рабочей температуре:

$$E_{\sigma} := 2.14 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

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

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

Модуль упругости для болтов при температуре испытания 20 °С

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

Коэффициент линейного расширения стали 35Х при $t = 20-100$ °С

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

Допускаемые напряжения для фланцев и обечаек стали Ст3

$$t := \begin{pmatrix} 150 \\ 200 \end{pmatrix} \quad \sigma := \begin{pmatrix} 149 \\ 142 \end{pmatrix}$$

$$\sigma := \text{Floor}(\text{linterp}(t, \sigma, t_{\phi}), 0.5) \quad \sigma = 149.5 \text{ МПа}$$

Так как фланцы изготавливается из листового проката:

$$\eta := 1$$

$$\sigma_{\text{д.ф}} := \eta \cdot \sigma_{\text{д.ф}} = 149.5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали Ст3 при рабочей температуре

$$E := 1.92 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение для стали Ст3 при $t = 20$ °С

$$\sigma_{\text{Д20}} = 143.5 \text{ МПа} \quad \sigma_{\text{д20}} := \eta \cdot \sigma_{\text{Д20}} \quad \sigma_{\text{д20}} = 143.5 \text{ МПа}$$

Модуль упругости для стали Ст3 при температуре испытания 20 °С

$$E_{20} := 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$$

Коэффициент линейного расширения стали Ст3 при $t = 20 - 150$ °С

$$\alpha_{\phi} := 12.2 \cdot 10^{-6} \text{ 1/К}$$

Эффективная ширина плоской прокладки:

$$b_{\text{II}} := 8 \text{ мм}$$

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

$$b_0 = 8 \text{ мм}$$

Характеристики прокладки по таблице [8]

$$m := 2.5$$

$$q_{\text{обж}} := 20 \text{ МПа}$$

$$q_d := 130 \text{ МПа}$$

$$K_{\text{обж}} := 0.9$$

$$E_{\Pi} := 200 \text{ МПа}$$

Усилие, необходимое для смятия прокладки при затяжке:

$$P_{\text{обж}} := 0.5 \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_0 \cdot m \cdot |P| \quad P_{\text{обж}} = 433.54 \quad \text{Н}$$

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

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

$$R_{\Pi} = 867.08 \quad \text{Н}$$

Площадь поперечного сечений болтов (шпилек):

$$f_{\text{б}} := 225 \text{ мм}^2$$

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

$$A_{\text{б}} := n \cdot f_{\text{б}} \quad A_{\text{б}} = 1.8 \times 10^3 \text{ мм}^2$$

Равнодействующая нагрузка от давления:

$$Q_{\text{д}} := \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{сп}})^2 \cdot P \quad Q_{\text{д}} = 1.496 \times 10^3 \text{ Н}$$

Приведенная нагрузка, вызванная воздействием внешней силы и изгибающего момента:

$$Q_{\text{FM}} := \max \left(\left| F + \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \right|, \left| F - \frac{4 \cdot |M|}{D_{\text{сп}}} \right| \right) \quad Q_{\text{FM}} = 1.145 \times 10^5 \text{ Н}$$

Податливость прокладки:

$$y_{\Pi} := \frac{h_{\Pi} \cdot K_{\text{обж}}}{E_{\Pi} \cdot \pi \cdot D_{\text{сп}} \cdot b_{\Pi}} \quad y_{\Pi} = 2.595 \times 10^{-6} \text{ мм/Н}$$

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

$$L_{\text{б0}} := 62 \text{ мм}$$

Эффективная длина болта (шпильки) при определении податливости:

$$L_{\text{б}} := \begin{cases} L_{\text{б0}} + 0.28 \cdot d & \text{if } bs = 1 \\ L_{\text{б0}} + 0.56 \cdot d & \text{if } bs = 2 \end{cases} \quad L_{\text{б}} = 66.48 \text{ мм}$$

Податливость болтов:

$$y_{\text{б}} := \frac{L_{\text{б}}}{E_{206} \cdot A_{\text{б}}} \quad y_{\text{б}} = 1.694 \times 10^{-7} \text{ мм/Н}$$

Расчетные параметры фланцев:

- параметр длины обечайки

$$l_0 := \sqrt{D \cdot S_0} \quad l_0 = 67.082 \text{ мм}$$

- отношение наружного диаметра тарелки фланца к внутреннему диаметру

$$K := \frac{D_{\text{н}}}{D} \quad K = 1.089$$

- коэффициенты, зависящие от соотношения размеров тарелки фланца

$$\beta_{\text{T}} := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{(1.05 + 1.945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} \quad \beta_{\text{T}} = 1.879$$

$$\beta_{\text{U}} := \frac{K^2 \cdot (1 + 8.55 \cdot \log(K)) - 1}{1.36(K^2 - 1) \cdot (K - 1)} \quad \beta_{\text{U}} = 24.975$$

$$\beta_{\text{Y}} := \frac{1}{(K - 1)} \cdot \left[0.69 + 5.72 \cdot \frac{K^2 \cdot \log(K)}{(K^2 - 1)} \right] \quad \beta_{\text{Y}} = 22.96$$

$$\beta_Z := \frac{K^2 + 1}{K^2 - 1} \quad \beta_Z = 11.771$$

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

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

- коэффициент λ

$$\lambda := \frac{\beta_F \cdot h + l_0}{\beta_T \cdot l_0} + \frac{\beta_V \cdot h^3}{\beta_U \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad \lambda = 0.764$$

Угловая податливость фланцев

Угловая податливость фланца при затяжке:

$$y_\Phi := \frac{0.91 \cdot \beta_V}{E_{20} \cdot \lambda \cdot l_0 \cdot (S_0)^2} \quad y_\Phi = 4.883 \times 10^{-10}$$

Угловая податливость фланца, нагруженного внешним изгибающим моментом:

$$y_{\Phi H} := \left(\frac{\pi}{4} \right)^3 \cdot \frac{D_\delta}{E_{20} \cdot h^3 \cdot D_H} \quad y_{\Phi H} = 5.379 \times 10^{-11}$$

Коэффициент, учитывающий изгиб тарелки фланца между шпильками (болтами)

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

Приведенный диаметр плоского фланца:

$$D_{пр} := D$$

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

$$b := 0.5(D_\delta - D_{сп}) \quad b = 16$$

Плечо усилия от действия давления на фланец для всех типов фланцев

$$e := 0.5 \cdot (D_{\text{сп}} - D - S_0) \quad e = -161$$

Эквивалентная толщина плоских фланцев:

$$S_3 := S_0$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения для приварных встык и плоских фланцев

$$\gamma := \frac{1}{y_{\text{п}} + y_{\text{б}} \cdot \frac{E_{20\text{б}}}{E_{\text{б}}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\text{ф}} \cdot \frac{E_{20}}{E}} \quad \gamma = 3.303 \times 10^5$$

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

$$\alpha := 1 - \frac{y_{\text{п}} - 2 \cdot e \cdot y_{\text{ф}} \cdot b}{y_{\text{п}} + y_{\text{б}} + 2 \cdot b^2 \cdot y_{\text{ф}}} \quad \alpha = -0.695$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения, нагруженного внешним изгибающим моментом

$$\alpha_{\text{М}} := \frac{y_{\text{б}} + 2 \cdot y_{\text{фн}} \cdot b \cdot \left(b + e - \frac{e^2}{D_{\text{сп}}} \right)}{y_{\text{б}} + y_{\text{п}} \cdot \left(\frac{D_{\text{б}}}{D_{\text{сп}}} \right)^2 + 2 \cdot y_{\text{фн}} \cdot b^2} \quad \alpha_{\text{М}} = -0.098$$

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

$$Q_t := \gamma \cdot [2\alpha_{\text{ф}} \cdot h \cdot (t_{\text{ф}} - 20) - 2\alpha_{\text{б}} \cdot h \cdot (t_{\text{б}} - 20)] \quad Q_t = 1.194 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

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

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

$$P_{\bar{\sigma}1} = -7.114 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

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

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

$$P_{\text{обж}} = 433.54 \quad \text{Н} \quad P_{\bar{\sigma}2} = 1.656 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

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

$$P_{\bar{\sigma}M} := \max(P_{\bar{\sigma}1}, P_{\bar{\sigma}2}) \quad P_{\bar{\sigma}M} = 1.656 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

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

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

$$P_{\bar{\sigma}p} = 3.548 \times 10^5 \quad \text{Н}$$

Проверка прочности болтов (шпилек) и прокладки

Расчетные напряжения в болтах (шпильках):

- при затяжке

$$\sigma_{\bar{\sigma}1} := \frac{P_{\bar{\sigma}M}}{A_{\bar{\sigma}}} \quad \sigma_{\bar{\sigma}1} = 92 \text{ МПа}$$

- в рабочих условиях

$$\sigma_{\bar{\sigma}2} := \frac{P_{\bar{\sigma}p}}{A_{\bar{\sigma}}} \quad \sigma_{\bar{\sigma}2} = 197.103 \quad \text{МПа}$$

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

$$Usl_1 := \begin{cases} \text{"Условия прочности в при затяжке НЕ выполняются"} & \text{if } \sigma_{\bar{b}1} > \sigma_{206} \\ \text{"Условия прочности в рабочих условиях выполняются"} & \text{if } \sigma_{\bar{b}2} > \sigma_{д.б} \\ \text{"Условия прочности выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_1 = "Условия прочности выполняются"

$$\sigma_{\bar{b}1} = 92 \text{ МПа} \quad \sigma_{206} = 230 \text{ МПа} \quad \sigma_{\bar{b}2} = 197.103 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{д.б} = 228.5 \text{ МПа}$$

Удельное давление на прокладку:

$$q := \frac{\max(P_{\bar{b}M}, P_{\bar{b}p})}{\pi \cdot D_{сш} \cdot b_{п}} \quad q = 102.293 \text{ МПа}$$

Условие прочности прокладки (проверяется для мягких прокладок):

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

Usl_2 = "Условие прочности прокладки выполняется"

$$q = 102.293 \text{ МПа} \quad q_d = 130 \text{ МПа}$$

Расчет фланцев на статическую прочность

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

$$M_M := C_F \cdot P_{\bar{b}M} \cdot b \quad M_M = 2.65 \times 10^6 \text{ Н*мм}$$

Расчетный изгибающий момент, действующий на фланец в рабочих условиях

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

$$M_p = -1.3 \times 10^7 \text{ Н*мм}$$

Расчетные напряжения во фланце при затяжке:

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

$$\sigma_{0M} := \frac{M_M}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} \quad \sigma_{0M} = 99.531 \quad \text{МПа}$$

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

- радиальное напряжение

$$\sigma_{RM} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_M \quad \sigma_{RM} = 17.895 \quad \text{МПа}$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{TM} := \frac{\beta_Y \cdot M_M}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{RM} \quad \sigma_{TM} = 5.654 \quad \text{МПа}$$

Расчетные напряжения во фланце в рабочих условиях:

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

$$\sigma_{0p} := \frac{M_p}{\lambda \cdot (S_0 - c_0)^2 \cdot D_{пр}} \quad \sigma_{0p} = -488.246 \quad \text{МПа}$$

- максимальные меридиональные мембранные напряжения в обечайке плоского фланца

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

$$\sigma_{0mp} = 9.121 \quad \text{МПа}$$

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

- радиальное напряжение

$$\sigma_{Rp} := \frac{1.33 \cdot \beta_F \cdot h + l_0}{\lambda \cdot h^2 \cdot l_0 \cdot D} \cdot M_p \quad \sigma_{Rp} = -87.782 \text{ МПа}$$

- окружное напряжение

$$\sigma_{Tp} := \frac{\beta_Y \cdot M_p}{h^2 \cdot D} - \beta_Z \cdot \sigma_{Rp} \quad \sigma_{Tp} = -27.736 \text{ МПа}$$

Проверка условий статической прочности фланцев

$$\sigma_{Pmax} := \max \left(\left(\begin{array}{c} |\sigma_{Op} - \sigma_{Omp} + \sigma_{Tp}| \\ |\sigma_{Op} - \sigma_{Omp} + \sigma_{Rp}| \\ |\sigma_{Op} + \sigma_{Omp}| \end{array} \right) \right)$$

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

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

PR_3 := "Условия статической прочности выполняются"

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

$$K_T := 1$$

$$Usl_3 := \begin{cases} PR_1 & \text{if } \sigma_{3max} < K_T \cdot \sigma_{Д20} \wedge \sigma_{Pmax} < K_T \cdot \sigma_{д.ф} \\ PR_3 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Usl_3 = "Условия статической прочности выполняются"

$$\sigma_{3max} = 117.425 \text{ МПа} \quad K_T \cdot \sigma_{Д20} = 143.5 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{Pmax} = 585.149 \text{ МПа} \quad K_T \cdot \sigma_{д.ф} = 149.5 \text{ МПа}$$

Проверка углов поворота фланцев

Угол поворота приварного встык фланца, плоского фланца:

$$\Theta := M_p \cdot y_{\phi} \cdot \frac{E_{20}}{E} \quad \Theta = -6.612 \times 10^{-3}$$

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

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

$U_{sl_P} = \text{"Условие поворота плоского фланца выполняется"}$

В расчете фланцевого соединения все условия выполняются, что говорит о верном расчете и выборе правильной конструкции соединения.

3.2 Расчет укреплений отверстий в цилиндрической обечайке [3]

Расчет укреплений отверстий в цилиндрической и эллиптической оболочках, нагруженных внутренним давлением, по ГОСТ Р 52857.3—2007 .

