

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 ООП/ОПОП Химический инжиниринг
 Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр Н.М. Кижнера

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Проектирование котла варки сахарного сиропа для приготовления твердых лекарственных форм

УДК 664.143.1.02: 661.12

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-4Г81	Смирнова Анастасия Павловна		

Руководитель ВКР

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

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская М.В.	К. э. н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мезенцева И.Л.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Горлушко Д.А.	К. х. н.		

Томск – 2023 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен и готов использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности
ОПК(У)-2.	Готов использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы
ОПК(У)-3.	Готов использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире
ОПК(У)-4	Владеет пониманием сущности и значения информации в развитии современного информационного общества, осознанием опасности и угрозы,

	возникающих в этом процессе, способностью соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОПК(У)-5.	Владеет основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией
ОПК(У)-6	Владеет основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способен и готов осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции
ПК(У)-2	Готов применять аналитические и численные методы решения поставленных задач, использовать современные информационные технологии, проводить обработку информации с использованием прикладных программных средств сферы профессиональной деятельности, использовать сетевые компьютерные технологии и базы данных в своей профессиональной области, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров оборудования
ПК(У)-3	Готов использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации продуктов и изделий, элементы экономического анализа в практической деятельности
ПК(У)-4	Способен принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения
ПК(У)-5	Способен использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда, измерять и оценивать параметры производственного микроклимата, уровня запыленности и загазованности, шума, и вибрации, освещенности рабочих мест
ПК(У)-6	Способен наладивать, настраивать и осуществлять проверку оборудования и программных средств
ПК(У)-7	Способен проверять техническое состояние, организовывать профилактические осмотры и текущий ремонт оборудования, готовить оборудование к ремонту и принимать оборудование из ремонта
ПК(У)-8	Готов к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования
ПК(У)-9	Способен анализировать техническую документацию, подбирать оборудование, готовить заявки на приобретение и ремонт оборудования
ПК(У)-10	Способен проводить анализ сырья, материалов и готовой продукции, осуществлять оценку результатов анализа

ПК(У)-11	Способен выявлять и устранять отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса
ПК(У)-21	Готов разрабатывать проекты в составе авторского коллектива
ПК(У)-22	Готов использовать информационные технологии при разработке проектов
ПК(У)-23	Способен проектировать технологические процессы с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства в составе авторского коллектива



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
ООП/ОПОП Химический инжиниринг
Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр Н.М. Кижнера

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП/ОПОП
_____ Д. А. Горлушко
(Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
3-4Г81	Смирнова Анастасия Павловна

Тема работы:

Проектирование котла варки сахарного сиропа для приготовления твердых лекарственных форм
<i>Утверждена приказом директора (дата, номер)</i> <i>03.02.2023 № 34-95/с</i>

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	10.06.2023
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i>	Сироповарочный котел; Давление в корпусе аппарата: 0,1 МПа; Давление в рубашке 0,5 МПа; Температура смеси в корпусе аппарата: 95 °С; Температура воды в рубашке 150 °С; Производительность по продукту 20 л/смена; Состав исходной смеси: Сахар, вода.
Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке <i>(аналитический обзор литературных источников 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>	Титульный лист; Задание; Реферат; Содержание; Введение; 1) Литературный обзор; 2) Технологическая схема; 3) Технологические расчеты; 4) Выбор конструктивных материалов; 5) Механический расчет; 6) Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;

	7) Социальная ответственность; Заключение;
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Лист 1 – Общий вид сироповарочного котла А1; Лист 2 – Сборочный чертеж корпуса сироповарочного котла А1; Лист 3 – Технологическая схема А1;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Механический расчет оборудования	Балмашнов Михаил Александрович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская Марина Витальевна
Социальная ответственность	Мезенцева Ирина Леонидовна
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	03.02.2023
---	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

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

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Г81	Смирнова Анастасия Павловна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
З-4Г81	Смирнова Анастасия Павловна

Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение школы (НОЦ)	Научно- образовательный центр Н.М. Кижнера
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специа льность	18.03.01 Химическая технология

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	- Сумма затрат на материалы – 1767,5руб. - Сумма затрат на зарплату – 87372,1руб.
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	-27,1% - страховые отчисления
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	-

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	-
---	---

2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	- Расчет материальных затрат; - Расчет амортизации оборудования для экспериментальных работ - Расчет основной и дополнительной заработной платы; - Расчет отчислений во внебюджетные фонды; - Расчет бюджета проекта.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	- Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности; - Расчет интегрального показателя эффективности.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):	
1. Матрица SWOT; 2. Диаграмма Ганта.	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	20.02.2023
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская Марина Витальевна	К. э. н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
З-4Г81	Смирнова Анастасия Павловна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-4Г81	Смирнова Анастасия Павловна

Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделение (НОЦ)	Научно-образовательный центр Н.М. Кинжера
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ специальность	18.03.01 Химическая технология

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

Введение - Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения; - Описание рабочей зоны (рабочего места) при эксплуатации.	<i>Объект исследования является</i> котел для варки сахарного сиропа <i>Область применения:</i> фармацевтическая промышленность. <i>Рабочая зона:</i> производственное помещение. <i>Размеры помещения:</i> 30*20 м. <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> пульт управления, блок подготовки воздуха, котел. <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> загрузка сахара, нагревания продукта с помощью тепловой энергии пара, перемешивание и приготовление сахарного сиропа.
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации: - Специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	«Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022) «Конституция Российской Федерации» (принята всенародным голосованием 12.12.1993 с изменениями, одобренными в ходе общероссийского голосования 01.07.2020) ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
2. Производственная Безопасность при эксплуатации: - Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов.	Вредные производственные факторы в рабочей зоне при эксплуатации оборудования: - Повышенный уровень шума; - Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего: температурой и относительной влажностью воздуха, скоростью движения (подвижностью) воздуха относительно тела работающего, а также с тепловым излучением окружающих поверхностей, зон горения, фронта пламени, солнечной инсоляции;

	- Связанные с электромагнитными полями, неионизирующими ткани тела человека Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: Вкладыши (беруши), резиновые сапоги, защитные очки, оградительные устройства, защитные заземления, изолирующие устройства и покрытия; устройства автоматического контроля и сигнализации, резиновые перчатки.
3. Экологическая безопасность при эксплуатации	Воздействие на селитебную зону: отходы, используемые в упаковке продукта. Воздействие на литосферу: Сточные воды от мойки оборудования после каждой производственной смены. Воздействие на гидросферу: Сточные воды от мойки оборудования после каждой производственной смены. Воздействие на атмосферу: Нет.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации	Возможные ЧС: ураганы, подтопления территорий, природные пожары, аварии с выбросом химически опасных веществ при их производстве, переработке. Наиболее типичная ЧС: пожар на производственном объекте

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.04.2023
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Мезенцева Ирина Леонидовна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Г81	Смирнова Анастасия Павловна		

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 18.03.01 Химическая технология
 ООП/ОПОП Химический инжиниринг
 Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр Н.М. Кижнера
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2022/2023 учебного года)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
3-4Г81	Смирнова Анастасия Павловна

Тема работы:

Проектирование котла варки сахарного сиропа для приготовления твердых лекарственных форм
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	10.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.06.2023	Основная часть	75
10.06.2023	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
10.06.2023	Социальная ответственность	10

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Балмашнов М.А.	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП/ОПОП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Горлушко Д.А.	К.Х.Н.		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4Г81	Смирнова Анастасия Павловна		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 127 с., 21 рис., 19 табл., 32 источников.

Ключевые слова: сироповарочный котел, перемешивание, сахарный сироп, рамная мешалка, вал.

Объектом разработки является сироповарочный котел для приготовления твердых лекарственных форм.

Цель работы – рассмотрение процесса производства сахарного сиропа в промышленности и оборудования для проведения реакции, определение и расчет конструкции сироповарочного котла.

В ходе работы произведен технологический и механический расчёты для определения размеров и окончательной конструкции аппарата. В результате исследования спроектирован сироповарочный котел.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: внутренний диаметр корпуса аппарата 600 мм, внутренний диаметр рубашки 650 мм, температура в реакторе 95 °С, в рубашке – 150 °С, перемешивающее устройство – рамная мешалка.

Область применения: фармацевтическое производство.

СОДЕРЖАНИЕ

1 Литературный обзор	17
1.1 Общие сведения	17
1.2 Описание конструкции проектируемой установки	25
2 Технологический расчет аппарата.....	27
2.1 Материальный расчет.....	27
2.2 Гидродинамический расчет	28
2.3 Расчет теплового баланса котла	32
2.4 Расчет коэффициента теплоотдачи	34
2.5 Расчет потери тепла на разогрев конструкции	35
2.6 Расчет поверхности нагрева варочного котла.....	40
3 Выбор конструкционных материалов.....	44
4 Механический расчет сироповарочного котла	46
4.1 Определение толщины стенки цилиндрической обечайки корпуса	50
4.2 Поверочный расчет цилиндрической обечайки для рабочих условиях.....	54
4.3 Поверочный расчет цилиндрической обечайки для условий испытаний	56
4.4 Определение толщины эллиптического днища	58
4.5 Поверочный расчет эллиптического днища при рабочих условиях	59
4.6 Поверочный расчет эллиптического днища в условиях испытаний	62
4.7 Расчёт толщины стенки плоской крышки корпуса аппарата	63
4.8 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки рубашки	66
4.9 Расчет толщины стенки эллиптического днища рубашки	68
4.10 Расчет фланцевого соединения корпуса с крышкой	70
4.11 Определение расчетных параметров для расчета фланцевого соединения.....	71

4.12 Конструктивные размеры фланцевого соединения.....	71
4.13 Расчет усилий во фланцевом соединении.....	76
4.14 Проверка прочности и герметичности фланцевого соединения..	78
4.15 Расчет необходимости укрепления отверстий.....	80
4.16 Штуцер вывода продукта из аппарата.....	81
4.17 Штуцер ввода и выхода теплоносителя в рубашку.....	83
4.18 Расчет опор аппарата	84
4.19 Расчет вала на прочность, жесткость.....	87
4.20 Расчет вала на жесткость	88
4.21 Расчет вала на прочность	94
4.22 Расчет шпоночного соединения вала с мешалкой.....	97
5 Финансовый менеджмент,ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	99
5.1 Разработка графика проведения научного исследования.....	99
5.2 Расчет материальных затрат НТИ.....	101
5.3 Расчет амортизации оборудования для экспериментальных работ.....	103
5.4 Основная заработная плата исполнителей темы	104
5.5 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	106
5.6 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	106
5.7 Накладные расходы	107
5.8 Определение ресурсоэффективности исследования	108
5.9 Интегральный показатель ресурсоэффективности	109
6 Социальная ответственность	112
6.1 Введение	112
6.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	112
6.3 Производственная безопасность	114
6.4 Экологическая безопасность	118
6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	119

6.6 Вывод	120
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	122
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	123

ВВЕДЕНИЕ

Renewal («Производственная фармацевтическая компания Обновление») с 1997 года занимается разработкой и производством современных, качественных, доступных лекарственных препаратов. Производственно-исследовательский комплекс расположен в г. Новосибирске и в экологически-чистой промышленной зоне Новосибирской области (Сузун). Все производственные площадки предприятия организованы согласно современным стандартам GMP (Правилам производства и контроля качества лекарственных средств), а контроль менеджмента качества осуществляется по стандартам ISO 9001:2015.

Фармацевтическая компания Renewal занимается разработкой и производством современных, качественных, доступных лекарственных препаратов. Вся продукция соответствует стандартам качества GPM и ISO 9001:2015.

Производственные площадки Renewal организованы в виде системы современных моноблочных комплексов, реализованных согласно требованиям GMP. Это позволяет производить продукцию высочайшего качества. Преимуществом моноблочного производства является полный и сквозной мониторинг производственного процесса: от входного анализа сырья до выходного контроля готовой продукции. Однонаправленность сырьевых потоков минимизирует вероятность сбоев и ошибок, а автоматизация всех процессов исключает человеческий фактор. Нажмите на отдельный инженерный узел и ознакомьтесь с особенностями используемых технологий.

Фармацевтическая компания Renewal занимается разработкой и производством современных, качественных, доступных лекарственных препаратов. Вся продукция соответствует стандартам качества GPM и ISO 9001:2015.

1 Литературный обзор

1.1 Общие сведения

Основным применением варочного котла является его использование в различных отраслях промышленности. На предприятиях фармацевтики его активно используют для приготовления твердых лекарственных форм. Кроме того с помощью варочного котла можно приготавливать инверт, сиропы, начинки, а также фруктовые и овощные массы с необходимой концентрацией.

Опрокидывающийся котел для варки сахарного сиропа с целью приготовления твердых лекарственных форм с паровой рубашкой работает по принципу нагревания продукта с помощью тепловой энергии пара, которая загружена в рабочую емкость. Такой котел может быть снабжен различными перемешивающими устройствами. При использовании мешалок получается гораздо быстрее и равномернее нагревать продукт по всему его объему, не допуская его пригорания к стенкам котла. Благодаря перемешивающему устройству удастся равномерно нагревать продукт, ускорять процесс его нагревания, а значит и значительно быстрее выпаривать жидкость.

Конструкционно паровой опрокидывающийся котел для варки сахарного сиропа с целью приготовления твердых лекарственных форм состоит из цилиндрической емкости, сделанной из нержавеющей стали, которая может иметь оснащение в виде перемешивающего устройства с фторопластовыми скребками, а также мотора-редуктора.

У дна котла для варки сахарного сиропа с целью приготовления твердых лекарственных форм может быть наклонная, плоская или торосферическая форма. Сама емкость помещена на раму. Емкость опрокидывающегося котла для варки сахарного сиропа с целью приготовления твердых лекарственных форм, в отличие от стационарных варочных котлов, помещена на подвижный вал с механическим или электрическим приводом опрокидывания, который снабжен системой фиксации. Таким образом, при опорожнении котла он может быть наклонен на требуемый угол. При этом его рубашка оказывается заполненной теплоносителем, в виде пищевого глицерина или воды.

Существует несколько возможных вариантов изготовления опрокидывающегося котла для варки сахарного сиропа с целью приготовления твердых лекарственных форм с паровой рубашкой. Первым вариантом является котел, чья рубашка выполнена в виде С-образного или Г-образного штрипсов.

Вторым вариантом является применение парового барботера. Третьим вариантом является применение змеевика в промежуточной рубашке. Четвертым вариантом является использование цельнотелой паровой рубашки, чьи стенки имеют усиленные ребра жесткости. Варочные котлы (реакторы) предназначены для перемешивания с подогревом вязких и жидких пищевых продуктов из нескольких компонентов. В зависимости от вместимости реакторы выпускают различных типов.

Реактор типа МЗ-2С (рисунок 1) имеет две стойки 1, две цапфы 2, паровую рубашку 3, корпус 4, мешалку 5 и электрооборудование.

В нижней части паровой рубашки 3 имеется краник для спуска воздуха и конденсата. После заполнения реактора продуктом в рубашку подается пар и начинается процесс перемешивания с подогревом.

Мешалка 5 представляет собой вал с лопастями.

Реактор имеет два окна для осмотра внутренней полости, а также люк для периодического осмотра, очистки и ремонта.

Техническая характеристика реактора МЗ-2С представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Техническая характеристика реактора МЗ-2С

Вместимость, дм ³	1000
Рабочее давление, МПа: в паровой камере	0,25
в корпусе	0,07
Частота вращения вала мешалки, мин ⁻¹	48
Установленная мощность электродвигателя, кВт	3
Габаритные размеры, мм	1315×1194×2003
Масса, кг	900

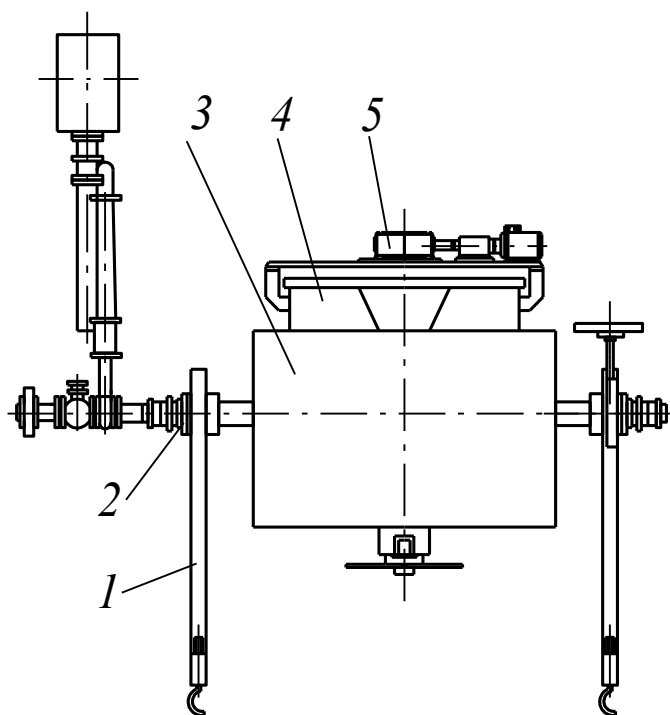


Рисунок 1 – Реактор типа МЗ-2С

Односекционный трубчатый вакуум-подогреватель КТП-2 предназначен для подогрева различных фруктовых соков. Вакуум-подогреватель КТП-2 (рисунок 2) состоит из теплообменника 1, вакуум-бачка 2, паровой магистрали 3, бака 4 для воды, насоса 5.

Теплообменник представляет собой цилиндрический кожух, внутри которого находятся трубки из нержавеющей стали. По трубам протекает продукт, пар подается в межтрубное пространство.

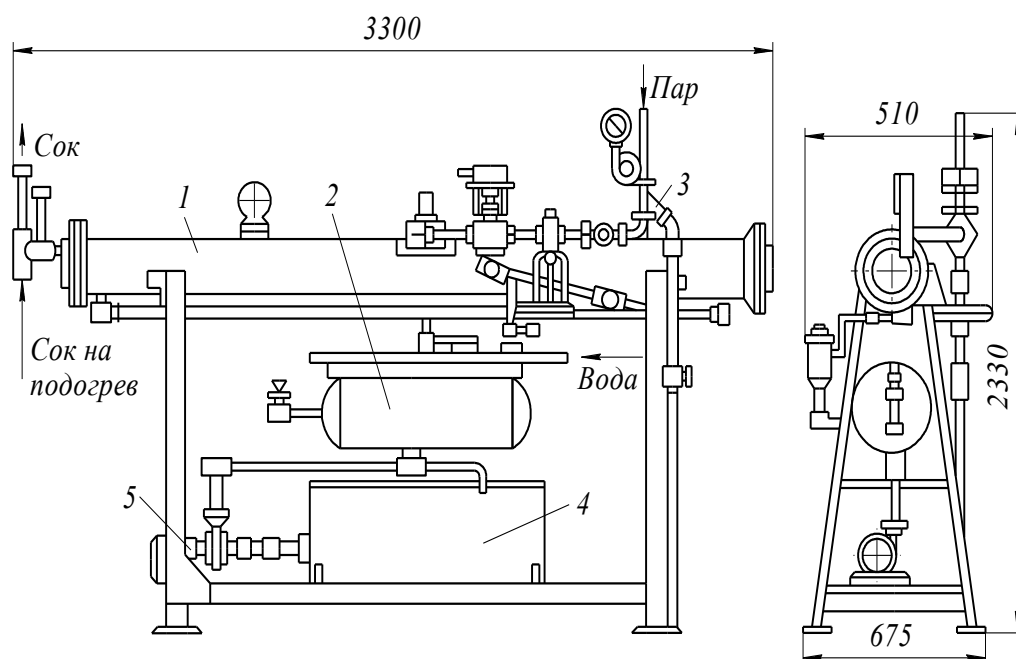


Рисунок 2 – Односекционный трубчатый вакуум-подогреватель КТП-2

Паровая магистраль включает в себя трубопроводы, арматуру, вакуум-редукционный клапан, манометр, предохранительный клапан и регулятор температуры. Заданный тепловой режим поддерживается автоматически. Вакуум-редукционный клапан обеспечивает понижение давления пара с 0,2 МПа до 0,07...0,09 МПа для предотвращения перегрева и пригорания продукта.

Для удаления конденсата из вакуум-бачка применен водяной эжектор. Конденсат в вакуум-бачок поступает из подогревателя через конденсатоотводчик с закрытым поплавком. Вода в эжектор нагнетается насосом 5 из бака 4. Уровень разрежения контролируют с помощью вакуумметра.

Аппарат ВА-800М предназначен для варки круп (рисунок 3), состоит из барабана 3, бункера 6, передней 1 и задней 8 стоек, переднего 2 и заднего 4 патрубков, привода 7 и электрооборудования.

Барабан представляет собой горизонтальный цилиндрический сосуд с эллиптическими днищами. К днищам барабана крепятся передний патрубок, предназначенный для ввода в аппарат пара, и задний – для выпуска излишка пара. Полые чугунные патрубки аппарата соединены между собой трубой,

расположенной на оси барабана. Концы трубы вварены в днища барабана. С внутренним пространством барабана полые патрубки сообщаются через отверстия в днищах барабана.

Отверстия закрыты решетками, предотвращающими попадание крупы в полые патрубки. Эти отверстия способствуют равномерному распределению пара внутри барабана.

На переднем патрубке аппарата установлены манометр и предохранительный клапан. Для обеспечения периодической загрузки и выгрузки крупы на боковой поверхности бункера имеется люк 5 с герметически закрывающейся съемной крышкой. В целях облегчения обслуживания люка на бункере предусмотрено устройство. В этом устройстве закрепляется крышка люка перед выгрузкой крупы из бункера.

Для лучшего перемешивания крупы в процессе варки к внутренней поверхности цилиндрической части барабана приварены спиральные лопасти. Отбор проб из барабана осуществляется через пробный кран, укрепленный на его цилиндрической части.

Горизонтальное положение барабана обеспечивается установкой его на четырех роликах посредством двух бандажей, закрепленных на полых патрубках передней и задней стоек. Каждая пара роликов крепится к передней и задней стойкам. Для удержания аппарата от осевых перемещений бандаж переднего патрубка имеет реборду. Привод аппарата включает электродвигатель, клиноременную передачу и редуктор.

На выходной вал редуктора насажена шестерня, находящаяся в зацеплении с зубчатым колесом, которое прикреплено к переднему патрубку барабана. На одной плите с редуктором установлен колодочный тормоз переменного тока, предназначенный для остановки и фиксации барабана в трех положениях: для загрузки, снятия крышки люка и выгрузки продукта.

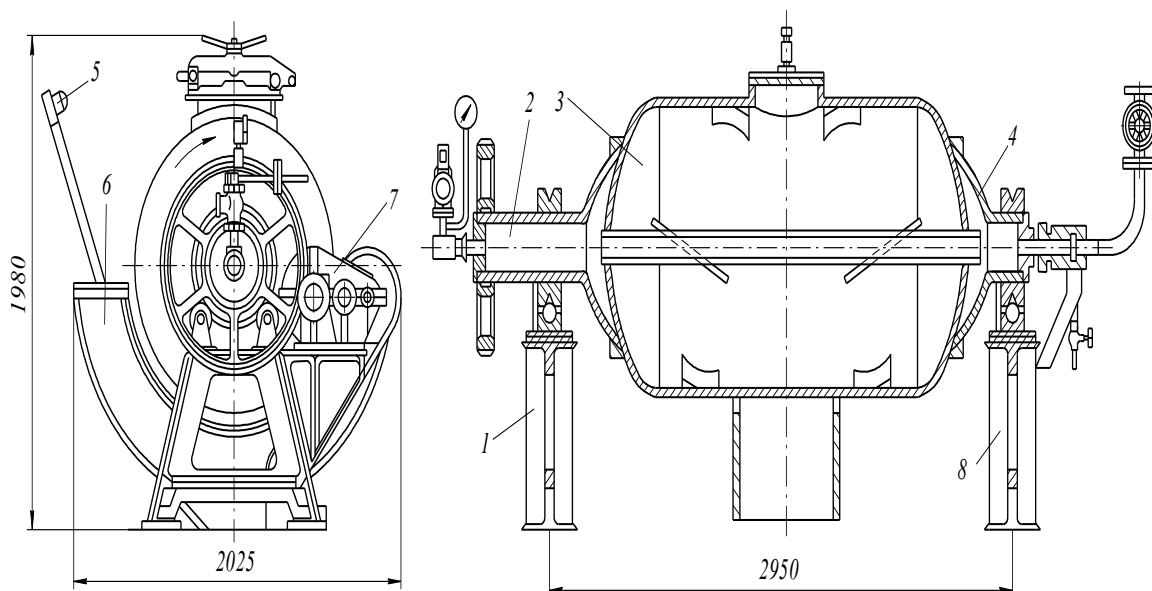


Рисунок 3 - Аппарат ВА-800М

В аппарат через люк загружают сахар и подают воду. Затем люк герметически закрывают и подают пар, после чего аппарат приводят во вращение. В процессе варки сахар и вода непрерывно перемешиваются. Время окончания варки устанавливают путем периодического взятия проб через пробный краник аппарата. Температурный режим варки регулируется путем изменения расхода и давления пара. По окончании варки подвод пара прекращается, аппарат останавливается и с помощью тормоза фиксируется в наклонном положении для снятия крышки люка. Соединением пробного краника барабана с атмосферой снимают давление в аппарате. После этого открывают крышку люка, закрепляют ее в устройстве на бункере и выгружают сваренный сироп в бункер. Затем включают привод и проворачивают несколько раз аппарат с открытым люком до полной выгрузки сиропа из него.

Котел Г2-ФВА (рисунок 4, а) с опрокидывающимся резервуаром 1 и рубашкой 7 опирается через цапфы 2, 13, лежащие в подшипниках 3, 12, на стойки 5, 9. К цапфам присоединены трубы 11 для подвода пара в рубашку и отвода конденсата 4, поступающего по трубе 6. На цапфу надето червячное колесо 14, вращением которого с помощью маховика 8 и червяка 10 поворачивают резервуар 1.