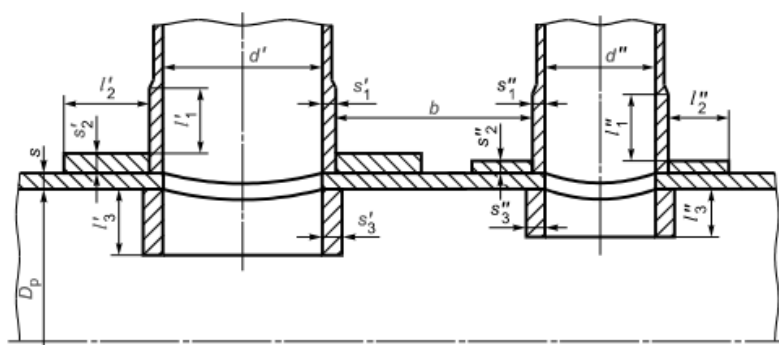


Рис. 3.5

Исходные данные:

Внутренний диаметр оболочки, мм: $\underline{D} := 450$

Внутреннее расчетное давление, МПа: $P_r := 0.104$

Расчётная температура, $^{\circ}\text{C}$: $t_R := 150$

Исполнительная толщина стенки оболочки, мм: $\underline{s} := 8$

Расстояние от центра укрепления отверстия до оси, мм: $x := 0$

Диаметр отверстия, мм: $d_1 := 125$

$d_2 := 125$

Толщина стенки (внутренней) штуцера, мм: $\underline{s}_1 := 8$

Толщина стенки (внешней) штуцера, мм: $s_3 := 8$

Длина внешней части штуцера, мм: $l_1 := 135$

Длина внутренней части штуцера, мм: $l_3 := 75$

Ширина накладного кольца, мм: $\underline{l}_2 := 0.5d_1$

Толщина накладного кольца, мм: $\underline{s}_2 := s$

Прибавка расчетной толщины стенки, мм: $c := 2.8$

Коэффициент прочности сварных швов: $\phi := 0.9$

Допускаемое напряжение для материала при расчётной температуре, МПа:

$$\sigma_d := 135.8$$

Допускаемое напряжение для материала накладного кольца при расчетной температуре, МПа:

$$\sigma_{d1} := \sigma_d$$

Допускаемое напряжение для материала внешней части штуцера при расчетной температуре, МПа:

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

Допускаемое напряжение для материала внутренней части штуцера при расчетной температуре, МПа:

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

Высота, мм: $h := 0.25 \cdot D$

Расчёт укрепления отверстия в оболочке:

Выбор типа оболочки:

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

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

Расчётный диаметр оболочки:

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

$$D_p = 450 \quad \text{мм}$$

Тип = "цилиндрическая оболочка"

Расчётный диаметр отверстия в стенке обечайки, мм:

$$d1_p := \begin{cases} d1_p \leftarrow d1 + 2 \cdot c & \text{if } n = 1 \\ d1_p \leftarrow \frac{(d1 + 2 \cdot c)}{\sqrt{1 - \left(2 \cdot \frac{x}{D_p}\right)^2}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d1_p = 130.6$$

Проверка условий применения формул для расчёта укрепления отверстий:

$$Usl := \begin{cases} \text{if } n = 1 \\ \quad \begin{cases} \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(d1_p - 2 \cdot c)}{D} > 1 \\ \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(s - c)}{D} > 0.1 \\ \text{"условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} \\ \text{if } n = 2 \\ \quad \begin{cases} \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(d1_p - 2 \cdot c)}{D} > 0.6 \\ \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(s - c)}{D} > 0.1 \\ \text{"условия применения формул выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases} \end{cases}$$

Tip = "цилиндрическая оболочка"

Usl = "условия применения формул выполняются"

Расчётная толщина стенки оболочки:

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

$$s_p = 0.192 \quad \text{мм}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_{1p}' := \frac{P_r \cdot (d1 + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_{d1} \cdot \phi - P_r} = 0.056 \quad \text{мм}$$

Расчётные длины штуцеров:

$$l_{11p} := \min[l_1, \sqrt{(d1 + 2 \cdot c) \cdot (s - c)}] \quad l_{11p} = 26.06 \quad \text{мм}$$

$$l_{31p} := \min[l_3, 0.5 \cdot \sqrt{(d1 + 2 \cdot c) \cdot (s_3 - 2 \cdot c)}] \quad l_{31p} = 8.852 \quad \text{мм}$$

Расчётная ширина накладного кольца:

$$l_{21p} := \min[l_2, \sqrt{D_p \cdot (s_2 + s - c)}] \quad l_{21p} = 62.5 \quad \text{мм}$$

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

$$l_{1p} := \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 48.374 \quad \text{мм}$$

Отношения допускаемых напряжений: для внешней части штуцера:

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

для накладного кольца:

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

для внутренней части штуцера:

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

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d1_{op} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 19.349 \quad \text{мм}$$

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

$$d1_o := 2 \cdot \left[\left(\frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2.549 \times 10^3 \quad \text{мм}$$

Проверка необходимости укрепления отверстия:

$$\text{Prov} := \begin{cases} \text{"Необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d1_o < d1 \\ \text{"Укрепление не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "цилиндрическая оболочка"

Prov = "Укрепление не требуется"

Проверка условия укрепления одиночного отверстия:

$$A_{11} := l_{1p} \cdot (s_1 - s'_{1p} - c) \cdot \chi_1 = 134.063 \quad \text{мм}$$

$$A_{21} := l_{21p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 = 500 \quad \text{мм}$$

$$A_{31} := l_{31p} \cdot (s_3 - c - c) \cdot \chi_3 = 21.245 \quad \text{мм}$$

$$A_{1p.c} := l_{1p} \cdot (s - s_p - c) = 242.277 \quad \text{мм}$$

$$A_{1p} := 0.5 \cdot (d1_p - d1_{op}) \cdot s_p = 10.654 \quad \text{мм}$$

$$\text{Summa1} := A_{11} \cdot \chi_1 + A_{21} \cdot \chi_2 + A_{31} \cdot \chi_3 + A_{1p.c} = 897.585$$

$$\text{Prov}' := \begin{cases} \text{"условие укрепления выполняется"} & \text{if } \text{Summa1} \geq A_{1p} \\ \text{"условие укрепления НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "цилиндрическая оболочка"

Prov' = "условие укрепления выполняется"

Расчёт укрепления отверстия в эллиптической оболочке:

Выбор типа оболочки:

$$\underset{\text{мм}}{n} := \begin{matrix} \text{цилиндрическая} \\ \text{эллиптическая} \end{matrix} \quad n = 2$$

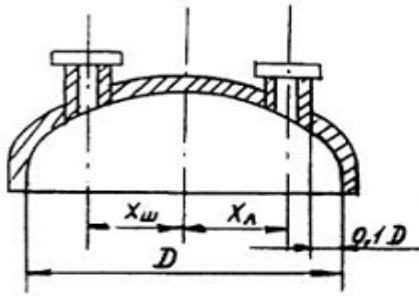


Рис. 3.6 - Эллиптическая крышка

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

Расчётный диаметр оболочки:

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

$$D_p = 450 \text{ мм}$$

Tip = "эллиптическая оболочка"

Расчётный диаметр отверстия в стенке эллиптической оболочки, мм:

$$d1_p := \begin{cases} d1_p \leftarrow d1 + 2 \cdot c & \text{if } n = 2 \\ d1_p \leftarrow \frac{(d1 + 2 \cdot c)}{\sqrt{1 - \left(2 \cdot \frac{x}{D_p}\right)^2}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d1_p = 130.6$$

Проверка условий применения формул для расчёта укрепления отверстий:

$$\text{Usl} := \begin{cases} \text{if } n = 2 \\ \quad \begin{cases} \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(d1_p - 2 \cdot c)}{D} > 1 \\ \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(s - c)}{D} > 0.1 \\ \text{"условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} \\ \text{if } n = 2 \\ \quad \begin{cases} \text{"отношение диаметров НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(d1_p - 2 \cdot c)}{D} > 0.6 \\ \text{"отношение толщины к диаметру НЕ выполняется"} & \text{if } \frac{(s - c)}{D} > 0.1 \\ \text{"условия применения формул выполняются"} & \text{otherwise} \end{cases} \end{cases}$$

Tip = "эллиптическая оболочка"

Usl = "условия применения формул выполняются"

Расчётная толщина стенки оболочки:

$$s_p := \begin{cases} s_p \leftarrow \frac{P_r \cdot D_p}{2 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P_r} & \text{if } n = 2 \\ s_p \leftarrow \frac{P_r \cdot D_p}{4 \cdot \phi \cdot \sigma_d - P_r} & \text{otherwise} \end{cases}$$
$$s_p = 0.192 \text{ мм}$$

Расчётная толщина стенки штуцера:

$$s_{1p}' := \frac{P_r \cdot (d1 + 2 \cdot c)}{2 \cdot \sigma_{d1} \cdot \phi - P_r} = 0.056 \text{ мм}$$

Расчётные длины штуцеров:

$$l_{11p} := \min[l_1, \sqrt{(d1 + 2 \cdot c) \cdot (s - c)}] \quad l_{11p} = 26.06 \text{ мм}$$

$$l_{31p} := \min[l_3, 0.5 \cdot \sqrt{(d1 + 2 \cdot c) \cdot (s_3 - 2 \cdot c)}] \quad l_{31p} = 8.852 \text{ мм}$$

Расчётная ширина накладного кольца:

$$l_{21p} := \min[l_2, \sqrt{D_p \cdot (s_2 + s - c)}] \quad l_{21p} = 62.5 \text{ мм}$$

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

$$l_{1p} := \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 48.374 \text{ мм}$$

Отношения допускаемых напряжений: для внешней части штуцера:

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

для накладного кольца:

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

для внутренней части штуцера:

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

Расчётный диаметр одиночного отверстия, не требующий дополнительного укрепления:

$$d1_{op} := 0.4 \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 19.349 \text{ мм}$$

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

$$d1_o := 2 \cdot \left[\left(\frac{s - c}{s_p} \right) - 0.8 \right] \cdot \sqrt{D_p \cdot (s - c)} = 2.549 \times 10^3 \text{ мм}$$

Проверка необходимости укрепления отверстия:

$$Prov := \begin{cases} \text{"Необходимо укрепление отверстия"} & \text{if } d1_o < d1 \\ \text{"Укрепление не требуется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "эллиптическая оболочка"

Prov = "Укрепление не требуется"

Проверка условия укрепления одиночного отверстия:

$$A_{11} := l_{1p} \cdot (s_1 - s'_{1p} - c) \cdot \chi_1 = 134.063 \text{ мм}$$

$$A_{21} := l_{21p} \cdot s_2 \cdot \chi_2 = 500 \text{ мм}$$

$$A_{31} := l_{31p} \cdot (s_3 - c - c) \cdot \chi_3 = 21.245 \text{ мм}$$

$$A_{1p.c} := l_{1p} \cdot (s - s_p - c) = 242.277 \text{ мм}$$

$$A_{1p} := 0.5 \cdot (d1_p - d1_{op}) \cdot s_p = 10.654 \text{ мм}$$

$$Summa1 := A_{11} \cdot \chi_1 + A_{21} \cdot \chi_2 + A_{31} \cdot \chi_3 + A_{1p.c} = 897.585$$

$$Prov' := \begin{cases} \text{"условие укрепления выполняется"} & \text{if } Summa1 \geq A_{1p} \\ \text{"условие укрепления НЕ выполняется"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Тип = "эллиптическая оболочка"

Prov' = "условие укрепления выполняется"

3.3 Подбор опор для аппарата

$$m_{\text{пап}} := 173 \text{ кг} \quad \text{масса пустого аппарата [10]}$$

$$V_{\text{ц}} := \frac{3.14 \cdot 0.450^2 \cdot 1.5}{4} = 0.238 \text{ м}^3 \quad \text{объем аппарата}$$

$$\rho_{\text{воды}} := 994.4 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$m_{\text{воды}} := V_{\text{ц}} \cdot \rho_{\text{воды}} = 237.108 \text{ кг} \quad \text{масса воды в цилиндрической части}$$

$$M_{\text{ап}} := (m_{\text{воды}} + m_{\text{пап}}) = 410.108 \text{ кг}$$

Вес аппарата:

$$G_{\text{ап}} := (m_{\text{воды}} + m_{\text{пап}}) \cdot 9.81 = 4.023 \times 10^3 \text{ Н}$$

Нагрузка на одну опору:

$$G_{\text{оп}} := \frac{G_{\text{ап}}}{4} = 1.006 \times 10^3 \text{ Н}$$

Изготовлена опора из полосы листового проката толщиной 8 мм и шириной 50 мм.

4. Исследование угла естественного откоса порошкообразных материалов

4.1 Литературный обзор

Значительная эффективность использования композиционных материалов во многих отраслях народного хозяйства способствует увеличению выпуска полимеров, стабилизаторов и других компонентов, для производства полимерных композиций и прогресса их технологий.

Дозирование наполнителей и добавок при производстве готовой продукции требует высокой точности и стабильности в течение всего периода изготовления изделий. Важным фактором, вызывающим равномерность подачи «сложных» сыпучих материалов в основной полимер, является правильный выбор конструкции подающего угла. Часто при дозировании и особенно влажного и уплотненного материала происходит зависание порошка или сводообразование.

Зависание и сводообразование – нежелательные явления, которые приводят к нарушению процессов дозирования, транспортировки и прессования порошков. Чтобы исключить эти факторы, которые мешают ссыпанию материала, проводятся исследования, которые помогают оптимизировать этот процесс.

Для оценки технологичности порошкообразных веществ, а также для прогнозирования поведения сыпучих масс в условиях промышленного производства определяют их технологические свойства. К технологическим свойствам сыпучих материалов относят форму и размер частиц, гранулометрический состав, сыпучесть, угол естественного откоса и максимальную насыпную плотность. Указанные технологические свойства оказывают влияние на организацию бесперебойного технологического процесса и качество конечного продукта, в связи, с чем их значения необходимо поддерживать.

Частицы вещества, находящиеся на свободной поверхности насыпи, испытывают состояние предельного (критического) равновесия. Угол естественного откоса связан с коэффициентом трения и зависит от шероховатости зёрен, степени их увлажнения, гранулометрического состава и формы, а также от удельного веса материала.

Сыпучесть – это свойство порошка перемещаться в свободном потоке, где частицы не сцеплены друг с другом. При длительном хранении, особенно при повышенных температуре и давлении, возможна агрегация частиц, приводящая к комкованию и слеживанию порошкообразных материалов. Критериями оценки сыпучести порошков могут служить угол внутреннего трения, скорость высыпания порошка из бункера, угол ссыпания, угол обрушения, угол естественного откоса и др.

Угол естественного откоса – угол, образованный свободной поверхностью рыхлой горной массы или иного сыпучего вещества с горизонтальной плоскостью. Иногда может быть использован термин «угол внешнего трения».

Степень сыпучести порошков характеризуется следующими критериями: сыпучестью (скорость протекания порошка через отверстие); насыпным объемом; углом естественного откоса; уплотнением материала и влажностью.

Материал, имеющий плохую сыпучесть, может прилипать к стенкам воронки, что нарушает ритм поступления и приводит к колебаниям массы и плотности. Сыпучесть порошков является комплексной характеристикой, определяемой целым рядом факторов: дисперсностью и формой частиц, влажностью масс, гранулометрическим составом, а также коэффициентами межчастичного и внешнего трения.

Определение угла естественного откоса исходных образцов полимеров.

Угол естественного откоса изменяется в широких пределах от 25 до 30° – для хорошо сыпучих материалов, от 60 до 70° – для связных материалов. Таким образом, угол естественного откоса является показателем, определяющим потенциальную сыпучесть материала. Для определения угла

естественного откоса предварительно взвешенный на весах исследуемый полимер в количестве 10,0 г с точностью до 0,001 г помещается в воронку с закрытой заслонкой. Затем включается для утряски порошка тумблер и по истечении 20 секунд открывается заслонка, после чего порошок высыпается на горизонтальную поверхность, образуя горку свободной насыпью. Подводя угломер к образованному порошком конусу, определяется угол естественного откоса по шкале. По шести повторным опытам рассчитывается среднее значение угла естественного откоса. В соответствии с полученными результатами среднее значение угла естественного откоса для порошка составляет 40° , а значит, данный полимер обладает недостаточной потенциальной сыпучестью.

Определение сыпучести исходных образцов полимеров.

Сыпучестью или текучестью порошков называют способность испытуемого материала под силой собственной тяжести обеспечивать равномерное заполнение материального канала. Наиболее точные результаты, с хорошей воспроизводимостью получают при определении сыпучести на стандартизованных приборах.

Методика определения угла откоса проводится следующим образом. Истечение порошка из отверстия воронки производят на ровную горизонтальную поверхность. Диаметр основания (базы) конуса порошка может быть фиксированный или диаметр может меняться в процессе образования конуса.

Измерение значения угла естественного откоса проводят не менее, чем в трех повторях при помощи угломера в трех плоскостях и выражают в угловых градусах.

При проведении испытания следует учитывать, что:

- условия эксперимента должны обеспечивать формирование симметричного конуса порошка;
- вершина формирующегося конуса может деформироваться под воздействием падающих частиц порошка.

Эти внешние воздействия должны быть устранены любым приемлемым способом. Кроме того, материал основы (базы), на которой формируется конус, может влиять на величину угла откоса.

4.2 Экспериментальная часть

Целью работы является исследование зависимости угла естественного откоса промышленных порошкообразных материалов при свободной и уплотненной засыпке.

В качестве образцов использовался порошкообразный полиэтилен высокого давления (ПЭВД) марки 153 и 158 и ирганокс 1010, применяемый в качестве стабилизатора полимерных композиций.

Методика определения угла естественного откоса порошков заключается в следующем. В цилиндрический стакан объемом 50 мл через воронку свободно засыпается испытуемый материал. Затем стакан переворачивается вверх дном и при медленном его поднимании высыпавшийся материал распределяется на горизонтальной плоскости под углом естественного откоса, при этом отмечается наблюдается или нет зависание порошка. Замеряются углы откоса при ссыпании в нескольких точках относительно горизонтальной поверхности. Полученные результаты сведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Угол естественного откоса порошков

Материал	Угол естественного откоса, град			
	свободная засыпка		уплотненная засыпка	
ПЭВД марки 153	36	–	39	Зависание
ПЭВД марки 158	38	–	35	Зависание
Ирганокс 1010	26	Зависание	37	Зависание

Из табличных данных видно, что при свободной засыпке порошок ирганокса 1010 обладает очень хорошей сыпучестью, а у порошков ПЭВД

степень сыпучести удовлетворительная. Однако зависание порошков наблюдается для всех уплотненных образцов. При свободной засыпке зависание происходит только для ирганокса 1010 очевидно из-за тонкодисперсной структуры порошка.

Дальнейшие исследования угла естественного откоса проводились на образцах ПЭВД, состоящих из порошка (П) и гранул (Г) в объемном соотношении Г:П=0–100:100–0 (табл. 4.2).

Таблица 4.2 – Угол естественного откоса образцов, состоящих из гранул и порошка ПЭВД

Объемное соотношение компонентов Г : П, %	Угол естественного откоса, град			
	свободная засыпка		уплотненная засыпка	
0:100	38	–	47	Зависание
20:80	38	–	42	Зависание
40:60	39	–	43	Зависание
60:40	38	–	42	–
80:20	29	–	31	–
100:0	19	–	20	–

Проанализировав полученные результаты исследования, можно сделать вывод, что увеличение содержания гранул ПЭВД в образце значительно уменьшает угол естественного откоса с 38 ° до 29 ° и улучшает сыпучесть материала. Также содержание гранул в объеме образца менее 40 % способствует зависанию материала, который имеет неудовлетворительную степень сыпучести и которому требуется дополнительное перемешивание, встряхивание или вибрация.

Выводы

1. Определены углы естественного откоса и степень сыпучести порошкообразного ПЭВД при свободной и уплотненной засыпке материала, которые составляют 26–38 ° и 35–39 °, соответственно.
2. Исследовано влияние количества гранул ПЭВД в образце на степень сыпучести и угол естественного откоса. Найдено, что зависание материала происходит при объемном содержании гранул до 40 %.

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

Школа Инженерная новых производственных технологий
Направление подготовки 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии
ООП «Технология и оборудование химических и нефтехимических производств»
Отделение школы (НОЦ) имени Н.М. Кижнера

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Установка получения композиционных материалов на основе ПЭВД с разработкой основного оборудования

УДК 620.22.419.8.002.5.027:236

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ61	Шипулин Артем Сергеевич		

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Креницына Зоя Васильевна	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Ахмеджанов Рафик Равильевич	д.б.н		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Краснокутская Елена Александровна	доктор химических наук		

5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

5.1 Предпроектный анализ

5.1.1 Потребители результатов исследования

Результат исследования – разработка и механический расчёт теплообменника и воздушного ресивера.

Целевой рынок – нефтеперерабатывающая и химическая отрасль промышленности.

5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Таблица 5.1. – Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Наиболее влиятельными в регионе фирма – конкурентами компании являются: «ЛКМ ПОРТАЛ» и «ПластЭксперт». С индексом 1 по таблице будет оцениваться «ЛКМ ПОРТАЛ», а с индексом 2 «ПластЭксперт».

Таблица 5.1.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1 Повышение производительности труда пользователя	0,07	4	5	2	0,28	0,35	0,14
2 Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,14	4	3	4	0,56	0,42	0,56
3 Энергоэкономичность	0,10	5	5	5	0,5	0,5	0,5
4 Надежность	0,15	5	4	5	0,75	0,6	0,75
5 Безопасность	0,15	5	5	5	0,75	0,75	0,75
Экономические критерии оценки эффективности							
1 Конкурентоспособность продукта	0,09	3	5	4	0,27	0,45	0,36
2 Уровень проникновения на рынок	0,06	3	3	4	0,18	0,18	0,24
3 Цена	0,08	5	4	4	0,4	0,32	0,32
4 Предполагаемый срок эксплуатации	0,07	5	2	5	0,35	0,14	0,35
5 Срок выхода на рынок	0,05	3	4	3	0,15	0,2	0,15
6 Финансирование научной разработки	0,04	4	5	5	0,16	0,2	0,2
Итого	1	46	45	46	4,35	4,11	4,32

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

V_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Конкурентоспособность разработки составила 4,35, в то время как двух других конкурентных аналогов 4,11 и 4,32 соответственно.

$4,35/4,11=1,058$ и $4,35/4,32=1,007$. Результаты показывают, что данная разработка является наиболее конкурентоспособным.

5.1.3. SWOT – анализ

Таблица 5.2. - Матрица SWOT

	Сила	Слабости
Возможность	<p>1. Сила и Возможность</p> <ul style="list-style-type: none"> • Возможность установить прочные позиции на рынке товаров за счёт низкой стоимости продукта • Возможность получения стабильных доходов • Привлечение новых инвесторов и партнёров 	<p>2. Слабости и Возможность</p> <ul style="list-style-type: none"> • Надёжность партнёров и стабильность цен
Угрозы	<p>3. Сила и Угрозы</p> <ul style="list-style-type: none"> • Экономия средств и преданность рабочих уменьшают угрозы политического и предприятиями 	<p>4. Слабости и Угрозы</p> <ul style="list-style-type: none"> • Подавление новыми более технологичными, конкурентоспособными

5.2 Организационный план

Начальник цеха подчинен начальнику производства полиэтилена. В цехе 3 отделения: отделение прием-анализа, отделение производства композиций и отделение производства концентратов.

Начальник цеха отвечает за бесперебойную работу трудовых ресурсов и оборудования. Все распоряжения начальника цеха подлежат обязательному выполнению.

Начальник отделения отвечает за технологический процесс, охрану труда и технику безопасности.

Начальник смены отвечает за выполнение сменного задания, обеспечение и рациональное использование трудового времени.

Старший механик следит за исправностью всех машин, оборудования, трубопроводов; составляет график ППР; принимает технологический процесс и новое оборудование.

Механик отвечает за проведение ППР в установленные сроки.

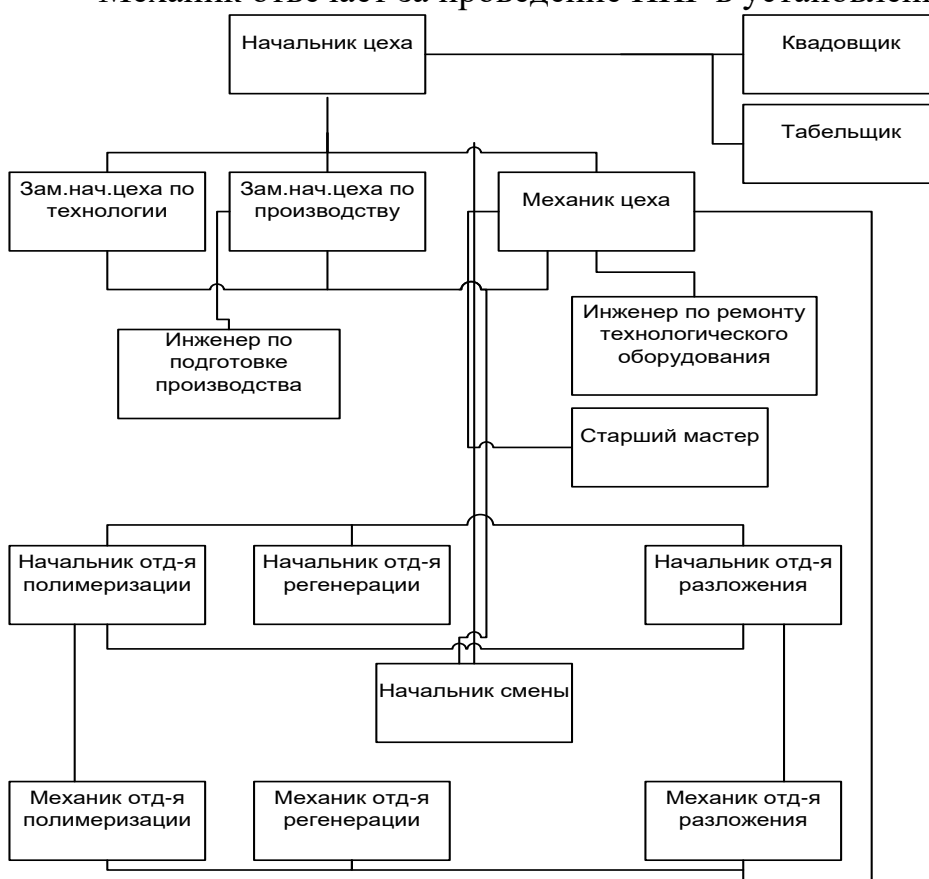


Рис. 5.1 Структура организации производственной деятельности цеха производства полиэтилена