Котел типа «Вулкан» (рисунок 4, б) имеет резервуар 1 с коническим днищем 3 и рубашку 5. Сверху он закрыт крышкой 6, уравновешенной противовесом 8. Рубашка опирается на стойки 2. Пар в рубашку поступает через вентиль 10, а содержимое котла сливается через кран 4. Вода поступает в резервуар через трубу 9, конденсат отводится через конденсатную трубу 11. Для снижения давления в котле служит патрубок 7, отводящий пар. Рубашка котла имеет клапаны для продувки и предохранительный, а резервуар – предохранительный клапан, исключая образование внутри вакуума.

Котел К7-ФВЗ-Е (рисунок 4, в) предназначен для варки и бланшировки и варки в двух корзинах 9 из нержавеющей стали. Он представляет собой бескаркасную прямоугольную металлоконструкцию (резервуар 2), под которой расположен слой теплоизоляции толщиной 50 мм. Днище 1 и крышка 3 двухстворчатой конструкции изоляции не имеют. Посередине котла на вертикальных внутренних стенках закреплена перегородка 4, разделяющая его на две части и служащая направляющей для корзин 9.

Крышка 3 открывается и закрывается с помощью рычажно-винтовой системы 5, смонтированной с правой стороны котла. Сборник 6 – цилиндрическая емкость с крышкой, выполненная из листовой нержавеющей стали. Для наполнения сиропом и его слива в корпусе сборника предусмотрены отверстия с патрубками.

В котел электроталью 7 и захватным устройством 8 устанавливают корзины 9 с субпродуктами, затем заливают воду и подают пар через барботер. При достижении заданной температуры внутри котла начинается варка. После ее окончания сироп частично сливают в сборник, открывая вентиль на сливном трубопроводе.

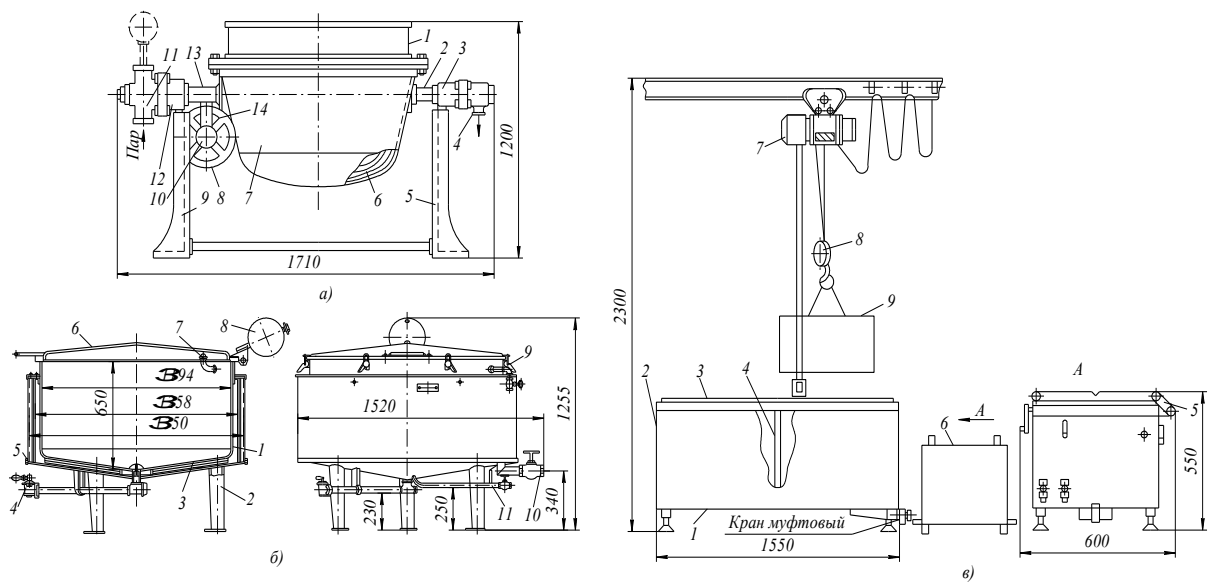


Рис. 4 Котлы варочные: а – котел Г2-ФВА; б - котел типа «Вулкан»; в – котел К7-ФВЗ-Е

1.2 Описание конструкции проектируемой установки

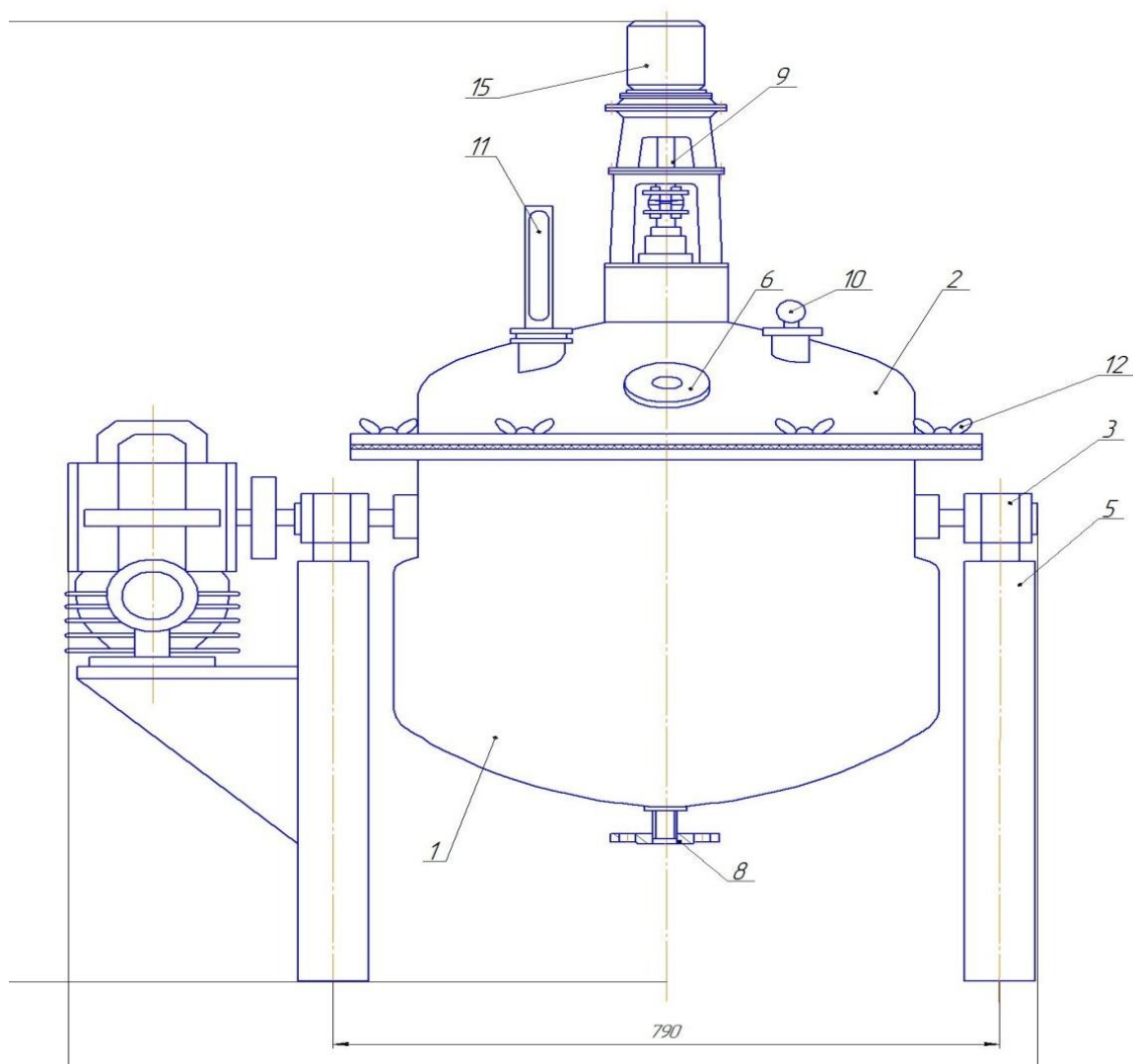


Рисунок 5 – Котел варочный СВК-150

Варочные котлы бывают со стационарной и опрокидываемой чашей, открытые (без крышки) и закрытые.

На рисунке 5. показан закрытый котел для варки сахарного сиропа с целью приготовления твердых лекарственных форм с опрокидываемой чашей. Внутренняя чаша 1 изготовлена из меди или нержавеющей стали.

С помощью стального кольца, прокладки, болтов и отбортовки она соединяется со стальной паровой рубашкой. Полость между чашей и рубашкой образует паровое пространство, в которое подается пар.

На подводящей линии установлены манометр 10, предохранительный клапан и запорный вентиль. Конденсат отводится из наинизшей точки парового пространства.

При пуске и в процессе работы воздух из рубашки периодически выпускают через кран, расположенный в наивысшей точке парового пространства.

После загрузки котла массой закрывают люк крышкой 2, открывают воздушный кран, продувочный кран на конденсатоотводчике или обводной линии и пускают пар, открыв вентиль. Продувку парового пространства производят до тех пор, пока из кранов не пойдет сухой пар.

После этого закрывают продувочные краны, включают конденсатоотводчик и увеличивают поступление пара.

В процессе нагревания наблюдают по манометру 10 за давлением греющего пара и по манометрическому термометру 11 за температурой массы.

Подогретая масса выгружается через штуцер 8, для чего рукояткой поднимают клапан. Котлы снабжаются мешалками 9 для увеличения равномерности прогрева вязких веществ. Приводной электродвигатель 15 шарнирно соединен со станиной и своим весом создает необходимое натяжение ремней с помощью устройства.

Иногда натяжение увеличивается дополнительными грузами и пружинами. Крышка 2 котла имеет трубу для отвода пара.

Варочный котел может быть и открытым, т. е. без крышки. При шарнирном соединении котла со станиной нагретую массу выгружают через борт поворотом котла вокруг горизонтальной пустотелой оси с помощью маховика. Подвод пара и отвод конденсата у таких котлов производится через пустотелые оси. В рубашке таких котлов от пустотелой оси к наинизшей точке опускается трубка, по которой паром выдавливается конденсат.

Открытые варочные котлы могут применяться и для уваривания в тех случаях, когда длительная выдержка увариваемого вещества при высокой температуре не ухудшает качества продукта.

2 Технологический расчет аппарата

2.1 Материальный расчет

Исходные данные к расчету представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Исходный состав смеси

Вещество	Массовый расход, кг/ч
Сахар	83,72
Вода	30,1

Определим необходимый объем реактора:

$$V_{\text{расч}} = \frac{G_2}{\rho_2} + \frac{G_3}{\rho_3} \quad (2.1)$$

где ρ_2 – плотность сахара, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

ρ_3 – плотность раствора воды, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$$V_{\text{расч}} = \frac{83,72}{867,2} + \frac{30,1}{1000} = 0,13 \text{ м}^3$$

Объём аппарата принимаем на 10 % больше рабочего, так как при перемешивании на поверхности жидкости может возникать воронка [1].

$$V_{\text{Котел}} = V_{\text{расч}} \cdot 1,1 \quad (2.2)$$

$$V_{\text{Котел}} = 0,13 \cdot 1,1 = 0,14 \text{ м}^3$$

По справочнику [7, с.485], предварительно примем внутренний диаметр аппарата:

$$D = 0,6 \text{ м.}$$

Тогда: Высота аппарата $H = 0,8 \text{ м}$ и внутренний диаметр рубашки:

$$D_{\text{руб}} = 0,65 \text{ м.}$$

2.2 Гидродинамический расчет

Так как в химической промышленности, рамная мешалка используется для перемешивания химических растворов, масел, синтетических смол и прочих вязких жидкостей [2].

Мы выберем рамную мешалку в качестве перемешивающего устройства в мыловаренном котле.

Отношение диаметров аппарата и мешалки [3]:

$$d_M = \frac{D}{\Gamma_D} \quad (2.3)$$

где $D = 600$ – внутренний диаметр аппарата, мм; d_M – диаметр мешалки, мм.

Принимаем $\Gamma_D = 1,2$ [3].

Примем $d_M = 500$ мм [4].

$$d_M = \frac{0,6}{1,2} = 0,5 \text{ м}$$

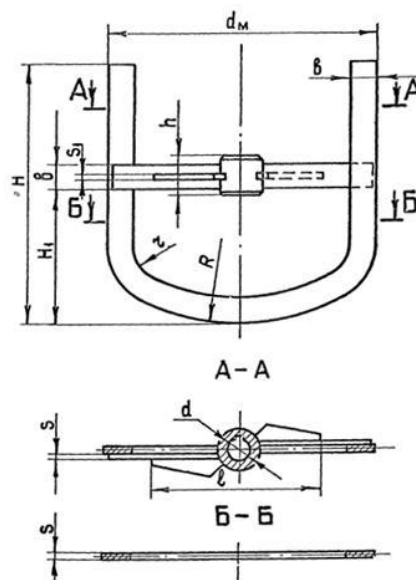


Рисунок 6 – Мешалка рамная, тип 1С. Исполнение 1 $d_M = 200 - 800$ мм

Таблица 3 – Размеры деталей рамной мешалки, мм

d_M	d	h	H	H_1	b	s
500	25	50	400	160	36	6

Число Рейнольдса определяется по формуле [3]:

$$Re_{\mu} = \frac{\rho \cdot n \cdot d_M^2}{\mu} \quad (2.4)$$

где $n = 90 \frac{\text{об}}{\text{мин}} = 1,5 \frac{\text{об}}{\text{с}}$ – частота вращения мешалки

$$\rho = \frac{m_2 + m_3}{V_2 + V_3} = \frac{83.72 + 30.1}{0.096 + 0.0301} = 901 \text{ кг/м}^3$$

– плотность перемешиваемой среды [11]; $d_M = 500$ - диаметр мешалки, мм;

$$\lg(\mu) = x_2 \cdot \lg(\mu_2) + x_3 \cdot \lg(\mu_3) + x_4 \cdot \lg(\mu_4)$$

$$= 0,53 \cdot \lg(0,0202) + 0,09 \cdot \lg(1,5525 \cdot 10^{-3}) + 0,38 \cdot \lg(0,2838 \cdot 10^{-3})$$

$\mu = 3,17 \cdot 10^{-3}$ Па.с - динамическая вязкость перемешиваемой среды.

$$Re_{\mu} = \frac{901 \cdot 1,5 \cdot 0,5^2}{3,17 \cdot 10^{-3}} = 106585$$

Параметр высоты заполнения для аппаратов со свободной поверхностью жидкости [3]:

$$\gamma = 8 \cdot \frac{V}{D} + 1 \quad (2.5)$$

где V - высота заполнения аппарата средой, м.

$$\gamma = 8 \cdot \frac{0,47}{0,6} + 1 = 7,3$$

Осредненное значение скорости потока [3], м/с:

$$V_{cp} = 4,35 \cdot n \cdot d_M \cdot \left(\frac{z_M \cdot \xi_M}{\Gamma_D^2 \cdot \gamma} \right)^{1/3} \quad (2.6)$$

где - $\xi_M = 1,28$ - коэффициент сопротивления рамной мешалки [3].

$z_M = 1$ - принимаем количество мешалок на валу;

$d_M = 0,5$ м – диаметр мешалки.

$n = 1,5 \frac{\text{об}}{\text{с}}$ – частота вращения мешалки.

$$V_{cp} = 4,35 \cdot 1,5 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{1 \cdot 1,28}{1,2^2 \cdot 7,3} \right)^{1/3} = 1,62 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Мощность потребляемой мешалки:

$$N = K_N \cdot \rho \cdot n^3 \cdot d_M^5 \quad (2.7)$$

где $K_N = 0,5$ - критерий мощности [3].

$$N = 0,5 \cdot 901 \cdot 1,5^3 \cdot 0,5^5 = 47 \text{ Вт}$$

Мощность привода мешалки:

$$N_p = \frac{K_p \cdot K_v \cdot N \cdot \sum K_i + N_{up}}{\eta} \quad (2.8)$$

где $K_p = 1,25$ – коэффициент для аппаратов без перегородок;

K_v – коэффициент уровня жидкости в аппарате;

$K_i = 1,1$ – коэффициент, учитывающий наличие внутренних устройств;

N_{up} – мощность, затрачиваемая на преодоление трения в уплотнениях вала мешалки;

$\eta = 0,85$ – коэффициент полезного действия привода мешалки.

Находим коэффициент высоты уровня жидкости в аппарате [5, с.242]:

$$K_v = \left(\frac{V}{D}\right)^{0,5} = \left(\frac{0,47}{0,6}\right)^{0,5} = 0,89 \quad (2.9)$$

Значение составляющей мощности находится по формуле [3]:

$$N_1 = K_p \cdot K_v \cdot N \cdot K_i \quad (2.10)$$

$$N_1 = 1,25 \cdot 0,89 \cdot 47 \cdot 1,1 = 57 \text{ Вт}$$

Находим расчетный крутящий момент по формуле [5]:

$$M_{кр} = \frac{N_1}{\omega} \quad (2.11)$$

где $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n = 2 \cdot \pi \cdot 1,5 = 9,4 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ – угловая часть вращения.

$$M_{кр} = \frac{62}{9,4} = 6,6 \text{ Н·м}$$

Сталь 40ХН – Материал вала. Допускаемое напряжение на кручение материала вала: $\tau_{кр} = 80 \cdot 10^6 \text{ Па}$ [6].

Расчетный диаметр вала находится по формуле [5]:

$$d_B = 1,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{кр}}{\tau_{кр}}} = 1,71 \cdot \sqrt[3]{\frac{6,1}{80 \cdot 10^6}} = 0,007 \text{ м} \quad (2.12)$$

Мощность, затрачиваемая на преодоление трения в уплотнениях вала мешалки [3]:

$$N_{уп} = 0,95 \cdot P_{из} \cdot f_{тр} \cdot d^2 \cdot n \quad (2.13)$$

$$N_{уп} = 0,95 \cdot 0,1 \cdot 10^6 \cdot 0,1 \cdot 0,007^2 \cdot 1,5 = 0,7 \text{ Вт}$$

Тогда: Значение мощности привода мешалки находится по формуле [4]:

$$N_p = \frac{1,25 \cdot 0,89 \cdot 5,1 \cdot 1,1 + 0,7}{0,85} = 74 \text{ Вт}$$

Выбираем мотор-редуктор **MRT-40-10-140-A/B8-0,25** с мощностью электродвигателя = 0,25 кВт [7]. По типоразмеру мотор-редуктора примем размер вала 19 мм.

2.3 Расчет теплового баланса котла

Рассчитаем тепловой баланс котла.

Расчет теплового баланса котла на электрообогрев производится для нестационарного и стационарного режимов работы.

Для нестационарного

$$Q_{\text{зат}} = Q_1 + Q_5 + Q_6 \quad (2.14)$$

Для стационарного

$$Q_{\text{зат}} = Q'_1 + Q'_5 \quad (2.15)$$

где Q_1 – полезно используемое тепло, Дж;

Q_5 – потери тепла в окружающую среду, Дж;

Q_6 – потери тепла на разогрев конструкции, Дж;

Q'_1 – условно полезное тепло, Дж;

Q'_5 – условные потери тепла в окружающую среду, Дж;

Полезно используемое тепло при расчете варочных котлов определяется из условий нагревания и кипения воды.

Полезно используемое тепло, Дж

– для нестационарного режима работы

$$Q_1 = W \cdot C \cdot (t_{\text{к}}^{\text{вод}} - t_{\text{н}}^{\text{вод}}) \quad (2.16)$$

– для стационарного режима работы

$$Q'_1 = 0,01 \cdot W \cdot r \quad (2.17)$$

где W - максимальное количество воды в варочном сосуде, кг;

$C = 4187$ Дж/(кг°С) – теплоемкость воды;

$t_{\text{н}}^{\text{вод}} = 20^\circ\text{C}$ – начальная температура воды;

$t_{\text{к}}^{\text{вод}} = 100^\circ\text{C}$ – конечная температура воды;

$r = 2260$ кДж/кг -теплота парообразования.

Максимальное количество воды в варочном сосуде, кг

$$W = V \cdot \rho_{\text{вод}} \cdot k_{\text{зап}} \quad (2.18)$$

где $\rho_{\text{вод}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ - плотность воды.

$$W = 0,6 \cdot 1000 \cdot 0,83 = 500 \text{ кг}$$

Полезно используемое тепло, Дж

– для нестационарного режима работы

$$Q_1 = 500 \cdot 4187 \cdot (100 - 20) = 167,5 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

– для стационарного режима работы

$$Q'_1 = 0,01 \cdot 500 \cdot 2260 = 11,3 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

Потери тепла ограждениями котла в окружающую среду, Дж

– для нестационарного режима работы

$$Q_5 = \sum \alpha_j \cdot F_j \cdot (t_{kj} - t_{nj}) \cdot \tau \quad (2.19)$$

– для стационарного режима работы

$$Q'_5 = \sum \alpha'_j \cdot F'_j \cdot (t'_{kj} - t'_{nj}) \cdot \tau' \quad (2.20)$$

где α_j, α'_j - коэффициент теплоотдачи для нестационарного и стационарного режимов соответственно, Вт/(м²°C);

F_j, F'_j - площадь j-го элемента поверхности аппарата для нестационарного и стационарного режимов соответственно, м²;

t_{kj}, t'_{kj} - конечная температура j-го элемента аппарата для нестационарного и стационарного режимов соответственно, °C;

t_{nj}, t'_{nj} - начальная температура j-го элемента аппарата для нестационарного и стационарного режимов соответственно, °C;

τ, τ' - время работы аппарата для нестационарного и стационарного режимов соответственно, с.

Поверхность стенок кожуха котла, м²:

$$F_K = \pi \cdot D_K \cdot H_{\text{вн}} \quad (2.21)$$

$$F_K = 3,14 \cdot 1,23 \cdot 0,88 = 3,4 \text{ м}^2$$

Поверхность крышки и верхней горизонтальной поверхности котла, м²:

$$F_K = F_{кр} = \pi \cdot \frac{D_K^2}{4} \quad (2.22)$$

где диаметр крышки приблизительно равен диаметру котла $D_K = D_{кр}$.

$$F_K = F_{кр} = 3,14 \cdot \frac{1,23^2}{4} = 1,2 \text{ м}^2$$

2.4 Расчет коэффициента теплоотдачи

Коэффициент теплоотдачи

- для нестационарного режима работы

$$\alpha = 9,74 + 0,07 \cdot (t_{ср} - t_B) \quad (2.23)$$

- для стационарного режима работы

$$\alpha' = 9,74 + 0,07 \cdot (t_K - t_B) \quad (2.24)$$

где $t_{ср}$ - средняя температура, °C.

Средняя температура, °C

- для поверхности котла

$$t_{срК} = \frac{(t_{нj} + t_{кj})}{2} \quad (2.25)$$

$$t_{срК} = \frac{(20 + 60)}{2} = 40^\circ\text{C}$$

- для крышки

$$t_{срКР} = \frac{(t_{нj} + t_{кj})}{2} \quad (2.26)$$

$$t_{срКР} = \frac{(20 + 95)}{2} = 57,5^\circ\text{C}$$

Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²°C)

- для нестационарного режима работы

$$\alpha_{кр} = 9,74 + 0,07 \cdot (57,5 - 20) = 12,36 \text{ Вт/(м}^2\text{°C)}$$

$$\alpha_K = 9,74 + 0,07 \cdot (40 - 20) = 11,14 \text{ Вт/(м}^2\text{°C)}$$

- для стационарного режима работы

$$\alpha'_{кр} = 9,74 + 0,07 \cdot (95 - 20) = 14,99 \text{ Вт/(м}^2\text{°C)}$$

$$\alpha'_K = 9,74 + 0,07 \cdot (60 - 20) = 12,54 \text{ Вт/(м}^2\text{°C)}$$

Время работы аппарата, с

– для нестационарного режима работы

$$\tau = 1,083 \text{ ч} = 3900 \text{ с}$$

– для стационарного режима работы

$$\tau' = 1,0 \text{ ч} = 3600 \text{ с}$$

Потери тепла ограждениями котла в окружающую среду, Дж

– для нестационарного режима работы

$$Q_5 = [12,36 \cdot 1,2 \cdot (57,5 - 20) + 11,14 \cdot 3,4 \cdot (40 - 20)] \cdot 3900 = 4,5 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

– для стационарного режима работы

$$Q'_5 = [14,99 \cdot 1,2 \cdot (95 - 20) + 12,54 \cdot 3,4 \cdot (40 - 20)] \cdot 3600 = 7,7 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

Потери тепла дном котла не значительны, и ими можно пренебречь.

2.5 Расчет потери тепла на разогрев конструкции

Потери тепла на разогрев конструкции, Дж.

$$Q_6 = \sum M_j \cdot c_j \cdot (t_{kj} - t_{nj}) \quad (2.27)$$

где M_j - масса j-го элемента аппарата, кг;

c_j - теплоемкость j-го элемента аппарата, Дж/(кг°С);

Потери тепла на разогрев варочного сосуда котла:

$$Q_6^{\text{BH}} = M_{\text{BH}} \cdot c_{\text{BH}} \cdot (t_{k\text{BH}} - t_{\text{вод}}) \quad (2.28)$$

c_{BH} - теплоемкость материала;

M_{BH} - масса материала;

$t_{k\text{BH}}$ - конечная температура варочного котла;

Объем варочного сосуда:

$$V_{\text{BH}} = S_{\text{BH}} \cdot \left(\pi \cdot D_{\text{BH}} \cdot H_{\text{BH}} + \pi \cdot \frac{D_{\text{BH}}^2}{4} \right) \quad (2.29)$$

$$V_{\text{BH}} = 0,002 \cdot \left(3,14 \cdot 1,1 \cdot 0,88 + 3,14 \cdot \frac{1,1^2}{4} \right) = 0,008 \text{ м}^3$$

Масса варочного сосуда:

$$M_{\text{вн}} = V_{\text{вн}} \cdot \rho_{\text{м}} \quad (2.30)$$

где $\rho_{\text{м}} = 7800 \text{ кг/м}^3$ - плотность материала;

$$M_{\text{вн}} = 0,008 \cdot 7800 = 62,4 \text{ кг}$$

Конечную температура варочного котла принимаем $t_{\text{квн}} = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Теплоемкость материала элемента $c_{\text{вн}} = 462 \text{ Дж/(кг}^{\circ}\text{C)}$

Потери тепла на разогрев варочного сосуда котла:

$$Q_6^{\text{вн}} = 62,4 \cdot 462 \cdot (100 - 20) = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

Потери тепла на разогрев крышки, Дж

$$Q_6^{\text{кр}} = M_{\text{кр}} \cdot c_{\text{кр}} \cdot (t_{\text{ккр}} - t_{\text{вод}}) \quad (2.31)$$

где $c_{\text{кр}}$ – теплоемкость материала;

$M_{\text{кр}}$ – масса материала;

$t_{\text{ккр}}$ – конечная температура крышки котла;

Крышка котла изготовлена из нержавеющей стали.