Таблица 5.3 – Штатное расписание цеха производства полиэтилена

Наименование структурных подразделений, профессий и должностей	Разряды	Категория	Кол-во штатных единиц	Должностной оклад, тариф, (руб.)		Установленный тариф, окладе нормальными условиями труда, (руб.)	Установленный тариф, окладе вредными условиями труда, (руб.)	З/плата в месяц, (руб.)	Месячный фонд з/платы с учетом численности, (руб.)
				мин.	мах.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Начальник цеха		рук.	1	7800	8800		9856	12813	12813
Зам. начальника цеха по технологии		рук.	1	7020	7920		8870	11532	11532
Зам начальника цеха по производству		рук.	1	7020	7920		8870	11532	11532
Механик цеха		спец.	1	7100	8000		8960	11648	11648
Начальник отделения		рук.	3	6200	7200		8064	10483	31450
Механик отделения			3	6200	7200		8064	10483	31450
Старший мастер -технолог		рук.	1	6200	7200		8064	10483	10483
Начальник смены		рук.	5	4500	5500		6160	10373	51866
Инженер по ремонту 2 категории		спец.	1	3150	3900	3900		5070	5070
Инженер по подготовке производства 1 категории		спец.	1	3950	4500	4500		5850	5850
Табельщик		служ.	1	2320	2900	2900		3770	3770
Итого:			19						184462
Аппаратчик приема-анализа	6	раб.	10	19,7	21,55		21,55	6051	60512
Аппаратчик приема-анализа	5	раб.	18	16,1	19,2		19,2	5391	97044
Итого по отделению:			28						157557
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Отд. Регенерации	Оператор дистанционного пульта управления	6	раб.	1	19,7	21,55		21,55	6051	6051	
	Аппаратчик перегонки	6	раб.	6	19,7	21,55		21,55	6051	36307	
	Аппаратчик перегонки	5	раб.	10	16,1	19,20		19,20	5391	53914	
	Машинист экструдеров	6	раб.	4	19,7	21,55		21,55	6051	24205	
	Машинист экструдеров	5	раб.	2	16,1	19,20		19,20	5391	10783	
	Итого по отделению:			23							125209
	Аппаратчик концентратов	6	раб.	7	19,7	21,55		21,55	6051	42359	
	Аппаратчик концентратов	5	раб.	8	16,1	19,20		19,20	5391	43131	
	Аппаратчик подготовки сырья, отпуска полуфабрикатов и продукции	5	раб.	1	16,1	19,20		19,20	5391	5391	
	Итого по отделению:			16							90881

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Слесарь-ремонтник по ремонту технологического оборудования	6	раб.	6	23,1	25,6		25,60	5459	33297
	Слесарь-ремонтник по ремонту технологического оборудования	5	раб.	9	19,5	22,56		22,56	4890	44014
	Слесарь-ремонтник по ремонту технологического оборудования	4	раб.	3		18,44		18,44	3997	11992
	Слесарь-ремонтник по ремонту технологического оборудования	5	раб.	4	16,1	19,2		19,20	5391	21565
	Уборщик производственных помещений		раб.	5		1900		1900	2470	12350
	Кладовщик		раб.	1		2160	2160			2808
	Итого:			28						92729
Всего по цеху полимеризации: ИТОГО				114						653838
В том числе:										
руководителей				12						129675
специалистов				6						54018
служащих				1						3770
рабочих				95						466376

5.3 Расчет производственной мощности

Под производственной мощностью понимают максимально возможный выпуск продукции в определенной номенклатуре и ассортименте при наиболее полном использовании в течение года оборудования производительных площадей, применении прогрессивных технических норм производительности оборудования и удельных норм расхода сырья, материалов и топлива.

Под производственной мощностью оборудования следует понимать его максимальную способность выпускать продукцию за определенный календарный период времени при наилучших организационно-технических условиях.

Производственная мощность выражается качеством выпускаемой продукции и измеряется в единицах. Если аппарат стоит в конце технологической линии, то его мощность определяется по готовому продукту. Во всех остальных случаях мощность рассчитывается по перерабатываемому сырью, а затем, с использованием коэффициентов выхода, переводится на конечный продукт.

Мощность технологического аппарата будет определяться по часовой производительности, а также характером действием и временем работы в течение года. В производстве композиций полиэтилена основным аппаратом является экструдер. Процесс идет непрерывно при наработке ежемесячного плана.

Проектная мощность - 6000 т в год, в том числе:

1) концентрат тех. углерода - $G := 600$ т в год;

Для непрерывного производства расчет производственной мощности производится по формуле:

$$N_{\Pi} = \Pi_{техт} \cdot T_{эфф} \cdot n$$

Где $\Pi_{техт}$ – производительная мощность экструдера в единицу времени, т/ч;

$T_{эфф}$ – эффективное время работы оборудования, ч;

$n = 1$ – количество единиц оборудования.

Определение величины эффективного времени:

Под эффективным временем работы экструдера понимается максимально возможное время, которое отработает оборудование с учетом характера его действия, режима работы производства, времени необходимого для проведения планово-предупредительных работ (ППР), применяемых в соответствии с утвержденными данными-нормативами.

В общем виде величина эффективного времени выражается следующим образом:

$$T_{эфф} = T_{кал} - T_{ппр}$$

Где $T_{кал}$ – календарный фонд времени работы оборудования, ч;

$T_{ппр}$ – время на ремонтные простои, ч.

Календарный (годовой фонд времени работы экструдера) при цикле работы производства - 200 суток. Таким образом:

$$T_{кал} = 220 \times 24 = 5280 \text{ ч}$$

Время ремонта, простои определяются из графика ППР, построенного по нормативам (таблица 5.4) Время между сменными ремонтами называется межремонтным временем (циклом). Плановое время простоя по нормативам ППР составляет 960 часа, но действительное время простоя экструдера 2040 часов в год.

Таблица. 5.4

Норматив графика планово-предупредительных работ (ППР)

Оборудование	Капитальный ремонт		Текущий ремонт	
	Межремонтный цикл (ч)	Простои на ремонте (ч)	Межремонтный цикл (ч)	Простои на ремонте (ч)
Экструдер	11520	192	1080	24

$$T_{ппр} = 2040 \text{ ч}$$

Эффективное время работы оборудования:

$$T_{эфф} = T_{кал} - T_{ппр} = 5280 - 2040 = 3240 \text{ ч}$$

Техническая норма производительности экструдера составляет:

$$P_{техн} = \frac{G}{T_{кал}} = \frac{6000}{5280} = 1,1 \text{ т/час}$$

Определим частоту проведения капитальных ремонтов.

Межремонтные циклы:

$$M_{р.ц} = 11520 \text{ ч}; M_{м.т.р} = 1080 \text{ ч}; T_{ц.к} = \frac{M_{р.ц}}{T_{кал}} = \frac{11520}{5280} = 2,1$$

Таким образом капитальный ремонт проводится 1 раз в 2 года.

Определим количество текущих ремонтов между капитальными ремонтами.

$$N_{т.р} = \frac{M_{р.ц}}{M_{м.т.р}} - 1 = \frac{11520}{1080} - 1 = 9,6$$

Эффективное среднемесячное время:

$$T_{эфф.ср.м} = 30 \cdot 24 = 720 \text{ ч.}$$

Время между текущими ремонтами:

$$T_{\text{т.р}} = \frac{M_{\text{м.т.р}}}{T_{\text{эфф.ср.м}}} = \frac{1080}{720} = 1,5 \text{ мес}$$

Таким образом ремонт проводится 8 раз в год.

Производственной мощности:

$$N_{\text{п}} = P_{\text{техн}} \cdot T_{\text{эфф}} \cdot n = 1,1 \cdot 3240 \cdot 1 = 3564 \text{ т/год}$$

Режим работы работников

Производство “Полиэтилен” работает непрерывно, поэтому бригады формируются по принципу сменности. Согласно заводским данным график сменности является четырех -бригадным. График сменности представляет собой изображение очередности выхода работающих на работу. А, Б, В, Г - условное обозначение бригад. Основные рабочие на производстве работают в двухсменном режиме, первая смена работает с 8.00 до 20.00 часов, а вторая смена с 20.00 до 8.00 часов.

График двухсменного 4-бригадного режима работы на январь 2018 года приведен в таблице 5.5

График работы дневного персонала на январь 2018 года приведен в таблице 5.6

Таблица. 5.5 График двухсменного 4-бригадного режима работы на январь 2018

Месяц	График	Смена	Число месяца																														
			1 чт	2 пт	3 сб	4 вс	5 пн	6 вт	7 ср	8 чт	9 пт	10 сб	11 вс	12 пн	13 вт	14 ср	15 чт	16 пт	17 сб	18 вс	19 пн	20 вт	21 ср	22 чт	23 пт	24 сб	25 вс	26 пн	27 вт	28 ср	29 чт	30 пт	31 сб
	1	А	12	12		4	$\frac{8}{4}$	8			12	12		4	$\frac{8}{4}$	8				12		4	$\frac{8}{4}$	8			12	12		8	$\frac{8}{4}$	8	
	2	Б		4	$\frac{8}{4}$	8			12	12		4	$\frac{8}{4}$	8			12	12		4	$\frac{8}{4}$	8			12	12		4	$\frac{8}{4}$	8			12
	3	В	$\frac{8}{4}$	8			$\frac{1}{2}$	12		4	4	8			12	12		4	$\frac{8}{4}$	8			12	12		4	$\frac{8}{4}$	8			12	12	
	4	Г			12	12		4	$\frac{8}{4}$	8			12	12		4	$\frac{8}{4}$	8			12	12		4	$\frac{8}{4}$	8			12	12		4	

Примечание: 12 - смена, работающая с 8.00 до 20.00 ч., 8/4 - смена, работающая с 20.00 до 8.00 ч.

Продолжение таблицы 5.5

По графику (ч.)	По норме (ч.)	Отклонение от нормы (ч.)	Количество (ч.)		Норма дней	Отработано дней
			ночных	праздных		
192	151	21	96	20	16	16
180	151	17	96	12	15	15
192	151	13	96	28	16	16
180	151	17	84	12	15	15

Таблица. 5.6 График работы дневного персонала на январь 2018

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
П	П	В	В	8,2	8,2	П	8,2	7,2	В	В	8,2	8,2	8,2	8,2	7,2
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
В	В	8,2	8,2	8,2	8,2	7,2	В	В	8,2	8,2	8,2	8,2	7,2	В	

Таблица. 5.7 Затраты на строительство производственных зданий

Здания	$C_{1м^3}$, руб.	$V_{зд}$, м ³	$C_{от}$, руб.	$C_{вен}$, руб.	$C_{вод}$, руб.	$C_{кан}$, руб.	$C_{осв}$, руб.	$C_{зд}$, руб.
АБК (административно бытовой корпус)	400	1140	3000	8000	2500	700	620	470820
Слесарное помещение	300	1235	2700	8000	2500	700	850	385250
Трансформаторная	200	540	1800	8000	2500	700	550	121550
Рабочая зона	250	2160	1000	8000	2500	700	600	552800
Хранилище ценного материала	300	361	1200	8000	2500	700	500	121200
Склад готовой продукции	350	1064	4000	8000	2500	700	1400	389000
Сумма								2040620

Величина капитальных затрат на **строительство здания** может быть определена укрупнено:

$$C_{зд} = (C_{1м^3} \times V_{зд}) + C_{от} + C_{вен} + C_{вод} + C_{кан} + C_{осв},$$

где $C_{зд}$ - стоимость здания;

$C_{1м^3}$ - стоимость одного кубического метра производственного здания;

$V_{зд}$ - объем здания;

Стоимость санитарно-технических работ:

$C_{от}$ - стоимость затрат на отопление;

$C_{вен}$ - стоимость затрат на вентиляцию;

$C_{вод}$ - стоимость затрат на водопровод;

$C_{кан}$ - стоимость затрат на канализацию;

$C_{осв}$ - стоимость затрат на освещение

Таблица. 5.8 Потребность основных фондах

Основные фонды	До увеличения выхода полиэтилена		После увеличения выхода полиэтилена	
	Кол-во единиц	Общая стоимость, руб.	Кол-во единиц	Общая стоимость, руб.
1. Здания, сооружения производственного назначения	6	2040620	6	2040620
2. Передаточные устройства	20	1000000	20	1000000
3. Машины и оборудование	36	40000000	36	42000000
3.1. Экструдер				
3.2. Теплообменник	6	22500000	6	24260000
3.3. Центрифуга	6	3000000	6	3240000
3.4. Емкость	4	4000000	4	4000000
3.5. Насосы	10	10000000	10	10000000
	10	500000	10	500000
4. Транспортные средства	10	3000000	10	3000000
5. Инструмент со сроком службы более 1 года	50	200000	50	200000
6. Производственный инвентарь и принадлежности	100	500000	100	500000
7. Хозяйственный инвентарь	100	900000	100	900000
8. Прочие	50	100000	50	100000
Итого	372	47740620	372	49740620

Таблица. 5.9 Расчет амортизационных отчислений

№ п/п	Наименование основных фондов	Норма амортизации, %	До увеличения выхода полиэтилена		
			Соф, тыс. руб.	АО ₁ , тыс. руб.	Сост, тыс. руб.
1.	Здания, сооружения	2	2040,62	40,8124	1999,808
2.	Передаточные устройства	12	1000	120	880
3.	Машины и оборудование	10	40000	4000	36000
4	Служебный транспорт	11	3000	330	2670
5	Инструмент сроком службы более 1 года	10	200	20	180
6	Производственный инвентарь и принадлежности	13	500	65	435
7	Хозяйственный инвентарь	10	900	90	810
8	Прочее	5	100	5	95
	Итого		47740,62	4670,812	43069,81

Таблица. 5.10 Расчет амортизационных отчислений

№ п/п	Наименование основных фондов	Норма амортизации, %	После увеличения выхода полиэтилена		
			Соф, тыс. руб.	АО ₁ , тыс. руб.	Сост, тыс. руб.
1.	Здания, сооружения	2	2040,62	40,8124	1999,808
2.	Передаточные устройства	12	1000	120	880
3.	Машины и оборудование	10	40000	4000	37800
4	Служебный транспорт	11	3000	330	2670
5	Инструмент сроком службы более 1 года	10	200	20	180
6	Производственный инвентарь и принадлежности	13	500	65	435
7	Хозяйственный инвентарь	10	900	90	810
8	Прочее	5	100	5	95
	Итого		47740,62	4670,812	44869,81

Определение себестоимости продукции до повышения производительности

Таблица. 5.11 Калькуляция себестоимости одной тонны композиции полиэтилена 153-10К. Производственная мощность: 6000 т/год.

№ п/п	Наименование статей расхода	Единицы измерения	Цена за 1 ед., руб.	Расход в нат.ед.		Затраты, руб.		Прим.
				На 1т	В год	На 1 т	В год	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Основные материалы	т						
	Полиэтилен		14000	1,0959	86140	15343,00	1205960000	
	Концентрат		368000	0,0600	4716	22080,00	1735488000	
3	Электроэнергия	кВт	1,4	380,0254	29870000	532,04	41818000	
4	Заработная плата основных рабочих					64,7	5596512	Таб. 3
5	Единый социальный налог					16,8	1455093	30 % от ст.4
6	Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования (РСЭО)					0,88	106000	
6.1	Амортизация активной части основных фондов (АЧОП)					57,37	4510000	
6.2	Заработная плата вспомогательных рабочих					18	1556100	Таб. 3
6.3	Единый социальный налог					4,7	404586	
7	Цеховые расходы							
7.1	Амортизация пассивной части основных фондов (ПЧОФ) или арендная плата					2,046	1608124	
7.2	Заработная плата ИТР, служащих, МОП					8,1	693456	
7.3	Единый социальный налог					2,1	180298	
8	Общепроизводственные расходы							
9	Коммерческие расходы (Реклама)					0,7	60000	
	Полная себестоимость					54692,57221	4301220219	
	Условно-переменные затраты					54517,17621	4285050050	
	Условно-постоянные затраты					175,396	16170169	

Определение себестоимости продукции после повышения производительности на 10%

Таблица. 5.12 Калькуляция себестоимости одной тонны композиции полиэтилена 153-10К. Производственная мощность: 6600 т/год.

№ п/п	Наименование статей расхода	Единицы измерения	Цена за 1 ед., руб.	Расход в нат.ед.		Затраты, руб.		Прим.
				На 1т	В год	На 1 т	В год	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Основные материалы	т						
	Полиэтилен		14000	1,0959	94752	15342,60	1326521196	
	Концентрат		368000	0,0600	5186	22080,00	1908448000	
3	Электроэнергия	кВт	1,4	380,0254	29869996	532,04	41817995,02	
4	Заработная плата основных рабочих					64,7	5596512	Таб. 3
5	Единый социальный налог					16,8	1455093	30 % от ст.4
6	Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования (РСЭО)					0,88	106000	
6.1	Амортизация активной части основных фондов (АЧОП)					57,37	4510000	
6.2	Заработная плата вспомогательных рабочих					18	1556100	Таб. 3
6.3	Единый социальный налог					4,7	404586	
7	Цеховые расходы							
7.1	Амортизация пассивной части основных фондов (ПЧОФ) или арендная плата					2,046	1608124	
7.2	Заработная плата ИТР, служащих, МОП					8,1	693456	
7.3	Единый социальный налог					2,1	180298	
8	Общепроизводственные расходы							
9	Коммерческие расходы (Реклама)					0,7	60000	
	Полная себестоимость					54736,43156	4598220400	
	Условно-переменные затраты					54561,03556	4582050231	
	Условно-постоянные затраты					175,396	16170169	

5.4 План доходов и расходов

Таблица 5.13 План доходов и расходов

№	Наименование статей	До повышения производительности	После повышения производительности
1	Объем продаж, т	6000	6600
2	Цена за 1 тонну, тыс.руб.	80	80
3	Выручка от реализации, тыс.руб. (стр.1*стр.2)	6288000	6916800
4	Условно-переменные затраты (табл.10, табл.11), тыс.руб.	4285050	4582050
5	Условно-постоянные затраты (табл.10, табл.11), тыс.руб.	16170	16170
6	Проценты по кредитам, тыс.руб.	0	0
7	Прибыль до вычетов налогов (стр.3-стр.4- стр.5-стр.6)	1986780	2318580
8	Налоги, относящиеся на финансовый результат (2,2% от остаточной стоимости имущества), тыс.руб.	947,5	987,1
9	Налогооблагаемая прибыль (стр.7-стр.8), тыс.руб.	1985832,5	2317592,9
10	Налог на прибыль (20% от стр.9), тыс.руб.	397166,5	463518,6
11	Чистая прибыль (стр.9- стр.10), тыс.руб.	1509232,7	1761370,6

5.5 Составление таблицы основных технико-экономических показателей предприятия

Таблица 5.14

Основные технико-экономические показатели работы предприятия на плановый год

Технико-экономические показатели

Наименование показателя	Ед. изм.	Отчетный год	Плановый год
1. Объем производства	т	6000	6600
2. Объем продаж	тыс. т	6000	6600
3. Цена 1 тонны	тыс. руб.	80000	80000
4. Выручка от продажи (2*3)	тыс. руб.	480000	528000
5. Суммарные издержки	тыс. руб.	444675	474375
5.1. Издержки переменные	тыс. руб.	4285050	4582050
5.2. Издержки постоянные	тыс. руб.	16170	16170
6. Операционная прибыль (4-5)	тыс. руб.	35325	53625
7. Налог на прибыль (6*20%)	тыс. руб.	397166,5	463518,6
8. Чистая прибыль (6-7)	тыс. руб.	1985832,5	2317592,9
9. Себестоимость 1 тонны	тыс. руб.	459822	430122
10. Стоимость основных средств	тыс. руб.	47741	49741
11. Численность основных рабочих	чел.	60	60
12. Фондовооруженность (10/11)	тыс. руб./чел.	796	829
13. Фондоотдача (4/10)	руб./руб.	10	11
14. Фондоемкость (10/4)	руб./руб.	0,1	0,09
15. Производительность труда (4/11)	тыс. руб./чел.	8000	8800
16. Рентабельность производства (8*100%/5)	%	446	488
17. Рентабельность продаж (8*100%/4)	%	413	438

5.6 Анализ безубыточности

Цель анализа - определение точки безубыточности, т.е. минимального объема продаж, начиная с которого предприятие не несет убытков. Это означает, что выручка от реализации продукции (В) должна быть равна общим затратам на производство и реализацию продукции:

$$B = Z_{\text{пост}} + Z_{\text{пер}}$$

Выразим эту формулу через объем продаж (Q):

$$Q \cdot C_i = Z_{\text{пост}} + Z_{\text{пер}} \cdot Q,$$

где $Z_{\text{пост}}$ - постоянные затраты на весь выпуск продукции, руб.;

$Z_{\text{пер}}$ - переменные затраты на единицу продукции, руб./т;

C_i - цена единицы продукции, руб./т.

Тогда точка безубыточности до повышения производительности:

$$Q_{\text{ТБ}} = \frac{Z_{\text{пост}}}{C_i - Z_{\text{пер}}} = \frac{16170169}{80000 - 54517} = 634, \text{ т.}$$

Точка безубыточности после повышения производительности:

$$Q_{\text{ТБ}} = \frac{Z_{\text{пост}}}{C_i - Z_{\text{пер}}} = \frac{16170169}{80000 - 54561} = 635, \text{ т.}$$

Проверим данный факт графически, построив график безубыточности. По графику минимальный объем выработки составляет 634 т/год и 635 т/год, что полностью совпадает с аналитическим методом расчета.

Фондоотдача до повышения производительности:

$$\Phi_1 = \frac{N \cdot C}{C_{\text{оф}}} = \frac{78600 \cdot 80000}{4301220219} = 1,46 \text{ руб} / \text{руб.}$$

Фондоотдача после повышения производительности:

$$\Phi_2 = \frac{N \cdot C}{C_{\text{оф}}} = \frac{86460 \cdot 80000}{4598220400} = 1,5 \text{ руб} / \text{руб.}$$

Увеличение фондоотдачи

Определим величину относительного увеличения себестоимости продукции после повышения производительности:

$$\Delta_{\Phi} = \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\Phi_1} \cdot 100\% = \frac{1,5 - 1,46}{1,46} \cdot 100\% = 2,74\%$$

Увеличение прибыли

Определим относительное увеличение прибыли после повышения производительности:

$$\Delta_{\text{пп}} = \frac{1761370,6 - 1509232,7}{1509232,7} \cdot 100\% = 16,7\%$$

Вывод: В данном проекте, прибыль увеличилась на 16,7 % и фондоотдача увеличилась на 2,74% так что проект более ресурсоэффективен.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4КМ61	Шипулин Артём Сергеевич

Институт	ИШФВТ	Кафедра	
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объектом исследования является оборудование производства композиционного материала на основе ПЭВД, а именно кожухотрубный теплообменник и воздушный ресивер. Область применения – Производство ПЭВД. Отделение дополнительной переработки.. ООО «Томскнефтехим» СИБУР.</i>
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты) 	<p><i>Опасные производственные факторы, источники их формирования и методы их устранения; Основными опасными производственными факторами являются: движущиеся части машин и механизмов (в т.ч. подъемно-транспортного оборудования). повышенная температура поверхностей оборудования, электрический ток, запыленность воздуха рабочей зоны. Пыль порошка полиэтилена при длительном воздействии на организм человека вызывает засорение и раздражение дыхательных путей, глаз и др. К методам предупреждения или устранения этого относится СИЗ, респираторы, защитные очки, спец. Костюм.</i></p> <p><i>- В производственных помещениях используются газоанализаторы воздуха. Предусмотрена вентиляция рабочей зоны.</i></p> <p><i>- При эксплуатации электроприборов и электрооборудования возможно воздействие на рабочих следующих опасных производственных факторов: поражение электрическим током при прикосновении к токоведущим частям; неисправность изоляции или заземления; искрение; возгорание. При обслуживании агрегатов и механизмов с электроприводом необходимо</i></p>
---	--

	<p>вести постоянный контроль: - работы электродвигателя, вибрации, температурой элементов и охлаждающих сред электродвигателя (температурой подшипников, воздуха и т.д.); - наличия кожухов на вращающихся частях агрегатов, целостностью защитного заземления электродвигателя, токопроводящих проводов, кабелей и кнопок управления; - работоспособности вентиляции, наличие и достаточность освещения.</p> <p>- Взрывопожароопасность. Главным источником формирования данного фактора является возможность возникновения заряда статического электричества у гранул полиэтилена).</p> <p>Средства защиты: - заземление контейнеров, силосов хранения, трубопроводов;</p> <p>- снижение интенсивности генерации зарядов статического электричества путем обдувки гранул полиэтилена при хранении.</p> <p>- Механические опасности не возникают так как не происходит движения частей механизмов</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> - защита селитебной зоны - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); - разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>К газообразным отходам производства, загрязняющим окружающую среду, относятся пары реагентов и растворителей, участвующих в процессе полимеризации и образующихся в процессе полимеризации. Для снижения вредного воздействия на окружающую среду производственный процесс ведется в закрытом помещении, оборудованном системой вентиляции. Для контроля содержания реагентов и растворителей в отделении полимеризации установлен газоанализатор СВК-3М, заблокированный с аварийной вытяжной вентиляцией.</p> <p>При эксплуатации производственного оборудования полимеризации, маслостанций, прочего оборудования цеха газообразные отходы производства, загрязняющие окружающую среду, отсутствуют.</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <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. 	<p>Отличительной особенностью производства полиэтилена по пожарной и взрывопожарной безопасности связано с опасностями при работе с высоким содержанием порошка полиэтилена и тех. углерода, которые характеризуются повышенной способностью к воспламенению и детонации.</p> <p>Основные опасности при работе с порошка полиэтилена и тех. Углерода:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Возгорание оборудования, трубопроводов и арматуры, работающих с п/э; 2. Возгорание одежды и волосных покровов обслуживающего персонала, находившегося в среде с повышенным содержанием порошка; 3. Взрыв углеводородов и других взрывоопасных примесей при протекании с экструдеров, трубопроводов и др.

	<p>оборудования при нарушении технологических параметров;</p> <p>4. Пары этилена: может произойти самовоспламенение, вследствие образования высокого содержания его в воздухе при образовании искры.</p> <p>Также при несоблюдении правил хранения и нарушений противопожарных норм возможны загорания смазочных масел и обтирочных материалов.</p>
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Формирование планов действия в чрезвычайных ситуациях. Подготовка персонала, служб гражданской обороны и населения к действиям при чрезвычайных ситуациях.</p> <p>В случае возникновения чрезвычайной ситуации в действие вступает План Ликвидации Аварийной Ситуации (ПЛАС). Он предусматривает порядок действия при возникновении чрезвычайной ситуации. Согласно ПЛАС в цеху должен находиться аварийный запас средств защиты в шкафу. Шкаф должен быть окрашен в желтый цвет с надписью. Содержимое шкафа включает в себя шланговые противогазы ПТГГ-1, промышленные фильтрующие противогазы ППФМ-92 с коробкой марки БКФ, самоспасатель ПДУ-3, респираторы, комплекты спецодежды, защитные очки, сапоги, перчатки и др. Контроль содержимого осуществляется один раз в квартал газоспасательной службой. Вскрытие шкафа производится только в аварийной ситуации и с уведомлением газоспасательной службы и диспетчера комбината.</p> <p>В результате воздействия тех или иных факторов возможно возникновение производственных аварийных ситуаций, которые освещены в таблице 4.11.</p>

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор отделения контроля и диагностики ИШНКБ	Ахмеджанов Р.Р.	д.б.н., профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ61	Шипулин Артем Сергеевич		

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Уровень решения проблем обеспечения безопасности жизнедеятельности в любом современном государстве может служить наиболее достоверным и комплексным критерием для оценки как степени экономического развития и стабильности этого государства, так и для оценки нравственного состояния общества.

Улучшение условий труда - важная задача социальной политики, осуществляемой каждым государством. Правительство уделяет большое внимание созданию здоровых и безопасных условий труда. Для решения задач, определяющих эту проблему, государством были разработаны и реализованы многочисленные правовые, технические, экономические и организационные мероприятия.

В России действует законодательство об охране труда, выраженное в правовых, технических и санитарно-гигиенических нормах. Законодательство предусматривает систему надзора и контроля, точного их выполнения, а также ответственности за нарушение законодательства об охране труда.

6.1 Производственная безопасность

6.1.1 Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Опасные производственные факторы, источники их формирования и методы их устранения приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 Опасные производственные факторы, источники их формирования и методы их устранения.