Теплоемкость нержавеющей стали $c_{\text{кр}} = 462 \text{ Дж/(кг}^{\circ}\text{C)}$;

Плотность материала $\rho_{\text{кр}} = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

Конечную температура крышки котла принимаем $t_{\text{квн}} = 95 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

Объем крышки, м^3

$$V_{\text{кр}} = S_{\text{кр}} \cdot \pi \cdot \frac{D_{\text{кр}}^2}{4} \quad (2.32)$$

$$V_{\text{кр}} = 0,002 \cdot 3,14 \cdot \frac{1,23^2}{4} = 0,002 \text{ м}^3$$

Масса крышки, кг

$$M_{\text{кр}} = V_{\text{кр}} \cdot \rho_{\text{кр}} \quad (2.33)$$

$$M_{\text{кр}} = 0,002 \cdot 7800 = 15,6 \text{ кг}$$

Потери тепла на разогрев крышки, Дж

$$Q_6^{\text{кр}} = 15,6 \cdot 462 \cdot (95 - 20) = 642 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

Потери тепла на разогрев наружного котла с парогенератором, Дж

$$Q_6^{\text{н}} = M_{\text{н}} \cdot c_{\text{н}} \cdot (t_{\text{кн}} - t_{\text{вод}}) \quad (2.34)$$

где c_H – теплоемкость материала;

M_H – масса материала;

$t_{кн}$ – конечная температура наружного котла с парогенератором;

Наружный котел изготовлен из углеродистой стали.

Теплоемкость материала $c_H = 462$ Дж/(кг°С);

Плотность материала $\rho_H = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

Конечную температуру принимаем $t_{кн} = 109,3$ °С;

Объем наружного котла с парогенератором, м^3

$$V_H = S_H \cdot \left(\pi \cdot D_H \cdot (H_{вн} + H_H) + \pi \cdot \frac{D_H^2}{4} \right) + 2 \cdot a_{\Pi} \cdot b_{\Pi} \cdot h_{\Pi} \quad (2.35)$$

где $a_{\Pi} = 0,2$ м – длина парогенератора;

$b_{\Pi} = 0,2$ м – ширина парогенератора;

$h_{\Pi} = 0,4$ м – высота парогенератора;

$$\begin{aligned} V_H &= 0,002 \cdot \left(3,14 \cdot 1,21 \cdot (0,88 + 0,06) + 3,14 \cdot \frac{1,21^2}{4} \right) + 2 \cdot 0,2 \cdot 0,2 \cdot 0,4 \\ &= 0,01 \text{ м}^3 \end{aligned}$$

Масса наружного котла с парогенератором, кг

$$M_H = V_H \cdot \rho_H \quad (2.36)$$

$$M_H = 0,01 \cdot 7800 = 78 \text{ кг}$$

Потери котла на разогрев наружного котла с парогенератором, Дж

$$Q_6^H = 78 \cdot 462 \cdot (109,3 - 20) = 3218 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

Потери тепла на разогрев теплоизоляционной конструкции, Дж

$$Q_6^{\text{из}} = M_{\text{из}} \cdot c_{\text{из}} \cdot (t_{\text{киз}} - t_{\text{вод}}) \quad (2.37)$$

где $c_{\text{из}}$ – теплоемкость теплоизоляционного материала;

$M_{\text{из}}$ – масса теплоизоляционного материала;

$t_{кн}$ – конечная температура теплоизоляционной конструкции;

Теплоизоляционный материал – фольа;

Теплоемкость фольи $c_{\text{из}} = 92$ Дж/(кг°С);

Плотность материала $\rho_{\text{из}} = 20 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Конечная температура, °C

$$t_{из} = \frac{(t_s + t_k)}{2} \quad (2.38)$$

$$t_{из} = \frac{(109,3 + 60)}{2} = 84,65^\circ\text{C}$$

Объем теплоизоляционной конструкции, м³

$$V_{из} = S_{из} \cdot \pi \cdot (H_{вн} + H_{н}) \cdot (D_{н} + S_{из}) \quad (2.39)$$

$$V_{из} = 0,008 \cdot 3,14 \cdot (0,88 + 0,06) \cdot (1,21 + 0,008) = 0,03 \text{ м}^3$$

Масса теплоизоляционной конструкции, кг

$$M_{из} = V_{из} \cdot \rho_{из} \quad (2.40)$$

$$M_{из} = 0,03 \cdot 20 = 0,6 \text{ кг}$$

Потери тепла на разогрев теплоизоляционной конструкции, Дж

$$Q_6^{из} = 0,6 \cdot 92 \cdot (84,65 - 20) = 3,6 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

Потери тепла на разогрев кожуха котла, Дж

$$Q_6^{кк} = M_{кк} \cdot c_{кк} \cdot (t_{ккк} - t_{вод}) \quad (2.41)$$

где $c_{кк}$ — теплоемкость материала;

$M_{кк}$ — масса материала;

$t_{ккк}$ — конечная температура кожуха котла;

Кожух котла изготовлен из углеродистой стали.

Теплоемкость материала $c_{кк} = 462 \text{ Дж}/(\text{кг}^\circ\text{C})$;

Плотность материала $\rho_{кк} = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

Конечную температуру принимаем $t_{ккк} = 60^\circ\text{C}$;

Объем кожуха котла, м³

$$V_{кк} = S_{кк} \cdot \pi \cdot D_{к} \cdot H_{общ} \quad (2.42)$$

$$V_{кк} = 0,0005 \cdot 3,14 \cdot 1,23 \cdot 1,3 = 0,0025 \text{ м}^3$$

Масса теплоизоляционной конструкции, кг

$$M_{кк} = V_{кк} \cdot \rho_{кк} \quad (2.43)$$

$$M_{кк} = 0,0025 \cdot 7800 = 19,5 \text{ кг}$$

Потери тепла на разогрев кожуха котла, Дж

$$Q_6^{кк} = 19,5 \cdot 462 \cdot (60 - 20) = 360,4 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

Потери тепла на воду в парогенераторе, Дж

$$Q_6^B = M_B \cdot c_B \cdot (t_{kB} - t_{\text{вод}}) \quad (2.44)$$

где c_B – теплоемкость воды;

M_B – масса воды;

t_{kB} – конечная температура воды в парогенераторе;

Теплоемкость воды $c_B = 4187 \text{ Дж}/(\text{кг}^\circ\text{C})$;

Плотность воды $\rho_B = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

Конечную температуру принимаем $t_{kB} = 109,3^\circ\text{C}$;

Объем воды в парогенераторе, м^3

$$V_B = a_{\Pi} \cdot b_{\Pi} \cdot h_{\Pi} \quad (2.45)$$

где $a_{\Pi} = 0,2 \text{ м}$ – длина парогенератора;

$b_{\Pi} = 0,2 \text{ м}$ – ширина парогенератора;

$h_{\Pi} = 0,4 \text{ м}$ – высота парогенератора;

$$V_B = 0,2 \cdot 0,2 \cdot 0,4 = 0,016 \text{ м}^3$$

Масса теплоизоляционной конструкции, кг

$$M_B = V_B \cdot \rho_B \quad (2.46)$$

$$M_B = 0,016 \cdot 1000 = 16 \text{ кг}$$

Потери тепла на воду в парогенераторе, Дж

$$Q_6^B = 16 \cdot 4187 \cdot (109,3 - 20) = 5982,4 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

Потери тепла на разогрев каркаса и арматуры котла, Дж

$$Q_6^{\text{кар}} = M_{\text{кар}} \cdot c_{\text{кар}} \cdot (t_{k\text{кар}} - t_{\text{вод}}) \quad (2.47)$$

где $c_{\text{кар}}$ – теплоемкость материала каркаса;

$M_{\text{кар}}$ – масса каркаса;

$t_{k\text{н}}$ – конечная температура каркаса и арматуры котла;

Материал элемента – сталь углеродистая;

Теплоемкость материала $c_{\text{из}} = 462 \text{ Дж}/(\text{кг}^\circ\text{C})$;

Плотность материала $\rho_{\text{из}} = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Конечная температура, $^\circ\text{C}$

$$t_{\text{ккар}} = \frac{(t_s + t_k)}{2} \quad (2.48)$$

$$t_{\text{ккар}} = \frac{(109,3 + 60)}{2} = 84,65^\circ\text{C}$$

Масса элемента – 250% от массы варочного сосуда.

Масса каркаса и арматуры котла, кг

$$M_B = 62,4 \cdot \frac{250}{100} = 156 \text{ кг}$$

Потери тепла на разогрев каркаса и арматуры котла, Дж

$$Q_6^{\text{кар}} = 156 \cdot 462 \cdot (84,65 - 20) = 4660 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

Потери на разогрев конструкции, Дж

$$Q_6 = Q_6^{\text{вн}} + Q_6^{\text{кн}} + Q_6^{\text{н}} + Q_6^{\text{из}} + Q_6^{\text{к}} + Q_6^{\text{в}} + Q_6^{\text{кар}}$$

$$Q_6 = (2300 + 642 + 3218 + 3,6 + 360,4 + 5982,4 + 4660) \cdot 10^3 \\ = 17166,4 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

Потери тепла на разогрев постаментов не учитываются из-за незначительной величины.

Расход тепла на нестационарный и стационарный режим работы котла соответственно равны.

Для нестационарного

$$Q_{\text{зат}} = Q_1 + Q_5 + Q_6 \quad (2.49)$$

$$Q_{\text{зат}} = 167,5 \cdot 10^6 + 4,5 \cdot 10^6 + 17,2 \cdot 10^6 = 189,2 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

Для стационарного

$$Q_{\text{зат}} = Q'_1 + Q'_5 \quad (2.50)$$

$$Q_{\text{зат}} = 11,3 \cdot 10^6 + 7,7 \cdot 10^6 = 19 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

2.6 Расчет поверхности нагрева варочного котла

Расчет необходимой площади нагрева варочного котла, м²

$$F = Q / (k \cdot \tau_{\text{раз}} \cdot \Delta t_{\text{лог}}^{\text{ср}}) \quad (2.51)$$

где Q – количество тепла, которое надо передать через поверхность нагрева в единицу времени, Дж/с

k – коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к нагреваемой среде, Вт/(м²°C);

$\Delta t_{\text{лог}}^{\text{cp}}$ – среднелогарифмическая разность температур, °C;

Среднелогарифмическая разность температур, °C

$$\Delta t_{\text{лог}}^{\text{cp}} = (\Delta t_6 - \Delta t_m) / [2,3 \cdot \lg(\Delta t_6 / \Delta t_m)]$$

где Δt_m - наименьшая разность между температурами теплоносителя и нагреваемой средой, °C;

Δt_6 - наибольшая разность между температурами теплоносителя и нагреваемой средой, °C;

Количество тепла, переданного через поверхность нагрева, Дж

$$Q = Q_1 + Q_6^{\text{BH}} + Q_6^{\text{KP}} + Q_5^{\text{K}} \quad (2.52)$$

где Q_1 – полезно используемое тепло, Дж;

Q_6^{BH} – потери тепла на разогрев варочного сосуда котла, Дж;

Q_6^{KP} – потери тепла на разогрев крышки, Дж

Q_5^{K} – потери тепла кожухом котла в окружающую среду, Дж;

Потери тепла кожухом котла в окружающую среду, Дж

$$Q_5^{\text{K}} = \alpha_{\text{K}} \cdot F_{\text{K}} \cdot (t_{\text{KK}} - t_{\text{вод}}) \cdot \tau \quad (2.53)$$

где α_{K} – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²°C);

F_{K} – площадь поверхности кожуха котла, м²;

t_{KK} – конечная температура кожуха котла, °C;

τ – время работы аппарата, с;

Потери тепла кожухом котла в окружающую среду, Дж

$$Q_5^{\text{K}} = 11,14 \cdot 3,4 \cdot (40 - 20) \cdot 3900 = 3000 \cdot 10^3 \text{ Дж}$$

Количество тепла, переданного через поверхность нагрева, Дж

$$Q = 167,5 \cdot 10^6 + 2,3 \cdot 10^6 + 0,642 \cdot 10^6 + 3 \cdot 10^6 = 173,4 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

Среднелогарифмическая разность температур, °C

$$\Delta t_{\text{лог}}^{\text{cp}} = [(109,3 - 20) - (109,3 - 100)]/[2,3 \cdot \lg(\frac{(109,3 - 20)}{(109,3 - 100)})] = 35^\circ\text{C}$$

Коэффициент теплопередачи для случая передачи тепла от конденсирующихся паров к воде приблизительно равен $k=2900 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$.

Необходимая поверхность нагрева, м^2

$$F = \frac{173,4}{2900 \cdot 3900 \cdot 35} = 0,44 \text{ м}^2$$

Фактическая поверхность нагрева, м^2

$$F = \pi \cdot D_{\text{вн}} \cdot H_{\text{вн}} + \pi \cdot \frac{D_{\text{вн}}^2}{4} \quad (2.53)$$

$$F = 3,14 \cdot 1,1 \cdot 0,88 + 3,14 \cdot \frac{1,1^2}{4} = 4 \text{ м}^2$$

Полученная фактическая поверхность нагрева значительно больше необходимой.

Расход тепла на нестационарный и стационарный режимы работы котла, Дж

для нестационарного

$$Q_{\text{зат}} = 189,2 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

для стационарного

$$Q_{\text{зат}} = 19 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

Коэффициент полезного действия котла при нестационарном режиме работы

$$\eta = Q_1/Q_{\text{зат}} \quad (2.54)$$

$$\eta = \frac{167,5 \cdot 10^6}{189,2 \cdot 10^6} = 0,89 = 89\%$$

Удельная металлоемкость, $\text{кг}/\text{дм}^3$

$$m_M = M_M/V \quad (2.55)$$

где M_M - масса металлоконструкции аппарата, кг;

Масса металлоконструкции аппарата, кг

$$M_M = M_{BH} + M_{кр} + M_H + M_{из} + M_K + M_{кар} + M_{пост}$$

где M_{BH} – масса варочного сосуда, кг;

$M_{кр}$ – масса крышки, кг;

M_H – масса наружного котла, кг;

$M_{из}$ – масса теплоизоляционной конструкции, кг;

M_K – масса кожуха котла, кг;

$M_{кар}$ – масса каркаса, кг;

$M_{пост}$ – масса постаменты, кг;

Масса постаменты составляет 400% от масс варочного котла, кг

$$M_{пост} = 62,4 \cdot \frac{400}{100} = 249,6 \text{ кг}$$

Масса металлоконструкции аппарата, кг

$$M_M = 62,4 + 18,5 + 78 + 0,6 + 19,5 + 156 + 249,6 = 584,6 \text{ кг}$$

Удельная металлоемкость, кг/дм³

$$m_M = \frac{584,6}{600} = 0,98 \text{ кг/дм}^3$$

Удельный расход тепла, Дж/кг

$$q = Q_{зат}/M_{П} \quad (2.56)$$

где $M_{П}$ – масса готового продукта;

$$q = 189,2 \cdot \frac{10^6}{500} = 378,4 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$$

Металлоемкость рассчитанного аппарата ниже металлоемкости серийно выпускаемых аппаратов, что объясняется некоторыми упрощениями его конструкции (одинарная крышка, отсутствие арматуры у варочного сосуда, меньшая масса противовеса крышки).

Удельный расход электроэнергии несколько выше, что объясняется низким коэффициентом заполнения котла ($k_{зан}=0,83$), когда кА для серийно выпускаемых аппаратов он принимается равным 0,9.

3 Выбор конструкционных материалов

Промышленные процессы, включая производство сахарного сиропа, характеризуются воздействием высококоррозионных сред. Чтобы защитить экономически, а также с точки зрения технической безопасности и качества оборудования на производстве, при проектировании оборудования необходимо учитывать устойчивость оборудования к коррозии окружающей среды. Мало того, материалы, используемые при производстве промышленного производственного оборудования и химических реакторов, также требуют высокой механической прочности, что обеспечивает необходимую пластичность и ограничивает износ течением времени [8].

Нержавеющая конструкционная сталь 12X18H10T это сплав, который можно использовать в самых разных условиях и средах. Сталь 12X18H10T содержит следующие ингредиенты: Содержание углерода не более 0,12 %, что способствует повышению прочности и твердости стали, содержание хрома не более 18 %, что способствует защите стали от коррозии и окисления, содержание углерода никель не более 10% и содержание титана около 1%, чтобы помочь стали иметь жаропрочность, повысить твердость стали. Сталь 12X18H10T используется для производства деталей, которые работают при температурах до +600 °C. Применяется сталь при изготовлении изделий, которые можно эксплуатировать в условиях разбавленных кислот, средне агрессивных щелочных и солевых растворов [9]. Поэтому в качестве материала для изготовления корпуса, днища, крышки, рубашки, штуцеров используется сталь 12X18H10T.

Используют стали марок 35, 20Г2Р, 40Х для изготовления высокопрочных гаек и болтов [10]. Благодаря низкой стоимости и высоким эксплуатационным характеристикам, сталь 35 широко применяется в строительных и машиностроительных сферах [11]. Следовательно, в качестве материала для изготовления болтов

используется сталь марки 35.

Паронит – прокладочный материал в виде листов, производимый из прессованной массы определенного набора компонентов, широко применяемый в промышленности. Его популярность обусловлена химическими свойствами, которые позволяют ему без повреждений взаимодействовать с едкими веществами, и не дают деформироваться при перепадах температур. Он обладает пластичностью и способностью растекаться при высоком уровне давления, что позволяет герметично соединять нужные детали. Паронит используется для изготовления прокладок в кислотах, щелочах, окислители и других агрессивных средах. Поэтому, используем паронит для прокладки [12].

40 ХН – это сталь, имеющая в составе такие элементы как углерод – в процентном соотношении от 0,36 % до 0,44 % (один из самых важных элементов), марганец от 0,5 % и вплоть до 0,8 %, вкрапления никеля в соотношении от 1% до 1,4 %, порошок кремния от 0,17 % до 0,37 %, элементы серы и фосфора – каждый из которых не превышает 0,035 %, также соединения хрома от 0,45 до 0,75 % и добавление 0,3 % меди. Сталь 40ХН относится к высококачественным легированным сталям в первую очередь из-за содержания фосфора и серы менее 0,36% в процентном соотношении. Сталь 40ХН широко используется в нефтегазовой и других отраслях промышленности для изготовления таких деталей машин, как: оси, валы, шатуны, зубчатые колеса, валы экскаваторов, муфты, валы-шестерни и др. Поэтому, сталь 40ХН используется для изготовления вала и мешалки [13].

4 Механический расчет сироповарочного котла

Цель механического расчета – определение механических размеров компонентов мыловаренного котла, чтобы обеспечить прочность и надежность ввремя работы оборудования.

Расчет производится по пособию [14]. Расчетная схема аппарата с крышкой, днищем и рубашкой представлена на рисунке 7.

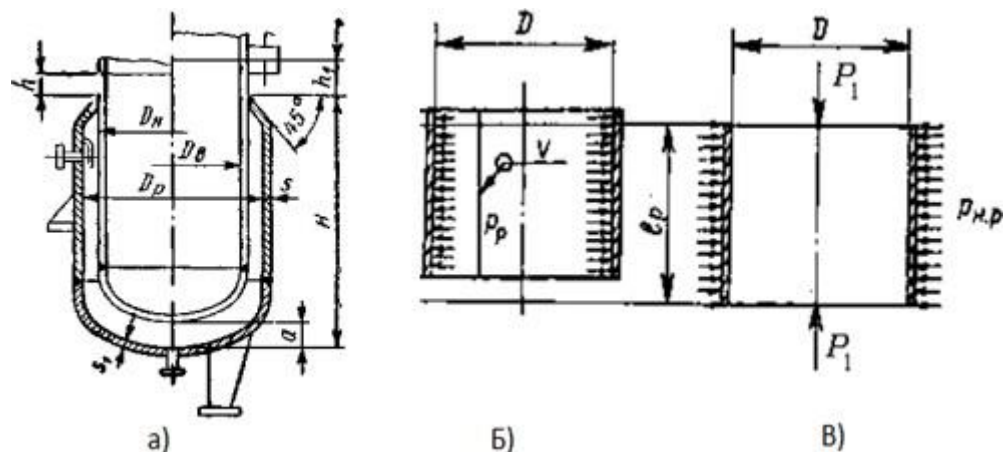


Рисунок 7 - Расчетная схема аппарата с крышкой, днищем и рубашкой (а) при действии внутреннего давления (б) и внешнего давления (в) [14]

Исходные данные для механического расчета:

- плотность перемешиваемой среды в аппарате, $\rho = 901 \text{ кг/м}^3$;
- внутренне рабочее давление в аппарате, $P_{\text{обсч}} = 0,1 \text{ МПа}$;
- рабочее давление в рубашке, $P_{\text{н.р}} = 0,5 \text{ МПа}$;
- ускорение свободного падения, $g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$;
- высота днища, $H_{\text{в.д}} = 0,175 \text{ м}$, [7, с.440];

Высота цилиндрической части реактора не заполнена реагентами [15, с.485]:

$$l_1 = H - a - V \quad (4.1)$$

$$l_1 = 800 - 20 - 470 = 310 \text{ мм} = 0,31 \text{ м}$$

- внутренний диаметр цилиндрической обечайки, $D = 0,6$ м;
- высота цилиндрической обечайки под рубашкой, $l = 0,78$ м;
- внутренний диаметр рубашки, $D_{руб} = 0,65$ м;
- высота цилиндрической части рубашки, $H_{руб} = 0,76$ м;
- 12X18Н10Т – марка стали;
- допускаемое напряжение стали 12X18Н10Т в рабочих условиях, $\sigma_p = 168$ МПа;
- максимальная температура среды, которая соприкасается со стенкой, $T = 150$ °С;
- проницаемость вызванная средой в аппарате, $\Pi = 0,05$ мм/год;
- проницаемость вызванная водяным паром в рубашке, $\Pi_{руб} = 0,01$ мм/год;
- эрозия стенок отсутствует;
- минусовый допуск отсутствует так как аппарат изготовлен из листового проката;
- длина контролируемых швов составляет 100 % от общей длины.
- срок эксплуатации аппарата, $\tau = 25$ лет.

Определение расчетных параметров.

Для определения расчетных параметров нужно определить давление в элементах аппарата.

В частности:

- внутри аппарата: $P_{обеч} = 0,1$ МПа;
- в рубашке: $P_{н.р} = 0,5$ МПа;

Находим пробные давления при гидроиспытании:

– при $P_{обеч} = 0,1 \text{ МПа} < 0,5 \text{ МПа}$: по таблице [14, с.17] пробное внутреннее давление находится по формуле:

$$P_{и.в} = \max \left\{ 1,5 \cdot P_{обеч} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma}; 0,2 \right\} \quad (4.2)$$

где $\sigma = 168 \text{ мпа}$ – значение допускаемого напряжения для стали 12X18Н10Т при рабочей температуре $t_r = 150 \text{ °C}$ [14];

$\sigma_{20} = 184 \text{ МПа}$ – значение допускаемого напряжения для стали 12X18Н10Т при температуре $t = 20 \text{ °C}$ [14];

$$P_{и.в.} = \max \left\{ 1,5 \cdot 0,1 \cdot \frac{184}{168}; 0,2 \right\} = 0,2 \text{ МПа}$$

– при $P_{н.р} = 0,5 \text{ МПа}$: по таблице [14, с.17] пробное наружное давление в рубашке находится по формуле:

$$P_{и.в.} = \max \left\{ 1,25 \cdot P_{н.р} \cdot \frac{\sigma_{20}}{\sigma}; P_{н.р} + 0,3 \right\} \quad (4.3)$$

$$P_{и.в.} = \max \left\{ 1,25 \cdot 0,5 \cdot \frac{184}{168}; 0,5 + 0,3 \right\} = 0,8 \text{ МПа}$$

Допускаемое напряжение:

– в рабочем состоянии:

$$[\sigma] = \eta \cdot \sigma_{ном} \quad (4.4)$$

где $\eta = 1$ [14, с.113],

$\sigma_{ном} = 168 \text{ МПа}$ – значение номинального допускаемого напряжения для стали 12X18Н10Т при температуре $t = 150 \text{ °C}$ [14];

$$[\sigma] = 1 \cdot 168 = 168 \text{ МПа}$$

при гидравлических испытаниях:

$$[\sigma]_{и} = \frac{\sigma_{Т20}}{1,1} \quad (4.5)$$

где $\sigma_{Т20} = 276 \text{ МПа}$ [14] - значение предела текучести для стали марки 12X18Н10Т при $t = 20 \text{ °C}$.

$$[\sigma]_{\text{и}} = \frac{276}{1,1} = 251 \text{ МПа}$$

Значение коэффициента запаса устойчивости [14]:

- 2,4 – для рабочих условий;
- 1,8 – для условий испытания и монтажа.