№	Опасный фактор	Источник формирования опасного фактора	Воздействие на организм	Методы предупреждения или устранения
1	Давление (разрушение аппарата, работающего под давлением)	Разрыв сосудов, аппаратов и трубопроводов, работающих под избыточным давлением.	Механическое повреждение частей тела. Летальный исход.	1. Предусмотрены предохранительные устройства в сосудах, трубопроводах и аппаратах, работающих под давлением. 2. Проведение технического освидетельствования сосудов.

2	Движущиеся части машин и механизмов (в т.ч. подъемно-транспортного оборудования)	Движущиеся части центрифуг и приводов двигателей, кран-балок, насосов и др. оборудования.	Механическое повреждение частей тела.	1. Предусмотрены защитные кожухи и ограждения. 2. СИЗ - защитные каски (при монтажных и демонтажных работах, а также при ремонте оборудования).
3	Повышенная температура поверхностей оборудования	Горячие стенки трубопроводов, зон экструдера и водоподогревателя.	Ожоги кожного покрова.	Предусмотрена тепловая изоляция трубопроводов и зон нагрева экструдеров, обеспечивающая безопасную температуру наружной изоляции 45 °С.
4	Повышенная температура среды	Технологический пар, используемый при отоплении оборудования.	Ожоги кожного покрова.	1. Ограждение места работы. Использование знаков безопасности. 2. СИЗ — рукавицы, перчатки и др.
5	Пониженная температура среды	Трубопроводы с жидкими азотом.	Обморожение.	1. Обеспечение ограждения зоны слива криопродуктов. 2. Использование предупредительных надписей: «Место для слива жидких криогенных продуктов. Опасно!».

				<p>3. Контроль за соблюдением требований безопасности.</p> <p>4. Контроль за состоянием сальника насосов жидких пропилен и фреона.</p>
6	Электрический ток	Электрооборудование насосов и др., трансформаторные подстанции.	Поражение электрическим током. Летальный исход.	<p>1. Изоляция токопроводящих частей и ее контроль.</p> <p>2. Ограждение оголенных токоведущих частей (щеточно-коллекторных механизмов электродвигателей).</p> <p>3. Защитное заземление.</p> <p>4. Использование знаков безопасности.</p> <p>5. СИЗ - диэлектрические перчатки, диэлектрические боты и др.</p>
7	Статическое электричество	Трубопроводы, пневмотранспорт.	Поражение электрическим током. Летальный исход.	<p>1. Защитное заземление.</p> <p>2. Использование знаков безопасности.</p> <p>3. СИЗ - диэлектрические перчатки,</p>

				диэлектрические боты и др.
8	Повышенное содержание паров химических веществ в воздухе рабочей зоны	Смеси воздуха с этиленом, порошка полиэтилена, парами этилена. Пары растворителей при проведении окрасочных работ.	Отравление. Механическое повреждение частей тела при взрыве. Летальный исход.	1. В производственных помещениях используются газоанализаторы воздуха. 2. Предусмотрена вентиляция рабочей зоны. 3. СИЗ - противогазы, респираторы.
9	Запыленность воздуха рабочей зоны.	Пыль порошка полиэтилена в зоне переработки п/э отходов.	Засорение и раздражение дыхательных путей, глаз и др.	СИЗ - противогазы, респираторы, спец. костюмы.

Характеристика токсичных свойств сырья, полупродуктов, готовой продукции и отходов производства приведена в таблице 6.2

Таблица 6.2 Характеристика токсичных свойств сырья, полупродуктов, готовой продукции и отходов производства.

№	Наименование сырья, полупродуктов, готовой продукции, отходов производства	Класс опасности и ГОСТ 12.1.007-76	ПДК в воздухе рабочей зоны производственных помещений	Характеристика токсичности (воздействие на организм человека)	НТД
1	Азот газообразный и жидкий (N ₂)		Содержание (77-78)% об.	Не токсичен, при больших концентрациях оказывает на организм удушающее воздействие. При вдыхании чистого азота происходит паралич дыхания и мгновенная потеря сознания.	ГОСТ 9293-74 изм. 1-3

2	Технический углерод	3	4 мг/м ³	Оказывает раздражающее действие на слизистые оболочки глаз, вызывает фиброзные заболевания дыхательных путей.	ГОСТ 26996-86 изм 1,2
3	Этилен (C ₂ H ₄)	4	100 мг/м ³	Слаботоксичен, вызывает отравление при вдыхании паров	ГОСТ 12.1 005-88 (2001) ССБТ
4	Пыль полиэтилена и композиций на его основе	4	10 мг/м ³	Мелкодисперсный полиэтилен оказывает раздражающее действие на слизистые оболочки глаз, дыхательных путей и кожу.	ГОСТ 26996-86 изм 1,2
5	Минеральные масла	3	300 мг/м ³	Слаботоксичны, вызывают отравление при вдыхании масляных паров.	ГОСТ 9972-74, изм 1.9; ГОСТ 32-74, изм 1-3
6	Краска эмалевая ПФ-253	3	*	Пары растворителя, входящего в состав красок, оказывают наркотическое действие на ЦНС и раздражающее действие на слизистые оболочки глаз, дыхательных путей и кожу	ТУ 6-10-736-68

6.1.2 Анализ вредных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

Вредные производственные факторы, источники их формирования и методы их устранения отражены в таблице 6.3

Таблица 6.3 Вредные производственные факторы, источники их формирования и методы их устранения

№	Вредный фактор	Источник формирования	Воздействие	Методы предупреждения или устранения
1	Превышение уровней шума	Насосы, центрифуги и др. оборудование.	Нарушение слуха	СИЗ - противочумные наушники, беруши.
2	Превышение уровней вибрации	Насосы, центрифуги и др. оборудование при неисправности оборудования.	Неврологические расстройства	Устранение неисправностей оборудования.
3	Недостаточная освещенность рабочей зоны	Неисправность устройств освещения	Нарушение зрения	Устранение неисправности устройств освещения

Классификация основных рабочих помещений по санитарной характеристике и санитарно-технические нормы для основных рабочих мест представлены в таблице 6.4

Таблица 6.4 Классификация основных рабочих помещений по санитарной характеристике и санитарно-технические нормы для основных рабочих мест.

Наименование производственных помещений	Группа производственных процессов по санитарной характеристике (СНиП 2.09.04-87)	Температура, градус	Освещенность, лк.	Уровень шума, дБ.	Относительная влажность, %
Отделение полимеризации					
Машинный зал	1б	15-25	50	80	Не выше 75

Центральный пульт управления	1а	15-25	200	60	Не выше 75
Бытовые помещения	1а	20-25	100	60	Не выше 60
Химическая лаборатория	1б	15-25	400	60	Не выше 60

Фактический уровень шума в машинном зале превышает допустимый уровень 80 дБ (ГОСТ 12.1.003-83), поэтому персоналу, находящемуся в машинном зале, необходимо пользоваться средствами индивидуальной защиты (беруши, проводные наушники).

6.1.3 Освещенность

Правильно спроектированное и выполненное освещение способствует повышению производительности труда и качеству выпускаемой продукции, оказывает положительное психологическое воздействие на рабочий персонал, повышает безопасность труда, снижает утомляемость и травматизм на производстве.

Все оборудование находится в помещении с освещением с помощью ламп и естественным освещением в дневное время от окон. Естественный солнечный свет характеризуется большой интенсивностью и равномерностью освещения, и создает наилучшие условия для работы.

В связи с тем, что условия деятельности машинистов и операторов связаны с явным преобладанием зрительной информации, до 90%, особенно важным становится вопрос производственного освещения. Поэтому в производственных помещениях используется искусственное освещение. Для искусственного освещения используют люминесцентные лампы ЛБ - белого цвета или ЛТБ - тепло - белого цвета, мощностью 20, 40, 60 Вт. Согласно действующим санитарным нормам и правилам СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение», для искусственного освещения регламентирована наименьшая допустимая освещенность рабочих мест, а для естественного и совмещенного - коэффициент естественной освещенности (КЕО).

Для операторной КЕО н. 1.8 %, что обеспечивает нормальные условия труда обслуживающему персоналу

Рекомендуемая освещенность для работы с приборами КИПиА для высокой точности, с наименьшим размером объекта 0,15 - 0,3 в соответствии с СНиП 23-05-95 составляет 200 лк, а при работе с приборами КИПиА в сочетании с работой над документацией (ежечасная запись в журнале контроля параметров технологического процесса, работой с регламентом техпроцесса) для средней точности, с наименьшим размером объекта 0,3-0,5 в соответствии с СНиП 23-05-95 для комбинированного освещения - 400 лк.

Рекомендуемое значение яркости в поле зрения оператора должно лежать в пределах 2,5%.

Расчет искусственного освещения включает в себя следующие этапы:

- выбор типа лампы;
- выбор величины освещения и величины коэффициента запаса;
- расчет освещения методом коэффициента использования.

Расчет электрического освещения выполняют при проектировании осветительных установок для определения общей установленной мощности и мощности каждой лампы или числа светильников.

Основной метод расчета - по коэффициенту использования светового потока, которым определяется поток, необходимый для создания заданной освещенности горизонтальной поверхности при общем равномерном освещении, с учетом света отраженного стенами и потолком. Расчет выполняется по следующей формуле:

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

Освещенность E является величиной, которая характеризует поверхностную плотность падающего светового потока. Ее определяют как отношение светового потока Φ к площади освещаемой поверхности S .

Единицей освещенности является люкс (лк), это освещенность, создаваемая световым потоком в один момент, равномерно распределенная на площадь.

Освещенность конкретной точки поверхности связана с силой света соотношением:

$$E = \frac{Y * \cos \alpha}{r^2}$$

где:

Y - сила света по направлению к точке, КД;

α - угол между нормалью к поверхности, которой принадлежит точка и лучом;

r - расстояние между точкой и источником.

Расчетное уравнение:

$$\Phi_{CB} = \frac{E_H * K_S * S * Z}{N * n * U}$$

где:

Φ_{CB} - Световой поток;

E_H - нормативная минимальная освещенность;

S - площадь помещения;

Z - коэффициент неравномерности освещения;

n - коэффициент использования излучаемого светильниками светового потока, который показывает, какая часть от общего светового потока приходится на расчетную плоскость;

U - коэффициент затенения.

По полученному световому потоку выбирается стандартная лампа.

Расчет освещенности от люминесцентных ламп сводится к определению необходимого числа светильников по формуле:

$$N = \frac{E_H * K_S * S * Z}{n * q * U * \Phi_{CB}}$$

где: -q – число рядов светильников.

Площадь помещения операторной ЦПН оборудована светильниками УСП-35 с двумя лампами ЛБ-40. Коэффициент отражения светового потока от потолка, стен и пола равны соответственно 70 %, 50 %, 10 %. Затемнения на рабочих местах нет.

Уровень рабочей поверхности над полом 80 см. Тогда:

$$h = 3 - 0,8 = 2,2 \text{ м}$$

У светильников типа УСП - 35 получено отношение:

$$f = \frac{L}{n} = 1,4 \text{ м}$$

Отсюда расстояние между светильниками составит:

$$L = f * h = 1,4 * 2,2 = 3,08 \text{ м}$$

Светильники располагаем вдоль длинной стороны помещения. Расстояние между рядами светильников принимаем:

$$l = (0,3 - 0,5) * L$$

При ширине зала операторной в 9 метров, число рядов светильников:

$$\eta = \frac{9}{n} = \frac{9}{3} = 3$$

Согласно норме: $E_H = 400 \text{ лк}$

Комплексная характеристика для нахождения n равна^

$$I = \frac{a * b}{h * (a + b)} = \frac{9 * 15}{2,2 * (9 + 15)} = 2,56$$

Тогда из справочной литературы светотехнического справочника находим что $n = 0,45$. Номинальный световой поток лампы ЛБ - 40, $\Phi = 3120 \text{ лм}$, отсюда поток получаемый светильником, $\Phi_{CB} = 2 * \Phi = 6240 \text{ лм}$.

Тогда число ламп:

$$N = \frac{E_H * K_S * S * Z}{q * U * \Phi_{CB}} = \frac{400 * 1,5 * 135 * 1,15}{3 * 6240 * 0,45} = 11 \text{ ламп}$$

При длине одного светильника УСП - 35 с лампами ЛБ - 40, $L = 1,27 \text{ м}$,

их общая длина составит:

$$L_{CB} = 1,27 * 11 = 14 \text{ метров}$$

то есть сплошной ряд, что и желательно.

Так как весь процесс автоматизирован, то присутствие обслуживающего персонала при нормальной работе оборудования не обязательно.

Регламентом технологического процесса предусмотрено не реже одного раза за 2 часа в смену, обходить рабочее место, границы которого также указаны в регламенте.

Рекомендуемая освещенность для работы в ночное время составляет 60 лк. В местах отбора проб приборов КИПиА, расположенных "по месту" освещенность должна составлять 200 лк.

6.1.4 Шумы и вибрации

Процесс получения композиций на основе полиэтилена сопровождается шумом и вибрацией. Источником шумов и вибраций в производственных помещениях является наличие центрифуг, насосов, трубопроводов, газодувок, электродвигателей.

Шумы в цехе постоянны.

Вибрация — общая по источнику возникновения — технологическая.

Шумы и вибрации в производственных помещениях не превышают допустимые нормы:

- виброскорость $V = 5 \cdot 10^{-8} - 5 \cdot 10^{-6}$ мм/с по ГОСТ 12.1.012-90;

- звуковое давление $P = 3 \cdot 10^{-5} - 3 \cdot 10^{-9}$ Па по ГОСТ 12.1.003-83.

На рабочих местах, в производственных помещениях предусмотренный (расчетный) уровень шума не должен превышать следующих значений - 65 дБ при пребывании более 8 часов, 80 дБ при пребывании от 4 до 8 часов (установлены переговорные устройства). Уровень вибрации - 107 дБ при частоте 1 Гц, 92 дБ при частоте 4 Гц - согласно нормам ГОСТ 12.1.012-90.