Коэффициент прочности сварных швов $\varphi = 1$ так как продольные швы цилиндрических обечаек, а также сварные швы днищ выполнены полуавтоматически стыковыми швами с двусторонним сплошным проваром [33]. Сумма прибавок к толщинам находится по формуле:

$$\sum C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (4.6)$$

где C_1 – значение прибавки для компенсации эрозии и коррозии:

- для обечайки и днища:

$$C_{1д} = C_{1к.обеч} = (P_{руб} + \pi) \cdot \tau \quad (4.7)$$

$$C_{1д} = C_{1к.обеч} = (0,01 + 0,05) \cdot 25 = 1,5 \text{ мм};$$

- для рубашки:

$$C_{1к.руб} = P_{руб} \cdot \tau = 0,01 \cdot 25 = 0,25 \quad (4.8)$$

$$C_{1к.руб} = 0,01 \cdot 25 = 0,25 \text{ мм};$$

- эрозия отсутствует: $C_{1,э} = 0 \text{ мм}$.
- C_2 – прибавка для компенсации минусового допуска;
- C_3 – прибавка для компенсации утонения стенки.

Тогда:

- Сумма прибавок к расчетной толщине обечайки:

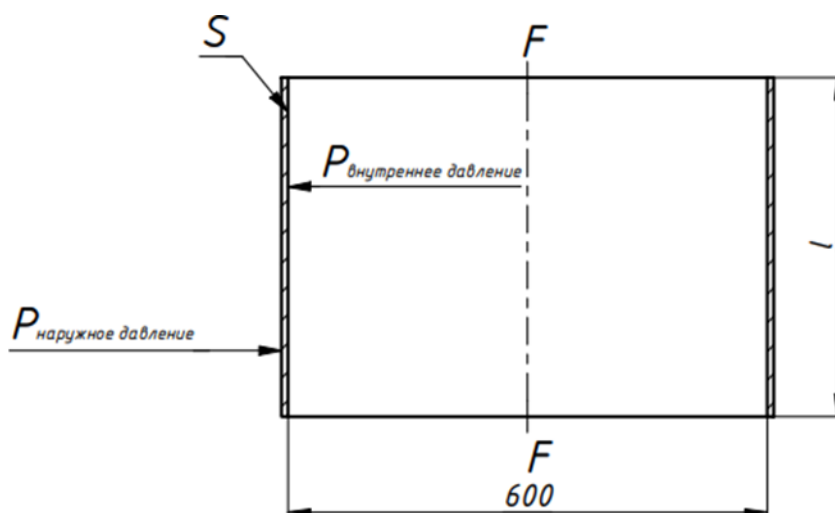
$$\sum C_{обеч} = 1,5 + 0,8 + 0 = 2,3 \text{ мм};$$

- Сумма прибавок к расчетной толщине рубашки:

$$\sum C_{руб} = 0,25 + 0 + 0 = 0,25 \text{ мм}$$

4.1 Определение толщины стенки цилиндрической обечайки корпуса

Цель расчета – определение толщины стенки цилиндрической обечайки, при которой устойчивость и прочность аппарата обеспечивается. На рисунке 8 претавлена расчетная схема стенки цилиндрической обечайки корпуса.



На рисунке 7 расчетная схема стенки цилиндрической обечайки корпуса.

При действии внутреннего давления, значение расчетной толщины цилиндрической обечайки корпуса определяется по формуле [16]:

$$S_{R.H.} = \max \left\{ 1,06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot D}{B} \cdot \left(\frac{P_{H.P.}}{E \cdot 10^{-5}} \cdot \frac{I}{D} \right)^{0,4}; \frac{1,2 \cdot P_{H.P.} \cdot D}{2 \cdot \sigma - P_{H.P.}} \right\} \quad (4.9)$$

где B находится по формуле [34]:

$$B = \max \left\{ 1; 0,47 \cdot \left(\frac{P_{H.P.}}{E \cdot 10^{-5}} \right)^{0,067} \cdot \left(\frac{I}{D} \right)^{0,4} \right\} \quad (4.10)$$

$$B = \max \left\{ 1; 0,47 \cdot \left(\frac{0,5}{1,9} \right)^{0,067} \cdot \left(\frac{780}{600} \right)^{0,4} \right\} = 1$$

где $E \cdot 10^{-5} = 1,9$ – расчетное значение модуля продольной упругости материалов [17].

Тогда:

$$S_{R.H.} = \max \left\{ 1,06 \cdot \frac{10^{-2} \cdot 600}{1} \cdot \left(\frac{0,5}{1,9} \cdot \frac{0,78}{0,6} \right)^{0,4}; \frac{1,2 \cdot 0,5 \cdot 600}{2 \cdot 168 - 0,5} \right\} = \max \{ 4,14; 1,07 \} = 4,14 \text{ мм}$$

Значение исполнительной толщины стенки цилиндрической обечайки определяем по формуле:

$$S \geq \max(S_R; S_{R.H}) + C_{обеч} \quad (4.11)$$

$$S \geq \max(0,18; 4,14) + 2,3 = 6,44 \text{ мм}$$

Принимаем стандартную толщину: $S = 8 \text{ мм}$.

Обечайки аппарата работает под совместным действием осевого сжимающего усилия и наружного давления. Следовательно, это условие устойчивости должно выполняться [17]:

$$\frac{P_{H.P}}{[P]_p} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 \leq 1 \quad (4.12)$$

где M – изгибающий момент Н·мм, принимаем $M = 0$;

Q – поперечное усилие Н, принимаем $Q = 0$;

F – осевое сжимающее усилие, Н;

$P_{H.P}$ – наружное давление, МПа.

Находим осевое сжимающее усилие:

$$F = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (D + 2 \cdot S)^2 \cdot P_{H.P}$$

$$F = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (0,6 + 2 \cdot 8 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 0,5 = 0,15 \text{ МН}$$

Находим допускаемое осевое сжимающее усилие:

из условия прочности по формуле [17]:

$$[F]_{\Pi} = \pi \cdot (D + S - C_{обеч}) \cdot (S - C_{обеч}) \cdot \sigma \quad (4.13)$$

$$[F]_{\Pi} = \pi \cdot (0,6 + 0,008 - 0,0023) \cdot (0,008 - 0,0023) \cdot 168 = 1,8 \text{ МН}$$

- из условия устойчивости вычисляют по формуле, [16, с.10]:

$$[F]_E = \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (S - c)}{D} \right]^{2,5} \quad (4.14)$$

где $E = 1,9 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – модуль упругости при расчетной температуре $t = 150 \text{ }^\circ\text{C}$; $n_y = 2,4$ – коэффициент запаса устойчивости для рабочих условий [17].

$$[F]_E = \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot 1,9 \cdot 10^5}{2,4} \cdot 0,6^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (8-2,3)}{600} \right]^{2,5} = 7,8 \text{ МН} \quad (4.15)$$

Значение допускаемого осевого сжимающего усилия находится по формуле [16]:

$$[F] = \frac{[F]_{\text{п}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F]_{\text{п}}}{[F]_E} \right)^2}} = \frac{1,8}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,8}{7,8} \right)^2}} = 1,8 \text{ М} \quad (4.16)$$

Находим допускаемое наружное давление:

– из условия прочности, допускаемое давление находится по формуле [34]

$$[P]_{\text{пр}} = \frac{2 \cdot \sigma \cdot (S-c)}{600 + (S-c)} \quad (4.17)$$

$$[P]_{\text{пр}} = \frac{2 \cdot 168 \cdot (8-2,3)}{600 + (8-2,3)} = 3,2 \text{ МПа}$$

– из условия устойчивости в пределах упругости, допускаемое давление вычисляется [16]:

$$[P]_{\text{HE}} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot E \cdot D}{n_y \cdot B_1} \cdot \left(\frac{100 \cdot (S-c)}{D} \right)^{2,5} \quad (4.18)$$

где B_1 находится по формуле [16]:

$$B_1 = \min \left\{ 1; 9,45 \cdot \frac{D}{L} \cdot \sqrt{\frac{D}{100 \cdot (S-c)}} \right\} \quad (4.19)$$

$$B_1 = \min \left\{ 1; 9,45 \cdot \frac{600}{780} \cdot \sqrt{\frac{600}{100 \cdot (8-2,3)}} \right\} = \min \{ 1; 7,46 \} = 1$$

$$[P]_{\text{HE}} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 1,9 \cdot 10^5}{2,4 \cdot 1} \cdot \frac{600}{780} \cdot \left(\frac{100 \cdot (8-2,3)}{600} \right)^{2,5} = 1,1 \text{ МПа}$$

Вычисляем допускаемое наружное давление с учетом обоих условий [16]:

$$[P]_p = \frac{[P]_{\text{пр}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_{\text{пр}}}{[P]_{\text{HE}}} \right)^2}} = \frac{3,2}{\sqrt{1 + \left(\frac{3,2}{1,1} \right)^2}} = 1,04 \text{ МПа} \quad (4.20)$$

Проверяем на устойчивость обечайки [34]:

$$\frac{P_{H.P.}}{[P_{H.P.}]} + \frac{F}{[F]} + \frac{M}{[M]} + \left(\frac{Q}{[Q]} \right)^2 \leq 1 \quad (4.21)$$

$$\frac{0,2}{1,04} + \frac{0,15}{1,8} + \frac{0}{[M]} + \left(\frac{0}{[Q]}\right)^2 \leq 1$$

$$0,28 \leq 1$$

Условие устойчивости обечайки корпуса для рабочих условий выполняется.

Аналогично проводим расчет для условий испытаний, при котором запасустойчивости $n_y = 1,8$ и допускаемое напряжение стали $\sigma_{\text{и}} = 251$ МПа.

$$F = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (D + 2 \cdot S)^2 \cdot P_{\text{н.р.}} \quad (4.22)$$

Находим осевое сжимающее усилие при испытании:

$$F_{\text{и}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (D + 2 \cdot S)^2 \cdot P_{\text{н.р.}} \quad (4.23)$$

$$F_{\text{и}} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (0,6 + 2 \cdot 8 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 0,5 = 0,15 \text{ МН}$$

Находим допускаемое осевое сжимающее усилие при испытании:

– из условия прочности по формуле [16]:

$$[F_{\text{и}}]_{\text{П}} = \pi \cdot (D + S - C_{\text{обеч}}) \cdot (S - C_{\text{обеч}}) \cdot \sigma_{\text{и}} \quad (4.24)$$

$$[F_{\text{и}}]_{\text{П}} = \pi \cdot (0,6 + 0,008 - 0,0023) \cdot (0,008 - 0,0023) \cdot 251 = 2,72 \text{ МН}$$

– из условия устойчивости вычисляют по формуле [16]:

$$[F_{\text{и}}]_{\text{Е}} = \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (S - c)}{D} \right]^{2,5} = \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot 1,9 \cdot 10^{-5}}{1,8}$$

$$0,6^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (8 - 2,3)}{600} \right]^{2,5} = 10,36 \text{ МН}$$

Тогда: Значение допускаемого осевого сжимающего усилия находится по формуле [16]:

$$[E]_{\text{и}} = \frac{[F]_{\text{и}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F_{\text{и}}]_{\text{П}}}{[F_{\text{и}}]_{\text{Е}}}\right)^2}} = \frac{2,72}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,72}{10,36}\right)^2}} = 2,63 \text{ МН} \quad (4.25)$$

Находим допускаемое наружное давление при испытании:

– из условия прочности, допускаемое давление находится по формуле [34]

$$[P_{\text{и}}]_{\text{нр}} = \frac{2 \cdot \sigma_{\text{и}} \cdot (S - c)}{D + (S - c)} \quad (4.26)$$

$$[P_{и}]_{нр} = \frac{2 \cdot 251 \cdot (8 - 2,3)}{600 + (8 - 2,3)} = 4,72 \text{ МПа}$$

- из условия устойчивости в пределах упругости, допускаемое давление вычисляется [16]:

$$[P]_{HE} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot E \cdot D}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{1}{1} \cdot \left(\frac{100 \cdot (S - c)}{D} \right)^{2,5} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 1,9 \cdot 10^{-5} \cdot 600}{1,8 \cdot 1} \cdot \left(\frac{100 \cdot (8 - 2,3)}{600} \right)^{2,5} = 1,49 \text{ МПа}$$

Вычисляем допускаемое наружное давление при испытании [16]:

$$[P_{и}]_p = \frac{[P_{и}]_{нр}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P_{и}]_{нр}}{[P_{и}]_{HE}} \right)^2}} = \frac{4,72}{\sqrt{1 + \left(\frac{4,72}{1,49} \right)^2}} = 1,42 \text{ МН} \quad (4.27)$$

Проверяем на устойчивость обечайки при испытании:

$$\frac{P_{и.н}}{[P_{и}]_p} + \frac{F_{и}}{[F_{и}]} \leq 1 \quad (4.28)$$

$$\frac{0,8}{1,42} + \frac{0,15}{2,63} \leq 1$$

$$0,62 \leq 1$$

Условие устойчивости обечайки корпуса при испытании выполняется.

Следовательно, при $S = 8$ мм, условие устойчивости и прочности для рабочих условиях и при испытании полностью выполняется.

4.2 Поверочный расчет цилиндрической обечайки для рабочих условиях

Находим допускаемое внутреннее давление на цилиндрическую обечайку по формуле [16]:

$$[P] = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi \cdot (S - c)}{D + (S - c)} \quad (4.29)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 168 \cdot 1 \cdot (1 - 2,3)}{600 + (8 - 2,3)} = 3,2 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполняется $P_{обеч} < [P]$ ($0,1 < 3,2$ МПа). Находим

допускаемое наружное давление по формуле [16]:

$$[P]_p = \frac{[P]_{нп}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_{нп}}{[P]_{HE}}\right)^2}} \quad (4.30)$$

где $[P]_{нп}$ - это допускаемое давление из условия прочность;

$[P]_{HE}$ – это допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости.

Находим $[P]_{нп}$ по формуле [16]:

$$[P]_и = \frac{2 \cdot \sigma_{и} \cdot \varphi \cdot (S - c)}{D + (S - c)} \quad (4.31)$$

$$[P]_и = \frac{2 \cdot 168 \cdot 1 \cdot (8 - 2,3)}{600 + (8 - 2,3)} = 3,2 \text{ МПа}$$

Находим $[P]_{HE}$ по формуле [16]:

$$[P]_{HE} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{D}{1} \cdot \left(\frac{100 \cdot (S - c)}{D}\right)^{2,5} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 1,9 \cdot 10^{-5} \cdot 600}{2,4 \cdot 1} \cdot \frac{100 \cdot (8 - 2,3)}{600}^{2,5} = 1,1 \text{ МПа}$$

Тогда:

$$[P]_p = \frac{3,2}{\sqrt{1 + \left(\frac{3,2}{1,1}\right)^2}} = 1,04 \text{ МПа} \quad (4.32)$$

Находим допускаемое осевое сжимающее усилие по формуле [16]:

$$[F_1] = \frac{[F_1]_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F_1]_p}{[F_1]_E}\right)^2}} \quad (4.33)$$

где $[F_1]_p$ – допускаемое осевое сжимающ ее усилие из условия прочности;

$[F_1]_E$ – допускаемое осевое сжимающ ее усилие из условия устойчивости.

Находим $[F_1]_p$ по формуле [16]:

$$[F_1]_p = \pi \cdot (D + S - c) \cdot (S - c) \cdot \sigma \quad (4.34)$$

$$[F_1]_p = 3,14 \cdot (0,6 + 8 \cdot 10^{-3} - 2,3 \cdot 10^{-3}) \cdot (8 \cdot 10^{-3} - 2,3 \cdot 10^{-3}) \cdot 168 = 1,8 \text{ МН}$$

Находим $[F_1]_E$ по формуле [16]:

$$[F_1]_E = \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (S-c)}{D} \right]^{2,5}$$

$$[F_1]_E = \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot 1,9 \cdot 10^5}{2,4} \cdot 0,6^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (8-2,3)}{600} \right]^{2,5} = 7,8 \text{ МН}$$

Тогда:

$$[F_1] = \frac{1,8}{\sqrt{1 + \left(\frac{1,8}{7,8}\right)^2}} = 1,8 \text{ МН} \quad (4.35)$$

При рабочих условиях, условие устойчивости цилиндрической обечайки выполняется, так как:

$$\frac{P_{обеч}}{[P]_H} + \frac{F}{[F_1]} \leq 1 \quad (4.36)$$

$$\frac{0,1}{1,04} + \frac{0,15}{1,8} \leq 1$$

$$0,18 \leq 1$$

4.3 Поверочный расчет цилиндрической обечайки для условий испытаний

Находим допускаемое внутреннее давление в условиях испытаний

$\sigma_{\text{и}} = 251 \text{ МПа}$ по формуле [16] :

$$[P]_{\text{и}} = \frac{2 \cdot \sigma_{\text{и}} \cdot \varphi \cdot (S-c)}{D + (S-c)} \quad (4.37)$$

$$[P]_{\text{и}} = \frac{2 \cdot 251 \cdot 1 \cdot (8-2,3)}{600 + (8-2,3)} = 4,7 \text{ МПа}$$

Тогда: Условие прочности при испытаниях выполняется:

$$P_{\text{и.в}} < [P]_{\text{и}} \quad (4.38)$$

$$0,2 < 4,7$$

Находим осевое сжимающее усилие при испытаниях:

$$F_{1и} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (D + 2 \cdot S)^2 \cdot P_{и.и} \quad (4.39)$$

$$F_{1и} = 1 \cdot \pi \cdot (0,6 + 2 \cdot 8 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 0,8 = 0,2 \text{ МН}$$

Находим допускаемое осевое сжимающее усилие при $1 < \frac{l}{D} < 10$:

- из условия прочности по формуле [8]:

$$[F_1]_{п.и} = \pi \cdot (D + S - C_{обеч}) \cdot (S - C_{обеч}) \cdot \sigma_{и} \quad (4.40)$$

$$[F_1]_{п.и} = \pi \cdot (0,6 + 0,008 - 0,0023) \cdot (0,008 - 0,0023) \cdot 251 = 2,7 \text{ МН}$$

- из условия устойчивости вычисляют по формуле [16]:

$$[F_1]_{E.и} = \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot E}{n_y} \cdot D^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (S - c)}{D} \right]^{2,5}$$

$$[F_1]_{E.и} = \frac{31 \cdot 10^{-5} \cdot 1,9 \cdot 10^5}{1,8} \cdot 0,6^2 \cdot \left[\frac{100 \cdot (8 - 2,3)}{600} \right]^{2,5} = 10,4 \text{ МН}$$

Значение допускаемого осевого сжимающего усилия при условиях испытаний находится по формуле [16]:

$$[F_1]_{и} = \frac{[F_1]_{п.и}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[F_1]_{п.и}}{[F_1]_{E.и}} \right)^2}} = \frac{2,7}{\sqrt{1 + \left(\frac{2,7}{10,4} \right)^2}} = 2,6 \text{ МН} \quad (4.41)$$

Находим допускаемое наружное давление в условиях испытаний:

– из условия прочности, допускаемое давление находится по формуле [16]:

$$[P]_p = \frac{2 \cdot \sigma_{и} \cdot (S - c)}{D + (S - c)} \quad (4.42)$$

$$[P]_p = \frac{2 \cdot 251 \cdot (8 - 2,3)}{600 + (8 - 2,3)} = 4,7 \text{ МПа}$$

- из условия устойчивости в пределах упругости, допускаемое давление вычисляется по формуле [16]:

$$[P]_E = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot E \cdot D}{n_y \cdot B_1} \cdot \frac{1}{1} \cdot \left(\frac{100 \cdot (S-c)}{D} \right)^{2,5} = \frac{2,08 \cdot 10^{-5} \cdot 1,9 \cdot 10^{-5} \cdot 600}{1,8 \cdot 1} \cdot \left(\frac{100 \cdot (8-2,3)}{600} \right)^{2,5} = 1,5 \text{ МПа}$$

Вычисляем допускаемое наружное давление по формуле [16]:

$$[P]_{\text{ри}} = \frac{[P]_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_p}{[P]_E} \right)^2}} = \frac{4,7}{\sqrt{1 + \left(\frac{4,7}{1,5} \right)^2}} = 1,4 \text{ МПа} \quad (4.43)$$

Проверяем на устойчивость обечайки при условиях испытаний:

$$\begin{aligned} \frac{P_{\text{и.н}}}{[P]_{\text{ри}}} + \frac{F_{1\text{и}}}{[F_1]_{\text{и}}} &\leq 1 \\ \frac{0,8}{1,4} + \frac{0,2}{2,6} &\leq 1 \\ 0,65 &\leq 1 \end{aligned}$$

Условие устойчивости обечайки корпуса при условиях испытаний выполняется.

Условие применимости расчетных формул:

$$\frac{S-c}{D} \leq 0,1 \quad (4.44)$$

$$\frac{8-2,3}{600} \leq 0,1$$

$$0,0095 \leq 0,1$$

Условие применимости расчетных формул выполняется.

4.4 Определение толщины эллиптического днища

Целью расчета является определение толщины эллиптического днища, при которой прочность и устойчивость аппарата обеспечивается.

Расчетная схема эллиптического днища представлена на рисунке 8.

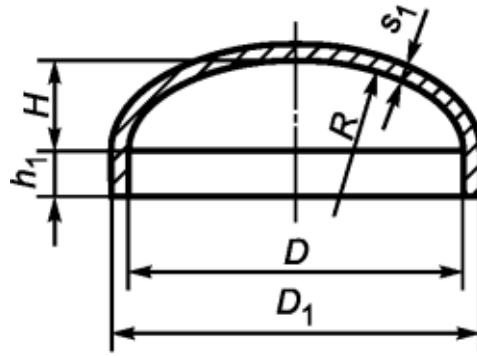


Рисунок 8 – Расчетная схема эллиптического днища

Требуемая толщина днища по внутреннему давлению находится по формуле [16]:

$$S_R = \frac{P_{обеч} \cdot R}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - 0,5 \cdot P_{обеч}} \quad (4.45)$$

где $R = D_{вн}$ – для эллиптических днищ с высотой эллиптической части, равной $0,25 \cdot D_{вн}$ [16]:

$$S_R = \frac{0,1 \cdot 600}{2 \cdot 168 \cdot 1 - 0,5 \cdot 0,1} = 0,2 \text{ мм}$$

Требуемая толщина днища по наружному давлению находится по формуле [16]:

$$S_{RH} = \max \left\{ \frac{K_3 \cdot R}{161} \cdot \sqrt{\frac{n_y \cdot P_{H.P}}{10^{-5} \cdot E}}; \frac{1,2 \cdot P_{H.P} \cdot R}{2 \cdot [\sigma]} \right\} \quad (4.46)$$

где K_3 принимают равным 0,9 для эллиптических днищ [16].

$$S_{RH} = \max \left\{ \frac{0,9 \cdot 600}{161} \cdot \sqrt{\frac{2,4 \cdot 0,5}{10^{-5} \cdot 1,9}}; \frac{1,2 \cdot 0,5 \cdot 600}{2 \cdot 168} \right\} = \max \{2,7; 1,1\} = 2,7$$

Исполнительная толщина стенки в первом приближении:

$$S_d \geq \max(S_R; S_{RH}) + C_{дн} \quad (4.47)$$

$$S_d \geq \max(0,2; 2,7) + 1,5 = 4,2 \text{ мм}$$

Принимаем исполнительную толщину эллиптического

днища равной толщине цилиндрической обечайки: $S_d = 8$ мм [15].

Допускаемое внутреннее давление для эллиптического днища находится по формуле [16]:

$$[P] = \frac{2 \cdot \sigma_H \cdot \varphi \cdot (S - c)}{D + 0,5 \cdot (S - c)} \quad (4.48)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 168 \cdot 1 \cdot (8 - 2,3)}{600 + 0,5 \cdot (8 - 2,3)} = 3,6 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление для днища:

– допускаемое давление из условия прочности по формуле [16]:

$$[P]_p = \frac{2 \cdot \sigma_H \cdot \varphi \cdot (S - c)}{D + 0,5 \cdot (S - c)} \quad (4.49)$$

$$[P]_p = \frac{2 \cdot 168 \cdot 1 \cdot (8 - 1,5)}{600 + 0,5 \cdot (8 - 1,5)} = 3,6 \text{ МПа}$$

– допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости по формуле [16]:

$$[P]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot \left[\frac{100 \cdot (S_d - c_{дн})}{K_e \cdot R} \right]^2 \quad (4.50)$$

где:

$$K_e = \frac{1 + (2,4 + 8 \cdot \chi) \cdot \chi}{1 + (3 + 10 \cdot \chi) \cdot \chi} \quad (4.51)$$

$$K_e = \frac{1 + (2,4 + 8 \cdot 0,16) \cdot 0,16}{1 + (3 + 10 \cdot 0,16) \cdot 0,16} = 0,92;$$

При:

$$X = 10 \cdot \frac{S_d - c_{дн}}{D} \cdot \left(\frac{D}{2 \cdot H} - \frac{2 \cdot H}{D} \right) \quad (4.52)$$

$$X = 10 \cdot \frac{8 - 1,5}{600} \cdot \left(\frac{600}{2 \cdot 150} - \frac{2 \cdot 150}{600} \right) = 0,16$$

где $H = 150$ мм – высота выпуклой части днища по внутренней поверхности без учета цилиндрической части, [15, с.440].

$$[P]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot 1,9 \cdot 10^5}{2,4} \cdot \left[\frac{100 \cdot (8-1,5)}{0,92 \cdot 600} \right]^2 = 2,9 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление вычисляют по формуле [16]:

$$[P]_H = \frac{[P]_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_p}{[P]_E}\right)^2}} = \frac{3,6}{\sqrt{1 + \left(\frac{3,6}{2,9}\right)^2}} = 2,3 \text{ МПа} \quad (4.53)$$

$$\begin{cases} [P]_H > P_{H.P.} (2,3 > 0,5) \\ [P] > P_{обеч} (3,6 > 0,1) \end{cases}$$

Условия устойчивости днища выполняются

Таким образом, принятая в проектном расчете толщина днища $s_d = 8 \text{ мм}$

Полностью удовлетворяет условиям прочности и устойчивости.

4.5 Поверочный расчет эллиптического днища при рабочих условиях

Находим допускаемое внутреннее избыточное давления по формуле [16]:

$$[P] = \frac{2 \cdot \sigma_H \cdot \varphi \cdot (S-c)}{D + 0,5 \cdot (S-c)} \quad (4.54)$$

$$[P] = \frac{2 \cdot 168 \cdot 1 \cdot (8-1,5)}{600 + 0,5 \cdot (8-1,5)} = 3,6 \text{ МПа}$$

Так как $[P] > P_{обеч} (3,6 > 0,1)$ условие прочности днища при рабочих условиях выполняется.

Находим допускаемое давление из условия прочности по формуле [16]:

$$[P]_H = \frac{2 \cdot \sigma_H \cdot (S-c)}{D + 0,5 \cdot (S-c)} \quad (4.55)$$

$$[P]_H = \frac{2 \cdot 168 \cdot (8-2,3)}{600 + 0,5 \cdot (8-2,3)} = 3,6 \text{ МПа}$$

Находим допускаемое давление из условия устойчивости по формуле [16]:

$$[P]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot \left[\frac{100 \cdot (S_d - c_{дн})}{K_e \cdot R} \right]^2$$

$$[P]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot 1,9 \cdot 10^5}{2,4} \cdot \left[\frac{100 \cdot (8 - 1,5)}{0,92 \cdot 600} \right]^2 = 2,9 \text{ МПа}$$

Допускаемое наружное давление вычисляют по формуле [16]:

$$[P] = \frac{[P]_п}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_п}{[P]_E}\right)^2}} = \frac{3,6}{\sqrt{1 + \left(\frac{3,6}{2,9}\right)^2}} = 2,3 \text{ МПа}$$

Так как $P_{обеч} < [P]$ ($0,1 < 2,3$), условие устойчивости днища при рабочих условиях выполняется.

4.6 Поверочный расчет эллиптического днища в условиях испытаний

Находим допускаемое внутреннее избыточное давления в условиях испытаний по формуле [16]:

$$[P]_и = \frac{2 \cdot [\sigma]_и \cdot \varphi \cdot (S_d - c_{дн})}{R + 0,5 \cdot (S_d - c_{дн})}$$

$$[P]_и = \frac{2 \cdot 251 \cdot 1 \cdot (8 - 1,5)}{600 + 0,5 \cdot (8 - 1,5)} = 5,4 \text{ МПа} \quad (4.57)$$

Так как $[P]_и > P_{и.в}$ ($5,4 > 0,2$) условие прочности днища в условиях испытаний выполняется.

Находим допускаемое давление из условия прочности по формуле [16]:

$$[P]_{пи} = \frac{2 \cdot [\sigma]_и \cdot (S_d - c_{дн})}{R + 0,5 \cdot (S_d - c_{дн})} = 5,4 \text{ МПа}$$

$$[P]_{пи} = \frac{2 \cdot 251 \cdot 1 \cdot (8 - 1,5)}{600 + 0,5 \cdot (8 - 1,5)} = 5,4 \text{ МПа} \quad (4.58)$$

Находим допускаемое давление из условия устойчивости по формуле [16]:

$$[P]_{\text{Еи}} = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot E}{n_y} \cdot \left[\frac{100 \cdot (S_d - c_{\text{дн}})}{K_e \cdot R} \right]^2$$

$$[P]_{\text{Еи}} = \frac{26 \cdot 10^{-6} \cdot 1,9 \cdot 10^5}{1,8} \cdot \left[\frac{100 \cdot (8 - 1,5)}{0,92 \cdot 600} \right]^2 = 3,8 \text{ МПа} \quad (4.59)$$

Допускаемое наружное давление вычисляют по формуле [16]:

$$[P]_{\text{и}} = \frac{[P]_{\text{пи}}}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P]_{\text{пи}}}{[P]_{\text{Еи}}} \right)^2}} = \frac{5,4}{\sqrt{1 + \left(\frac{5,4}{3,8} \right)^2}} = 3,1 \text{ МПа} \quad (4.60)$$

Так как $[P]_{\text{и}} > P_{\text{и.н}}$ ($3,1 > 0,8$) условие устойчивости днища в условиях испытаний.

Условие применимости расчетных формул выполняется:

$$\frac{S - c_{\text{дн}}}{D} \leq 0,1$$

$$\frac{8 - 1,5}{600} \leq 0,1$$

$$0,01 \leq 0,1$$

Таким образом, при толщине днища $S_d = 8$ мм полностью выполняются условия прочности и устойчивости.

4.7 Расчёт толщины стенки плоской крышки корпуса аппарата

Цель расчета – определение размеров плоской крышки аппарата, при которой прочность аппарата обеспечивается. Толщина плоской крышки корпуса аппарата определяется по ОСТ 26–2008–83 [18].

На рисунке 10 представлена расчетная схема плоской крышки корпуса.

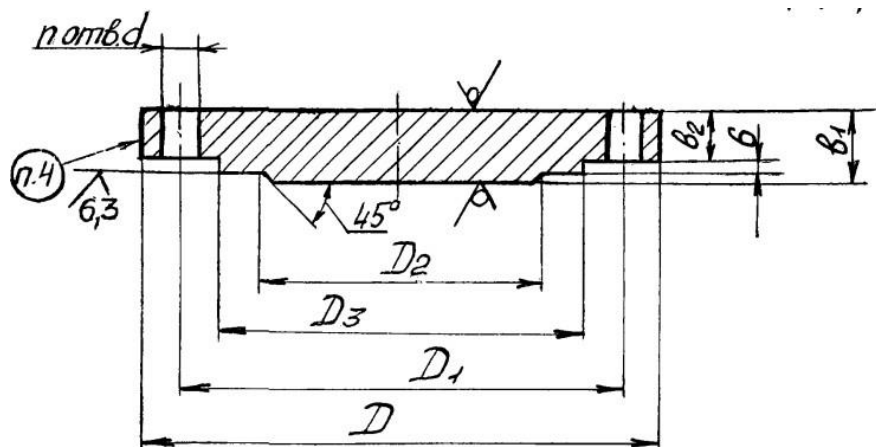


Рисунок 9 - Расчетная схема плоской крышки корпуса [18]

Так как внутренний диаметр аппарата $D = 600$ мм, размеры крышки приведены в следующей таблице. В таблице 5 приведены значения стандартных размеров элементов крышки.

Таблица 4 – Размеры элементов крышки в миллиметрах [18]

Внутренний диаметр	D	D ₁	D ₃	D ₂	b ₁	b ₂	d	n
600	740	700	663	590	36	26	23	28

Находим средний диаметр уплотнения [15, с.590]:

$$D_n = \frac{D_2 + D_3}{2} \quad (4.61)$$

$$D_n = \frac{590 + 663}{2} = 626,5 \text{ мм}$$

Коэффициент ослабления определяется по формуле [15, с.592]:

$$\varphi_0 = \frac{D_n - \sum d}{D_n} \quad (4.62)$$

где $\sum d$ – сумма диаметров отверстий в крышке на диаметре D_n , мм;

$$\sum d = d_{\text{люк}} + d_{\text{штуцер}} + d_{\text{вал}} \quad (4.63)$$

$$\sum d = 100 + 80 + 19 = 199 \text{ мм}$$

Тогда:

$$\varphi_0 = \frac{626,5-199}{626,5}=0,68$$

Номинальная расчетная высота крышки посередине определяется по формуле [15, с.592]:

$$h' = K_2 \cdot D_n \cdot \sqrt{\frac{P_{обеч}}{\sigma_{изг} \cdot \varphi_0}} \quad (4.64)$$

где $\sigma_{изг} = 276$ МПа – допускаемое напряжение на изгиб для материала крышки[17];

$K_2 = f\left(\frac{D_1}{D_n}, \phi\right)$ - коэффициент, определяется по рисунку 10;

где:

$$\phi = 1 + \frac{8 \cdot b_e \cdot k}{D_n} \quad (4.65)$$

$b_e = 7$ мм – эффективная ширина прокладки;

$K = 2,5$ – коэффициент прокладки;

$$\phi = 1 + \frac{8 \cdot 7 \cdot 2,5}{626,5} = 1,22$$

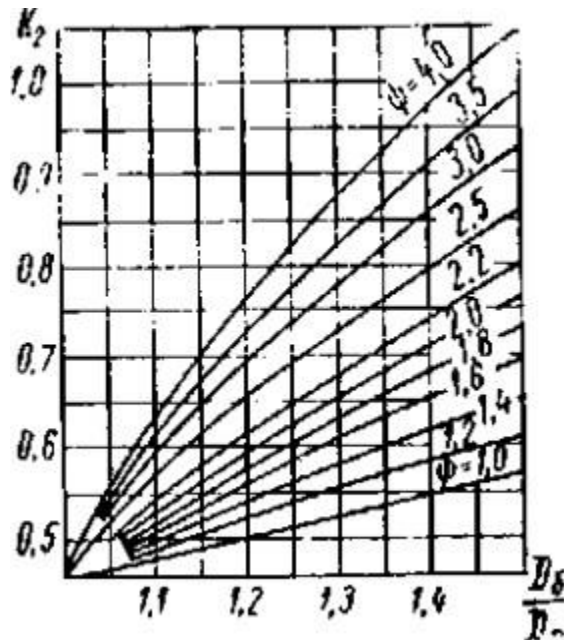


Рисунок 10 – Значение коэффициента K_2 [15]

По рисунку 10, $K_2 = f\left(\frac{D_1}{D_n}, \phi\right) = f(1,1; 1,2) = 0,38$

Тогда:

$$h' = K_2 \cdot D_n \cdot \sqrt{\frac{P_{обеч}}{\sigma_{изг} \cdot \varphi_0}} = 0,38 \cdot 626,5 \cdot \sqrt{\frac{0,1}{276 \cdot 0,68}} = 5,5 \text{ мм}$$

Так как: $b_1 > h'$ ($36 > 5,5$), отверстия не ослабляют крышку, крышка выбранными размерами обеспечивает работу аппарата.

4.8 Расчет толщины стенки цилиндрической обечайки рубашки

Целью расчета является определение толщины стенки цилиндрической обечайки рубашки, при которой прочность и устойчивость аппарата обеспечивается.

На рисунке 11 показана расчетная схема цилиндрической обечайки рубашки. Расчет толщины цилиндрической части рубашки производится по ГОСТ 34233.2 – 2017 [16].

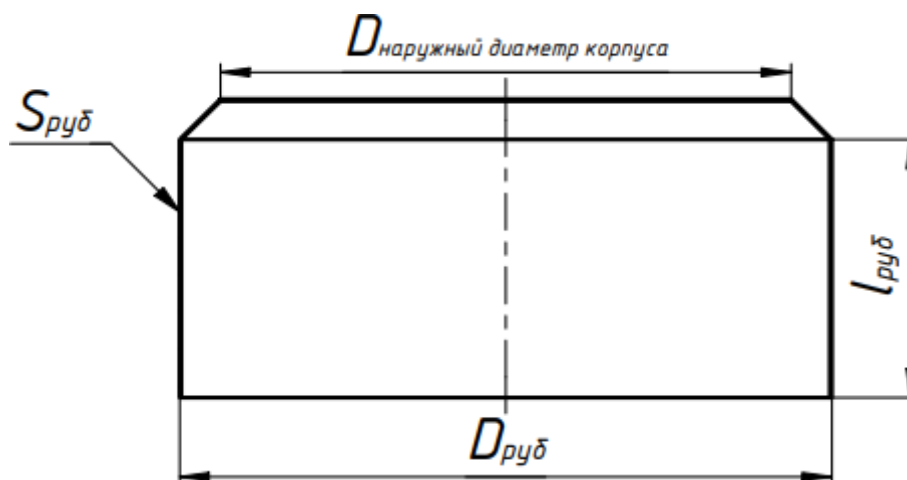


Рисунок 11 – Расчетная схема цилиндрической обечайкой рубашки

Расчетная толщина цилиндрической части рубашки находится по формуле[16]:

$$S_p = \frac{P_{Н.Р} \cdot D_{руб}}{2 \cdot \sigma \cdot \varphi - P_{Н.Р}} \quad (4.66)$$

$$S_p = \frac{0,5 \cdot 650}{2 \cdot 168 \cdot 1 - 0,5} = 0,97 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина цилиндрической части рубашки находится по формуле [16]:

$$S_{руб} \geq S_p + \sum C_{руб} \quad (4.67)$$

$$S_{руб} \geq 0,97 + 0,25$$

$$S_{руб} \geq 1,22 \text{ мм}$$

Принимаем исполнительную толщину цилиндрической части рубашки:

$$S_{руб} = 4 \text{ мм [15, с.485].}$$

Находим коэффициент проверки необходимости ребер жесткости по формуле [16]:

$$K_4 = \frac{P_{н.р} \cdot (D_{руб} + S_{руб} - c_{руб})}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma \cdot (S_{руб} - c_{руб})} - 1$$

$$K_4 = \frac{0,5 \cdot (650 + 4 - 0,25)}{2 \cdot 1,168 \cdot (4 - 0,25)} - 1 = -0,74 \quad (4.68)$$

Так как $K_4 = -0,74 < 0$, не требуется укрепление кольцами жесткости [16].

Находим допускаемое внутреннее избыточное давление в рабочих условиях формуле [16]:

$$[P_{руб}] = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \varphi \cdot (S_{руб} - c_{руб})}{D_{руб} + S_{руб} - c_{руб}} \quad (4.68)$$

$$[P_{руб}] = \frac{2 \cdot 168 \cdot 1 \cdot (4 - 0,25)}{650 + 4 - 0,25} = 1,9 \text{ МПа}$$

Так как $[P_{руб.и}] > P_{и.н}$ ($2,9 > 0,8$), условие прочности в условиях испытаний выполняется.

Условия применения расчетных формул:

$$\frac{S_{руб} - c_{руб}}{D_{руб}} \leq 0,1 \quad (4.69)$$

$$\frac{4 - 0,25}{600} \leq 0,1$$

$$0,006 \leq 0,1$$

Условия применения расчетных формул выполняется.

Тогда: Толщина стенки цилиндрической части рубашки составляет 4 мм.

4.9 Расчет толщины стенки эллиптического днища рубашки

Цель расчета – определение толщины эллиптического днища рубашки аппарата, при которой прочность аппарата обеспечивается. Расчет толщины эллиптического днища рубашки аппарата производится по ГОСТ 34233.2–2017 [16].

На рисунке 12 представлена расчетная схема эллиптического днища рубашки.

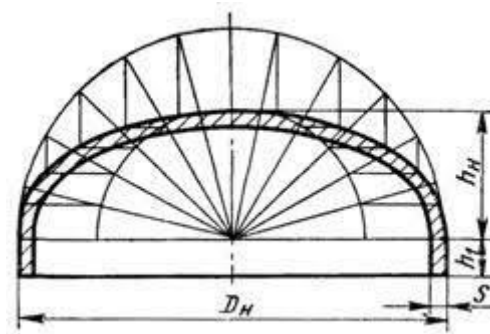


Рисунок 12 – Расчетная схема эллиптического днища рубашки [16]

Находим расчетную толщину эллиптического днища рубашки по формуле [16]:

$$S_{\text{р.дн.руб}} = \frac{P_{\text{н.р}} \cdot R_{\text{руб}}}{2 \cdot \varphi \cdot \sigma - 0,5 \cdot P_{\text{н.р}}} \quad (4.70)$$

где $R_{\text{руб}} = \frac{D_{\text{руб}}^2}{4 \cdot H_{\text{руб}}} = \frac{650^2}{4 \cdot 162} = 652$ мм- радиус кривизны в вершине эллиптического днища рубашки

$H_{\text{руб}} = 162$ мм – высота выпуклой части днища рубашки, [15, с.440].

$$S_{\text{р.дн.руб}} = \frac{0,5 \cdot 652}{2 \cdot 1 \cdot 168 - 0,5 \cdot 0,5} = 0,93 \text{ мм}$$

Исполнительная толщина эллиптического днища рубашки находится по формуле [16]:

$$S_{\text{дн.руб}} \geq S_{\text{р.дн.руб}} + c_{\text{руб}} \quad (4.71)$$

$$S_{\text{дн.руб}} \geq 0,93 + 0,25$$

$$S_{\text{дн.руб}} \geq 1,18 \text{ мм}$$

Принимаем толщину днища рубашки: $S_{\text{дн.руб}} = 4 \text{ мм}$ [15, с.485].

Находим допускаемое внутреннее избыточное давление по формуле [16]:

$$\begin{aligned} [P_{\text{дн.руб}}] &= \frac{2 \cdot \sigma \cdot \varphi \cdot (S_{\text{дн.руб}} - c_{\text{руб}})}{R_{\text{руб}} + 0,5 \cdot (S_{\text{дн.руб}} - c_{\text{руб}})} \\ [P_{\text{дн.руб}}] &= \frac{2 \cdot 168 \cdot 1 \cdot (4 - 0,25)}{652 + 0,5 \cdot (4 - 0,25)} = 1,9 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (4.72)$$

Так как: $[P_{\text{дн.руб}}] > P_{\text{н.р}}$ ($1,9 > 0,5$), условие прочности выполняется в рабочих условиях.

Для условий испытаний, допускаемое внутреннее избыточное давление находится по формуле:

$$\begin{aligned} [P_{\text{дн.руб.и}}] &= \frac{2 \cdot \sigma_{\text{и}} \cdot \varphi \cdot (S_{\text{дн.руб}} - c_{\text{руб}})}{R_{\text{руб}} + 0,5 \cdot (S_{\text{дн.руб}} - c_{\text{руб}})} \\ [P_{\text{дн.руб.и}}] &= \frac{2 \cdot 251 \cdot 1 \cdot (4 - 0,25)}{652 + 0,5 \cdot (4 - 0,25)} = 2,9 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (4.73)$$

Так как: $[P_{\text{дн.руб.и}}] > P_{\text{и.н}}$ ($2,9 > 0,8$), условие прочности выполняется при условиях испытаний.

Проверка условия применимости расчетных формул по формуле [16]:

$$\begin{aligned} 0,002 &\leq \frac{(S_{\text{дн.руб}} - c_{\text{руб}})}{D_{\text{руб}}} \leq 0,1 \\ 0,002 &\leq \frac{(4 - 0,25)}{650} \leq 0,1 \\ 0,002 &\leq 0,006 \leq 0,1 \end{aligned} \quad (4.74)$$

Условие применимости расчетных формул выполняется.

Таким образом, толщина стенки эллиптической днища рубашки:

$$S_{\text{дн.руб}} = 4 \text{ мм.}$$

4.10 Расчет фланцевого соединения корпуса с крышкой

Целью расчета является проверка прочности фланцевого соединения.

Условия прочности фланцевого соединения - условие прочности прокладки, условие статической прочности при затяжке и в рабочих условиях, условие поворота плоского фланца в условиях испытаний и рабочих условиях, условие прочности болтов при затяжке и в рабочих условиях. Расчет производится по особию [14].

Исходные данные для расчета фланцевого соединения:

- внутренний диаметр цилиндрической обечайки, $D = 600 \text{ мм}$;
- толщина обечайки, $S_{\text{обе}} = 8 \text{ мм}$;
- внутреннее давление, $P_p = 0,1 \text{ МПа}$;
- рабочая температура, $t_p = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- сталь 12X18H10T – материал фланца;
- сталь 35X – материал болтов;

Фланцы имеют уплотнительную поверхность типа «плоская», приварные встык, неизолированные;

- число циклов нагружения $N < 2000$;
- внешний изгибающий момент отсутствует;
- осевая сила отсутствует;
- $\varphi = 1$ – коэффициент прочности сварных швов.

4.11 Определение расчетных параметров для расчета фланцевосоединения

Расчетная температура не изолированных, приварных встык фланцев:

$$t_{\phi} = 0,96 \cdot t = 0,96 \cdot 100 = 96 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (4.75)$$

Расчетная температура болтов:

$$t_{\text{Б}} = 0,95 \cdot t = 0,95 \cdot 100 = 95 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (4.76)$$

Допускаемые напряжения для болтов из стали 35Х:

$$[\sigma_{\text{Б}}] = 230 \text{ МПа};$$

Допускаемые напряжения для фланцев из стали 12Х18Н10Т:

– в месте соединения втулки с плоскостью фланца [14, с.132]:

$$[\sigma_1] = \sigma_{\text{T}} = 152,4 \text{ МПа} \quad (4.77)$$

– в месте соединения втулки с обечайкой при давлении $P_{\text{R}} = 0,11 \text{ МПа}$ и $N < 2000$:

$$[\sigma_0] = 0,003 \cdot E = 0,003 \cdot 1,9 \cdot 10^5 = 570 \text{ МПа}$$

4.12 Конструктивные размеры фланцевого соединения

Расчетная схема фланцевого соединения представлена на рисунке 13.

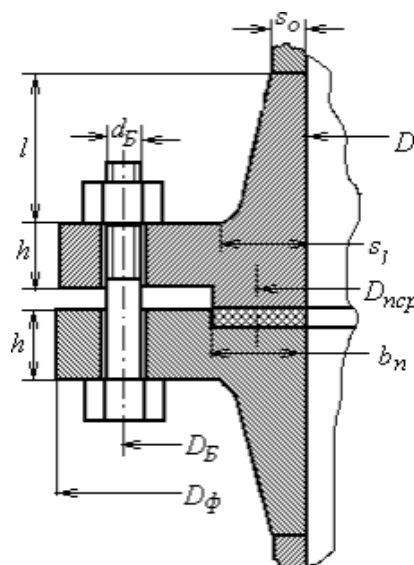


Рисунок 13 – Расчетная схема фланцевого соединения

Толщина втулки принимается $S_0 = 10$ мм, что удовлетворяются условия для приварного встык фланца:

$$\begin{cases} S < S_0 < 1,35 \cdot S \quad (8 < 10 < 1,35 \cdot 8) \\ S_0 - S < 5 \text{ мм} \quad (10 - 8 = 2 \text{ мм} < 5 \text{ мм}) \end{cases} \quad (4.78)$$

Находим толщину S_1 по формуле:

$$S_1 = \beta_1 \cdot S_0 \quad (4.79)$$

где $\beta_1 = 2,2$ при $\frac{D}{S_0} = \frac{600}{8} = 75$

$$S_1 = 2,2 \cdot 10 = 22 \text{ мм}$$

Находим высоту l втулки по формуле:

$$l \geq 3 \cdot (S_1 - S_0) \quad (4.80)$$

$$l \geq 3 \cdot (22 - 10) = 36 \text{ мм}$$

Принимаем значение высоты $l = 40$ мм

Находим значение диаметра болтовой окружности по формуле :

$$D_B \geq D + 2 \cdot (S_1 + d_B + 6) \quad (4.81)$$

где $d_B = 20$ мм при $P_R = 0,1$ МПа и $D = 600$ мм.

$$D_B \geq 600 + 2 \cdot (22 + 20 + 6)$$

$$D_B \geq 696 \text{ мм}$$

Принимаем $D_B = 700$ мм.

Находим значение наружного диаметра фланца по формуле:

$$D\phi \geq D_B + a \quad (4.82)$$

где $a = 40$ мм – для шестигранных гаек М20.

$$D\phi \geq 700 + 40 = 740 \text{ мм}$$

Принимем значение наружного диаметра фланца $D\phi = 740$ мм.

Значение наружного диаметра прокладки находится по формуле:

$$D_{\Pi} = D_{\text{Б}} - e \quad (4.83)$$

где $e = 30$ мм – для плоских прокладок при $d_{\text{Б}} = 20$ мм.

$$D_{\Pi} = 740 - 30 = 710 \text{ мм}$$

Средний диаметр прокладки определяется по формуле:

$$D_{\text{ср}} = D_{\Pi} - b_{\Pi} \quad (4.84)$$

где $b_{\Pi} = 14$ мм - ширина плоской неметаллической прокладки для диаметра аппарата $D = 600$ мм.

$$D_{\text{ср}} = 710 - 14 = 696 \text{ мм}$$

Определяем ориентировочное число болтов или шпилек по формуле:

$$Z_{\text{Б}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{Б}}}{t_{\text{Б}}} \quad (4.85)$$

где $t_{\text{Б}} = 5 \cdot d_{\text{Б}} = 5 \cdot 20 = 100$ – шаг расположения болтов при $P_{\text{R}} = 0,11$ МПа. Принимаем $Z_{\text{Б}} = 24$, кратное четырем.

$$Z_{\text{Б}} = \frac{\pi \cdot 740}{100} = 23,2$$

Находим эквивалентную толщину втулки фланца по формуле:

$$S_{\text{E}} = S_0 \cdot \left[1 + \frac{l \cdot (\beta_1 - 1)}{l + 0,25 \cdot (\beta_1 + 1) \sqrt{D \cdot S_0}} \right]$$

$$S_{\text{E}} = 10 \cdot \left[1 + \frac{40 \cdot (2,2 - 1)}{40 + 0,25 \cdot (2,2 + 1) \sqrt{600 \cdot 10}} \right] = 14,7 \text{ мм} \quad (4.86)$$

Находим ориентировочную толщину фланца по формуле:

$$h_{\Phi} \geq \lambda \cdot \sqrt{D \cdot S_E} \quad (4.88)$$

для $P_R = 0,11$ МПа и приваренных встык фланцев, λ находится по формуле:

$$\lambda = 0,0018 \cdot P_R^3 - 0,0262 \cdot P_R^2 + 0,1357 \cdot P_R + 0,1985 = 0,21$$

$$h_{\Phi} \geq 0,21 \cdot \sqrt{600 \cdot 14,7} = 19,72 \text{ мм}$$

$$h_{\Phi} \geq 19,72 \text{ мм}$$

Принимаем $h_{\Phi} = 20$ мм.