С целью защиты обслуживающего персонала от шума и вибрации, здания и сооружения выполнены согласно санитарным нормам и в них предусмотрено:

- применение звукопоглощающих кожухов на компрессорах;
- шумопоглощающая изоляция трубопроводов;
- вентиляторы установлены на виброоснованиях и подсоединены к воздуховодам через мягкие вставки.

Для персонала, находящегося в зоне высокого шума, рекомендуются защитные наушники типа ВЦНИИОТ-2М по ТУ 400-2 N 76-70 (защита от высокочастотного производственного шума с уровнем 120дБ) или защитные каски с противозумными наушниками ВЦНИИОТ-2 по ТУ-60-02-67.

Для борьбы с шумами и вибрацией большое значение имеет правильная эксплуатация механизмов, своевременное проведение профилактических ремонтов, дистанционное управление оборудованием, применение устройств и приспособлений погашения вибрации.

Средства защиты от вибрации (ГОСТ 12.4.002-97) представлены в таблице 6.5 и 6.6.

Таблица 6.5 Виды средств защиты рук

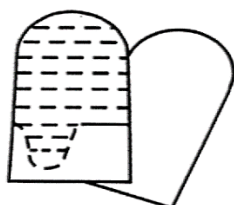


Рисунок 6.1 - Рукавица

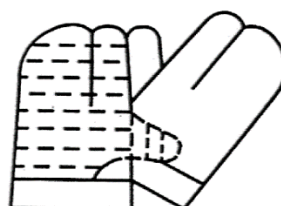


Рисунок 6.2 - Перчатка трехпалая

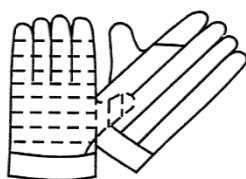


Рисунок 6.3 - Перчатка пятипалая

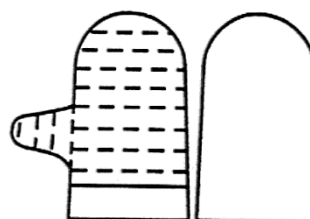


Рисунок 6.4 - Рукавица с полимерным латексным покрытием

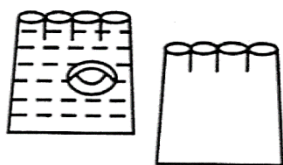


Рисунок 6.5 - Полуперчатка

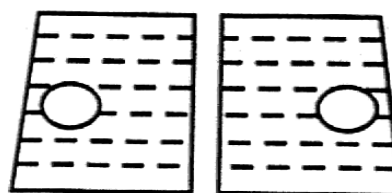


Рисунок 6.6 - Полурукавица

Таблица 6.6 Рекомендации по применению средств защиты рук

Характер труда (работ)	Профессия	Применяемые ручные машины	Средства защиты рук (конструкция)	Тип изделий по таблице 1
Грубые работы, требующие простого удержания рукоятки или нажатия на нее, работы рукой в	Горнорабочие, проходчики, строительные рабочие, формовщики	Перфораторы, горные сверла, отбойные молотки, бетоноломы, сверлильные машины для отверстий	Рукавицы однопалые, перчатки трехпалые	2б

целом и корпусом		большого диаметра		
Работы, требующие обхвата профильных рукояток, переключения органов управления, удержания ручных машин в различном пространственном положении; пространственная работа кистью и нажатие пусковых устройств пальцами	Обрубщики, слесари-сборщики, шлифовщики, полировщики, плотники	Рубильные молотки, гайковерты. Шлифовальные машины с цилиндрическим и (или) плоскими кругами, сверлильные машины для средних и малых отверстий. Электрорубанки и пилы	Рукавицы однопалые, перчатки трехпалые, полурукавицы, полуперчатки	1а, 1, 2а, 2
Точные работы, требующие манипулирования малогабаритными предметами в пространстве, мелкие, сложные и точные движения пальцев рук	Клепальщик, слесари-сборщики	Клепальные авиационные молотки, зачистные малогабаритные молотки. Высокоскоростные шлифмашины и бормашины с фигурными шлифовальными камнями, шуруповерты, пневмоотвертки	Полуперчатки, перчатки	1а

Направление координатных осей при действии вибрации

Общая вибрация:



Локальная вибрация:



6.1.5 Микроклимат производственных помещений

На состояние человеческого организма большое влияние оказывает микроклимат производственных помещений.

В соответствии с СанПиН 2.2.4.548-96 «ССБТ Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» микроклимат производственных помещений — это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей.

Микроклиматические условия регламентируются ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» и Гигиеническими требованиями к микроклимату производственных помещений (СанПиН 2.2.4.548-96) по категориям работ (легкая, средняя, тяжелая) и периоду года (холодный, теплый).

Холодный период года — период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха, равной $+10^{\circ}\text{C}$ и ниже.

Теплый период года — период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха выше $+10^{\circ}\text{C}$.

Разграничение работ по категориям осуществляется на основе интенсивности общих энергозатрат организма в ккал/ч (Вт):

1) к категории 1а относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением (ряд профессий на предприятиях точного приборе-

и машиностроения, на часовом, швейном производствах, в сфере управления и т.п.),

2) к категории 16 относятся работы с интенсивностью энергозатрат 121-150 ккал/ч (140-174 Вт), производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением (ряд профессий в полиграфической промышленности, на предприятиях связи, контролеры, мастера в различных видах производства и т.п.),

3) к категории Па относятся работы с интенсивностью энергозатрат 151 - 200 ккал/ч (175-232 Вт), связанные с постоянной ходьбой, перемещением мелких (до 1 кг) изделий или предметов в положении стоя или сидя и требующие определенного физического напряжения (ряд профессий в механосборочных цехах машиностроительных предприятий, в прядильно-ткацком производстве и т.п.),

Оптимальные микроклиматические условия установлены по критериям оптимального теплового и функционального состояния человека. Они обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены при минимальном напряжении механизмов терморегуляции, не вызывают отклонений в состоянии здоровья, создают предпосылки для высокого уровня работоспособности и являются предпочтительными на рабочих местах.

6.2 Экологическая безопасность

К газообразным отходам производства, загрязняющим окружающую среду, относятся пары реагентов и растворителей, участвующих в процессе полимеризации и образующихся в процессе полимеризации. Для снижения вредного воздействия на окружающую среду производственный процесс ведется в закрытом помещении, оборудованном системой вентиляции. Для контроля содержания реагентов и растворителей в отделении полимеризации установлен газоанализатор СВК-3М, заблокированный с аварийной вытяжной вентиляцией.

При эксплуатации производственного оборудования полимеризации, маслостанций, прочего оборудования цеха газообразные отходы производства, загрязняющие окружающую среду, отсутствуют. Характеристика газовых выбросов приведена в таблице 6.7.

Таблица 6.7 Характеристика газовых выбросов

Вытяжная вентиляция, отделение доп. обработки	Количество источников выбросов	Суммарный объем отходящих газов, м ³ /ч	Периодичность, часов в год	Характеристика выброса			
				Температура, градус	Состав выброса, мг/дм ³	ПДК атм.в. вредных веществ, мг/м ³	Допустимое Количество нормируемых компонентов вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу, кг/ч
1	2	3	4	5	6	7	8

B1	1	18600	постоянно 8000	17	Полиэтилен -4,09*10 ⁻³ Этилен – 29,91*10 ⁻³	3 1,5(ОБУВ)	0,288 2,862
B2	1	23100	постоянно 8000	18	Полиэтилен – 22,43*10 ⁻³ Этилен – 10,57*10 ⁻³	3 1,5	1,0728 0,7526

Нормальная воздушная среда в помещениях цеха обеспечивается системами отопления и вентиляции.

В цехе предусмотрена ливневая и хоз-бытовая канализация. В нее поступают сточные воды от мытья полов в помещениях. Основным загрязнителем сточных вод являются следы масел, по содержанию не превышающие ПДК. Средний объем стоков на перекачку составляет 20 м³/сутки. Охлаждение теплообменного оборудования производится от закрытой системы оборотного водоснабжения. Характеристика сточных вод приведена в таблице 6.8.

Таблица 6.8 Сточные воды

Наименование сбрасываемых сточных вод, отделение, аппарат	Место сбрасывания	Количество стоков, м ³ в сутки	Содержание контролируемых вредных веществ в сбросах (по компонентам),	ПДК рыб.хоз. сбрасываемых вредных веществ, мг/дм ³	Допускаемое количество сбрасываемых вредных веществ,
Стоки от промывки оборудования, смыва полов, ливневые в случае превышения норм по содержанию вредных веществ	В химзагрязненую канализацию на локальную отчистку	48-240	Бутанол -90 Гептан -3 Мин.масла -5 Взвешенные -35	0,03 - - +0,75 к природному	4,3 0,14 0,24 1,7

Во время ремонта или демонтажа оборудования происходит образование жидких и твердых отходов, характеристика которых представлена в таблице 6.9.

Таблица 6.9 Характеристика твердых и жидких отходов

Наименование отхода	Место складирован, транспорт, тара	Количество отходов, кг/сутки	Периодичность образования	Характеристика отходов			Примечание
				Химический состав, влажность, %	Физическое показатели, плотность, кг/м ³	Класс опасности отходов	
Отходы порошка полиэтилена, образующиеся в результате чистки оборудования, отборе проб.	Отходы порошка фасуются в полиэтиленовые мешки и вывозятся на полигон токсичных отходов автомобильным транспортом	224	Периодически при ремонте и чистке оборудования	Порошок полиэтилена Массовая доля растворителя (гептана) до 40%	Порошок белого цвета Плотность полиэтилена - 0,925 г/см ³	3	Данные по количеству отходов в сутки взяты по итогам работы за 2017 г.

6.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

6.3.1 Пожарная и взрывная безопасность

Отличительной особенностью производства полиэтилена по пожарной и взрывопожарной безопасности связано с опасностями при работе с высоким содержанием порошка полиэтилена и тех. углерода, которые характеризуются повышенной способностью к воспламенению и детонации.

Основные опасности при работе с порошка полиэтилена и тех. Углерода:

1. Возгорание оборудования, трубопроводов и арматуры, работающих с п/э;
2. Возгорание одежды и волосяных покровов обслуживающего персонала, находившегося в среде с повышенным содержанием порошка;
3. Взрыв углеводородов и других взрывоопасных примесей при протекании с экструдеров, трубопроводов и др. оборудования при нарушении технологических параметров;
4. Пары этилена: может произойти самовоспламенение, вследствие образования высокого содержания его в воздухе при образовании искры.

Также при несоблюдении правил хранения и нарушений противопожарных норм возможны загорания смазочных масел и обтирочных материалов.

Для предотвращения возможных ситуаций необходимо соблюдать меры пожарной безопасности:

1. Запрещается курить и применять открытый огонь в отделении полимеризации, а также в местах, где проходят трубопроводы и производятся

работы с п/э. Курение разрешается только в специально отведенных и оборудованных местах, определенных приказом по предприятию.

2. При загорании производственного оборудования необходимо прекратить его работу. Обслуживающий персонал должен быть выведен в безопасную зону. Для тушения загоревшегося оборудования должны применяться негорючие в кислороде средства пожаротушения: вода, пена, водяной пар, двуокись углерода, инертные газы (азот, аргон), порошковые составы на основе карбоната натрия и т.д.

3. Загрязнение производственного оборудования, трубопроводов и установленной на них арматуры жировыми и другими горючими веществами не допускается. Грузоподъемные устройства должны быть оборудованы защитными приспособлениями, исключающими попадание масла на производственное оборудование и арматуру.

4. При эксплуатации производственного оборудования должна исключаться возможность большого выброса пыли п/э.

5. В процессе эксплуатации оборудования необходимо следить за герметичностью аппаратов, машин и коммуникаций. При обнаружении утечек газообразных, твердых или жидких продуктов работа оборудования должна быть приостановлена и утечки ликвидированы. Определение мест утечек газа при помощи огня или тлеющих предметов запрещается.

6. В помещениях, где осуществляется периодический контроль за содержанием пыли порошка п/э в воздухе, при повышении концентрации в воздухе более 10 мг/м³ должны быть немедленно приняты меры по нормализации состава воздуха, для предотвращения возникновения повышенного содержания взрывопожароопасных газов и образование взрывопожароопасной среды.

7. Тепло- и звукоизоляция оборудования и трубопроводов должна выполняться из негорючих или трудногорючих материалов.

8. Наружный обогрев арматуры должен производиться горячим воздухом, паром или горячей водой. Пользоваться для этой цели открытым огнем запрещается.

9. Использовать конструкции экструдеров, пневмотранспортов и трубопроводов в качестве заземления при электросварочных работах не допускается.

10. Запрещается наполнять и опорожнять транспортные цистерны на площадках из асфальта и других органических покрытий.

11. Слив продуктов производства следует производить в специально отведенное для этого место, возле которого должен быть установлен предупреждающий знак безопасности с поясняющей надписью "Место для слива продуктов. Опасно. Не курить!" Слив продуктов на грунт и асфальт запрещается.

12. Руки, а также одежда и обувь персонала, обслуживающего производственное оборудование, должны быть чистыми, без следов масла.

13. Ремонт оборудования разрешается производить только после тщательной продувки.

Взрывопожарная и пожарная опасность, классификация производственных зданий, помещений и наружных установок.

Классы пожароопасности помещений:

Категория А - производства, связанные с применением веществ, воспламенение или взрыв которых может последовать в результате воздействия воды или кислорода воздуха, жидкостей, с температурой вспышки паров 28 °С и ниже; горючих газов, нижний предел взрываемости которых; менее 10% к объему воздуха; при применении этих газов и жидкостей в количествах, которые могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси.

Категория Б - производства, связанные с применением жидкости с температурой вспышки паров 28 ... 120°С и горючих газов, нижний предел взрываемости которых более 10% к объему воздуха, применением этих газов и жидкостей в количествах, которые могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси, а также производства, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие волокна или пыль в таком количестве, что они могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси.