Находим безразмерный параметр ω по формуле:

$$\omega = [1 + 0,9 \cdot \lambda \cdot (1 + T_1 \cdot j^2)]^{-1} \quad (4.89)$$

$$\text{где } j = \frac{h_{\Phi}}{S_E} = \frac{20}{14,7} = 1,36; \psi_1 = 1,28 \cdot \lg\left(\frac{740}{600}\right) = 0,12$$

$$\omega = [1 + 0,9 \cdot 0,21 \cdot (1 + 0,12 \cdot 1,36^2)]^{-1} = 0,812$$

Находим безразмерный параметр T по формуле:

$$T = \frac{K^2 \cdot (1 + 8,55 \lg(K)) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot K^2) \cdot (K - 1)} \quad (4.90)$$

$$\text{где } K = \frac{D_{\Phi}}{D} = \frac{740}{600} = 1,23.$$

$$T = \frac{1,23^2 \cdot (1 + 8,55 \lg(1,23)) - 1}{(1,05 + 1,945 \cdot 1,23^2) \cdot (1,23 - 1)} = 1,8$$

Находим безразмерный параметр ψ_2 по формуле:

$$\psi_2 = \frac{K+1}{K-1} \quad (4.91)$$

$$\psi_2 = \frac{1,23+1}{1,23-1} = 9,7$$

Находим угловую податливость фланца по формуле:

$$y_{\Phi} = \frac{\psi_2 \cdot [1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)]}{h_{\Phi}^3 \cdot E_{\Phi}} \quad (4.92)$$

$$y_{\Phi} = \frac{9,7 \cdot [1 - 0,812 \cdot (1 + 0,9 \cdot 0,21)]}{0,02^3 \cdot 1,9 \cdot 10^5} = 0,22 \frac{\text{м}}{\text{МН}}$$

Находим линейную податливость прокладки по формуле [19]:

$$y_{\Pi} = \frac{h_{\Pi} \cdot K_{\text{обж}}}{\pi \cdot D_{\text{прс}} \cdot b_{\Pi} \cdot E_{\Pi}} \quad (4.93)$$

где $h_{\Pi} = 2 \cdot 10^{-3}$ м – стандартная толщина прокладки из паронита;

$K_{\text{обж}} = 0,9$ - коэффициент обжати [19];

$E_{\Pi} = 2000$ МПа — модуль упругости для прокладки из паронита.

$$y_{\Pi} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,9}{3,14 \cdot 696 \cdot 10^{-3} \cdot 14 \cdot 10^{-3} \cdot 2000} = 2,94 \cdot 10^{-5} \frac{\text{М}}{\text{МН}}$$

Для затяжки фланцев при $P_R = 0,11$ МПа и $T = 100$ °С необходимо использовать шпильки.

Значение длины шпильки между опорными поверхностями гаек определяется по формуле:

$$l_{\text{Б0}} = 2 \cdot (h_{\Phi} + h_{\Pi}) \quad (4.94)$$

$$l_{\text{Б0}} = 2 \cdot (20 + 2) = 44 \text{ мм}$$

Находим расчетную длину шпильки с двумя гайками по формуле:

$$l_{\text{Б}} = l_{\text{Б0}} + 0,56 \cdot d_{\text{Б}} \quad (4.95)$$

$$l_{\text{Б}} = 44 + 0,56 \cdot 20 = 55,2 \text{ мм}$$

Находим линейную податливость шпилек по формул [19]:

$$y_{\text{Б}} = \frac{l_{\text{Б}}}{z_{\text{Б}} \cdot f_{\text{Б}} \cdot E_{\text{Б}}} \quad (4.96)$$

где $f_{\text{Б}} = 10,18 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ – сечение болта по внутреннему диаметру резьбы.

$$y_{\text{Б}} = \frac{55,2 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10,18 \cdot 10^{-4} \cdot 1,9 \cdot 10^5} = 1,43 \cdot 10^{-5} \frac{\text{М}}{\text{МН}}$$

Находим коэффициент жесткости фланцевого соединения при стыковке одинаковых фланцев по формуле:

$$\alpha = A \cdot [Y_{\text{Б}} + 0,5 \cdot B \cdot (D_{\text{Б}} - D_{\text{прс}})] \quad (4.91)$$

где A рассчитывается по формуле:

$$A = \left[y_{\Pi} + y_B + 0,5 \cdot y_{\Phi} \cdot (D_B - D_{\text{пср}})^2 \right]^{-1} \quad (4.92)$$

$$A = \left[2,94 \cdot 10^{-5} + 1,43 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 0,22 \cdot 740 \cdot 10^{-3} - 696 \cdot (10^{-3})^2 \right]^{-1} = 3896;$$

В рассчитывается по формуле:

$$B = y_{\Phi} \cdot (D_B - D - S_E) = 0,22 \cdot (0,74 - 0,6 - 14,7 \cdot 10^{-3}) = 0,028$$

$$B = 0,22 \cdot (0,74 - 0,6 - 14,7 \cdot 10^{-3}) = 0,028.$$

$$\alpha = 3896 \cdot [1,43 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 0,028 \cdot (0,74 - 0,696)] = 2,46$$

Находим безразмерный коэффициент для приварных фланцев:

$$\gamma = A \cdot Y_B \quad (4.93)$$

$$\gamma = 3896 \cdot 1,43 \cdot 10^{-5} = 0,056$$

4.13 Расчет усилий во фланцевом соединении

Находим силу, которая действует на фланцевое соединение от внутреннего давления по формуле:

$$Q_D = 0,785 \cdot D^2 \quad (4.94)$$

$$Q_D = 0,785 \cdot 0,696^2 \cdot 0,11 = 0,042 \text{ МН}$$

Находим реакцию прокладки в рабочих условиях по формуле:

$$R_{\Pi} = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{пср}} \cdot b_E \cdot m \cdot P_R \quad (4.95)$$

где $b_E = 0,06 \cdot \sqrt{b_{\Pi}} = 0,06 \cdot \sqrt{14 \cdot 10^{-3}} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 7 \text{ мм}$ – эффективная ширина прокладки;

$m = 2,5$ – прокладочный коэффициент для паронита.

$$R_{\Pi} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,696 \cdot 7 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5 \cdot 0,11 = 8,4 \cdot 10^{-3} \text{ МН}$$

Находим значение усилия, которое возникающее от температурных деформаций, для приварных фланцев из одного и того же материала по формуле:

$$Q_t = \gamma \cdot Z_B \cdot f_B \cdot E_B \cdot (\alpha_\phi \cdot t_\phi - \alpha_B \cdot t_B) \quad (4.96)$$

Где $\alpha_\phi = 16,6 \cdot 10^{-6} \frac{1}{K}$ – коэффициент линейного расширения для стали 12X18H10T;

$\alpha_B = 13,1 \cdot \frac{1}{K}$ – коэффициент линейного расширения стали 35X.

$$Q_t = 0,056 \cdot 20 \cdot 10,18^{-4} \cdot 1,9 \cdot 10^5 \cdot (16,6 \cdot 96 - 13,1 \cdot 95) \cdot 10^{-6} = 0,076 \text{ МН}$$

Находим болтовую нагрузку в условиях монтажа при $P_R = 0,11 \text{ МПа}$ < 0,6 МПа по формуле:

$$P_{B1} = \max \left\{ \begin{array}{l} \alpha \cdot Q_d + R_\pi \\ \pi \cdot D_B \cdot b_E \cdot q \\ 0,4 \cdot [\sigma]_B^{20} \cdot Z_B \cdot f_B \end{array} \right\} \quad (4.97)$$

где $q = 20 \text{ МПа}$ – расчетное удельное давление для прокладки из паронита.

$$P_{B1} = \max \left\{ \begin{array}{l} 2,46 \cdot 0,042 + 8,4 \cdot 10^3 \\ 3,14 \cdot 0,696 \cdot 7 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \\ 0,4 \cdot 230 \cdot 24 \cdot 10,18^{-4} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,11 \\ 0,31 \\ 2,25 \end{array} \right\} = 2,25 \text{ МН}$$

Находим болтовую нагрузку в рабочих условиях по формуле:

$$P_{B2} = P_{B1} + (1 - \alpha) \cdot Q_d + Q_t \quad (4.98)$$

$$P_{B2} = 2,25 + (1 - 2,46) \cdot 0,042 + 0,076 = 2,26 \text{ МН}$$

Находим приведенные изгибающие моменты в диаметрально́м сечении фланца по формуле:

$$M_{01} = 0,5 \cdot P_{B1} \cdot (D_B - D_{пср}) \quad (4.99)$$

$$M_{02} = 0,5 \cdot [P_{B2} \cdot (D_B - D_{пср}) + Q_d \cdot (D_{пср} - D - S_E)] \cdot \frac{[\sigma_{20}]}{[\sigma_t]}$$

где $[\sigma_{20}] = 230 \text{ МПа}$, $[\sigma_t] = 174 \text{ МПа}$ – значения допускаемого напряжения для стали 12X18H10T при 20 °С и расчетной температуре 100 °С соответственно.

$$M_{01} = 0,5 \cdot 2,25 \cdot (0,74 - 0,696) = 0,04 \text{ МН.м}$$

$$M_{02} = 0,5 \cdot [2,26 \cdot (0,74 - 0,696) + 0,042 \cdot (0,696 - 0,6 - 14,7 \cdot 10^{-3})] \cdot \frac{184}{174}$$

$$M_{02} = 0,05 \text{ МН.м}$$

Тогда: Расчетное значение момента:

$$M_0 = \max(M_{01}; M_{02})$$

$$M_0 = \max(0,04; 0,05) = 0,05 \text{ МН.м}$$

4.14 Проверка прочности и герметичности фланцевого соединения

Условие прочности шпилек:

– в условиях монтажа (до подачи внутреннего давления):

$$\frac{P_{Б1}}{Z_B \cdot f_B} \leq [\sigma]_B^{20} \quad (4.100)$$

где $[\sigma]_B^{20} = 130 \text{ МПа}$ – значения допускаемого напряжения для стали 35 при температуре $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$\frac{2,25}{24 \cdot 10,18 \cdot 10^{-4}} \leq 130$$

$92 \leq 130$ (Условие выполняется)

- в рабочих условиях:

$$\frac{P_{Б2}}{Z_B \cdot f_B} \leq [\sigma]_t^{20} \quad (4.101)$$

где $[\sigma]_t^{20} = 126 \text{ МПа}$ – значения допускаемого напряжения для стали 35 при расчетной температуре $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$\frac{2,26}{24 \cdot 10,18 \cdot 10^{-4}} \leq 126$$

$$92,5 \leq 126$$

Условие выполняется

Проверим условие прочности прокладки для рабочих

условий:

$$\frac{P_{Б1}}{\pi \cdot D_{пср} \cdot b_{п}} \leq [q] \quad (4.102)$$

где $[q] = 130$ МПа - допускаемое удельное давление прокладки из паронита.

$$\frac{2,25}{\pi \cdot 0,696 \cdot 14 \cdot 10^{-3}} \leq 130$$

73,5 МПа $\leq$ 130 МПа (Условие выполняется)

Находим максимальное напряжение в сечении S_1 фланца по формуле:

$$\sigma_1 = \frac{T \cdot M_0 \cdot \omega}{D^* \cdot (S_1 - c)^2} \quad (4.103)$$

где $D^* = D = 0,6$ м при $D \geq 20 \cdot S_1$ ($600 > 20 \cdot 22 = 440$)

$$\sigma_1 = \frac{1,8 \cdot 0,05 \cdot 0,8}{0,6 \cdot (0,022 - 0,001)^2} = 270 \text{ МПа}$$

Находим максимальное напряжение в сечении S_0 по формуле:

$$\sigma_0 = T_3 \cdot \sigma_1 \quad (4.104)$$

где $\Psi_3 = 1,1$ определяется по рисунку 6.17 [14, с.103] при $\beta_1 = 2,2$ и

$$x = \frac{1}{\sqrt{D \cdot S_0}} = \frac{40}{\sqrt{600 \cdot 10}} = 0,5.$$

$$\sigma_0 = 1,1 \cdot 387 = 425 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{\kappa} = \frac{M_0 \cdot [1 - \omega \cdot (1 + 0,9 \cdot \lambda)] \cdot \Psi_2}{D \cdot l^2} \quad (4.105)$$

Напряжения во втулке фланца от внутреннего давления:

$$\sigma_x = \frac{P \cdot D}{2 \cdot (S_0 - c)} \quad (4.106)$$

$$\sigma_x = \frac{0,11 \cdot 0,6}{2 \cdot (10 - 1) \cdot 10^{-3}} = 3,67 \text{ МПа}$$

$$\sigma_x = \frac{P \cdot D}{4 \cdot (S_0 - c)}$$

$$\sigma_x = \frac{0,11 \cdot 0,6}{4 \cdot (10 - 1) \cdot 10^{-3}} = 1,83 \text{ МПа}$$

Проверяем условие прочности фланца в сечении S_0 по формуле:

$$\sqrt{(\sigma_0 \cdot \sigma_y)^2 + \sigma_x^2 - (\sigma_0 + \sigma_y) \cdot \sigma_x} \leq \varphi \cdot [\sigma_0] \quad (4.107)$$

где $[\sigma_0] = 570 \text{ МПа}$ – допускаемые напряжения для фланцев из стали 12Х18Н10Т в месте соединения втулки с обечайкой при давлении $P_R = 0,11 \text{ МПа}$ и $N < 2000$

$$\sqrt{270^2 + 3,67^2 - (270 + 1,83) \cdot 3,67} \leq 570$$

$$268 \leq 570 \text{ МПа}$$

Тогда: Условие прочности фланца в сечении S_0 выполняется.

Проверяем условие герметичности по углу поворота фланца по формуле:

$$\theta = \frac{\sigma_k \cdot D}{E_\phi \cdot h} \leq [\theta] \quad (4.108)$$

где $[\theta] = 0,009$ для приварных фланцев при $D \leq 2000 \text{ мм}$.

$$\frac{24 \cdot 0,6}{1,9 \cdot 10^5 \cdot 0,04} \leq 0,009$$

$$0,0019 \leq 0,009$$

Тогда: условие герметичности по углу поворота фланца выполняется.

4.15 Расчет необходимости укрепления отверстий

Цель расчета является проверкой необходимости укрепления отверстий.

Исходные данные:

- внутренний диаметр аппарата: $D = 600 \text{ мм}$;
- диаметр штуцера ввода сырья в аппарат: $D_{ш1} = 80 \text{ мм}$;
- диаметр штуцера вывода продукта из аппарата: $D_{ш2} = 80 \text{ мм}$;
- диаметр штуцера ввода теплоносителя в рубашку: $D_{ш3} = 18 \text{ мм}$;

- диаметр штуцера вывода теплоносителя из рубашки: $D_{ш3} = 18$ мм;
- прибавка к расчетной толщине стенки штуцера вывода продукта: $C_{ш2} = 1,5$ мм;
- прибавка к расчетной толщине стенки штуцера ввода и выводатеплоносителя: $C_{ш3} = 0,25$ мм;

Расчеты производятся по ГОСТ 34233.3 – 2017 [20]

4.16 Штуцер вывода продукта из аппарата

На рисунке 14 представлена расчетная схема укрепления отверстий наэллиптическом днище.

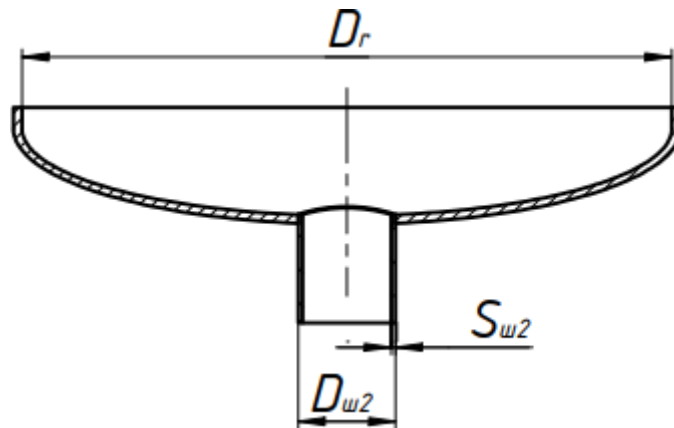


Рисунок 14 – Расчетная схема укрепления отверстий на эллиптическом днище

Находим расчётный диаметр эллиптического днища по формуле [20]:

$$D_{p1} = 2 \cdot D \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{x}{D}\right)^2} \quad (4.109)$$

x – расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптического днища, мм;

$$D_{p1} = 2 \cdot 600 \cdot \sqrt{1 - 3 \cdot \left(\frac{0}{600}\right)^2} = 1200 \text{ мм}$$

Находим расчетный диаметр отверстия по формуле [20]:

$$d_{p1} = D_{ш2} + 2 \cdot C_{ш2} \quad (4.110)$$

$$d_{p1} = 80 + 2 \cdot 1,5 = 83 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки эллиптического днища для определения диаметра отверстия, не требующего дополнительного укрепления определяется по формуле [20, с.10]:

$$S_{pn1} = S_{RH} \quad (4.111)$$

$$S_{pn1} = 2,7 \text{ мм}$$

Находим расчетный диаметр одиночного отверстия, который не требует укрепления при наличии избыточной толщины стенки по формуле [20]:

$$d_{01} = \min \left\{ 2 \cdot \left[\left(\frac{S_d - c_{дн}}{S_{pn1}} \right) - 0,8 \right] \cdot \sqrt{D_{p1} \cdot (S_d - c_{дн})}; (d_{max1} + 2 \cdot C_{ш2}) \right\} \quad (4.112)$$

где $d_{max1} = 0,6 \cdot D$ – для отверстий в эллиптических днищах [38, с.10], мм;

$$d_{01} = \min \left\{ 2 \cdot \left[\left(\frac{8-1,5}{2,7} \right) - 0,8 \right] \cdot \sqrt{1200 \cdot (8 - 1,5)}; (0,6 \cdot 600 + 2 \cdot 1,5) \right\}$$

$$d_{01} = \min(284; 363) = 284 \text{ мм}$$

Так как: $d_{01} > d_{p1}$ ($284 > 83$), укрепление отверстий не требуется.

Проверяем условие применения формул для расчета укрепления отверстий по формуле [20]:

$$\frac{d_{p1} - 2 \cdot C_{ш2}}{D} \leq 0,6 \quad (4.113)$$

$$\frac{(83 - 2 \cdot 1,5)}{600} \leq 0,6$$

$$0,13 \leq 0,6$$

Следовательно, условие применения формул для расчета укрепления отверстий на эллиптическом днище выполняется.

4.17 Штуцер ввода и выхода теплоносителя в рубашку

На рисунке 15 представлена расчетная схема укрепления отверстий на рубашке.

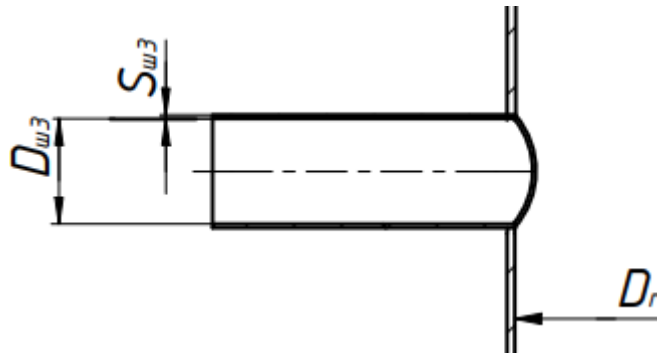


Рисунок 15 – Расчетная схема укрепления отверстий на рубашке

Находим расчётный диаметр цилиндрической обечайки по формуле [20]:

$$D_{p2} = D_{руб} \quad (4.114)$$

$$D_{p2} = 650 \text{ мм}$$

Находим расчетный диаметр отверстия в стенке цилиндрической обечайки по формуле [38]:

$$d_{p2} = D_{ш3} + 2 \cdot C_{ш3} \quad (4.115)$$

$$d_{p2} = 18 + 2 \cdot 0,25 = 18,5 \text{ мм}$$

Расчетная толщина стенки обечайки для определения диаметра отверстия, не требующего дополнительного укрепления определяется по формуле [20, с.10]:

$$d_{02} = \min \left\{ 2 \cdot \left[\left(\frac{S_d - c_{дн}}{S_{pn2}} \right) - 0,8 \right] \cdot \sqrt{D_{p2} \cdot (S_d - c_{дн})}; (d_{max2} + 2 \cdot C_{ш3}) \right\} \quad (4.116)$$

где $d_{max1} = D_{руб}$ – для отверстий в цилиндрической обечайках [38, с.10], мм;

$$d_{02} = \min \left\{ 2 \cdot \left[\left(\frac{4 - 0,25}{0,97} \right) - 0,8 \right] \cdot \sqrt{650 \cdot (4 - 0,25)}; (650 + 2 \cdot 0,25) \right\}$$

$$d_{02} = \min(303; 650,5) = 303 \text{ мм}$$

Так как: $d_{02} > d_{p2}$ ($303 > 18,5$ мм), укрепление отверстий не требуется.

Проверяем условие применения формул для расчета укрепления

отверстий по формуле [20]:

$$\frac{d_{p2} - 2 \cdot C_{ш3}}{D_{руб}} \leq 1 \quad (4.117)$$

$$\frac{(18,5 - 2 \cdot 0,25)}{650} \leq 1$$

$$0,03 \leq 1$$

Следовательно, условие применения формул для расчета укрепления отверстий на рубашке выполняется.

4.18 Расчет опор аппарата

Цель расчета опор - Выбор наиболее подходящих опор для оборудования, чтобы оборудование работало в наилучшем состоянии.

На рисунке 16 представлена расчетная схема опор аппарата. Расчет производится по АТК 24.200.03-90 [21].

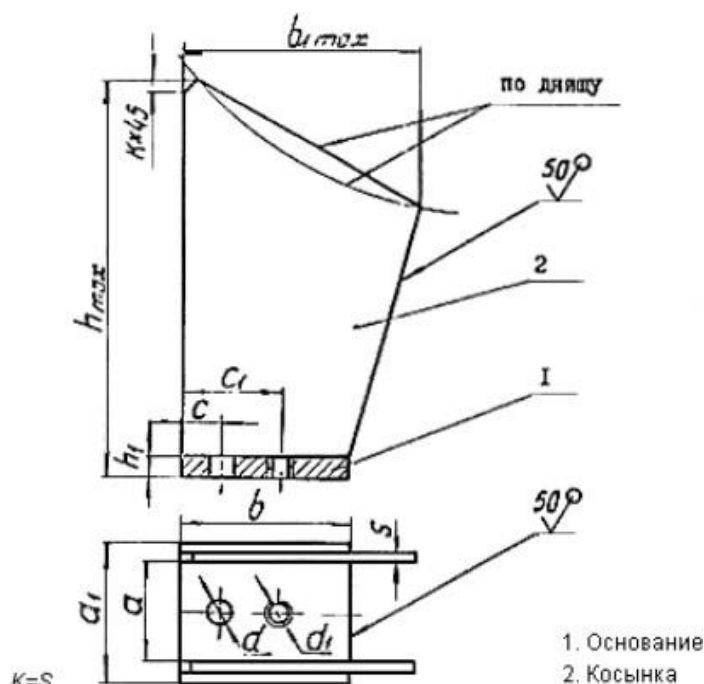


Рисунок 16 - Расчетная схема опор аппарата [21]

Исходные данные для расчет опор аппарата:

- внутренний диаметр аппарата: $D = 600$ мм;
- диаметр рубашки: $D_{руб} = 650$ мм;

– плотность материала аппарата (сталь марки 12X18H10T):
 $\rho = 7920 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$

– плотность жидкости внутри аппарата: $\rho_{\text{внут}} = 901 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

– плотность воды в рубашке: $\rho_{\text{руб}} = 965 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

– плотность жидкости внутри аппарата:

– высота жидкости в аппарате: $H_{\text{внут}} = 470 \text{ мм};$

– высота жидкости в рубашке: $H_g = 0,525 \text{ м}.$

Находим массу цилиндрической части аппарата:

$$m_{\text{цил1}} = \pi \cdot \left[\frac{(D+2 \cdot S)^2 - D^2}{4} \right] \cdot H \cdot \rho \quad (4.118)$$

где $D = 0,6 \text{ м}$ – внутренний диаметр аппарата;

$H = 0,605 \text{ м}$ – высота цилиндрической части корпуса аппарата [15, с.485];

$S = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – толщина стенки цилиндрической части аппарата;

$\rho = 7920 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ плотность материала аппарата (сталь марки 12X18H10T);

$$m_{\text{цил1}} = \pi \cdot \frac{(0,6 + 2 \cdot 8 \cdot 10^{-3})^2 - 0,6^2}{4} \cdot 0,655 \cdot 7920 = 79,3 \text{ кг}$$

Массу крышки определяется по ГОСТ [36]:

$$m_{\text{кр}} = 34,9 \text{ кг}$$

Масса днища определяется по ГОСТ [7, с.441]:

$$m_{\text{д}} = 28,2 \text{ кг}$$

Находим массу цилиндрической части рубашки:

$$m_{ц.руб} = \pi \cdot \frac{(D_{руб} + S_{руб})^2 - D_{руб}^2}{4} \cdot H_{руб} \cdot \rho \quad (4.119)$$

$H_{руб} = 0,613$ м – высота цилиндрической части рубашки [15, с.485];

$$m_{ц.руб} = \pi \cdot \frac{(0,65 + 4 \cdot 10^{-3})^2 - 0,65^2}{4} \cdot 0,613 \cdot 7920 = 19,9 \text{ кг}$$

Находим массу днища рубашки по ГОСТ [15, с.440]:

$$m_{д.руб} = 16,2 \text{ кг}$$

Находим массу пустого аппарата:

$$m_{пус.} = m_{цил} + m_{кр} + m_{д.} + m_{ц.руб} + m_{д.руб} \quad (4.120)$$

$$m_{пус.} = 79,3 + 34,9 + 28,2 + 19,9 + 16,2 = 178,5 \text{ кг}$$

Находим массу жидкости внутри аппарата при гидроиспытании:

$$m_{внут} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot V \cdot \rho_{смеси} \quad (4.121)$$

где $V = 0,47$ м – высота смеси в аппарате.

Находим массу жидкости в рубашке при гидроиспытании:

$$m_{внут.руб} = \pi \cdot \frac{D_{руб}^2 - (D + 2 \cdot S)^2}{4} \cdot H \cdot \rho_{вода} \quad (4.122)$$

$$m_{внут.руб} = \pi \cdot \frac{0,65^2 - (0,6 + 2 \cdot 8 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 0,8 \cdot 965 = 26 \text{ кг}$$

Общая масса аппарата, включая массу воды в рубашке и массу смеси внутри аппарата, составляет:

$$m_{пол} = m_{пус.} + m_{внут} + m_{внут.руб} = 178,5 + 119,6 + 26 = 323,7 \text{ кг}$$

Тогда:

Полный вес аппарата:

$$G_{\text{пол}} = m_{\text{пол}} \cdot g = 323,7 \cdot 9,8 = 3172 \text{ Н} = 3,17 \text{ кН}$$

Примем опору типа 1 исполнения 1 из стали 10 [21]. Принимаем количество опор равно 3.

Тогда: Нагрузка на одну опору равна: $\frac{3,27}{3} \approx 1,1 \text{ кН}$

Размеры элементов опоры аппарата приведены в таблице 5.

Нагрузка на опору, кН	a	a ₁	b	b _{1max}	C	C ₁	h _{max}	h ₁	S	d	d ₁
1.2	75	100	85	120	22	50	220	10	6	19	M12

4.19 Расчет вала на прочность, жесткость

Целью расчета является проверка необходимости укрепления отверстий.

Расчет производится по пособию [22].

Исходные данные для расчета:

- диаметр вала d, м: d = 0,02;
- длина вала L, м: L = 0,64;
- длина пролета L_n, м: L_n = 0,2;
- длина консоли L_k, м: L_k = 0,44;
- координат центра тяжести деталей l_j, м: l_j = 0,275;
- массы деталей m, кг: m = 1 [4];
- координаты опасных по жесткости и прочности сечений Z, м: Z = 0,32;
- материал для мешалки: 40ХН;
- скорость вращения n, об/с: n = 1,5;

- угловая скорость, рад/с: $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n = 2 \cdot \pi \cdot 1,5 = 9,425$;
- мощность, потребляемая одной мешалкой N, Вт: $N = 250$.

4.20 Расчет вала на жесткость

Расчет на жесткость вала ведется в следующей последовательности [22].

Относительные координаты опасных по жесткости сечений:

- на консоли:

$$a_{sj} = \frac{z}{Lk}$$

$$a_{sj} = \frac{0,32}{0,44} = 0,727$$
(4.123)

- в пролете: $a_{si} = 0$

Относительная длина пролета:

$$a_n = \frac{L_n}{Lk}$$
(4.124)

$$a_n = \frac{0,2}{0,44} = 0,455$$

Безразмерные динамические прогибы вала в опасных сечениях определяются по рисунку 17:

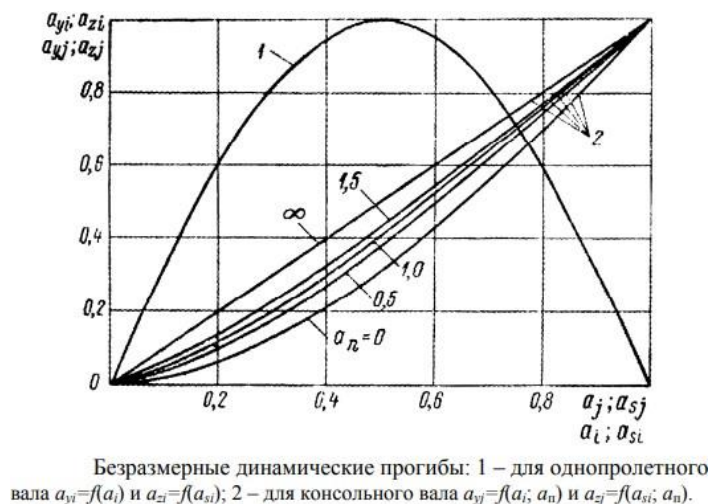


Рисунок 17 – Безразмерные динамические прогибы [22]

– в пролете консольного вала:

$$a_{zi} = k_2 \cdot a_n \quad (4.125)$$

$$a_{zi} = 0,22 \cdot 0,455 = 0,1$$

где $k_2 = f(a_{si}; a_n)$ находят по рисунку 18.

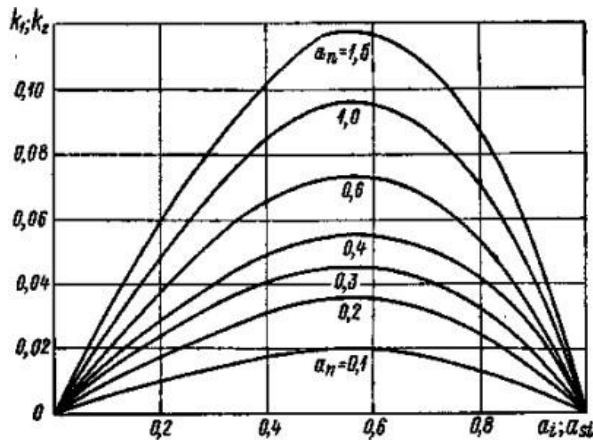


Рисунок 18 – К определению коэффициентов k_1 и k_2 [22]

– на консоли гибкого и жесткого консольного вала:

$$a_{zj} = f(a_{sj}; a_n) \quad (4.126)$$

$$a_{zj} = 0,4$$

Коэффициент приведения массы вала $q = 2,4$ определяется по рисунку

21:

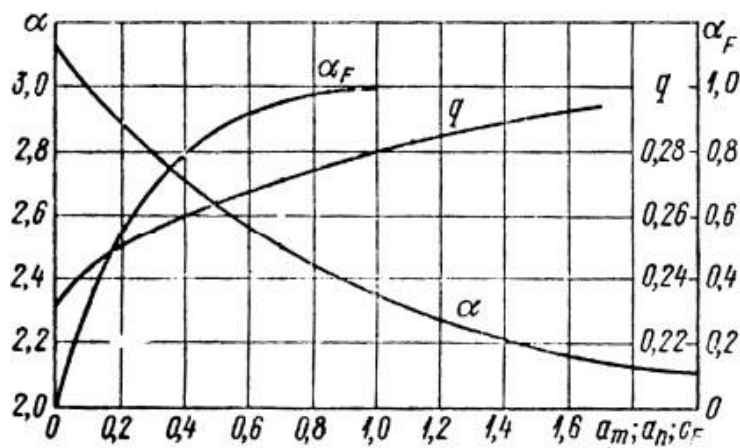


Рисунок 19 - К определению коэффициента приведения массы вала $q=f(a_n)$, корня частотного уравнения $\alpha=f(a_m)$ однопролетного вала и

поправочного коэффициента увеличения мощности для аппаратов с внутренними устройствами $\alpha F = f(cF)$ [22]

Относительные координаты центра тяжести детали:

$$a_j = \frac{l_j}{L_k}$$
$$a_j = \frac{0,275}{0,44} = 0,625$$

Безразмерные динамические прогибы вала в центре тяжести деталей определяются по рисунку 18:

– на консоли гибкого и жесткого консольного вала:

$a_{yj} = 0,1$ Приведенные массы деталей, кг:

– на консоли:

$$m_{jB} = m \cdot a_{yj}^2 \quad (4.127)$$

$$m_{jB} = 1 \cdot 0,1^2 = 0,01 \text{ кг}$$

Сумма приведенных масс деталей, кг:

– для консольного вала:

$$m_B = m_{jB} \quad (4.128)$$

$$m_B = 0,01$$

Приведенная масса вала, кг:

– консольного вала:

$$m_{BB} = q \cdot m_B \cdot L_k \quad (4.129)$$

$$m_{BB} = 2,4 \cdot 0,01 \cdot 0,44 = 0,011 \text{ кг}$$

Смещение оси вала относительно оси вращения за счет зазоров в опорах, м:

– для деталей на консоли жесткого консольного вала, м:

$$\Delta l_j = \left[(\Delta A + \Delta B) \cdot \frac{(L_n + l_j)}{L_n} \right] - \Delta A \quad (4.130)$$

где ΔA и ΔB - радиальные зазоры в подшипниках:

- $\Delta A = 10 \cdot 10^{-6}$ [42];
- $\Delta B = 10 \cdot 10^{-6}$ [42].

$$\Delta l_j = \left[(10 \cdot 10^{-6} + 10 \cdot 10^{-6}) \cdot \frac{(0,2 + 0,275)}{0,2} \right] - 10 \cdot 10^{-6} = 3,75 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

- для опасных точек на консоли жесткого консольного вала:

$$\Delta z_{j1} = \left[(\Delta A + \Delta B) \cdot \frac{(L_n + Z)}{L_n} \right] - \Delta A \quad (4.131)$$

$$\Delta z_{j1} = \left[(10 \cdot 10^{-6} + 10 \cdot 10^{-6}) \cdot \frac{(0,2 + 0,32)}{0,2} \right] - 10 \cdot 10^{-6} = 4,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

Смещение оси вала относительно оси вращения за счет начальной изогнутости вала, м:

- для деталей на консоли:

$$\varepsilon_{lj} = \varepsilon_B \cdot a_{yi} \quad (4.132)$$

$$\varepsilon_{lj} = 0,075 \cdot 0,1 = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

- для опасных точек на консоли:

$$\varepsilon_{zi} = \varepsilon_B \cdot a_{zi} \quad (4.133)$$

$$\varepsilon_{zj} = \varepsilon_B \cdot a_{zj}$$

где ε_B – максимальная начальная изогнутость вала в точке приведения.

При $\frac{L}{d} = \frac{0,64}{0,02} = 31, \varepsilon_B = 0,075$ [22]

$$\varepsilon_{zi} = 0,075 \cdot 0,1 = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$\varepsilon_{zj} = 0,075 \cdot 0,4 = 0,03 \text{ м}$$

Смещение оси вала, относительно оси вращения в точке приведения, засчет зазоров в опорах, м:

– консольного вала:

$$\Delta B = \frac{(\Delta A + \Delta B) \cdot L}{L_n} - \Delta A \quad (4.134)$$

$$\Delta B = \frac{(10 \cdot 10^{-6} + 10 \cdot 10^{-6}) \cdot 0,64}{0,2} - 10 \cdot 10^{-6} = 5,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

Эксцентриситеты масс деталей однопролетного и консольного вала:

$$e_k = \frac{10^{-3}}{\sqrt{\omega}} = \frac{10^{-3}}{\sqrt{9,425}} = 3,275 \cdot 10^{-4}$$

$$e_k = \frac{10^{-3}}{\sqrt{9,425}} = 3,275 \cdot 10^{-4}$$

Приведенные эксцентриситеты масс деталей, м:

– на консоли жесткого консольного вала:

$$e_{jB} = \frac{e_k}{a_{yi}} \quad (4.135)$$

$$e_{jB} = \frac{3,275 \cdot 10^{-4}}{0,1} = 3,275 \cdot 10^{-3}$$

Приведенные (к точке В) эксцентриситеты масс деталей, м:

– на консоли:

$$E_{jB} = \frac{m_{jB} \cdot e_{jB}}{m_B + m_{BV}} \quad (4.136)$$

$$E_{jB} = \frac{0,01 \cdot 3,275 \cdot 10^{-3}}{0,01 + 0,011} = 1,584 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Приведенный эксцентриситет вала с деталями, м:

– консольного вала:

$$E_B = E_{jB} + \Delta B + \varepsilon_B \quad (4.137)$$

$$E_B = 1,584 \cdot 10^{-3} + 5,2 \cdot 10^{-5} + 0,075 = 0,077 \text{ м}$$

Находим первая критическая угловая скорость вращения по формуле [22]:

$$\omega_1 = \frac{\omega}{\xi} \quad (4.138)$$

где ω – угловая скорость, рад/с;

$y = 0,5$ – коэффициент виброустойчивости [41];

Тогда:

$$\omega_1 = \frac{9,425}{0,5} = 18,85 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Динамический прогиб оси вала в точке приведения, м:

$$y_B = \frac{E_B}{\left(\frac{\omega_1}{\omega}\right)^2 - 1} \quad (4.139)$$

$$y_B = \frac{0,077}{\left(\frac{18,85}{9,425}\right)^2 - 1} = 0,026 \text{ м}$$

Динамические смещения центра тяжести деталей, м:

– на консоли:

$$A_j = y_B \cdot a_{zi} + y_B \cdot a_{zj} + \Delta l_j + \varepsilon l_j \quad (4.140)$$

$$A_j = 0,026 \cdot 0,1 + 0,026 \cdot 0,4 + 3,75 \cdot 10^{-5} + 7,5 \cdot 10^{-3} = 0,02 \text{ м}$$

Динамические смещения вала в опасных по жесткости сечениях, м:

– на консоли:

$$A_{zj} = y_B \cdot a_{zi} + y_B \cdot a_{zj} + \Delta z_j + \varepsilon z_i$$

$$A_{zj} = 0,026 \cdot 0,1 + 0,026 \cdot 0,4 + 4,2 \cdot 10^{-5} + 7,5 \cdot 10^{-3} = 0,02 \text{ м}$$

Динамическое смещение вала в точке приведения, м:

$$A_B = y_B + \Delta B + \varepsilon_B \quad (4.141)$$

$$A_B = 0,026 + 5,2 \cdot 10^{-5} + 0,075 = 0,101 \text{ м}$$

Проверка условия жесткости в опасных по жесткости сечениях:

Вид уплотнения вала, который используется - Манжетное, и $n = 90$ об/мин, допускаемые динамические смещения вала, $[A] = 0,15$ [22].

Так как:

На пролете нет детали и $A_{zj} < [A]$ ($0,02 \text{ м} < 0,15 \text{ м}$), при $d = 0,02 \text{ м}$ условие жесткости выполняется.

4.21 Расчет вала на прочность

Расчет на прочность вала ведется в следующей последовательности [22].
Сосредоточенная центробежная сила, действующая на мешалку:

– на консоли, Н:

$$P_j = m \cdot \omega^2 \cdot A_j = 1 \cdot 9,425^2 \cdot 0,02 = 1,804$$

$$P_j = 1 \cdot 9,425^2 \cdot 0,02 = 1,804 \text{ Н}$$

Приведенная центробежная сила, Н:

$$P_B = m_{BV} \cdot \omega^2 \cdot A_B \quad (4.142)$$

$$P_B = 0,011 \cdot 9,425^2 \cdot 0,101 = 0,094$$

Сумма моментов сил инерции масс относительно опоры Б, Н·м:

– на консоли жесткого и гибкого консольного вала:

$$M_{БК} = P_j \cdot l_j \quad (4.143)$$

$$M_{БК} = 1,804 \cdot 0,275 = 0,496 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

– в пролете консольного вала:

$$M_{БП} = 0 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Реакция опоры А, Н:

– консольного вала:

$$R_A = \frac{M_{БП} + M_{БК} + P_B \cdot L_k}{L_n} \quad (4.144)$$

$$R_A = \frac{0 + 0,496 + 0,094 \cdot 0,44}{0,2} = 2,688 \text{ Н}$$

Сумма моментов сил инерции масс относительно опоры А, Н·м:

– в пролете:

$$M_{АП} = 0 \text{ Н·м}$$

– на консоли:

$$M_{АК} = P_j \cdot (L_n + l_j) \quad (4.145)$$

$$M_{АК} = 1,804 \cdot (0,2 + 0,275) = 0,857 \text{ Н·м}$$

Реакция опоры Б, Н:

– консольного вала:

$$R_B = \frac{M_{АП} + M_{АК} + P_B \cdot L}{L_n} \quad (4.146)$$

$$R_B = \frac{0 + 0,857 + 0,094 \cdot 0,62}{0,2} = 4,577 \text{ Н}$$

Изгибающие моменты в опасных по прочности сечениях, Н·м:

– в пролете консольного вала

$$M_{zi} = 0 \text{ Н·м}$$

– на консоли консольного вала

$$M_{zj} = P_B \cdot (L_k - Z) + P_j \cdot (l_j - Z) + P_j \cdot l_j \quad (4.145)$$

$$M_{zj} = 0,094 \cdot (0,44 - 0,32) + 1,804 \cdot (0,275 - 0,32) + 1,804 \cdot 0,275 = 0,426 \text{ Н·м}$$

Крутящие моменты в опасных по прочности сечениях, Н·м:

$$M_i = \omega^{-1} \cdot N_M \quad (4.146)$$

$$M_i = 9,425^{-1} \cdot 250 = 26,526$$

Момент сопротивления опасного сечения:

$$W_i = \pi \cdot \frac{d^3}{32} \quad (4.145)$$

$$W_i = \pi \cdot \frac{0,02^3}{32} = 7,854 \cdot 10^{-7}$$

Эквивалентные напряжения в опасных сечениях:

$$\sigma_{\Sigma 1} = W_i^{-1} \cdot \sqrt{M_{zi}^2 + M_i^2} \quad (4.146)$$

$$\sigma_{\Sigma 1} = 26,526^{-1} \cdot \sqrt{0^2 + 26,526^2} = 3,377 \cdot 10^7$$

Допускаемое напряжение в опасном сечении:

$$\sigma_i = \frac{k_M \cdot \sigma_1}{k_\sigma \cdot k_\varepsilon} \quad (4.147)$$

$$\sigma_i = \frac{1,04 \cdot 490 \cdot 10^6}{1,6 \cdot 1,4} = 2,275 \cdot 10^8 \text{ Па}$$

где k_M – коэффициент масштабного уменьшения предела усталости в опасном сечении:

– для валов из углеродистой стали:

$$k_M = 1,04 - 0,0063 \cdot d + 3,9 \cdot 10^{-5} \cdot d^2$$

$$k_M = 1,04 - 0,0063 \cdot 0,02 + 3,9 \cdot 10^{-5} \cdot 0,02^2 = 1,04$$

$$\sigma_1 = 490 \cdot 10^6 \text{ Па} - \text{Предел выносливости материала вала [23];}$$

$k_\sigma = 1,6$ – Коэффициентов концентрации напряжений в опасном сечении независимо от материала вала [22];

$k_\varepsilon = 1,4$ – Коэффициент запаса прочности материала вала на выносливость в i-ом опасном сечении [22].

Проверка условия прочности:

Так как: $\sigma_{\Sigma 1} < \sigma_i$ ($3,377 \cdot 10^7 < 2,275 \cdot 10^8$), условие прочности вала выполняется при $d = 0,02$ м.

4.22 Расчет шпоночного соединения вала с мешалкой

Цель расчета шпоночного соединения - проверка прочности шпоночного соединения вала с мешалкой. Условием прочности соединения являются условия прочности прокладки на смятие и на срез.

Расчетная схема шпоночного соединения показана на рисунке 22. Расчет шпоночного соединения производится по методике [24].

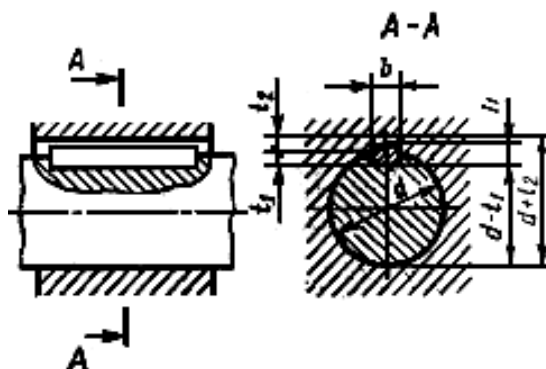


Рисунок 20 - Расчетная схема шпоночного соединения [25]

Исходные данные для расчета шпоночного соединения:

- диаметр вала: $d = 20$ мм;
- крутящий момент вала: $M = 26.54$ Н.м [26].

Для вала диаметром $d = 20$ мм, принимаем призматическую шпонку со следующими характеристиками [25], показанными в таблице 6.

Таблица 6 – Характеристики шпонки для вала диаметром $d = 20$ мм

Диаметр вала d , мм	Ширина b , мм	Длина l , мм	Высота h , мм	Размер фаски s , мм
20	6	30	6	0.3

Условие прочности шпоночного соединения на смятие [24]:

$$\sigma_{\text{см}} \leq [\sigma_{\text{см}}]$$

$$\frac{2 \cdot 10^3 \cdot M}{d \cdot (0,94 \cdot h - t_1) \cdot l} \leq [\sigma_{\text{см}}] \quad (4.148)$$

где $M = 26,54$ – крутящий момент вала, Н.м;

$d = 20$ – диаметр вала, мм;

$h = 6$ и $t_1 = 3,5$ – высота шпонки и глубина паза на валу, мм;

$[\sigma]_{\text{см}} = 140$ – допускаемые напряжения смятия, Н/мм² [23];

$l = 30$ – длина шпонки, мм.

$$\frac{2 \cdot 10^3 \cdot 26,54}{20 \cdot (0,94 \cdot 6 - 3,5) \cdot 30} \leq 140$$

$$41,34 \leq 140 \text{ Н/мм}^2$$

Тогда: Условие прочности шпоночного соединения на смятие выполняется.

Условие прочности шпоночного соединения на срез [24]:

$$\tau_{\text{ср}} \leq [\tau_{\text{ср}}]$$

$$\frac{2 \cdot 10^3 \cdot M}{d \cdot l \cdot b} \leq [\tau_{\text{ср}}] \quad (4.149)$$

где $[\tau_{\text{ср}}] = 80$ - допускаемое напряжение на срез шпонок, Н/мм² [23].

$$\frac{2 \cdot 10^3 \cdot 26,54}{20 \cdot 30 \cdot 6} \leq 80$$

$$14,75 \leq 80 \text{ Н/мм}^2$$

Тогда: Условие прочности шпоночного соединения на срез выполняется.

Следовательно, условия прочности шпоночного соединения на срез и на смятие выполняются.

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта является наиболее удобным и наглядным способом представления графика проведения работ.

Диаграмма Ганта представляет собой отрезки, размещенные на горизонтальной шкале времени. Каждый отрезок соответствует отдельной задаче или подзадаче. Начало, конец и длина отрезка на шкале времени соответствуют началу, концу и длительности задачи.

Для построения графика Ганта, следует, длительность каждой из выполняемых работ из рабочих дней перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой, для каждого исполнителя расчеты производятся индивидуально:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (5.1)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (5.2)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Все значения, полученные при расчетах по вышеприведенным формулам, были сведены в таблице 8.

Таблица 8 – Временные показатели проведенного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительно сть работ в рабочих днях T_{pi}		Длительно сть работ в календарн ых днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож\bar{c}i}$, чел-дни					
	И	НР	И	НР	И	НР	И	НР	И	НР
1. Составление и утверждение технического задания	–	1	–	1	–	1	–	1	–	1
2. Подбор и изучение материалов	5	–	7	–	5,8	–	5,8	–	9	–
3. Выбор направления исследований	1	1	2	1	1,4	1	0,7	0,5	1	1
4. Календарное планирование работ по теме	3	1	5	2	3,8	1,4	1,9	0,7	3	1
5. Проведение экспериментально й части	12	–	25	–	17,2		17,2	–	25	–
6. Разработка модели	2	–	4	–	2,8	–	2,8	–	4	–
7. Оценивание правильности полученных путем сравнения их с существующим и экспериментальны ми значениями	2	1	5	1	3,2	1,4	1	0,5	2	1
8. Определение целесообразности проведения ОКР	–	1	–	1	–	1	–	1	–	1
9. Разработка блок-схемы модели	2	–	7	–	4		4	–	6	–
10. Оценка эффективности модели	2	–	4	–	2,8		2,8	–	4	–
11. Составление пояснительной записки	4	–	5	–	4,4	–	4,4	–	7	–
12. Проверка правильности выполнения ГОСТа	1	1	2	1	1,4	1	0,7	0,5	1	1

пояснительной записки										
13. Согласование выполненной работы с научным руководителем	12	1	20	1	15,2	1	7,6	0,5	11	1
14. Подведение итогов, оформление работы	5	1	8	1	6,2	1	3,1	0,5	5	1

На основе таблицы 1 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта и представлен на рисунке 1 с разбивкой по месяцам и неделям за период времени дипломирования.

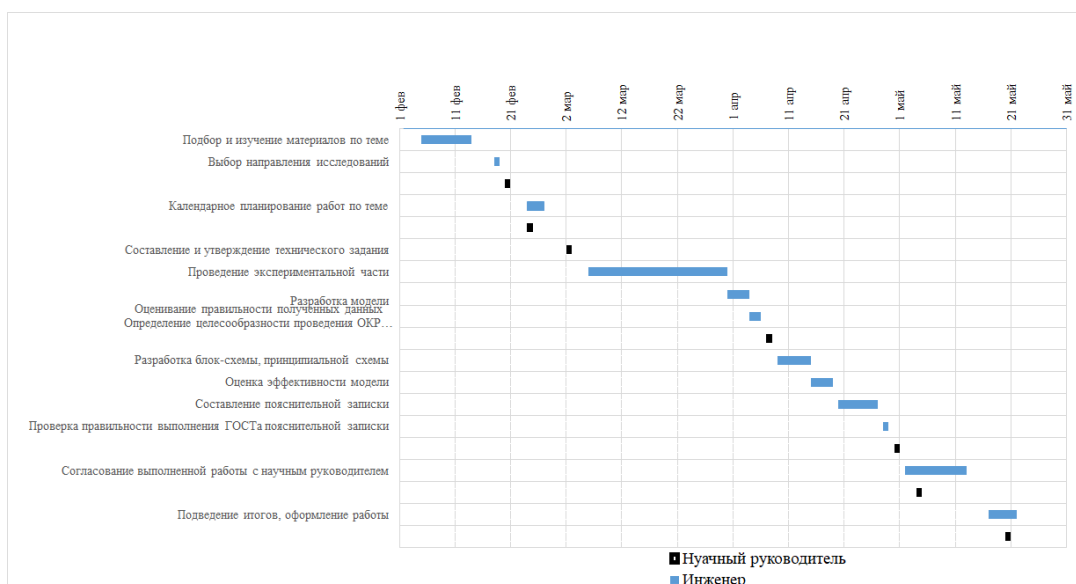


Рисунок 21 – Календарный план-график

5.2 Расчет материальных затрат НТИ

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ над объектом проектирования.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (5.3)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

Π_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 9.