Категория В - производства, связанные с обработкой или применением твердых сгораемых веществ и материалов, а также жидкостей с температурой вспышки паров выше 120°С. Категория Г - производства, связанные с обработкой несгораемых веществ и материалов в горячем, раскаленном или расплавленном состояниях, сопровождающиеся выделением лучистого тепла, систематическим выделением искр и пламени, а также производства, связанные со сжиганием твердого, жидкого и газообразного топлива.

Категория Д - производства, связанные с обработкой несгораемых веществ и материалов в холодном состоянии.

Наиболее опасными являются зоны классов В-І и В-Н.

Зоны класса В-1 - зоны, расположенные в помещении, в которых выделяются горючие газы или пары ЛВЖ в таком количестве и обладающие такими свойствами, что могут образовывать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы, например, при загрузке или разгрузке технологических аппаратов, хранение или переливание ЛВЖ, находящихся в открытых сосудах и т.п.

Зоны класса В-1а - зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих паров и газов, или паров ЛВЖ с воздухом или другими окислителями не образуются, а возможны лишь в результате аварий или неисправностей.

Зоны класса В-II. Зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна в таком количестве и с такими свойствами, что они способны образовывать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы (например, при загрузке и разгрузке технологических аппаратов).

Зоны класса В-Па. Зоны, расположенные в помещениях, в которых опасные состояния, свойственные зонам класса В-II не имеют места при нормальной эксплуатации, а возможны только в результате аварий или неисправностей.

Пространства внутри и вне помещений, в пределах которых постоянно или периодически находятся горючие (сгораемые) вещества и в котором они могут находиться при нормальном технологическом процессе или при его нарушениях, относят к пожароопасной зоне.

ПУЭ подразделяет пожароопасные зоны на следующие классы.

Зоны класса П-1 - зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С.

Зоны класса П-II - зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие пыли или волокна с нижним концентрационным пределом воспламенения более 65 г/м³ к объему воздуха.

Зоны класса П-На - зоны, расположенные в помещениях, в которых обращаются твердые горючие вещества.

Зоны класса П-III расположенные вне помещения зоны, в которых обращаются горючие жидкости с температурой вспышки выше 61 °С или твердые горючие вещества.

Во взрывоопасных зонах помещений разрешается устанавливать только взрывозащищенное электрооборудование.

6.3.2 Безопасность в чрезвычайных ситуациях на производстве

Требования безопасности в аварийных ситуациях (прекратить работу, произвести отключение питания с неисправного оборудования (аппаратуры, стенда), если необходимо, произвести ограждение опасного места и немедленно сообщить о случившемся начальнику смены и далее выполнять его указания по предупреждению несчастных случаев или устранению возникшей аварийной ситуации, действовать в соответствии с ПЛАС (план ликвидации аварийных ситуаций)).

При возникновении пожара необходимо:

* немедленно сообщить в пожарную охрану, указав точное место возникновения пожара;

* сообщить начальнику смены;

* оповестить окружающих и при необходимости вывести людей из опасной зоны;

приступить к ликвидации пожара, используя первичные средства пожаротушения; организовать встречу пожарной команды.

На установке производства и дополнительной переработки полиэтилена на основе технического углерода возможны следующие аварийные ситуации:

- * прекращение подачи электроэнергии;
- * прекращение подачи воздуха КИПиА;
- * прекращение подачи оборотной воды;
- * загазованность или запыленность помещений;
- * возникновение взрыва (пожара);

синтетического (лавсанового или пропиленового) материалов. Амуниция состоит из поясного ремня с плечевыми лямками и сигнально спасательной веревки (каната). Хлопчатобумажную амуницию рекомендуется использовать во взрывоопасной атмосфере, синтетическую (лавсановую или пропиленовую) - в условиях воздействия агрессивных сред (кислоты, щелочи и т.п.)

Противогазы комплектуются шлем-маской ШМП или панорамной маской МАГ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Объектом исследования являлись кожухотрубный теплообменник и воздушный ресивер на производстве «Полиэтилен» ОАО "СИБУР - Томскнефтефим".

В процессе работы был проведен технологический, гидравлический, конструктивный, прочностной расчеты теплообменника и ресивера. В данной работе была приведена характеристика готовой продукции, приведено описание технологической схемы производства полиэтилена, схема автоматизации производства. В экономической части рассчитана годовая экономия при повышении производительности на 10%. Предусмотрены мероприятия для обеспечения безопасных условий труда, техники безопасности, пожаровзрывобезопасности, промсанитарии и охраны окружающей среды.

Результаты расчетов показали, что повышение мощности на 10% не влечет за собой изменения технологического режима и аппаратурного оформления реактора полимеризации пропилена.

При повышении производительности основного оборудования на 10%, экономические показатели улучшаются: снижается себестоимость полиэтилена, увеличивается прибыль.

СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Шипулина Артема Сергеевича

№	Наименование научного труда	Рукописн. или печ.	Издательство, журнал (номер, год)	Номер стр.	Кол-во стр.	Фамилии соавторов
1	Модифицированное порошкообразных наполнителей	Печ.	Труды XXI Международного научного симпозиума студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд-во ТПУ, 2017. – Т. II	394 – 396		Колесников А.Е., Курмель Г.В., Семакина О.К.
2	Исследование физико-механических свойств порошка полиэтилена	Печ.	Материалы XIX Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке» ХТТ–2018. – Томск, 2018.	558 – 559		Семакина О.К.

Список использованных источников

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. ГОСТ Р 52857.3-2007 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и внешнем давлениях, расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер.»
4. ГОСТ 10704-91 «Трубы стальные электросварные прямошовные.»
5. ГОСТ 12821-80 «Фланцы стальные приварные встык.»
6. ГОСТ Р 52857.4-2007 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений.»
7. ГОСТ 28759.3-90 «Фланцы сосудов и аппаратов стальные приварные встык.»
8. ГОСТ 481-80 «Паронит и прокладки из него»
9. ГОСТ 6533-78 «Днища эллиптические отбортованные стальные для сосудов, аппаратов и котлов. Основные размеры.»
10. Электронный ресурс: ru.onlinemschool.com/math/formula/volume.
11. ГОСТ Р 52857.1-2007 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок»
12. ОСТ 26-2091-93 «Опоры горизонтальных сосудов и аппаратов»
13. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.»

14. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.»
15. СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.»
16. ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности».
17. ПБ 03-576-03 «Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением.»
18. Р 2.2.2006-05 «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.»
19. СанПиН 2.1.6.1032-01 «Гигиенические требования к определению качества атмосферного воздуха населенных мест.»
20. Технологический регламент. Пункт подготовки и сбора нефти(п. Пионерный).
21. Семакина О.К. «Монтаж, эксплуатация и ремонт оборудования отрасли». Рабочая программа.
22. Электронный ресурс:
<http://www.cdminfo.ru/spetstehnika/stroitelnyatehnika/1.1.-kranyi-avtomobilnyie.html>
23. Электронный ресурс: <http://www.novedu.ru/sprav/pl-h2O.html>
24. Электронный ресурс:
http://ru.wikipedia.org/wiki/Ускорение_свободного_падения
25. Лацинский А.А., Толчинский А.Р. «Основы конструирования и расчета химической аппаратуры». Справочник – М.:Альянс, 2008. – 752с.
26. Павлов К.Ф, Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учебное пособие для вузов 14-е изд., стереотипное. - М. Альянс, 2007. – 576 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Investigation of the angle of the natural slope of powdery materials

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4КМ61	Шипулин Артем Сергеевич		

Руководитель ВКР

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

Консультант-лингвист Отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Игна Ольга Николаевна	к.п.н.		

The significant efficiency of the use of composite materials in many sectors of the national economy helps to increase the output of polymers, stabilizers and other components for the production of polymer compositions and the progress of their technologies.

The dosage of fillers and additives in the manufacture of finished products requires high accuracy and stability throughout the entire period of product manufacturing. An important factor causing the uniformity of the supply of "complex" bulk materials to the base polymer is the correct choice of the design of the feed angle. Often, during dosing and especially wet and compacted material, the powder hangs or arches.

Hanging and arcing are undesirable phenomena that lead to disruption of the processes of dosing, transportation and pressing of powders. To exclude these factors that interfere with the pumping out of the material, studies are being conducted that help to optimize this process.

To assess the processability of powdered substances, as well as to predict the behavior of loose masses in industrial production, determine their technological properties. The technological properties of bulk materials include the shape and size of particles, particle size distribution, flowability, angle of repose and maximum bulk density. These technological properties affect the organization of an uninterrupted process and the quality of the final product, in connection with which their values need to be maintained.

Particles of matter located on the free surface of the embankment experience a state of limiting (critical) equilibrium. The angle of the natural slope is related to the coefficient of friction and depends on the roughness of the grains, the degree of their wetting, the granulometric composition and shape, and also on the specific gravity of the material.

Friability is the property of the powder to move in a free flow, where the particles are not adhered to each other. With prolonged storage, especially at elevated temperatures and pressures, particle aggregation is possible, leading to clumping and caking of powdery materials. Criteria for assessing the flowability of

powders can be the angle of internal friction, the rate of powder precipitation from the hopper, the pouring angle, the angle of collapse, the angle of natural slope,

The angle of a natural slope is the angle formed by the free surface of a loose rock mass or other bulk material with a horizontal plane. Sometimes the term "angle of external friction" can be used.

The degree of flowability of powders is characterized by the following criteria: flowability (speed of powder flow through the hole); bulk volume; angle of repose; condensation of the material and humidity.

A material having poor flowability can adhere to the walls of the funnel, which disrupts the arrival rhythm and leads to fluctuations in mass and density. The flowability of powders is a complex characteristic determined by a number of factors: the dispersion and shape of the particles, the moisture content of the masses, the granulometric composition, and the coefficients of interparticle and external friction.

Determination of the angle of natural slope of the initial samples of polymers

The angle of natural slope varies over a wide range from 25 to 30 ° for well-flowing materials, from 60 to 70 ° for cohesive materials. Thus, the angle of the natural slope is an indicator that determines the potential flowability of the material. To determine the angle of natural repose, the polymer to be weighed in the amount of 10.0 g, with an accuracy of 0.001 g, is placed in a funnel with a closed flap. Then the switch is turned on to tamp off the powder and after 20 seconds the shutter opens, after which the powder pours out onto the horizontal surface, forming a slide loose in bulk. By bringing the protractor to the cone formed by the powder, the angle of the natural slope on the scale is determined. According to six repeated experiments, the average value of the angle of repose is calculated. In accordance with the results obtained, the average value of the angle of repose for the powder is 40 °, which means that this polymer has insufficient potential flowability.

Determination of flowability of initial polymer samples.

Looseness or fluidity of powders is called the ability of the test material under the force of its own gravity to ensure a uniform filling of the material channel. The most accurate results, with good reproducibility, are obtained when determining flowability on standardized instruments.

The method for determining the angle of slope is as follows. Expiration of the powder from the funnel opening is made on a flat horizontal surface. The diameter of the base (base) of the powder cone can be fixed or the diameter can vary during the formation of the cone.

Measurement of the angle of natural repose is carried out not less than in three repetitions using a protractor in three planes and expressed in angular degrees.

During the test, it should be borne in mind that:

- the experimental conditions must ensure the formation of a symmetrical cone of powder;
- the top of the forming cone can deform under the influence of falling powder particles.

These external influences must be eliminated in any acceptable way. In addition, the base material (base) on which the cone is formed can affect the amount of the angle of the slope.

Experimental part

The aim of this work is to study the dependence of the angle of natural slope of industrial powdery materials with free and compacted backfill.

Powdered high-pressure polyethylene (HDPE) of grade 153 and 158 and irganox 1010 used as a stabilizer of polymer compositions were used as the samples.

The method for determining the angle of repose of the powders is as follows. In a cylindrical glass with a volume of 50 ml, the test material is freely filled through the funnel. Then, the glass is turned upside down and when it is slowly raised, the spilled material is distributed on the horizontal plane at the angle of the natural slope, and it is observed whether or not the powder hangs. The angles of the slope are

measured when they are poured at several points relative to the horizontal surface. The results are summarized in Table 1.

Table 1 - Angle of natural slope of powders

Material	Angle of repose, degree			
	free falling asleep		compacted falling asleep	
LDPE 153	36	–	39	hovering
LDPE 158	38	–	35	hovering
Irganox 1010	26	hovering	37	hovering

From the table data it can be seen that with a free backfill, irganox 1010 powder has very good flowability, and in the case of PEED powders, the degree of flowability is satisfactory. However, the freezing of powders is observed for all the compacted samples. With a free backfill, hang-up occurs only for irganox 1010, apparently due to the finely dispersed structure of the powder.

Further studies of the angle of natural slope were carried out on LDPE samples consisting of powder (II) and granules (D) in a volume ratio of G: P = 0-100: 100-0 (Table 2).

Table 2 - Angle of natural slope of samples consisting from granules and LDPE powder

Volumetric component ratio G : P, %	Angle of repose, degree			
	free falling asleep		compacted falling asleep	
0:100	38	–	47	hovering
20:80	38	–	42	hovering
40:60	39	–	43	hovering
60:40	38	–	42	–
80:20	29	–	31	–
100:0	19	–	20	–

Analyzing the obtained results of the study, it can be concluded that an increase in the content of PEED granules in the sample significantly reduces the angle of natural slope from 38 ° to 29 ° and improves the flowability of the material. Also, the content of granules in the sample volume of less than 40% contributes to the hanging of the material, which has an unsatisfactory degree of flowability and which requires additional mixing, shaking or vibration.

Conclusions

1. The angles of the natural slope and the degree of flowability of powdered PEVD with free and compacted backfilling of the material are determined, which are 26-38 ° and 35-39 °, respectively.

2. The effect of the amount of PEED granules in the sample on the degree of flowability and the angle of natural slope was investigated. It was found that the material hangs up at a volume content of granules up to 40%.