Таблица 9 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Бумага	шт.	150	0,38	57
Печать на листе А4	шт.	150	3	450
Карандаш	шт.	2	10	20
Ластик	шт.	1	10	10
Учебная литература	шт.	5	200	1000
Итого			1537	

Допустим, что коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы составляет 15 % от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом коэффициента равны:

$$Z_m = 1,15 \cdot 1537 = 1767,5 \text{ руб.}$$

5.3 Расчет амортизации оборудования для экспериментальных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Для проведения эксперимента было использовано оборудование (таблица 10), имеющееся на кафедре.

Таблица 10 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	<u>Ультразвуковой толщиномер 45MG</u>	1	5	210	210
2	Стационарная система IDealSystem3D	1	10	5000	5000
Итого:	5210 тыс. руб.				

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (5.4)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{251} \cdot T_{об}, \quad (5.5)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.;

$T_{об}$ – время использования оборудования, дни.

Рассчитаем амортизацию для ультразвуковой толщиномера 45MG, с учётом, что срок полезного использования 5 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{5} = 0,2.$$

Находим общую сумму амортизационных отчислений:

Для ультразвукового толщиномер 45MG, использованного в течение 10 дней:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{251} \cdot T_{об} = \frac{0,2 \cdot 210000}{251} \cdot 10 = 1673,3 \text{ руб.}$$

Для стационарной системы IDealSystem3D, эксперименты проводились в течение 15 дней:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{251} \cdot T_{об} = \frac{0,1 \cdot 5000000}{251} \cdot 15 = 29880,47 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 1673,3 + 29880,48 = 32892,42 \text{ руб.}$$

5.4 Основная заработная плата исполнителей темы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, в его роли выступает исполнитель проекта, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы сводится в таблице 11.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (5.6)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

Основная заработная плата руководителя (лаборанта, студента) от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (5.7)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (5.8)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 12 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	67	120
Потери рабочего времени на отпуск	56	24
Действительный годовой фонд рабочего времени	242	221

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{окл} \cdot k_p, \quad (5.9)$$

где $Z_{окл}$ – оклад, руб.;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Научный руководитель имеет должность доцента и степень кандидата технических наук оклад на весну 2019 год составлял 33664 руб., затем осенью был проиндексирован на 4,3% и составил 35111,5 руб.

Оклад инженера на весну 2019 года составил 21760 руб., затем осенью был проиндексирован на 4,3% и составил 22695,68 руб.

Таблица 13 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	Разряд	k_t	$Z_{окл}$, руб.	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб.	Тр. раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	–	–	35111,5	1,3	45644,95	1923,87	5	9619,39
Инженер	–	–	22695,68		29504,5	1495,24	52	77752,73
Итого $Z_{осн}$								87372,1

5.5 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.). Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (5.10)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15).

Дополнительная заработная плата представлена в таблице 14.

Таблица 14 – Расчёт дополнительной заработной платы

Исполнитель	к _{доп}	З _{осн}	З _{доп}
Научный руководитель	0,12	9619,39	1154,32
Инженер		77752,73	9330,33
Итого			10484,65

5.6 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}), \quad (5.11)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 15– Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	к _{доп}	З _{осн}	З _{доп}
Научный руководитель	0,12	9619,39	1154,32
Инженер		77752,73	9330,33
Итого			10484,65

5.7 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{нр} \quad (5.12)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,16.

$$З_{накл} = (1767,5 + 32892,4 + 87372,1 + 10484,65 + 26519,18) \cdot 0,16 = 25445,7$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ по форме, приведенной в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет бюджета затрат НТИ

Исполнитель	Руководитель	Инженер
Основная заработная плата, руб.	9619,39	77752,73
Дополнительная заработная плата, руб.	1154,32	9330,33
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	
Сумма отчислений	2919,67	23599,5
Итого	26519,18	

5.8 Определение ресурсоэффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (таблица 9). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения. Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (5.13)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

В качестве вариантов исследования внутренней структуры образцов карбида кремния выбраны ближайшие аналоги ультразвуковому НК, такие как вихретоковый и радиографический НК и соответственно рассчитан интегральный финансовый показатель для каждого метода:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{\Phi_1}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{184481,53}{220000} = 0,83$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_2}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{195000}{220000} = 0,89$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_3}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{210000}{220000} = 0,95$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

5.9 Интегральный показатель ресурсоэффективности

В данном разделе необходимо произвести оценку ресурсоэффективности проекта, определяемую посредством расчета интегрального критерия, по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (5.14)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в форме таблицы (таблица 17).

Таблица 17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	1767,5
2. Затраты на амортизацию оборудования.	32892,4
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	87372,1

Продолжение таблицы таблица 17 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	10484,65
5. Отчисления во внебюджетные фонды	26519,18
6. Накладные расходы	25445,7
7. Бюджет затрат НТИ	184481,53

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 = 4,2$$

$$I_{p2} = 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,05 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 = 3,8$$

$$I_{p3} = 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 + 0,05 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 = 3,4$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.1}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{p-исп.1}}{I_{исп.1}^{финр}}, \quad (5.15)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблицу 18) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{cp}$):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}} \quad (5.16)$$

Таблица 18 – Эффективность разработки

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2	Исп.3
Точность	0,2	5	5	5
Надежность	0,1	5	4	5
Быстрота проведения контроля	0,1	5	4	4
Безопасность	0,2	5	4	3
Экологичность	0,1	5	5	3
Простота эксплуатации	0,05	4	5	4
Компактность	0,1	5	5	4
ИТОГО	1	34	32	31

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

1. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер – 78 и общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель – 8;
 2. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 184481,53 руб;
 3. По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:
 - Значение интегрального финансового показателя ИР составляет 0,83, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной, по сравнению с аналогами;
 - Значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,2, по сравнению с 3,8 и 3,4;
- Значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 5,1, по сравнению с 4,3 и 3,6, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

6 Социальная ответственность

6.1 Введение

Экологическая обстановка на нашей планете оставляет желать лучшего. Множество предприятий находятся в черте города, отходы производства пагубно влияют на окружающую среду.

Предприятие, которое рассматриваю занимается фармацевтическим производством АО «ПФК Обновление». Renewal («Производственная фармацевтическая компания Обновление») с 1997 года занимается разработкой и производством современных, качественных, доступных лекарственных препаратов.

Объект исследования является сироповарочный котел для проявление твердых лекарственных средств .

Область применения: фармацевтическая промышленность.

Рабочая зона: производственное помещение.

Размеры помещения: 30*20 м.

Количество и наименование оборудования рабочей зоны: пульт управления, блок подготовки воздуха, котел.

Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне: загрузка сахара, нагревания продукта с помощью тепловой энергии пара, перемешивание и приготовление сахарного сиропа.

6.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Соблюдение администрацией предприятий трудового законодательства, а также норм, правил и инструкций по охране труда контролируют вышестоящие административные органы, государственные инспекции, прокуратура (которая расследует случаи травматизма с тяжелым или смертельным исходом), а также общественность под руководством профсоюзных организаций.

Любой котлоагрегат допускается к работе только после освидетельствования инспектором Госгортехнадзора и Госсанинспекции и получения разрешения на ввод в эксплуатацию. В дальнейшем представители Госгортехнадзора периодически освидетельствуют котлоагрегаты. Наружный осмотр проводят не реже 1 раза в год, внутренний— не реже 1 раза в четыре года.

После больших ремонтных работ проводят внеочередное освидетельствование котла. Результаты освидетельствования, ремонтные работы, указания инспектора Госгортехнадзора заносят в паспорт котла, хранящегося у начальника котельной.

Для нормальной эксплуатации котельных установок нужен прежде всего квалифицированный, хорошо обученный обслуживающий персонал. К, обслуживанию котельных установок допускают рабочих, сдавших экзамен и получивших удостоверение на право обслуживания котла.

К обслуживанию котла могут быть допущены лица, достигшие 18-летнего возраста и прошедшие медицинское освидетельствование. Лица, принимаемые на работу, должны пройти вводный инструктаж по технике безопасности, а также инструктаж на рабочем месте.

Если замечено применение опасных приемов работы, инженерно-технические работники проводят повседневный инструктаж.

Периодический инструктаж проводят не реже 1 раза в полгода для закрепления рабочим знаний техники безопасности. Дополнительный инструктаж — после несчастного случая.

Аттестацию обслуживающего персонала котельных проводят постоянно действующие квалификационные комиссии, организованные при специализированных профессионально-технических училищах, учебных комбинатах и других учебных заведениях. Проведение аттестации допускается также на предприятиях и в организациях, располагающих необходимыми условиями и специалистами, по согласованию с местными органами Госгортехнадзора. Участие представителя местного органа

Госгортехнадзора в работе квалификационных комиссий по аттестации обслуживающего персонала обязательно.

В соответствии с ГОСТ 12.2.049-80 «Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие эргономические требования», уровни физических, химических и биологических опасных и вредных производственных факторов, генерируемых производственным оборудованием в рабочую зону, а также воздействующих на работающего при непосредственном контакте с элементами конструкции, должны соответствовать требованиям безопасности, установленным нормативно-технической документацией, утвержденной в установленном порядке[27].

В необходимых случаях конструкция производственного оборудования должна обеспечивать возможность удобства выполнения трудовых действий с применением средств индивидуальной защиты.

Конструкция производственного оборудования должна обеспечивать оптимальное распределение функций между человеком и производственным оборудованием с целью обеспечения безопасности, ограничения тяжести и напряженности труда, а также обеспечения высокой эффективности функционирования системы "человек - производственное оборудование".

Конструкция всех элементов производственного оборудования, с которыми человек в процессе трудовой деятельности осуществляет непосредственный контакт, должна соответствовать его антропометрическим свойствам.

6.3 Производственная безопасность

Данные по исследованию опасных и вредных факторов в помещении варочного котла представлены в таблице 1.

Основными такими факторами являются: повышенный уровень шума;, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий; отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения; связанные с

аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего: температурой и относительной влажностью воздуха, скоростью движения (подвижностью) воздуха относительно тела работающего, а также с тепловым излучением окружающих поверхностей, зон горения, фронта пламени, солнечной инсоляции.

Таблица 19- Возможные опасные и вредные производственные факторы на рабочем месте оператора

Факторы по ГОСТ 12.0.003-2015	Нормативные документы
Повышенный уровень шума.	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация. СП 51.13330.2011. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003.
Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего: температурой и относительной влажностью воздуха, скоростью движения (подвижностью) воздуха относительно тела работающего, а также с тепловым излучением окружающих поверхностей, зон горения, фронта пламени, солнечной инсоляции	ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.

Повышенный уровень шума

В процессе варки сахарного сиропа в котле основным источником шума является электродвигатель, приводящий в действие перемешивающее устройство аппарата.

Шум в производственном процессе влияет на производительность труда работников, вызывает отвлечение внимания и легко приводит к ошибкам в работе. Чрезмерный шум серьезно влияет на здоровье нервной системы рабочих, вызывая головокружение, шум в ушах, перфорацию барабанной перепонки, ушные кровотечения и снижение слуха рабочих.

Нормы шума в производственных помещениях, способ оценки уровня шума четко определены в «СП 51.13330.2011 Защита от шума».

Максимальный уровень звука в помещениях с постоянными рабочими местами производственных предприятий, территории предприятий с постоянными рабочими местами равно $L_{\text{Амакс}} = 95$ дБА.

Средства индивидуальной защиты от шума в зависимости от конструктивного исполнения подразделяются на:

- противошумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи;
- противошумные вкладыши, перекрывающие наружный слуховой проход или прилегающие к нему;
- противошумные шлемы и каски;
- противошумные костюмы[28].

На данном месте применяются противошумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи.

Электрический ток

В процессе варки сахарного сиропа для работы двигателя мешалки требуется электрическая энергия. Но, электричество очень опасно для рабочих, при прямом воздействии электрического тока рабочие могут получить ожоги, повлиять на здоровье и иметь риск смерти.

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы коллективной защиты:

- защитные оболочки;
- защитные ограждения (временные или стационарные);
- защитные барьеры.

Индивидуальными средствами защиты могут являться специальные перчатки и обувь из непроводящих ток материалов.

Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды на местонахождении работающего

К основным нормируемым показателям микроклимата воздуха рабочей зоны на производстве относятся температура.

По ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ нормируются следующие параметры: температура, относительная влажность.

В кабинах, на пультах и постах управления технологическими процессами, в залах вычислительной техники и других производственных помещениях при выполнении работ операторского типа, связанных с нервно-эмоциональным напряжением, должны соблюдаться оптимальные величины температуры воздуха 22 - 24 град. С, его относительной влажности 60 - 40% и скорости движения (не более 0,1 м/с)[29].

Для поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне применяют механизацию и автоматизацию технологических процессов, защиту от источников теплового излучения, устройство систем вентиляции, кондиционирования воздуха и отопления.

Отсутствие или недостаток необходимого искусственного освещения

Некачественный свет в производственном помещении негативно воздействует на зрительный аппарат, вызывает переутомление, дискомфорт, мигрени, бессонницу, снижает работоспособность.

СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» регламентирует освещенность рабочего места - не менее 300 лк, коэффициент пульсации не более 5%.

В качестве источников освещения применяются искусственное: энергосберегающие светодиодные и газоразрядные лампы, а также дневное – солнечное[30].

6.4 Экологическая безопасность

Атмосфера

В процессе производства сахарного сиропа нет взаимодействия с газом в окружающей среде и нет выброса газа в окружающую среду. Таким образом, процесс производства сахарного сиропа не влияет на атмосферу.

Гидросфера и литосфера

После каждой производственной смены оборудование, используемое в процессе производства, моется водой. Вода, используемая для промывки оборудования после каждой производственной смены, будет нести остатки сахара и химические вещества, и количество сточных вод с этими химическими компонентами является основной причиной загрязнения как гидросферы, так и литосферы.

Сточные воды с высокой концентрацией химических веществ при сбросе в окружающую среду будут оказывать неблагоприятное воздействие как на гидросферу, так и на литосферу, поскольку химические вещества, присутствующие в этих сточных водах, будут изменять физико-химические свойства сточных вод, такие как pH, мутность, приводя к серьезное загрязнение окружающей среды. Защита гидросферы и литосферы осуществляется с помощью хозяйственной бытовой канализации, куда может уходить переработанная вода, подвергаясь очистке на очистных сооружениях.

Воздействие на селитебную зону

Сахар поставляют в полипропиленовых мешках.

Полипропилен представляет собой простой углеводород, не содержащий хлор. Благодаря значительной химической устойчивости, при правильном хранении полипропилен не выделяет опасных для человека и природы соединений. Потому он признан самым безвредным и

«экологичным» пластиком и используется для изготовления мешков, но необходимо учитывать сроки допустимого использования и требования к утилизации.

Полипропилену требуется на разложение более 500 лет, поэтому полипропиленовые мешки нельзя выбрасывать на обычную свалку.

Единственным решением проблемы является вторичное использование данного сырья.

Размеры СЗЗ относятся к V класс (практически не опасные) - от 50 м.

6.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Возможные ЧС: ураганы, подтопления территорий, природные пожары, аварии с выбросом химически опасных веществ при их производстве, переработке.

Наиболее типичная ЧС: пожар на производственном объекте

По взрывопожарной и пожарной опасности согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности», сипороварочный котел относится к категории ГН умеренная пожароопасность.

Пожары на производстве подразделяются на 4 класса: класс А — пожары твердых горючих веществ и материалов; класс В — пожары горючих жидкостей или плавящихся твердых веществ и материалов; класс С — пожары газов; класс D — пожары металлов[31].

На производстве пожар можно отнести к классу опасности В.

Основными первичными средствами пожаротушения являются: переносные и передвижные огнетушители; пожарный инвентарь (пожарные багры, ломы, топоры, крюки, пилы, лопаты); покрывала для изоляции очага возгорания (противопожарное полотно); генераторные огнетушители аэрозольные переносные.

Для предотвращения пожара выполняют требования к системе противопожарной защиты:

- применением средств пожаротушения и соответствующих видов пожарной техники;
- применением автоматических установок пожарной сигнализации и пожаротушения;
- устройствами, обеспечивающими ограничение распространения пожара;
- организацией своевременной эвакуации людей;
- применением средств коллективной и индивидуальной защиты людей от опасных факторов пожара

6.6 Выводы

Фактические значения выявленных факторов полностью соответствуют нормативным документам.

По электробезопасности согласно ПУЭ, помещение предприятия относится к категории помещения без повышенной опасности, в которой отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

Группа персонала по электробезопасности согласно Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок относится к группе I. Персоналу, усвоившему требования по электробезопасности, относящиеся к его производственной деятельности, присваивается группа I по электробезопасности.

По СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания", тяжесть труда оператора котла для приготовления сахарного сиропа относится к категории IIб. Работы, связанные с ходьбой, перемещением и переноской тяжестей до 10 кг и сопровождающиеся умеренным физическим напряжением[32].

По взрывопожарной и пожарной опасности согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности», помещение предприятия относится

к категории Г умеренная пожароопасность. Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении категории Г: негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива[31].

По негативному воздействию на окружающую среду, производственный объект предприятия относится к объектам IV категории: отсутствие выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух или наличие на объекте стационарных источников загрязнения окружающей среды, масса загрязняющих веществ в выбросах в атмосферный воздух которых не превышает 10 тонн в год; отсутствие сбросов загрязняющих веществ в составе сточных вод в централизованные системы водоотведения, другие сооружения и системы отведения и очистки сточных вод.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процесс производства сахарного сиропа для приготовления твердых лекарственных средств осуществляется в реакторе, оборудованном рубашкой в виде обечайки для обеспечения тепла для процесса приготовления сахарного сиропа и рамной мешалкой, используемой для ускорения процесса.

Реактор для сироповарения в промышленности спроектирован со следующими основными конструктивными размерами: Внутренний диаметр корпуса аппарата 0,6 м, внутренний диаметр рубашки 0,65 м, диаметр мешалки 0,5 м. В механическом расчете четко представлены подробные размеры проектируемых деталей реактора, а также проверена работоспособность аппарата для обеспечения стабильной и надежной работы оборудования.

Произведен расчет материальных затрат, амортизации оборудования для экспериментальных работ, основной и дополнительной заработной платы, отчислений во внебюджетные фонды, бюджет проекта. Произведен анализ вредных и опасных факторов на рабочем месте, установлены пути предотвращения возникновения чрезвычайных ситуаций, определен класс пожара на производстве, тяжесть труда, категория помещения электробезопасности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Беляев В. М. Расчет и конструирование основного оборудования отрасли: учебное пособие / В. М. Беляев, В. М. Миронов, В. В. Тихонов - Томск: Из-во Томского политехнического университета, 2009. - 288 с.
2. Тульские Машины: Рамные и якорные мешалки: [сайт]. – Тула – . – Обновляется в течение суток. – URL: <https://tulmesh.ru/ramnyie-meshalki/> (дата обращения: 29.03.2022). – Текст : электронный.
3. РД 26-01-90-85. Механические перемешивающие устройства. Метод расчета: руководящий нормативный документ : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом СОЮЗХИММАША от 15.11.85 N 129 введен впервые : Дата введения 1986-01-01. – Москва : АО «Кодекс», 1985. – 7 с. ; 29 см. – Текст : непосредственный.
4. АТК 24.201.17-90. Мешалки. Типы, параметры, конструкция, основные размеры и технические требования : альбом типовых конструкций : издание официальное : утвержден и введен в действие Указанием министерства тяжелого машиностроения СССР от 27.11.90 № ВА-002-1-11125 : введен впервые : Дата введения 01.01.91. – Москва : Стандартиформ, 1990. –34 с. ; 29 см. – Текст : непосредственный.
5. Машины и аппараты химических производств: Примеры М38 и задачи. Учеб. пособие для студентов втузов, обучающихся по специальности «Машины и аппараты химических производств»/И. В. Доманский, В. П. Исаков, Г. М. Островский и др.; Под общ. ред. В. Н. Соколова —Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. — 384 с.
6. РАЗВИТИЕ product union: Стали: допускаемые напряжения и механические свойства материалов: сайт. – Ростов-на-Дону, 2009 – . – URL: http://razvitie-pu.ru/?page_id=4121 (дата обращения: 30.03.2022). – Текст: электронный.
7. Мехпривод-ТК: Червячный мотор-редуктор RT/MRT 40: сайт. – Москва, 2011. – URL: <https://www.mechprivod.ru/katalog/motor-> 164

reduktory/chervyachnye/rtmrt/rtmrt-40.html (дата обращения: 30.03.2022). – Текст: электронный.

8. Фролов, К.В. Машиностроение энциклопедия / К.В. Фролов. – Москва : “Машиностроение”, 2004. – 822 с.

9. Сталь 12X18H10T. – Текст : электронный // Европейская металлургическая компания: [сайт]. – 2011. – URL: https://emk24.ru/wiki/staligost/stal-12kh18n10t_8164871/ (дата обращения: 22.02.2022).

10. Болт высокопрочный. – Текст : электронный // Мегапром: [сайт]. – 2004. – URL: <https://metizorel.ru/boltvpr.html> (дата обращения: 20.02.2022).

11. Сталь 35. – Текст : электронный // METINVEST: [сайт]. – 2006. – URL: <https://metinvestholding.com/ru/products/steel-grades/35> (дата обращения: 19.02.2022).

12. ГОСТ 481-80. Паронит и прокладки из него. Технические условия = Compressed asbestos fibre sheets and gaskets from it. Specifications: Государственный стандарт союза сср: издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 27.03.80 N 1394: введен впервые : дата введения 1981-01-01 / Разработан и внесен Министерством нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности СССР. – Москва : Стандартинформ, 1980. –16 с.

13. Сталь 40ХН конструкционная легированная. – Текст : электронный // Справочник металлиста : [сайт]. – 2020. – URL: <http://enginiger.ru/materials/konstruktsionnaya-legirovannaya/stal-40hnmkonstruktsionnaya-legirovannaya/> (дата обращения: 18.02.2022).

14. Беляев В. М., Миронов В. М. Конструирование и расчет элементов оборудования отрасли. Ч. I: Тонкостенные сосуды и аппараты химических производств: Учеб. пособие / Том. политех. ун-т. – Томск, 2003. – 168 с.

15. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Лашинский А.А., Толчинский А.Р. Л., "Машиностроение", 1970 г. ,752 стр.Табл. 476 .Илл. 418. Библ 218. назв.

16. ГОСТ 34233.2-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и плоских днищ и крышек = Vessels and apparatus. Norms and methods of strength calculation. Calculation of cylindric and conic shells, convex and flat bottoms and covers : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 декабря 2017 г. N 1990-ст : введен впервые : Дата введения 2018-08-01 / разработан Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 523 "Техника и технологии добычи и переработки нефти и газа". – Москва : Стандартинформ, 2017. – IV, 58 с. ; 29 см. – Текст : непосредственный.

17. ГОСТ 34233.1-2017. Сосуды и аппараты. НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ. Общие требования = Vessels and apparatus. Norms and methods of strength calculation. General requirements : МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 декабря 2017 г. N 1989-ст: введен впервые : Дата введения 2018-08-01 / разработан Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 523 "Техника и технологии добычи и переработки нефти и газа". – Москва : Стандартинформ, 2017. – IV, 35 с. ; 29 см. – Текст : непосредственный.

18. ОСТ 26-2008-83. Крышки плоские люков стальных сварных сосудов и аппаратов. конструкция: отраслевой стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие письмом министерства химического и нефтяного машиностроения от 23 мая 1983 г. № 11-10-4/740 : введен впервые : Дата введения 1994-01-01 / разработан Центральным

конструкторским бюро нефтеаппаратуры (ЦКБН). – 16 с. ; 29 см. – Текст : непосредственный.

19. ГОСТ 34233.4-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Расчет на прочность и герметичность фланцевых соединений: межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 декабря 2017 г. N 1992-ст : введен впервые : Дата введения 2018-08-01 / разработан Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 523 "Техника и технологии добычи и переработки нефти и газа". – Москва : Стандартинформ, 2017. – IV, 46 с. ; 29 см. – Текст : непосредственный.

20. ГОСТ 34233.3-2017. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Укрепление отверстий в обечайках и днищах при внутреннем и наружном давлениях. Расчет на прочность обечаек и днищ при внешних статических нагрузках на штуцер: межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 декабря 2017 г. N 1991-ст : введен впервые : Дата введения 2018-08-01 / разработан Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 523 "Техника и технологии 168 добычи и переработки нефти и газа". – Москва : Стандартинформ, 2017. – IV, 42 с. ; 29 см. – Текст : непосредственный.

21. АТК 24.200.03-90. Опоры-стойки вертикальных аппаратов. Типы, конструкция и размеры : альбом типовых конструкций : издание официальное : утвержден и введен в действие указанием Министерства тяжелого машиностроения СССР от 19.06.90 N ВА-002-1-6288 : введен впервые : Дата введения 01-01-91 / разработан УкрНИИХиммаш. – Москва : Стандартинформ, 1990. – IV, 13 с. ; 29 см. – Текст : непосредственный.

22. Миронов В. М. Беляев В.М. Конструирование и расчет элементов химического оборудования. Ч. II: Учеб. пособие / Том. политехн. ун-т. – Томск, 2003. –112 с.

23. Сталь марки 40ХН : сайт / Центральный металлический портал. – Москва : 2009 – . URL: https://metallcheckiy-portal.ru/marki_metallov/stk/40ХН (дата обращения: 06.04.2022). – Текст: электронный.
24. Куклин, Н.Г. Детали машин / Н.Г. Куклин, Г.С. Куклина. – Москва : Высшая школа, 1987. – 383 с.
25. ГОСТ 23360-78. Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шпоночные с призматическими шпонками. Размеры шпонок и сечений пазов. Допуски и посадки: межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 17 ноября 1978 г. N 3034 : введен впервые : дата введения 1980-01-01. – Москва : Стандартиформ, 1978. – IV, 19 с. ; 29 см. – Текст : непосредственный.
26. Расчет крутящего момента на валу (мощность и обороты) : сайт / Автоматика.–Минск:2022. URL: <https://gpa.by/index.pl?act=PRODUCT&id=494> (дата обращения: 07.04.2022). – Текст: электронный.
27. ГОСТ 12.2.049-80 «Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие эргономические требования»
28. СП 51.13330.2011 Защита от шума
29. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ
30. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»
31. СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности»
32. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"